

Universidad Técnica De Manabí
Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas
(F.C.M.F.Q)

Trabajo de Titulación

Previo a la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico

**“UNIDADES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA SISTEMAS
EÓLICOS CONECTADOS A LA RED”**

Autor:

García Pinargote Denis Fabricio

Tutor:

Ing. Julio Cesar Hernández Chilan

Revisora:

PhD. Yolanda Llosas Albuerne

Portoviejo 2017

CAPITULO PRIMERO

Preliminar

DEDICATORIA

A mis padres, Rafaela y Holger, quienes con mucho esfuerzo, sacrificio y dedicación supieron superar dificultades y salir a delante, dándome ánimos, siendo mis más fuertes pilares que la vida me puede dar

Mis hermanos, que cuando las cosas se pusieron difíciles no solo fueron mis Hermanos, si no mis Padres, mis ejemplos.

A mí Tía, Madrina y Madre, Eleticia siempre apoyándome y alentándome a superarme cada día. En general a todos mis familiares que, de una u otra forma, me han sabido acompañar motivándome a cumplir esta meta.

Denis Fabricio García Pinargote

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expresar mi gratitud a mis padres, hermanos y demás familiares que supieron alentarme y ayudar a culminar esta etapa universitaria.

A mi Alma Mater, Universidad Técnica de Manabí, en especial la Escuela de Ingeniería Eléctrica por abrirme las puertas y sus aulas. A mis maestros quiero expresar el mayor de mis respetos, gratitud, amistad y admiración, que con mucho ejemplo y dedicación supieron nutrirme de conocimientos.

A el Ingeniero Julio Hernández, porque su preocupación y actitud vigilante ha sido la fuerza impulsora para proseguir y preservar en la realización de mi trabajo de titulación.

Mi reconocimiento para el personal administrativo y autoridades de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, que me brindaron las atenciones y facilidades para cumplir con los trámites y requisitos necesario para culminar mi trabajo de titulación, en general a todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron para cumplir esta meta, no me queda más que decirles: Muchas gracias.

Denis Fabricio García Pinargote

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN

Quien suscribe la presente señor Ing. Julio Cesar Hernández Chilan, Docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Química; en mi calidad de Tutor del trabajo de titulación **“UNIDADES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA SISTEMAS EÓLICOS CONECTADOS A LA RED”** desarrollada por el profesionista: García Pinargote Denis Fabricio; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por el profesionista cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a el estudiante en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentó el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación el profesionista puso mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes



ING. JULIO CESAR HERNÁNDEZ CHILAN
TUTOR

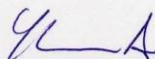
CERTIFICACIÓN DE LA COMISIÓN DE REVISIÓN

INFORME DEL TRABAJO DE TITULACION

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad de trabajo investigativo y que lleva por tema: **“UNIDADES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA SISTEMAS EÓLICOS CONECTADOS A LA RED”** desarrollado por el señor, García Pinargote Denis Fabricio con cédula No. 131265743-8, previo a la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO, bajo la tutoría y control del señor Ing. Julio Cesar Hernández Chilan, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requisitos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobada por el Honorable Consejo Universitario, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, su autor:

- Ha respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10 % de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- Ha aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

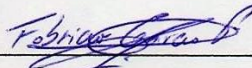
Sin más que informar suscribo este documento NO VINCULANTE para los fines legales pertinentes.



PhD. YOLANDA LLOSAS ALBUERNE
REVISORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR

Quien firma la presente, profesionista; GARCÍA PINARGOTE DENIS FABRICIO, en calidad de autor del trabajo de titulación realizada sobre **“UNIDADES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA SISTEMAS EÓLICOS CONECTADOS A LA RED”** por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contienen este proyecto, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6 ,8 ,19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumo con responsabilidad la descripción de las mismas.



GARCÍA PINARGOTE DENIS FABRICIO

AUTOR

ÍNDICE

Contenido

CAPITULO PRIMERO.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	5
CERTIFICACIÓN DE LA COMISIÓN DE REVISIÓN	6
DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR	7
ÍNDICE.....	8
RESUMEN	12
SUMMARY	13
CAPITULO SEGUNDO	14
Tema	15
Planteamiento del problema	16
Descripción de la realidad problemática	16
Formulación del problema.....	17
Delimitación del problema	17
Inmersión inicial en el campo.....	18
Antecedentes.....	18
Justificación.....	20
Objetivo general	21
Objetivos específicos.....	21
Concepción del diseño de estudio	22
Hipótesis	22
Recolección de los datos	24
1. Energía Eólica	24

2.	Sistemas eólicos.....	24
3.	Aerogeneradores.....	26
4.	Convertidor electrónico de Potencia	28
5.	Almacenamiento de energía eléctrica.....	31
6.	Tecnologías de almacenamiento de energía que se utilizan en los sistemas de generación eólica	33
7.	Características de los sistemas de almacenamiento de energía	38
8.	Hueco de Tensión	44
	Reporte de los resultados.....	45
	CAPITULO TERCERO	47
	PRESUPUESTO.....	48
	CRONOGRAMA	49
	BIBLIOGRAFÍA	50
	ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 - Sistema de generación eólica aislada.....	25
Figura 2 - Sistema de generación eólica conectado a un SEP	26
Figura 3 Estructura básica de un convertidor electrónico de energía [8]	28
Figura 4 - Estructura general del convertidor GOLDWIND en la central eólica de Villonaco.....	30
Figura 5 - Sistema aerogenerador.....	31
Figura 6 - Tecnologías de baterías comparando sus capacidades	34
Figura 7 - Supercapacitor.	35
Figura 8 – Flywheels	36
Figura 9 - Esquema de sistema de almacenamiento de energía en superconductores magnéticos	37
Figura 10 - Sistemas PHES	37
Figura 11- Sistema CAES	37
Figura 12 - Campos de aplicación de las tecnologías de almacenamiento.....	40
Figura 13 - Aplicaciones de las tecnologías de almacenamiento	41
Figura 14 - Eficiencia y vida útil de las tecnologías de almacenamiento	41
Figura 15 - Costes de inversión de las tecnologías de almacenamiento.....	42
Figura 16 - Costes de inversión de las tecnologías de almacenamiento para cada ciclo de carga-descarga.	43
Figura 17 - Densidad de masa y densidad de volumen de las tecnologías de almacenamiento.	43
Figura 18 - Ejemplo de huecos de tensión establecidos en la norma UNE-EN 50160	44

Índice de Ecuaciones

Ecuación (1).....	31
Ecuación (2).....	39
Ecuación (3).....	39
Ecuación (4)	39

RESUMEN

El creciente interés en obtener energía para consumo de forma amigable con el medio ambiente, las fuentes renovables de energía (FRE) juegan un papel importante para diversificar las formas de generación. Una de las fuentes renovables de energía que se está implementando es la energía eólica.

El viento hace girar las aspas del aerogenerador y a su vez el rotor. La energía que es producida por el aerogenerador puede ser almacenada o ir directamente a la red, y es aquí en este punto donde se centra la investigación.

El trabajo investigativo que se realizó, trata sobre un sistema de almacenamiento de energía que se pretende implementar en los sistemas de energía eólica. Al ser el viento muy variable e intermitente es necesario contar con el apoyo de un sistema de almacenamiento de energía, la misma que será enviada a la red cuando el aerogenerador entre en periodos cortos de inactividad o cuando existan anomalías tales como los huecos de tensión, en este contexto aparece la necesidad de investigar sobre una unidad de almacenamiento eficiente que en los periodos donde se producen estos eventos de intermitencia esta energía almacenada sea entregada a la red dando así un servicio que cumpla los estándares de calidad.

SUMMARY

The growing interest in obtaining energy for consumption in an environmentally friendly manner, renewable energy sources (RES) play an important role in diversifying forms of generation. One of the renewable sources of energy that is being implemented is wind energy.

The wind turns the blades of the wind turbine and turn the rotor. The energy that is produced by the wind turbine can be stored or go directly to the grid, and it is here at this point that research is centered.

The research that was carried out, deals with an energy storage system that is intended to be implemented in wind energy systems. Since the wind is very variable and intermittent, it is necessary to have the support of an energy storage system, which will be sent to the grid when the wind turbine enters short periods of inactivity or when there are anomalies such as the voltage gaps, In this context it appears the need to investigate an efficient storage unit that in the periods where these intermittent events occur this stored energy will be delivered to the grid thus giving a service that meets the quality standards.

CAPITULO SEGUNDO

Cuerpo

Tema

Unidades de almacenamiento de energía para sistemas eólicos conectados a la red

Planteamiento del problema

Descripción de la realidad problemática

La energía eólica es una energía alternativa, rentable y sostenible para el ambiente y la comunidad, pero como todo sistema tiene algún defecto, más un sí está conectado a alguna red de suministro eléctrico. Los aerogeneradores pueden sufrir daños, cuando ocurre un cortocircuito o un hueco de tensión provocando que este se embale. Los aerogeneradores en sus convertidores electrónicos de potencia, constan de una unidad de frenado, que durante la perturbación esta actúa absorbiendo gran cantidad de energía transformando esta en calor y disipándose en el aire evitando así daños en el aerogenerador. Cuando el problema se presenta durante periodos largos de tiempo, el aerogenerador deja de operar, desconectándose del sistema eléctrico al que se halla conectado causando un desequilibrio en este, y es exactamente aquí donde introducir una unidad de almacenamiento de energía sería necesario, evitando la desconexión inmediata del aerogenerador, de esta manera obtener un sistema estable, eficiente y de calidad.

Formulación del problema

¿Qué sistema de acumulación de energía es el más adecuado para ayudar a entregar potencia a la red cuando en un momento dado se presente una inestabilidad en el sistema eléctrico de potencia que se encuentre conectado?

Delimitación del problema

Espacial

La estructuración de este trabajo investigativo se desarrollará en la parte del convertidor electrónico de potencia del aerogenerador sincrónico de imán permanente, precisamente entre el convertidor CC/CC (Chopper) y el convertidor CC/CA (Inversor), donde se pretende introducir una unidad de almacenamiento de energía.

Temporal

Para el desarrollo de este proyecto, se considerará en el tiempo establecido por el cronograma de actividades previamente planificado.

Inmersión inicial en el campo

Antecedentes

Una de las fuentes renovables de energías (FRE) más empleadas en los últimos años es la generación eólica. Sin embargo, el viento es una fuente intermitente, la cual complica adecuar la generación en relación a la demanda, siendo también difícil de almacenar. Pero con el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento, esta limitación cada vez va quedando en el pasado

En los últimos años se han intentado desarrollar varios métodos para poder almacenar este tipo de energía. Algunos países, incluso, están ya instalando sistemas que les permiten emplear la energía recibida del viento en aquellos momentos en los que es realmente necesaria. EE.UU., por ejemplo, ha instalado en el estado de Virginia un nuevo parque eólico con capacidad de almacenar la energía generada. Este almacenamiento se realiza a través de una batería formada por condensadores y permite regular la producción de electricidad que se vierte a la red eléctrica. De esta manera se puede adaptar la oferta de electricidad a la demanda. También China se ha unido a esta forma de almacenamiento y ha instalado en la ciudad de Zhangbei el mayor sistema de almacenamiento de energías renovables mediante baterías construido hasta ahora. En esta ocasión, la estación combina generadores de energía eólica y solar, que están conectados a un grupo de baterías donde se almacena la energía. Esta estación tiene alta capacidad de almacenamiento (36 MWh), por lo que se evita la pérdida de una gran parte de la energía generada (Gonzalez R. , 2012).

En los últimos años se están intentando desarrollar otros mecanismos de almacenamiento. Uno de los más destacables es:

- **Pilas de hidrógeno:** la pila de hidrógeno es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería, pero se diferencia en ésta en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos (hidrógeno y oxígeno) y producir electricidad. Se basa en producir hidrógeno empleando el exceso de energía eólica en las horas valle, almacenarlo y liberarlo de nuevo en las horas de mayor demanda en celdas de hidrógeno.

El desarrollo de este tipo de sistemas es fundamental para permitir adaptar las fluctuaciones de oferta y demanda mediante el almacenamiento de energías variables,

tales como la eólica o la solar. Por su parte, la energía eólica es una de las energías renovables más consolidadas, debido en gran parte a que apenas tiene repercusión en el medio ambiente y a que el viento es una fuente inagotable. Todo ello hace que los científicos aseguren que la energía eólica será la fuente energética que más se desarrolle en los próximos años, llegando incluso a suponer el 15% de la producción eléctrica europea en 2030 (Gonzalez R. , 2012).

En Ecuador, en la ciudad de Loja, se encuentra la central eléctrica “Villonaco” luego de un proceso que inició en el 2011, en el año 2015 se obtuvo una importante certificación que permite a la central contribuir al cambio de la matriz energética generando energía limpia y amigable con el medio ambiente, producida por su regular operación de forma eficiente y segura ya que utiliza simuladores y softwares de alta calidad que minimizan las fallas producidas en el sistema. Este proyecto entregará al país 1. 411 GWh/año de energía limpia, cantidad de energía que al ser generada a través de una central térmica representaría el consumo de 101 millones de galones de diésel por año y la emisión de 716 mil toneladas de CO_2 al año, equivalentes al funcionamiento de 167 mil vehículos de manera continua en un periodo anual .

Justificación

Los sistemas eléctricos de potencia (SEP) tienen por objeto ajustarse a la demanda de la red en tiempo real manteniendo los parámetros básicos (corriente, tensión, frecuencia y potencias) dentro de las tolerancias establecidas para ese servicio, ofreciendo parámetros de calidad en el mismo (esto es, en otras palabras, brindando un servicio donde la forma de onda de la corriente, la tensión y la frecuencia se mantengan dentro de límites precisos durante las 24 horas del día y los 365 días del año).

La generación eólica presenta un problema, el viento, es una fuente muy inestable, lo que complica adaptar la producción de electricidad a la demanda manteniendo los parámetros de calidad que implica un SEP. Es por esto que los sistemas de almacenamiento de energía se convierten en una opción importante y clave para aumentar la eficiencia y sustentabilidad de los sistemas energéticos ante la posibilidad de introducir de forma estratégica los parques Eólicos por sus características de poder inyectar potencia a dicha red eléctrica en diferentes períodos de tiempo (en segundos, minutos u horas) de acuerdo a las necesidades que plantea el sistema eléctrico de potencia y las características del sistema de almacenamiento.

Objetivo general

Determinar una unidad de almacenamiento de energía para ser utilizada en sistemas eólicos conectados a la red.

Objetivos específicos

- Identificar los diferentes métodos utilizadas para el almacenamiento de energía eléctrica.
- Determinar las tecnologías de almacenamiento de energía que se utilizan en los sistemas de generación eólica
- Proponer un sistema de almacenamiento de energía capaz de entregar potencia a la red de manera eficiente cuando se presente una anomalía al sistema.

Concepción del diseño de estudio

Hipótesis

La unidad de almacenamiento de energía mejorará el comportamiento de los sistemas eólicos conectados a la red aumentando la eficiencia del sistema.

Variable dependiente: Unidad de almacenamiento de energía

Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnica
La energía eléctrica puede ser generada, transportada y transformada con facilidad, sin embargo, resulta complicado almacenarla en grandes cantidades. Pero, aun siendo complicado, existen diversos métodos de almacenamiento de energía a lo largo de la cadena de suministro	Almacenamiento eléctrico	Tecnologías de almacenamiento de energía	¿Conoce usted las formas de almacenar energía que se utilizan actualmente?	Conversación con expertos sobre almacenamiento de energía.
			Consulta de temas relacionados al almacenamiento eléctrico	Referencias bibliografía, blog, artículos de revistas
Las tecnologías de almacenamiento utilizadas presentan criterios técnicos y económicos, que varían considerablemente, en función de las necesidades y aplicaciones específicas.	Características de las Unidades de almacenamiento de energía	Características de las unidades de almacenamiento de energía	¿Considera usted si es viable reemplazar la unidad frenado por una unidad de almacenamiento de energía en los sistemas eólicos para entregar potencia a la red y a su vez mitigar alguna inestabilidad en el sistema?	Conversación con expertos sobre las diferentes unidades de almacenamiento para sistemas eólicos conectados a red.
			Consulta de temas relacionados a las unidades de almacenamiento de energía	Referencias bibliografía, blog, artículos de revistas

Variable independiente: Sistemas eólicos

Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnica
La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad	Sistemas eólicos	Características de los sistemas eólicos	Consulta de temas relacionados a los sistemas eólicos	Referencias bibliografía, blog, artículos de revistas
Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento.	Aerogenerador Sincrónico	Características de los aerogeneradores sincrónicos	Consulta de temas relacionados a aerogeneradores sincrónicos	Referencias bibliografía, blog, artículos de revistas

Recolección de los datos

1. Energía Eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía del viento puede obtenerse instalando los aerogeneradores tanto en suelo firme como en el suelo marino (twenergy, s.f.).

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento a nosotros nos interesa mucho más el origen de los vientos en zonas más específicas del planeta, estos vientos son los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debidos a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra. También están los llamados vientos de montaña que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la ladera de la montaña o baje por esta dependiendo si es de noche o de día. La energía eólica es aprovechada por nosotros básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por este. La potencia del viento depende principalmente de 3 factores (EcuRed, 2014):

- Área por donde pasa el viento (rotor)
- Densidad del aire
- Velocidad del viento

Para calcular la fórmula de potencia del viento se debe considerar el flujo másico del viento que va dado por (EcuRed, 2014):

- Densidad del viento
- Área por donde pasa el viento
- Velocidad del viento.

2. Sistemas eólicos

Un sistema conversor de energía eólica se compone de dos partes principales: primero el rotor, que convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio en la flecha principal del sistema; y segundo un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación de acuerdo con el tipo de aplicación (Sinergia, 2011).

Aunque tiene varias aplicaciones, en la actualidad, la generación de electricidad mediante aerogeneradores es la aplicación más importante.

Existen dos tipos de conexión de sistemas para los sistemas eólicos, sistemas aislados y conectados a la red.

2.1. Sistemas eólicos aislados

No están conectados a la red. Requieren el uso de baterías para almacenar la energía excedente generada, y usarla cuando no exista viento. Asimismo, requieren un controlador de carga para proteger a las baterías de una sobrecarga. Las baterías de ciclo profundo, tienen la capacidad de descargarse y recargarse cientos de veces hasta en un 80% de su capacidad, lo cual las hace una buena opción para sistemas de energía renovable remotos. Las baterías automotrices no son de ciclo-profundo por lo que debe evitarse su uso en sistemas de energía renovable, debido al desgaste que sufren en el uso en ciclos profundos de carga y descarga que acortan su vida útil. Las pequeñas turbinas eólicas generan energía eléctrica en corriente continua. Si usted desea hacer uso de aplicaciones normales en corriente alterna, debe instalar un inversor para rectificar la corriente directa de las baterías a corriente alterna. Aunque este dispositivo disminuye ligeramente la eficiencia global del sistema, permite que la instalación eléctrica del hogar sea diseñada para sistemas de corriente alterna (Proyecto Energía Eólica MIEN/DNETN, 2009).

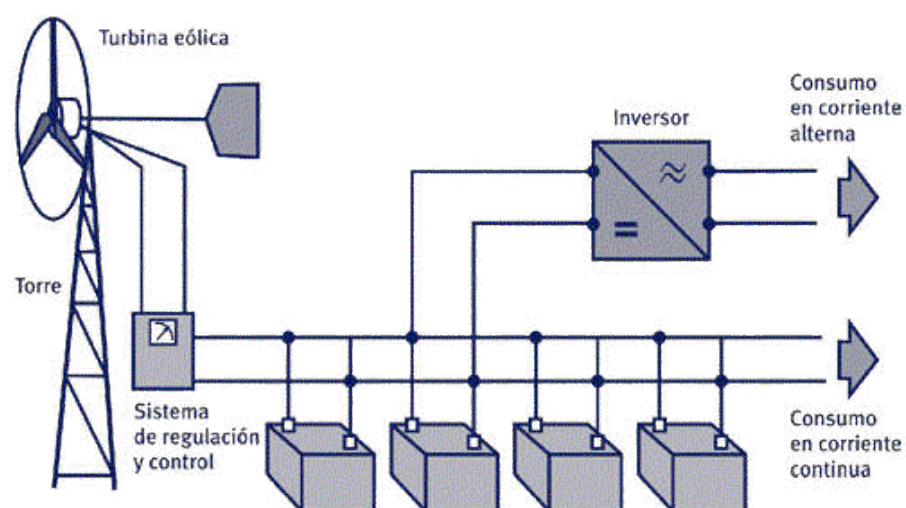


Figura 1 - Sistema de generación eólica aislada.

Fuente: (Figueredo, 2010).

2.2. Sistemas conectados a la red:

Los únicos elementos adicionales necesarios son los convertidores electrónicos de potencia, los equipos de protección y conexión a la red. Es usual que estos elementos se comercialicen como una unidad individual que los contiene. Si se habla de sistemas pequeños conectados a red, por ejemplo, en un hogar, por lo general no se requiere el uso de baterías y pueden ayudar a reducir su facturación de consumo de energía (Proyecto Energía Eólica MIEN/DNETN, 2009).

Cuando se habla de sistemas conectados a sistemas de distribución o subtransmisión la introducción de acumuladores de energía es de mucha importancia, al momento de introducir potencia a la red.

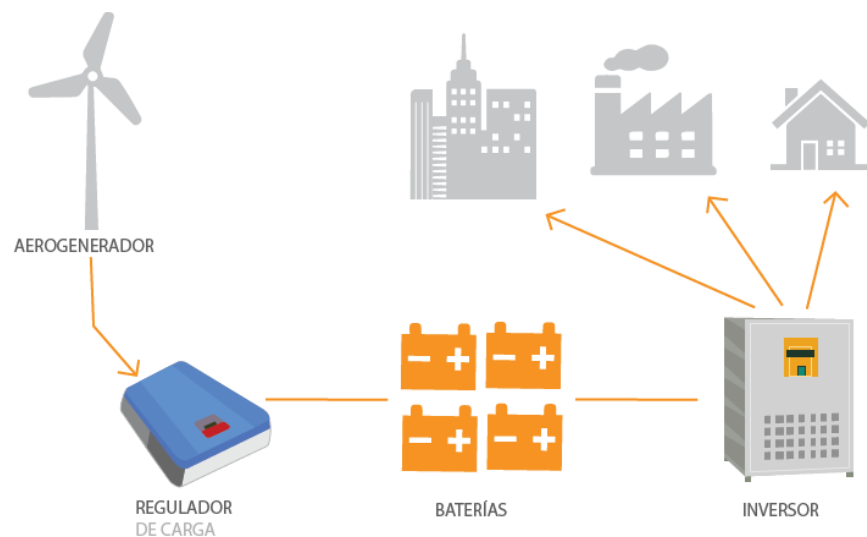


Figura 2 - Sistema de generación eólica conectado a un SEP
Fuente: (Sustentator, 2016).

3. Aerogeneradores

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento. En este caso, la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica (Wikipedia, 2016).

Los aerogeneradores pueden ser asíncronos o síncronos (mostrando especial interés al de imán permanente), entregando al sistema eléctrico voltaje y frecuencia constante.

En los aerogeneradores de potencia, el sistema de control lo constituye un microprocesador que analiza y evalúa las condiciones de operación considerando rumbo y velocidad del viento; turbulencia y rachas; temperaturas en el generador, en la caja de transmisión y en los valores de la flecha principal. Además, muestrea la presión y la temperatura de los sistemas hidráulicos de los frenos mecánicos de disco en la flecha; sus revoluciones por minuto (rpm), así como los voltajes y corrientes de salida del generador. Detecta vibraciones indebidas en el sistema, optando por las mejores condiciones para arrancar, parar, orientar el sistema al viento y enviar señales al operador de la central sobre la operación del mismo (Sinergia, 2011).

3.1. Generador de asíncrono

Es Aquel que actúa mediante flujos de corriente del estator, estos generan un campo magnético rotatorio, que al interactuar con el campo magnético rotatorio originado por las corrientes en el rotor produce par eléctrico. Estos generadores son ventajosos por su robustez y simplicidad mecánica. Sin embargo, su desventaja es que el generador necesita reactivo para su magnetización, las cuales pueden ser reemplazados por sistemas de electrónica de potencia (Ackermann, 2005).

3.2. Generador síncrono de rotor bobinado

Poseen los arrollador del estator conectados directamente a la red a través de un convertidor. Mientras que, los arrollados del rotor son excitados mediante corriente continua por medio de anillos deslizantes y escobillas o por medio de una excitatriz sin escobillas. Por esta razón no necesita ninguna compensación reactiva extra del sistema (Ackermann, 2005).

3.3. Generador síncrono de imán permanente

Poseen los arrollados del estator conectados a la red a través de un convertidor de potencia, además que son auto excitados poseen una operación a mayor factor de potencia y por ende con más eficiencia (Ackermann, 2005).

Son similares a las máquinas síncronas convencionales, pero las cuales el rotor está constituido por imanes permanentes. Al igual que las máquinas síncronas convencionales poseen un estator generalmente trifásico que produce un campo magnético rotatorio. Este campo motoriza el imán permanente en el rotor y hace girar la máquina (Menendez & Segarra, 2015).

Los aerogeneradores con rotor de imán permanente son considerados de nueva generación por lo que el estudio se centra en la parte del convertidor electrónico de potencia para este tipo de generador.

4. Convertidor electrónico de Potencia

Cuando se utilizan aerogeneradores síncronos de imán permanente para sistemas eólicos conectados a red, es indispensable el uso de un convertidor electrónico, obteniendo así una frecuencia generada similar a la de la red.

Un convertidor de energía es un sistema o equipo electrónico que tiene por objetivo la conversión de energía eléctrica entre dos formatos diferentes. Por ejemplo, obtener corriente continua a partir de corriente alterna. El concepto inicial de convertidor puede extenderse para incluir aspectos como: eficiencia, reversibilidad, grado de idealidad, fiabilidad, volumen o tecnología por citar las más importantes. En la figura 3 se muestra la estructura básica de un convertidor (Canteli, 2014).

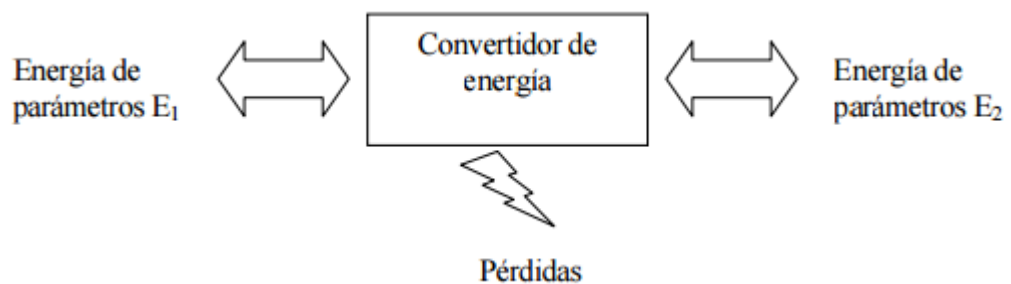


Figura 3 Estructura básica de un convertidor electrónico de energía [8]

Fuente: (Canteli, 2014)

- Convertidores CA/CC o rectificadores. Este tipo de convertidores transforman corriente alterna, monofásica o trifásica, en continua.
- Convertidores CC/CA. Este tipo de convertidores reciben también el nombre de inversores. Básicamente, realizan una conversión de corriente continua en corriente alterna, con la posibilidad de poder controlar tanto la frecuencia como el valor eficaz de la tensión o intensidad de salida, lo que les hace fundamentales

para el diseño de accionamientos basados en máquinas asíncronas y síncronas. Dado que normalmente la distribución de energía se realiza en corriente alterna, suelen ir asociados a un rectificador. Se utilizan también para acoplar al sistema eléctrico la energía generada por los generadores eólicos, que se caracterizan por un motor primario de velocidad muy variable.

- Convertidores CC/CC: Este tipo de convertidores transforman un determinado valor de corriente continua de entrada en uno distinto de salida, con la posibilidad de incluir, además, aislamiento galvánico entre entrada y salida. Desde el punto de vista del accionamiento su campo de aplicación es el mismo que el de los convertidores CA/CC, con la diferencia de que la fuente de energía no es alterna, sino continua. Su utilización se restringe a sistemas embarcados, donde la distribución de energía se realiza en corriente continua, o en algunas situaciones especiales, su utilización combinada con los rectificadores no controlados permite diseñar convertidores CA/CC con un mejor factor de potencia.
- Convertidores CA/CA. Este tipo de convertidores se utilizan ampliamente en el diseño de arrancadores suaves para reducir la intensidad demandada durante el arranque de los motores de inducción. En su estructura de control más básica, su función es modificar el valor eficaz de la tensión de entrada, conservando su frecuencia, aunque también puede conseguir una tensión de salida con una frecuencia submúltiplo de la de entrada. En este último caso reciben el nombre específico de ciclo convertidores, habiendo obtenido durante la última década un especial protagonismo en el diseño de sistemas de tracción eléctrica. (Canteli, 2014).

Entre los convertidores más usados en aerogeneradores de imán permanente tenemos: los de alterna-alterna, con etapa intermedia de corriente continua (CA-CC-CA), y los convertidores constituidos por dos puentes de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Cada uno de estos puentes constituye un convertidos CC/CA unidos entre sí por una etapa de corriente continua (Hanssem, y otros, 2001)

El puente del lado generador funciona como rectificador, convirtiendo la tensión alterna producida por el generador en continua, cuya frecuencia dependerá de la velocidad de giro del aerogenerador. El puente utilizado en el lado de la red funciona como inversor

transformado la tensión continua estilizada en la etapa de continua-continua en tensión alterna con frecuencia de la red (Chinchilla Sanchez, 2001)

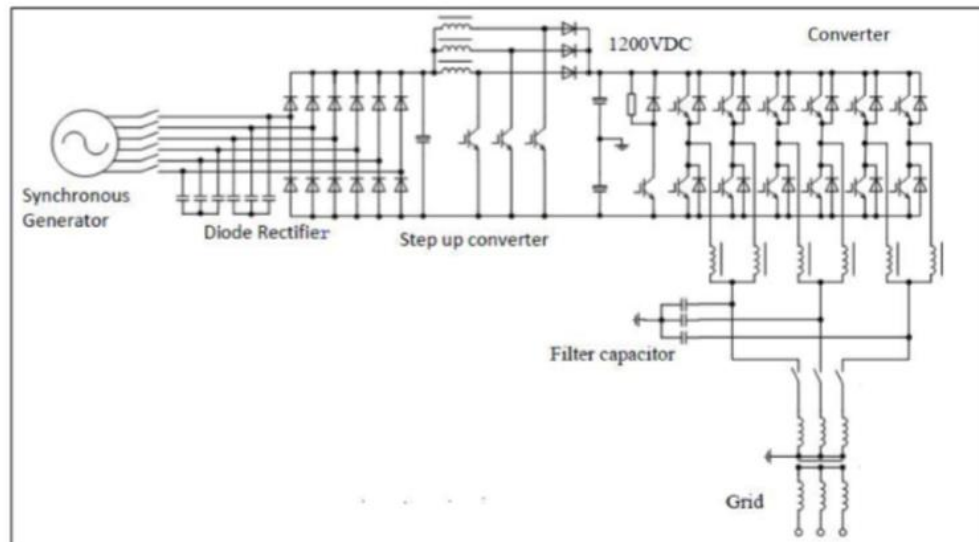


Figura 4 - Estructura general del convertidor GOLDWIND en la central eólica de Villonaco

4.1. Unidades de frenado

El giro descontrolado en los aerogeneradores establecidos por encima de sus límites de funcionamiento, puede poner en peligro la seguridad de las personas y bienes situados en las cercanías del aerogenerador, así como la electrónica asociada al aerogenerador. Debido a esto, el correcto dimensionamiento del sistema de frenado y su estrategia de control es uno de los aspectos más importantes a evaluar para realizar una instalación segura

Tradicionalmente el rectificador AC/DC aparece integrado en un interfaz que se instala entre el aerogenerador y el inversor. Estos interfaces suelen incorporar protecciones del inversor mediante resistencias de frenado, que se colocan en paralelo en la salida del rectificador, que disipan mediante calor los excesos de potencia generados (Ingeteam, 2016).

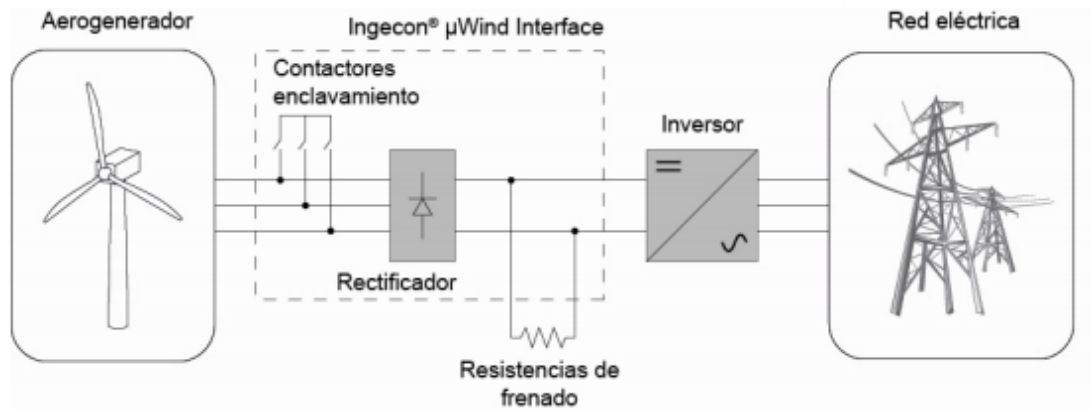


Figura 5 - Sistema aerogenerador

Fuente: (Ingeteam, 2016)

El valor de esta resistencia debe ser muy bajo, es decir, la potencia a disipar es mayor que la potencia nominal que la del generador. Esto se muestra en la ecuación (1):

$$P_R = \frac{V^2}{R}$$

Ecuación (1)

P_R = Potencia disipada por la resistencia

V = Tensión Rectificada

R = Resistencia de frenado

Suponiendo que se tiene un generador de 1,5 MW, la potencia que debe soportar esta resistencia debe ser superior a esto. Entonces se pierde una gran cantidad de energía que puede ser reutilizada, y es aquí la importancia de suplantar este sistema por una de almacenamiento de energía con las condiciones de soportar una potencia superior a la del generador.

5. Almacenamiento de energía eléctrica

La mejora de la eficiencia del sistema eléctrico a través del aplanamiento de la curva de demanda y la integración de renovables son dos aplicaciones esenciales del almacenamiento de energía.

Por ello, fomentar el aumento de la capacidad de almacenamiento energético, como herramienta al servicio de la operación del sistema, aunque sin olvidar otras futuras tecnologías, posibilitará una mayor integración de renovables, evitando vertidos indeseados de energía limpia, y al mismo tiempo aportará más seguridad al sistema eléctrico.

La energía eléctrica puede ser generada, transportada y transformada con facilidad, sin embargo, resulta complicado almacenarla en grandes cantidades. Pero, aun siendo complicado, existen diversos métodos de almacenamiento de energía a lo largo de la cadena de suministro.

Las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía se convertirán en elementos fundamentales de los sistemas eléctricos del futuro, de tal forma que el almacenamiento eléctrico puede aportar valor en todos y cada uno de los eslabones de la cadena de suministro de electricidad. Red Eléctrica, consciente de ello, apuesta por la incorporación de estos sistemas de almacenamiento de energía, con el objetivo final de maximizar la integración de renovables y dotar de una mayor eficiencia y seguridad al conjunto del sistema eléctrico (Red Eléctrica de España , 2015).

5.1. Formas almacenamiento eléctrico

Las leyes de la física nos han enseñado que la energía eléctrica solo se puede almacenar convirtiéndola en otro tipo de energía, bien sea mecánica, química o electromagnética. Estos tres caminos nos permiten clasificar en grupos las distintas tecnologías de almacenamiento que se han ido desarrollando a lo largo de los ya cerca de 150 años que tiene de vida la industria eléctrica (Beltran San Segundo, 2014).

5.1.1. Sistema de almacenamiento mecánico:

Entre ellos destacan:

- Los sistemas de bombeo de agua, PHES por sus siglas en inglés (Pumped Hydroelectric Energy Storage), en los que se eleva agua por bombeo a depósitos en altura durante unas horas al día, horas valle, y se turbinan esa agua durante otras horas, pico.
- Los sistemas de compresión de aire, CAES por sus siglas en inglés (Compressed Air Energy Storage), con un funcionamiento similar al anterior, pero manejando aire comprimido en lugar de agua e inyectándolo bien en recipientes a presión bien en cavernas subterráneas.
- Los volantes de inercia, FES por sus siglas en inglés (Flywheel Storage System) que almacenan la energía provocando el giro a velocidades muy elevadas de una masa rodante (Beltran San Segundo, 2014).

5.1.2. Sistemas de almacenamiento químico:

Comprenden principalmente las tecnologías asociadas al hidrógeno, como vector energético fundamental, así como las distintas familias de baterías entre las que se pueden destacar: las baterías basadas en plomo, las baterías basadas en níquel, las baterías basadas en litio, las baterías de sulfuro de sodio, las baterías metal-aire, o las baterías de flujo cuyas distintas variantes están siendo muy investigadas en los últimos años (Beltran San Segundo, 2014).

5.1.3. Sistemas de almacenamiento electromagnético

- El almacenamiento de energía magnética por superconducción, SMES por sus siglas en inglés (Superconducting Magnetic Energy Storage) que como su nombre indica se basa en la generación de campos magnéticos para almacenar la energía.
- Los supercondensadores, SC, que utilizan en este caso los campos eléctricos como medio de almacenar energía (Beltran San Segundo, 2014).

6. Tecnologías de almacenamiento de energía que se utilizan en los sistemas de generación eólica

Las técnicas de almacenamiento de energía para sistemas eólicos pueden ser clasificadas en función de diferentes criterios:

- Del tipo de aplicación: permanente o portable.
- Duración del almacenamiento: cortos o largos periodos.
- La potencia máxima demandada.

Por tanto, es necesario analizar las características fundamentales de los sistemas de almacenamiento con el objeto de establecer criterios para seleccionar la mejor tecnología (Ramirez Velasco, 2011).

El almacenamiento de energía eléctrica para sistemas eólicos varia el uso de tecnologías tales como diferentes tipos de baterías, supercondensadores, volantes especiales que se basan en propiedades mecánicas para almacenar la energía, y los sistemas de almacenamiento magnético de energía en superconductores (SMES).

6.1. Baterías

Entre los tipos de baterías existen de Plomo-Ácido, NaS, Ni-Cd, Ni-Mh, Li-ión y otras varias. Entre ellas, las baterías de plomo han sido las más desarrolladas y utilizadas en sistemas de potencia. El resto de baterías están siendo utilizadas en aplicaciones donde las restricciones de tamaño y peso son críticas. Las baterías de ion litio son las que mayores ventajas presentan, en cuanto a densidades de energía y potencia específica, eficiencia en el almacenamiento, mayor rendimiento en la descarga, ausencia de efecto memoria, pero por contra, dichos dispositivos son caros, y aunque prometen en un futuro próximo, su tecnología aún le queda por madurar.

Las baterías más utilizadas en sistemas de almacenamiento de energía de fuentes de energía renovables (solar) son las baterías estacionarias. Son baterías de plomo-ácido de bajo contenido de antimonio. Éstas poseen unos 2000 ciclos de vida cuando la profundidad de descarga es de un 20% (es decir que la batería estará con un 80% de su carga) y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de descarga es del 50%. Estas baterías tienen un autodescarga menor del 3% y una eficiencia del 75%. Pueden soportar descargas del 80% y tener una vida de unos 15 años. Son utilizadas en instalaciones de grandes potencias. (Gil Mera).

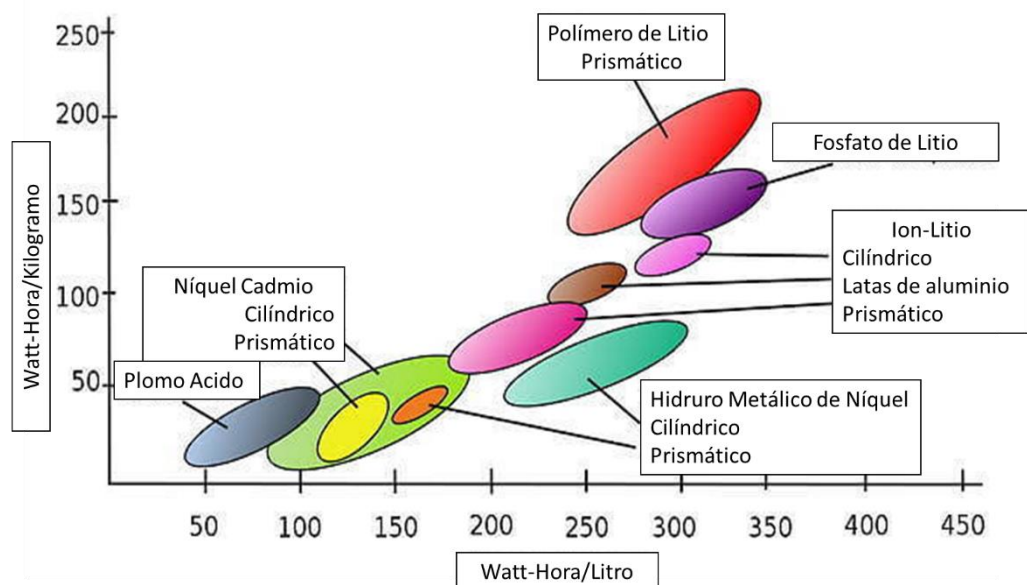


Figura 6 - Tecnologías de baterías comparando sus capacidades
Fuente: (Delta Volt SAC, s.f.)

6.2. Supercondensadores

Son dispositivos que tienen un principio de operación similar a un condensador tradicional. Sin embargo, su capacidad y corriente de descarga es mucho más alta y por ello, los supercapacitores se utilizan como unidades de almacenamiento en sistemas de potencia. La diferencia principal con respecto a los condensadores convencionales reside, por una parte, en que almacenan la energía en la interface entre un electrodo conductor poroso y un electrolito líquido iónico conductor y, por otra parte, que la superficie aumenta mucho debido a la muy elevada porosidad del electrodo.

Para la mayoría de estudios y aplicaciones, los supercapacitores se representan mediante un circuito eléctrico equivalente. (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).



Figura 7 - Supercapacitor.
Fuente: (SAE International, s.f.)

6.3. Volantes de inercia (flywheel energy storage, fes)

Este tipo de sistema transforma la energía eléctrica a cinética, esto a través de un motor eléctrico que mueve un pesado disco rotatorio o masa rotante. Para extraer la energía, los papeles se invierten y la masa rotante empieza a desacelerar entregando la energía que mueve a la máquina eléctrica que ahora actúa como un generador eléctrico.

Este tipo de almacenamiento se caracteriza por ser capaz de entregar de manera muy rápida una gran cantidad de potencia útil en regulación de frecuencia, y además tiene

un nulo impacto ambiental. Sin embargo, su densidad de energía es muy baja no siendo capaz de almacenar grandes cantidades de energía (Aguirre & Lolas, 2013).



Figura 8 – Flywheels
Fuente: (Aguirre & Lolas, 2013)

6.4. El almacenamiento de energía magnética por superconducción (SMES)

Las unidades de almacenamiento de energía magnética por superconducción (SMES) almacenan energía de la misma forma que lo haría un inductor convencional. Ambos, almacenan energía en el campo magnético creado por las corrientes que fluyen a través de un alambre bobinado. La principal diferencia radica en que, en el SMES, una corriente directa fluye a través de un alambre superconductor; esto significa que el alambre se encuentra a temperaturas criogénicas y no muestra resistencia conductiva alguna.

El hecho que no exista resistencia óhmica en el alambre implica que no hay disipación térmica, por consiguiente, la energía puede almacenarse en el SMES virtualmente por tiempo indefinido hasta que sea requerida. Dado que la energía es almacenada como corriente circulatoria, puede extraerse de las unidades SMES con una respuesta casi instantánea siendo entregada o almacenada en periodos que varían de fracciones de segundos a algunas horas. Una unidad típica de almacenamiento de energía por superconducción consta principalmente de: la bobina superconductora, el sistema de refrigeración y la interfaz eléctrica (Gonzalez, 2016).

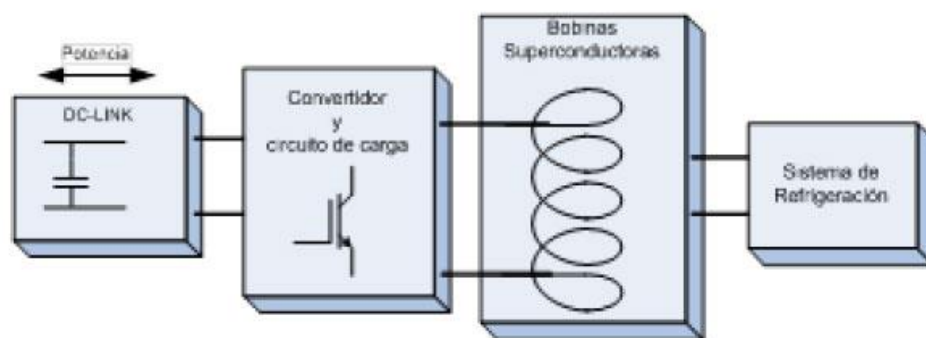


Figura 9 - Esquema de sistema de almacenamiento de energía en superconductores magnéticos
Fuente: (Guacaneme & Velasco, 2014)

Para almacenar la energía durante periodos más largos, se puede recurrir a bombear agua hacia un tanque elevado, que se usa posteriormente para impulsar un generador hidroeléctrico. También son buenas opciones usar sistemas de aire comprimido o valerse de células de combustible de hidrógeno (SoloCiencia).

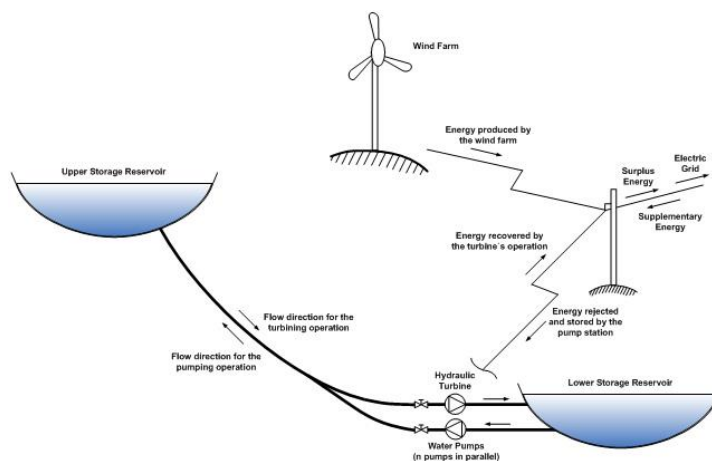


Figura 10 - Sistemas PHES
Fuente: (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Eguía, 2011)

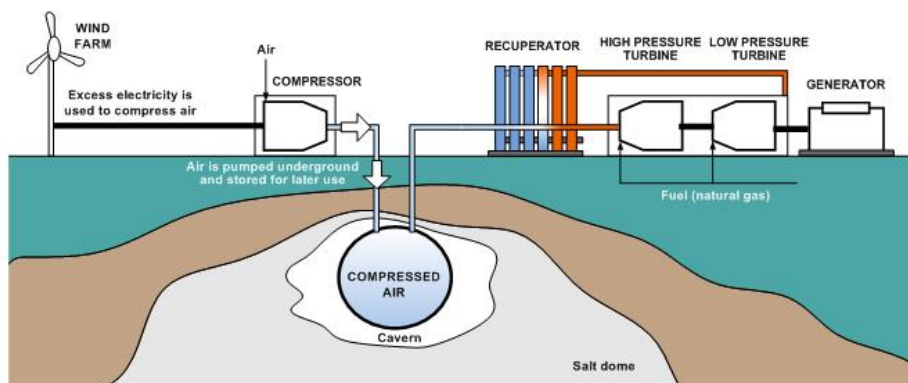


Figura 11- Sistema CAES
Fuente: (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Eguía, 2011)

7. Características de los sistemas de almacenamiento de energía

Las tecnologías de almacenamiento utilizadas presentan criterios técnicos y económicos, que varían considerablemente, en función de las necesidades y aplicaciones específicas. Estas tecnologías se pueden dividir en cuatro categorías, en función de las aplicaciones (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011):

- 1) Aplicaciones de baja potencia en áreas aisladas, esencialmente, para alimentar transductores y terminales de emergencia.
- 2) Aplicaciones de media potencia en áreas aisladas, sistemas eléctricos individuales y suministro eléctrico a ciudades.
- 3) Aplicación de conexión de red con nivelación de picos
- 4) Aplicaciones de control de potencia – calidad

Las dos primeras categorías son idóneas para sistemas de pequeña escala, donde la energía podría ser almacenada en forma de energía cinética, energía química, aire comprimido, hidrógeno, supercondensadores y superconductores. Las categorías tercera y cuarta son idóneas para sistemas a gran escala, donde la energía podría ser almacenada como energía gravitacional en sistemas hidráulicos, energía térmica en forma de calor latente y sensible, energía química en acumuladores y baterías, o aire comprimido (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

En relación a la *capacidad de almacenamiento* de las distintas tecnologías, se define como la cantidad de energía disponible en el sistema de almacenamiento después de completar el ciclo de carga. La descarga es con frecuencia incompleta y por esta razón, se define en base a la energía totalmente almacenada, W_{st} (Wh), que es superior a la energía útil en un punto determinado de operación, W_{ut} (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

Respecto a la *energía disponible*, en algunas de las tecnologías de almacenamiento, viene determinada por la constitución y dimensiones del sistema generador-motor utilizado en la cadena de conversión de la energía almacenada. La potencia disponible, generalmente, se expresa como un valor medio y, frecuentemente, para representar la potencia máxima de carga o de descarga, se utiliza un valor de pico, P_{max} (W) (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

Por otra parte, la energía suministrada en la descarga de las distintas tecnologías, o profundidad de la descarga, es la proporción de energía descargada en relación a la

cantidad de energía que puede almacenar y se suele indicar en porcentaje. Esta energía debe estar disponible para el suministro durante las horas pico (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

Respecto al *tiempo de descarga*, su duración desde la máxima potencia viene determinada por la expresión (2) (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011),

$$\tau(s) = \frac{W_s}{P_{max}}$$

Ecuación (2)

donde:

$\tau(s)$: Tiempo de descarga, en s

W_{st} : Energía total almacenada, en Wh

P_{max} : Potencia máxima o de pico, en W

Para evaluar la *eficiencia* de las tecnologías de almacenamiento se utiliza la proporción entre la energía liberada y la energía almacenada y su valor se obtiene mediante la expresión (3) (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011),

$$\eta = \frac{W_{ut}}{W_{st}}$$

Ecuación (3)

donde:

η : Eficiencia de la tecnología de almacenamiento

W_{ut} : Energía útil o recuperable para un punto determinado de operación, en Wh.

La *durabilidad* de estas tecnologías de almacenamiento viene dada por el número de veces que la unidad de almacenamiento puede liberar energía desde el nivel para el cual se había diseñado, después de cada recarga. Se expresa como el máximo número de ciclos, N , correspondiendo cada ciclo a una carga y a una descarga (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

La *autonomía* de estas tecnologías se refiere al tiempo máximo que el sistema puede liberar energía de forma continua. Se define mediante la ecuación (4) (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011):

$$\alpha = \frac{W_{ut}}{P_d}$$

Ecuación (4)

donde:

α : Autonomía, en s

P_d : Potencia máxima de descarga, en W

7.1. Comparaciones de tecnologías de almacenamiento de energía

A continuación, se muestra un conjunto de gráficos, que permiten observar las propiedades más relevantes de las distintas tecnologías de almacenamiento de energía.

Para ser altamente eficiente, una tecnología de almacenamiento necesita ser adaptada para cada tipo de aplicación. Además, debe considerarse el tipo de producción en origen de la energía eléctrica, mediante recursos renovables o fósiles. En la Figura 12 se indican los campos de aplicación de las diferentes tecnologías de almacenamiento de energía, atendiendo a la energía almacenada y la potencia de salida (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Eguía, 2011).

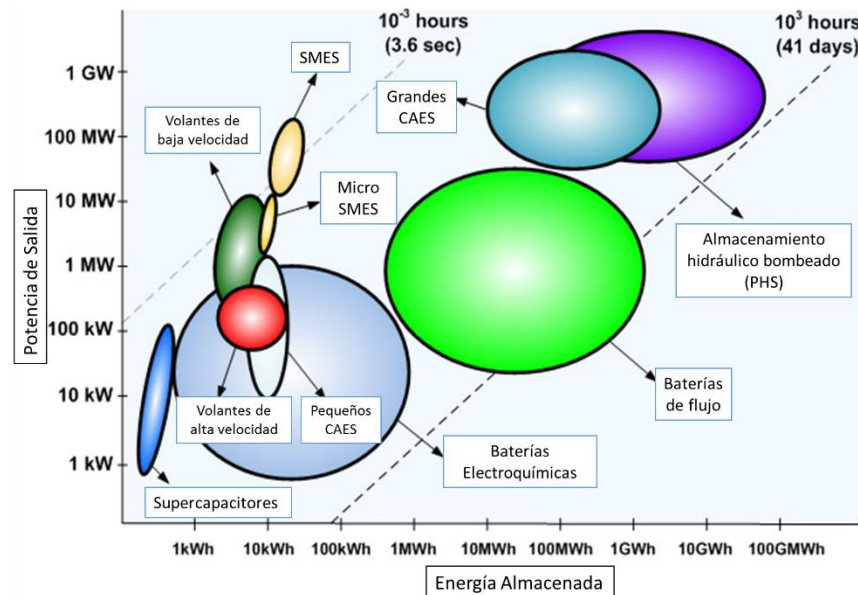


Figura 12 - Campos de aplicación de las tecnologías de almacenamiento

Fuente: (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Eguía, 2011)

En la Figura 13 se indican las tecnologías de almacenamiento más adecuadas para las tres categorías operacionales más destacadas: Calidad de energía, potencia de puente y gestión de la energía (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Eguía, 2011).

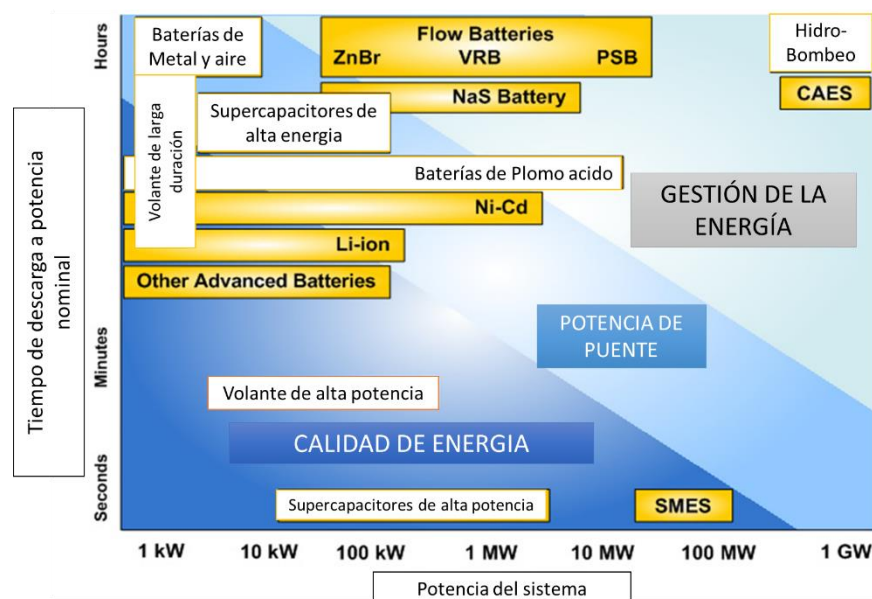


Figura 13 - Aplicaciones de las tecnologías de almacenamiento

Fuente: (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011)

La eficiencia energética y las expectativas de duración, es decir, el máximo número de ciclos, constituyen dos parámetros importantes a considerar, entre otros, para optar por las distintas tecnologías de almacenamiento, puesto que afectan a los costes globales de almacenamiento. En la Figura 14 se indican las características de las distintas tecnologías de almacenamiento en relación a la eficiencia y el tiempo de vida (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

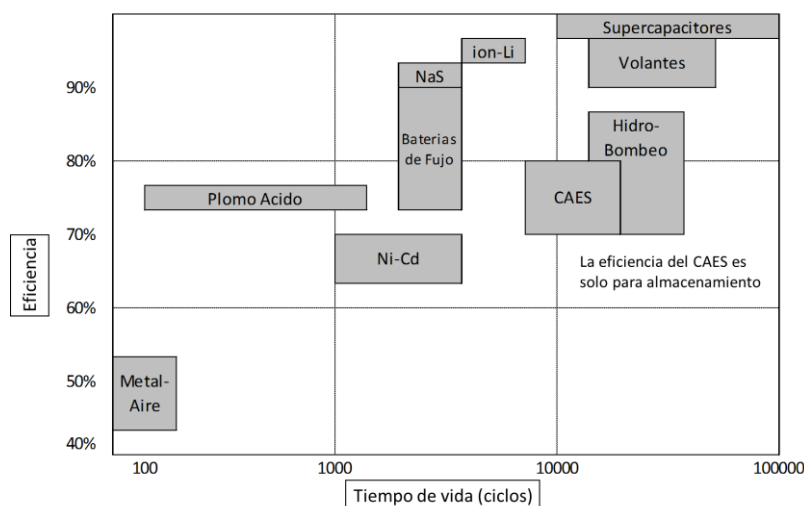


Figura 14 - Eficiencia y vida útil de las tecnologías de almacenamiento

Fuente: (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

El análisis de los costes asociados a cada tipo de almacenamiento es un parámetro económico importante, y a efectos al coste total de la producción de energía. En la Figura 15 se indican los costes de inversión de las distintas tecnologías de almacenamiento de energía por unidad de potencia o unidad de energía (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

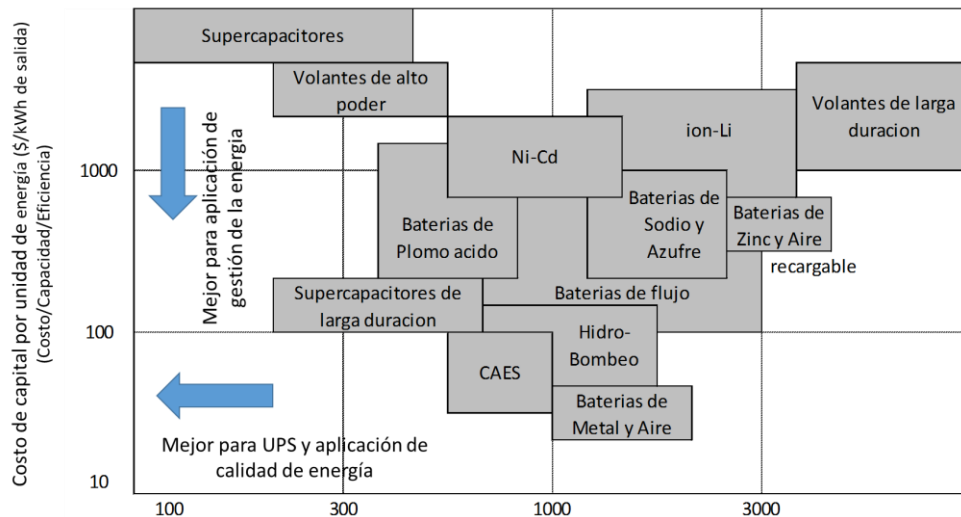


Figura 15 - Costes de inversión de las tecnologías de almacenamiento

Fuente: (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011)

El coste por ciclo podría ser el mejor camino para evaluar el coste de un sistema de almacenamiento diseñado para aplicaciones con frecuentes cargas y descargas. La Figura 16 muestra el coste de las distintas tecnologías, teniendo en cuenta la durabilidad y la eficiencia de las mismas (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

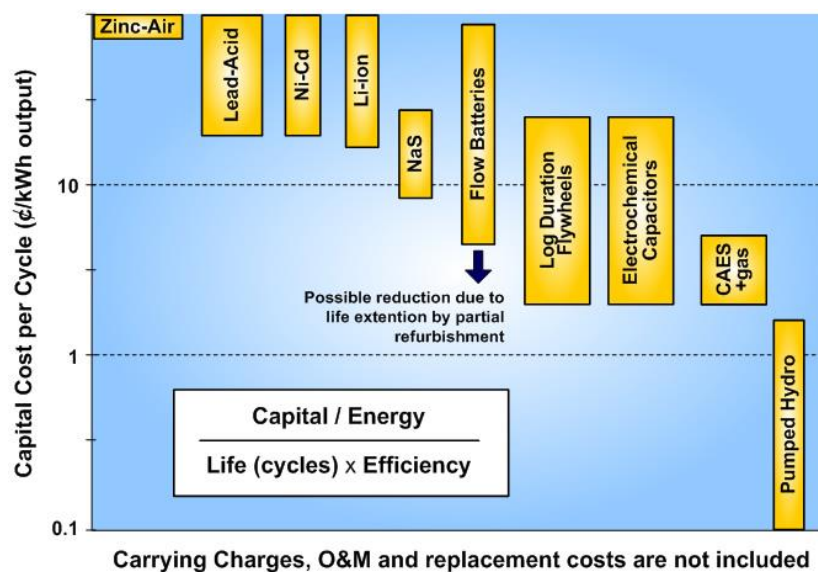


Figura 16 - Costes de inversión de las tecnologías de almacenamiento para cada ciclo de carga-descarga.

Fuente (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011)

Las diferentes tecnologías de almacenamiento pueden ser clasificadas en función de la disponibilidad de energía y potencia máxima por densidad de volumen o por densidad de masa. Esta comparativa es particularmente importante para la transmisión de energía, aplicaciones portátiles y zonas aisladas. En la Figura 17 se muestran las distintas tecnologías de almacenamiento en función de la densidad de masa y densidad de volumen (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011).

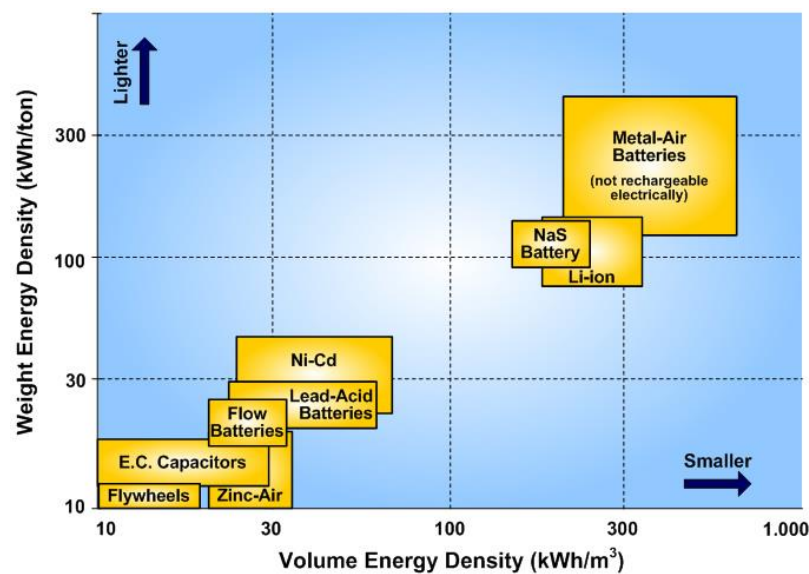


Figura 17 - Densidad de masa y densidad de volumen de las tecnologías de almacenamiento.

Fuente: (San Martin, Zamora, San Martin, Aperribay, & Eguia, 2011)

8. Hueco de Tensión

Según la norma UNE-EN 50160, “un hueco de tensión es una disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión declarada, seguida de un restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio un hueco dura entre 10 ms a 1 min. La profundidad de un hueco de tensión es definida como la diferencia entre la tensión eficaz mínima durante el hueco de tensión y la tensión declarada. Las variaciones de tensión que no reducen la tensión de alimentación a un valor inferior al 90% de la tensión declarada no son consideradas como huecos de tensión”

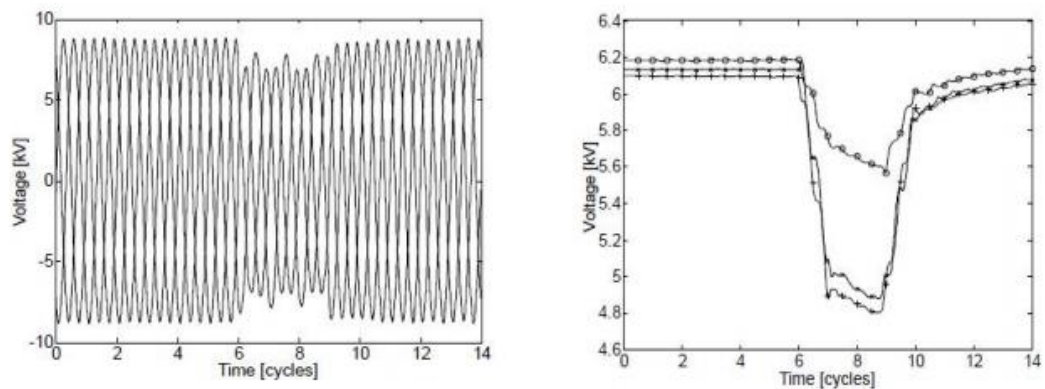


Figura 18 - Ejemplo de huecos de tensión establecidos en la norma UNE-EN 50160

Reporte de los resultados

Este proyecto es netamente investigativo-bibliográfico, que supone la implementación de un sistema de almacenamiento de energía para sistemas eólicos conectados a red como solución para aprovechar la energía disipada por calor cuando actúan las unidades de frenado ante un hueco de tensión, es decir, reemplazar esto y enviar esa energía a la red para cubrir dicho hueco.

Mediante visitas técnicas al parque eólico “Villonaco” y conversaciones con diferentes ingenieros conocedores de fuentes renovables, especialmente sistemas eólicos, se llegó a la conclusión que es un tema viable que a futuro puede ser desarrollado, aprovechando así al máximo este tipo de energía.

La variedad tecnológica y formas de almacenar energía tal como se observa es muy amplia. La selección de un sistema de almacenamiento de energía adecuado como sustitución de las unidades de frenado, requerirá de un estudio minucioso, tanto económicamente y técnicamente. Al ser un sistema inexistente, no existen antecedentes como tal, pero existen antecedentes de sistemas de acumulación de energía usados en parques eólicos, en su mayoría pequeñas generadoras, como medio para cubrir las horas valle y en los sistemas aislados.

Estudiando las características y condiciones que presenta cada tecnología de almacenamiento, podemos suponer que sistema o sistemas podrían intervenir en el objetivo de esta investigación.

Al pretender de un sistema que suplante unidades de frenado para cubrir los huecos de tensión y ser utilizado en sistemas de potencia, este sistema deberá soportar grandes cantidades de potencia, con una respuesta rápida cuando se requiera su uso y que soporte muchos ciclos de cargas y descargas (vida útil). Tomando como antecedente la central eólica Villonaco, donde cada generador es de 1,65 MW, si analizamos la figura 13, para potencias superiores a 1 MW tendríamos supercapacitores, SMES, Baterías de Ni-Cd, baterías plomo acido, CAES, entre otros, pero si nos fijamos en los sistemas que sea para su aplicación en este caso calidad de energía y con una reacción rápida para la descarga, solo tenemos dos tecnologías, Supercapacitores y SMES.

En la figura 14, los dispositivos con mayor eficiencia y vida útil tenemos a los supercapacitores y los volantes de inercia, pero así mismo estos demandan un mayor costo

como se observa en la figura 15, y en la misma figura nos indica que para aplicaciones de calidad de energía los supercapacitores son los mejores.

Repasando la investigación, para las características presentadas, se puede llegar a la conclusión que tecnológicamente los supercapacitores son los más idóneos, pero estos presentan una desventaja ya que económicamente su inversión es alta.

Si tomamos en cuenta el factor económico las baterías de plomo ácido, Níquel-Cadmio entre otros tipos de baterías o volantes de inercia serían más factibles dentro del ámbito de calidad de energía, pero estas no cumplen otras condiciones requeridas, estos sistemas si bien son económicos, su vida útil, capacidad, velocidad de descarga y eficiencia son muy inferiores a los supercapacitores, e incluso los volantes de inercia siendo tan eficientes y duraderos como los supercapacitores su aplicación no es para mucha potencia, entonces estas tecnologías serían factibles en sistemas de baja potencia o sistemas aislados.

Aunque son tecnologías de una alta inversión económica, los supercapacitores siguen siendo la mejor opción.

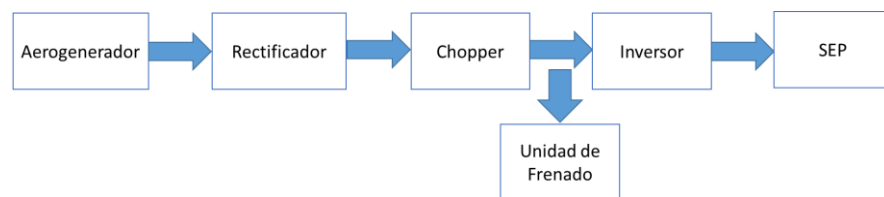


Diagrama de bloques del circuito original.

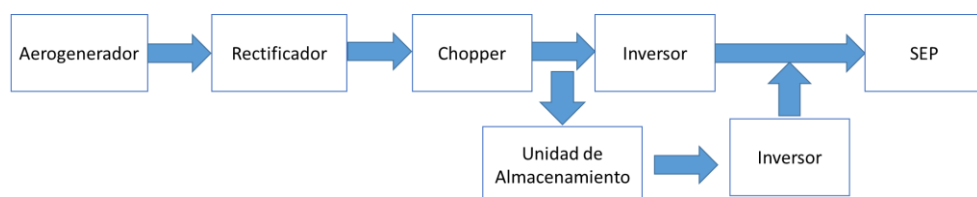


Diagrama de bloques del circuito propuesto.

CAPITULO TERCERO

Referencial

PRESUPUESTO

La investigación tuvo un costo total de \$250,00, los mismo que fueron financiados en su totalidad por el investigador, quedando los valores distribuidos de la siguiente forma:

Rubros	Valores
Elaboración y entrega del anteproyecto	\$ 20,00
Impresiones	\$ 20,00
Internet	\$ 20,00
Transporte	\$ 20,00
Visita Técnica a la Central Eólica Villonaco	\$ 150,00
Varios	\$ 20,00
Total	\$ 250,00

CRONOGRAMA

Tiempo Actividades	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recopilación de información	x									
Aplicación de las técnicas		x								
Entrevistas y análisis de datos			x							
Tema y planteamiento de problema				x						
Desarrollo del marco teórico					x					
Visualización del alcance de estudio						x				
Elaboración de hipótesis y definiciones de variables							x			
Desarrollo y diseño de la investigación								x		
Definición y selección de la muestra y recolección y análisis de datos									x	
Reporte de los resultados										x

BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems*. Estocolmo, Suecia: Royal Institute of Technology.
- Aguirre, S., & Lolas, G. (2013). *ELECTRIC POWER SYSTEMS - PROF. HUGH RUDNICK*. Obtenido de IMPACTO TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO BESS EN DESPACHO CENTRALES ERNC: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno15/bess/tecnologia.html>
- Beltran San Segundo, H. (2014). *f2e*. Obtenido de Fundacion para la eficiencia energetica: <http://www.f2e.es/es/tecnologias-de-almacenamiento-de-energia-el-futuro-de-la-eficiencia-energetica>
- Canteli, M. M. (2014). *Regulacion, control y proteccion de maquinas electricas. Convertidores de potencia*. Cantabria, España.
- Chinchilla Sanchez, M. (2001). *Control de un sistema de generación eólica de velocidad variable con generador sincrónico multipolar de imanes permanentes acoplado a red*. Leganés, España.
- Delta Volt SAC. (s.f.). Obtenido de Delta Volt: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>
- EcuRed. (2014). Obtenido de https://www.ecured.cu/Generaci%C3%B3n_e%C3%B3lica
- Figueredo, C. M. (2010). *CubaSolar*. Obtenido de RedSolar: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia52/HTML/articulo03.htm>
- Gil Mera, I. (s.f.). *Diseño de un sistema híbrido basado en baterías y supercondensadores para su integración en microrredes eléctricas. Sistema de almacenamiento híbrido*. Sevilla, España.
- Gonzalez, G. (2016). *Almacenamiento de energía magnética por superconducción. Revistas academicas UTP*, 4.
- Guacaneme, J., & Velasco, D. T. (2014). *Información tecnológica. REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA APLICACIONES EN MICRO REDES*. Bogota, Colombia.
- Hansem, L., Helle, L., Blaabjerg, F., Ritchie, E., Munk-Nielsen, S., Binder, H., . . . Bak-Jensen, B. (Diciembre de 2001). *Conceptual survey of Generators and Power Electronics for Wind Turbines*. Roskilde, Dinamarca: Riso National Laboratory.

Ingeteam. (2016). *Ingecom*. Obtenido de Ingeteam: http://www.ingeconsuntraining.info/wp-content/uploads/2012/06/Sistemas_de_frenado_en_aerogeneradores_residenciales.pdf

Menendez, C., & Segarra, J. (Marzo de 2015). Modelacion de un aerogenerador de iman permanente y su contralador. Cuenca, Azuay, Ecuador: Memoria tecnica para optar al titulo de Ingeneniero Electrico de la Universidad Politecnica Salesiana.

Proyecto Energia Eolica MIEN/DNETN. (2009). Obtenido de <http://www.energiaeolica.gub.uy/index.php?page=generalidades>

Ramirez Velasco, M. (2011). Almacenamiento de energía en infraestructuras eólicas para la optimización del sistema eléctrico. *Tecnica Industrial*.

Red Eléctrica de España . (2015). Obtenido de Red Eléctrica de España : <http://www.ree.es/es/red21/almacenamiento-energetico>

SAE International. (s.f.). Obtenido de <http://www.sae.org/automag/technewsletter/080212Powertrain/09.htm>

San Martin, J. I., Zamora, I., San Martin, J., Aperribay, V., & Eguia, P. (2011). Energy Storage Technologies for Electric Applications. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, (pág. 6). Las Palmas de Gran Canaria, España.

Sinergia. (2011). Obtenido de http://www.sinergiasoluciones.com.mx/ES/AplicacionesYAsesoríaTécnica/Tipos%20de%20proyectos_2/Sistemas%20e%20C3%B3licos.pdf

SoloCiencia. (s.f.). Obtenido de [www.solociencia.com: http://www.solociencia.com/ingenieria/09010406.htm](http://www.solociencia.com/ingenieria/09010406.htm)

Sustentator. (2016). Obtenido de www.sustentator.com

twenergy. (s.f.). Obtenido de [twenergy.com: https://twenergy.com/energia/energia-eolica](https://twenergy.com/energia/energia-eolica)

Wikipedia. (2016). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>

ANEXOS

Anexo 1. Instalaciones del parque eólico “Villonaco”



Anexo 2. Parque eólico Villonaco



Anexo 3. Aerogeneradores en Funcionamiento



Anexo 4. Datos del Proyecto Eólico “Villonaco”

PROYECTO EN CIFRAS	
Localización del Proyecto:	Loja, Ecuador
Potencia Total:	16.5 MW
Inicio de operación comercial:	2012
Aerogeneradores:	11 x GW 70/1500 IEC IA / S
Altura de buje:	65 m
Velocidad de viento promedio:	12.4 m/s
Producción garantizada de energía anual:	59.57 GWh/año
Factor de planta:	41.6%
Conexión a la red:	Subestación Loja (69 kV)
Tipo de tecnología:	Direct Drive
Tamaño de pala:	35 m
Tipo de generador:	Imanes permanentes
Control de potencia de salida:	Pitch control

Anexo 5. Charla técnica de un Ingeniero de la central eólica “Villonaco”



Anexo 6. Revisión de avance con Tutor y Revisora

