

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 frenado para aerogeneradores sincrónicos y su incidencia
en el fortalecimiento de los sistemas eólicos”**

Autor:
Vera Cevallos Luis Carlos

Tutor:
Ing. Julio Cesar Hernández Chilan

Revisora:
PhD. Yolanda Llosas Albuerne

Portoviejo 2017

CAPITULO PRIMERO

Preliminar

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud y por estar conmigo en cada paso que doy, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre y padre, quienes me dieron la vida, y desde pequeño fueron un ejemplo a seguir, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante brindada en todo este tiempo de mi vida y más que nada por el inmenso amor que me han brindado, todo esto se los debo a ustedes. Los amo.

A mi hermana, por ser un ejemplo de hermana mayor, además por estar conmigo y apoyarme en todo momento.

A mi novia, por el apoyo incondicional que me ha brindado en todo momento con su cariño, amor y ser una motivación más para culminar mis estudios.

A todos aquellos familiares y amigos que confiaron en mí para que este meta se vuelva realidad.

Vera Cevallos Luis Carlos

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Técnica de Manabí, por haberme permitido forjarme en ella, a las autoridades y a todo el personal docente de la carrera de Ingeniería Eléctrica ya que ellos me enseñaron valorar los estudios y a superarme cada día.

Agradecido con el Ing. Julio Hernández Chilan, sus conocimientos, sus orientaciones, su paciencia, su apoyo y su motivación han sido fundamentales para mi formación y cumplir una meta más en mi vida.

Mi gratitud a la Dr. Yolanda Llosas Albuerne, quien con su motivación, persistencia, conocimientos y ayuda incondicional me supo guiar para alcanzar la meta propuesta, bajo su coordinación y orientación.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

Vera Cevallos Luis Carlos

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe el presente señor **Ing. Julio Cesar Hernández Chilan Mg.sc**, docente de la Universidad Técnica de Manabí de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas; en calidad de tutor del trabajo de titulación **“UNIDADES DE FRENADOS PARA AEROGENERADORES SINCRONICOS Y SU INCIDENCIA EN EL FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS EOLICOS”** desarrollado por el profesionista **VERA CEVALLOS LUIS CARLOS** en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a los determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verifico que el trabajo de titulación desarrollado por el profesionista cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente al estudiante en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron 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 el autor durante el desarrollo del trabajo de titulación 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. Julios Cesar Hernández Chilan

Tutor

CERTIFICACIÓN DE LA COMISIÓN DE REVISIÓN

CERTIFICACIÓN DE LA COMISIÓN DE REVISIÓN

INFORME DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad investigativa y que lleva por el tema: **“UNIDADES DE FRENADO PARA AEROGENERADORES SINCRÓNICOS Y SU INCIDENCIA EN EL FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS EÓLICOS”** desarrollado por el señor **Vera Cevallos Luis** con cedula de ciudadanía N° 1310095540-0, previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, bajo la tutoría y control del señor Ing. Manuel Saltos Arauz, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requerimientos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobado por el H. Consejo Universitario, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, el autor:

- Ha respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10% de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- He 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 argumento técnico científico, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

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



Dra. Yolanda Llosas Albuérne

Revisora del Trabajo de Titulación

DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR

DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR

Quien firma la presente, profesionista; VERA CEVALLOS LUIS CARLOS, en calidad de autor del trabajo de titulación realizado sobre **“UNIDADES DE FRENADO PARA AEROGENERADORES SINCRÓNICOS Y SU INCIDENCIA EN EL FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS EÓLICOS”**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirá vigente a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5,6,8,19 y demás pertinentemente de la Ley de Propiedad de Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones y recomendaciones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumimos con responsabilidad la descripción de las mismas.



Vera Cevallos Luis Carlos

Autor

ÍNDICE DE 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 DE CONTENIDO.....	8
INDICE DE GRAFICOS	10
INDICE DE ECUACIONES.....	11
RESUMEN.....	12
SUMMARY	13
CAPITULO SEGUNDO	14
Tema.....	15
Planteamiento del problema	16
Descripción de la realidad problemática	16
Formulación del problema.....	16
Delimitación de la investigación	16
Inmersión inicial en el campo.....	17
Antecedentes.....	17
Justificación.....	18
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Concepción del diseño de estudio	20
Hipótesis	20
Recolección de datos	22

1.	Energía eólica	22
2.	Sistemas eólicos.....	22
3.	Aerogenerador sincrónico	24
4.	Generador sincrónico de imán permanente	26
5.	Convertidor Electrónico de Potencia.....	26
6.	Unidades de frenado	27
7.	Funcionamiento de la unidad de frenado en los aerogeneradores sincrónicos	36
8.	Huecos de tensión.....	38
	Reporte de resultados	40
	CAPITULO TERCERO	42
	PRESUPUESTO.....	43
	CRONOGRAMA	44
	BIBLIOGRAFÍA	45
	ANEXOS	47

INDICE DE GRAFICOS

Figura 1. Sistema eólico aislado	23
Figura 2. Sistema eólico conectado a la red	24
Figura 3. Sistema aerogenerador	28
Figura 4. Dimensionamiento del gabinete de las resistencias de frenado	29
Figura 5. Especificaciones técnicas del dimensionamiento del gabinete de resistencias de frenado	29
Figura 6. Símbolo Electrónico del IGBT	30
Figura 7. Circuito equivalente de un IGBT	31
Figura 8. Resistencia con carcasa de acero inoxidable de alta potencia de frenado	32
Figura 9. Resistencia de frenado de alambre bobinado de alta potencia.....	33
Figura 10. Resistencia con carcasa de aluminio de alto impulso IP65 / IP21	34
Figura 11. Resistencia con caja con carcasa de aluminio de potencia de frenado	34
Figura 12. Resistencia de alambre bobinado de montaje vertical de cargas plana.....	35
Figura 13. Área de frenado seguro	37
Figura 14. Ejemplo de simulación de un hueco de tensión	39

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1).....	27
-------------------	----

RESUMEN

TEMA: UNIDADES DE FRENADO PARA AEROGENERADORES SINCRÓNICOS Y SU INCIDENCIA EN EL FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS EÓLICOS.

AUTOR:

VERA CEVALLOS LUIS CARLOS

PALABRAS CLAVES:

Energía eólica, unidades de frenado, aerogeneradores y huecos de tensión.

DESCRIPCION

La energía eólica ha sido empleada para transporte marítimo y para aplicaciones agrícolas desde hace varios siglos. Es un recurso renovable, viable, eficiente, no contamina el medio ambiente y representa una enorme fuente de energía que está relativamente sin explotar. La tecnología actual de la energía eólica se ha desarrollado notablemente partiendo de los sencillos molinos agrícolas del pasado, hasta los modernos aerogeneradores.

El trabajo investigativo se centra en las unidades de frenado que se encuentran implementadas en los aerogeneradores síncronos, en donde su principal función es disipar mediante resistencias los excesos de energía que se presentan cuando ocurren los huecos de tensión en la red de suministro, así evitando que ocurra una inestabilidad en el sistema eléctrico y permitir que los aerogeneradores sigan suministrando energía eléctrica a la red.

SUMMARY

THEME: BRAKING UNITS FOR SYNCHONIC WIND TURBINES AND THEIR INCIDENCE IN THE STRENGTHENING OF WIND SYSTEMS.

AUTHOR:

VERA CEVALLOS LUIS CARLOS

KEYWORDS:

Wind power, braking units, wind turbines and power outages.

DESCRIPTION

Wind energy has been used for maritime transport and agricultural applications for several centuries. It is a renewable resource, viable, efficient, does not contaminate the environment and represents a huge source of energy that is relatively unexploited. The current technology of wind energy has developed notably from the simple agricultural mills of the past, to modern wind turbines.

The research work focuses on the braking units that are implemented in synchronous wind turbines, where their main function is to dissipate through resistances the excesses of energy that occur when the voltage gaps in the supply network occur, thus avoiding that There will be an instability in the electrical system and allow the wind turbines to continue supplying electrical power to the grid.

CAPITULO SEGUNDO

Cuerpo

Tema

“Unidades de frenado para aerogeneradores sincrónicos y su incidencia en el fortalecimiento de los sistemas eólicos”

Planteamiento del problema

Descripción de la realidad problemática

El panorama energético en el presente está caracterizado, por la utilización de energías renovables, para este caso nos enfocaremos en los sistemas de generación eólica, y los inconvenientes que son ocasionados por las variaciones que existen en la amplitud de las tensiones y frecuencias, que afectan a los aerogeneradores sincrónicos, evitan el adecuado funcionamiento del mismo y ocasionan distorsión a la red en la cual se encuentren conectados.

Formulación del problema

¿De qué manera las unidades de frenado para aerogeneradores síncronos permiten fortalecer a los sistemas eólicos frente a la problemática que presentan los huecos de tensión?

Delimitación de la investigación

Espacial

La estructuración de este trabajo investigativo se desarrollará con base a las unidades de frenado ubicadas entre el chopper e inversor, pertenecientes al control de los aerogeneradores sincrónicos.

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

La energía eólica es una fuente de energía renovable, es limpia, inagotable y con grandes perspectivas de desarrollo.

Para la utilización de la energía eólica el hombre ha desarrollado varios aparatos electrónicos a lo largo de toda la historia y en los momentos actuales en lo que respecta a la generación de energía eléctrica, siendo el aerogenerador de eje horizontal el más utilizado en la vida práctica en todo el mercado eólico.

Sin embargo al ser el viento una fuente variable y por otra parte también se presentan fallos eléctricos que complican el funcionamiento continuo de los aerogeneradores.

Por lo tanto se han implementado unidades de frenado que ayudan a un mejor desenvolvimiento de estos generadores sincrónicos.

El proceso de frenado, se consigue descargando la energía eléctrica proveniente del generador hacia una resistencia de frenado. Esta técnica es útil si la carga cinética del generador se reduce repentinamente o es demasiado pequeña para mantener la velocidad de la turbina en el límite permitido.

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 producido 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 CO₂ al año, equivalentes al funcionamiento de 167 mil vehículos de manera continua en un periodo anual.

Justificación

En la actualidad los sistemas eólicos no operan en su totalidad de manera confiable y efectiva, éste se da por la variación que presenta el aire debido a las condiciones climáticas y por los fallos eléctricos que se presentan en el sistema. Por lo tanto lo que se busca es la implementación de los componentes apropiados que permitan tener un mejor comportamiento y reacciones a los que estará sometido el sistema, así logrando fortalecer las falencias y evitar daños que se puedan presentar a futuro, para así contar con sistemas eólicos confiables y eficientes.

Por lo tanto con este proyecto se pretende dar a conocer la importancia que presentan las unidades de frenado para aerogeneradores síncronos los cuales fortalecerán los procesos, control y generación de energía eléctrica frente a los problemas ocasionados por los huecos de tensión, pudiendo así minimizar los riesgos de destrucción de los equipos, de fallas y de gastos para la generación de energía eléctrica.

Además con este proyecto se busca garantizar un mejor funcionamiento de los aerogeneradores frente a los huecos de tensión, que permita que los aerogeneradores sincrónicos se desconecten del sistema.

Objetivo General

Determinar el comportamiento eléctrico de la unidad de frenado en los aerogeneradores sincrónicos en relación a los huecos de tensión.

Objetivos Específicos

1. Identificar los elementos que integran en una unidad de frenado y sus esquemas eléctricos.
2. Conocer los modelos técnicos de las diferentes unidades de resistencia para frenado que se aplican en los aerogeneradores síncronos de velocidad variable.
3. Analizar el comportamiento de la unidad de frenado, que tienen los aerogeneradores sincrónicos frente a un hueco de tensión.
4. Proponer el modelo técnico de unidad de resistencia para frenado, más factible para los aerogeneradores sincrónicos.

Variable independiente: Huecos de tensión

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEMES	TÉCNICA
<p>Un hueco de tensión es una reducción en la magnitud de la tensión por debajo de un umbral de hueco con una duración típicamente desde varios ciclos hasta algunos segundos.</p> <p>Es indispensable analizar los efectos de los huecos de tensión sobre una máquina de inducción trifásica y la diferencia de los mismos cuando se utilizan los modelos de jaula sencilla y doble jaula con parámetros constantes. Las variables analizadas en este caso son los picos de: intensidad, par y deslizamiento (perdida de velocidad).</p>	<p>Huecos de tensión</p> <p>Efectos de los huecos de tensión</p>	<p>Tiempo de duración de los huecos de tensión</p> <p>Características de los efectos de los huecos de tensión</p>	<p>¿Conoce Ud. sobre el tiempo de duración de los huecos de tensión?</p> <p>Consultas de temas relacionados a efectos de los huecos de tensión</p>	<p>Entrevistas a profesionales eléctricos que conocen del tema</p> <p>Información virtual</p> <p>Bibliografía en revista, blog, artículos de revistas, libros.</p>

Recolección de datos

1. Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento. Es uno de los recursos energéticos más antiguos explotados por el ser humano y es a día de hoy la energía más madura y eficiente de todas las energías renovables.

Consiste en convertir la energía cinética del viento a energía mecánica de las palas de un aerogenerador y a su vez en energía eléctrica.

Es una fuente de energía renovable que no contamina, es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles, origen de las emisiones de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Además, la energía eólica es una energía autóctona, disponible en la práctica total del planeta, lo que contribuye a reducir las importaciones energéticas y a crear riqueza y empleo de forma local.

Por todo ello, la producción de electricidad mediante energía eólica y su uso de forma eficiente contribuyen al desarrollo sostenible.

- Energía que se renueva
- Inagotable
- No contaminante
- Reduce el uso de combustibles fósiles
- Reduce las importaciones energéticas
- Genera riqueza y empleo local
- Contribuye al desarrollo sostenible

La energía eólica suministra actualmente más del 3% del consumo mundial de electricidad y se espera que para 2020 se supere el 5%. A más largo plazo (2040), la Agencia Internacional de la Energía prevé que la energía del viento pueda cubrir el 9% de la demanda eléctrica mundial y más del 20% en Europa. (Acciona, 2011)

2. Sistemas eólicos

Un sistema eólico de generación de electricidad es aquel que se compone de tres partes principales, el rotor, que convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio en la flecha principal del sistema; un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación y generador eléctrico denominado aerogenerador. (Sinergia, 2011)

2.1. Sistemas eólicos aislados

No están conectados a la red de suministro. 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, como las usadas en los carros de golf, 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. (Energiaeolica, 2009)

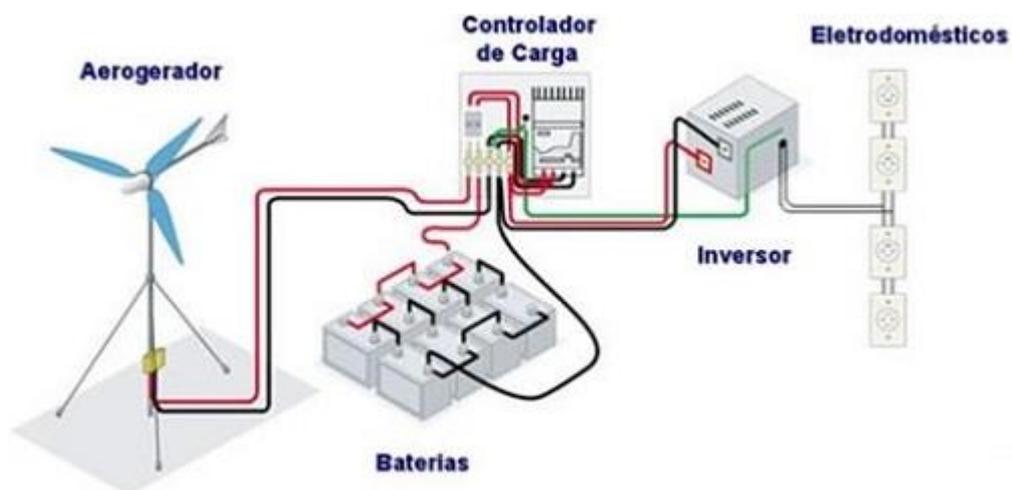


Figura 1. Sistema eólico aislado

Fuente: (Moreno, 2014)

2.2. Sistemas eólicos conectados a la red

El aerogenerador produce una electricidad que se reinyecta directamente a su contador eléctrico para su propio consumo, disminuyendo así el consumo directo desde la red.

El principio de funcionamiento es bastante sencillo: sin baterías, el Aerogenerador es conectado directamente al contador de la vivienda. Cuando hay viento, la vivienda está alimentada, en parte o en su totalidad, por la energía producida por el Aerogenerador. Cuando no hay viento y, por lo tanto, el Aerogenerador no está produciendo energía, la vivienda está alimentada por la red eléctrica como habitualmente. Durante periodos de mucho viento, puede producirse

un exceso de energía. Este exceso, dependiendo de los acuerdos con la compañía eléctrica, podría reinyectarse en la red eléctrica, pasando así de ser un comprador de energía a ser un productor de energía (Nordest-Canarias, 2017)

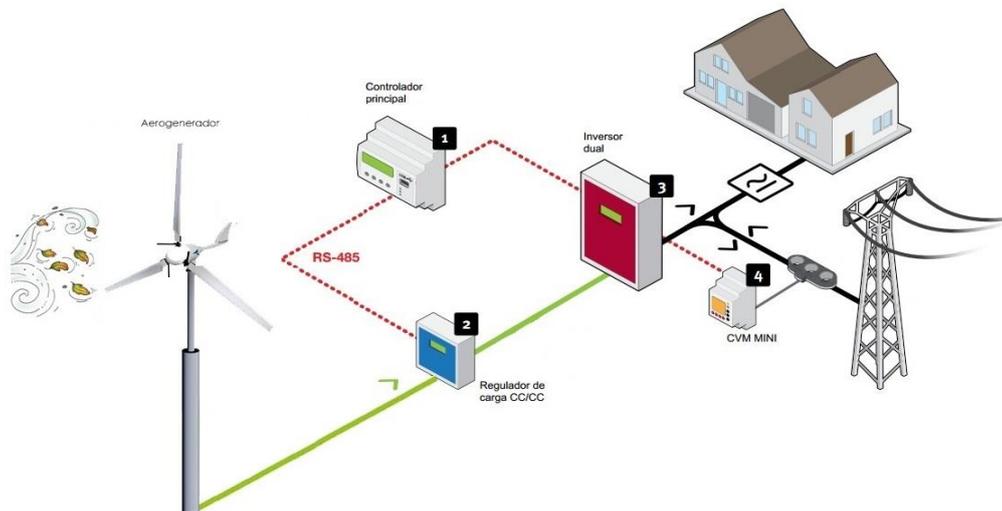


Figura 2. Sistema eólico conectado a la red

Fuente: (Enertra, 2014)

3. Aerogenerador sincrónico

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Las palas de un aerogenerador giran entre 13 y 20 revoluciones por minuto, según su tecnología, a una velocidad constante o bien a velocidad variable, donde la velocidad del rotor varía en función de la velocidad del viento para alcanzar una mayor eficiencia.

Características de un aerogenerador

- **Orientación automática**

El aerogenerador se orienta automáticamente para aprovechar al máximo la energía cinética del viento, a partir de los datos registrados por la veleta y anemómetro que incorpora en la parte superior. La barquilla gira sobre una corona situada al final de la torre.

- **Giro de las palas**

El viento hace girar las palas, que comienzan a moverse con velocidades de viento de unos 3,5 m/s y proporcionan la máxima potencia con unos 11 m/s. Con vientos muy fuertes (25 m/s) las palas se colocan en bandera y el aerogenerador se frena para evitar tensiones excesivas.

- **Multiplicación**

El rotor (conjunto de tres palas engarzadas en el buje) hace girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro desde unas 13 a unas 1.500 revoluciones por minuto.

- **Generación**

La multiplicadora, a través del eje rápido, transfiere su energía al generador acoplado, que produce electricidad.

- **Evacuación**

La energía generada es conducida por el interior de la torre hasta la base y, desde allí, por línea subterránea hasta la subestación, donde se eleva su tensión para inyectarla a la red eléctrica y distribuirla a los puntos de consumo.

- **Monitorización**

Todas las funciones críticas del aerogenerador están monitorizadas y se supervisan desde la subestación y el centro de control, para detectar y resolver cualquier incidencia. (Acciona, 2011)

4.1. Aerogeneradores de velocidad de rotación fija

Los aerogeneradores de velocidad de rotación fija son capaces de regular el par del rotor por medio de la variación del ángulo de ataque de las palas. De este modo el par en el alternador se consigue que sea el máximo para entregar la máxima potencia eléctrica.

La regulación puede hacerse, sin embargo, por medio de aletas que redirigen el flujo a lo largo de la pala o únicamente lo alteran en el borde de salida. De esta manera el aerogenerador sigue siendo de paso fijo pero tiene un mecanismo de protección contra el embalamiento a altas velocidades de viento. Estos aerogeneradores presentan la ventaja de una mayor sencillez y robustez aunque su capacidad de aprovechamiento energético es menor.

En el caso del paso variable, la orientación de las palas permite, por un lado variar el ángulo de ataque a altas velocidades para acercar la velocidad del rotor a la velocidad de giro nominal y, por otro permiten reducir las cargas que de no tener un paso variable afectarían a la integridad estructural del equipo. La mayoría de aerogeneradores de gran potencia construidos en la actualidad incorporan el sistema de paso variable sean, o no, de velocidad de giro en el rotor fija. (Preicado, 2012)

4.2. Aerogeneradores de velocidad de rotación variable

En este tipo de turbina eólica puede controlarse la velocidad del rotor cambiando la orientación de las palas y controlando el par en el generador. Para controlar el par en el alternador se emplean convertidores electrónicos que permiten funcionar al rotor del aerogenerador a velocidad variable manteniendo la frecuencia a la salida del alternador. Mientras que como medida de seguridad el aerogenerador incorpora los sistemas de regulación de carga del rotor para reducir su velocidad en caso que la energía cinética que le transmite el viento sea demasiado elevada. (Preicado, 2012)

4. Generador sincrónico de imán permanente

Un generador de imanes permanentes es un generador síncrono en el que se ha sustituido el bobinado de excitación, normalmente en el rotor, por un sistema formado por imanes permanentes que suministran un campo de excitación constante.

Se usa en aquellos casos en los que no importa que la tensión disminuya en cierto grado pero siempre que se aplique electrónica de potencia a la salida del generador. La electrónica puede convertir un rango de tensiones variable en tensión continua de valor constante. Entre los principales usos de este tipo de generador es la generación eólica. (Obeki)

5. Convertidor Electrónico de Potencia

El convertidor de energía es un dispositivo electrónico que tiene como proceso convertir una forma de energía en otra.

- **Convertidores AC/DC o rectificadores:** Su función es convertir la corriente alterna, pueda ser esta trifásica o monofásica, a corriente continua.
- **Convertidor DC/AC o inversor:** Su función es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o

baterías, entre otros, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Los inversores de alta potencia, en lugar de transistores utilizan un dispositivo de conmutación llamado IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada). Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac o los IGBT. (Wikipedia, 2015)

6. Unidades de frenado

Las unidades de frenado es el conjunto de resistencias de alta potencia que se colocan en paralelo con el aerogenerador o a la salida del rectificador y disipan mediante calor los excesos de potencia generados en situaciones de viento excesivo, huecos de tensión, entre otros, regulando así la potencia, además de la tensión de entrada al inversor.

La potencia disipada por las resistencias de frenado del Ingecon μ Wind Interface se rige por la siguiente ecuación:

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

Ecuación (1)

Siendo,

- P_R : Potencia disipada por las resistencias de frenado.
- V : Tensión rectificadora, proporcional a la velocidad de giro del aerogenerador.
- R : Resistencia de frenado.

El valor de la resistencia debe dimensionarse para que su potencia sea mayor a la generada por el aerogenerador en todo su rango de funcionamiento (para diferentes velocidades de giro y de viento). Cuanto menor sea la resistencia de frenado, mayor será la potencia de frenado. Sin embargo, a la hora de dimensionar la resistencia hay que tener en cuenta el límite de corriente del interfaz utilizado. El Ingecon μ Wind Interface permite gobernar resistencias de un bajo valor óhmico, con una corriente máxima de resistencia de 80 Amperios. (Ingeteam, 2016)

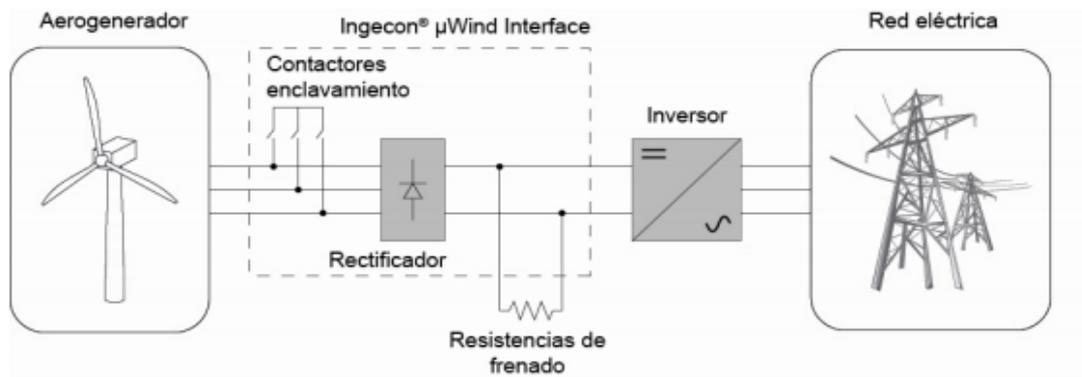


Figura 3. Sistema aerogenerador

Fuente: (Ingeteam, 2016)

6.1. Elementos que integran las unidades de frenado

6.1.1. Resistencia de frenado

Los resistores de frenado son resistencias de alta potencia, son utilizadas en sistemas de movimiento para el control y manejo del motor cuando se induce un rápido frenado en su vigoroso y dinámico proceso. Algunos ejemplos de aplicaciones de campo de éste tipo de resistores son las locomotoras automáticas como trenes, elevadores, inversores, turbinas, generadores y grúas.

Dependiendo de los valores Óhmicos, los resistores de frenado son manufacturados con un continuo enrollado de Nickel Cromado en un tubo o placa de asbesto. Los requerimientos energéticos del motor y de la resistencia de frenado deben ser casi iguales, dando camino a la circulación o vueltas del motor para satisfacer las necesidades de ciclos específicos. Cuando por ejemplo, se induce a un corto, mediano o largo periodo de frenado, la energía sobrante que esta acción genera será aprovechada únicamente por la resistencia. (Semantica Consultores, 2012)

La resistencia de frenado es una resistencia de gabinete la cual se compone de alambre enrollado.

Características de las resistencias de frenado

- Alcance de en: 20KW-200KW
- Rango de voltaje: 0.5KV-10KV
- Rango de resistencia: 0.5 Ohm -100 Ohm
- Resistencia dialéctica: AC2.5KV-30KV/1 min. 50Hz (opcional)

- Protección IP: IP20-IP23 (opcional)
- Vibración: 0.5g
- Subida de Temperatura: 375
- Coeficiente de Temperatura: 80-400ppm
- Material: 0Cr25AL5/Ni80Cr20 (opcional)
- Ventaja: La Unidad de resistencia es ideal para aplicaciones de alto voltaje, viene con una alta potencia.
- Desventaja: menos vibración

Aplicación

La Unidad de resistencia de frenado puede ser aplicada en la pérdida de potencia en los circuitos de frenado para los inversores de equipos de frenado, equipos de prueba, elevador y grúa con una gran alta potencia nominal y corriente operacional. (Resistorinchina)

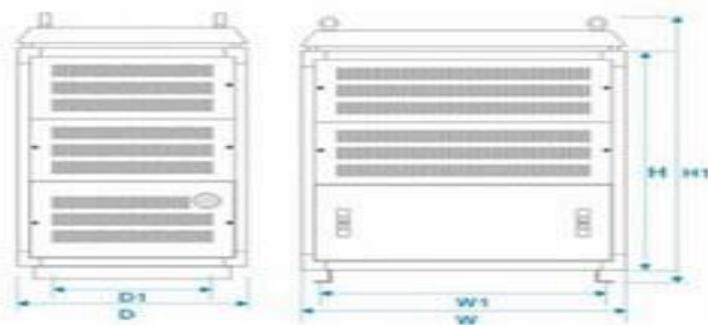


Figura 4. Dimensionamiento del gabinete de las resistencias de frenado

Fuente: (Resistorinchina)

Tipo	Potencia (KW)	Dimensiones(mm)						Terminal	Cable (mm ²)	Combinación
		W	D	H	H1	D1	W1			
PRU	20	700	500	700	785	342	615	M6	10	8*2. 5Kw
PRU	30	700	500	900	985	342	615	M6	16	12*2. 5Kw
PRU	40	700	500	1100	1185	342	615	M6	25	16*2. 5Kw
PRU	50	700	500	1300	1385	342	615	M6	25	20*2. 5Kw
PRU	60	700	500	1500	1585	342	615	M6	35	24*2. 5Kw
PRU	70	700	500	1700	1785	342	615	M6	35	28*2. 5Kw
PRU	80	700	500	1800	1885	342	615	M6	50	32*2. 5Kw
PRU	100	700	500	2000	2085	342	615	M6	50	40*2. 5Kw
PRU	120	700	500	2200	2285	342	615	M6	50	48*2. 5Kw
PRU	200	1400	500	2000	2085	342	615	M6	75	2*100Kw

Figura 5. Especificaciones técnicas del dimensionamiento del gabinete de resistencias de frenado

Fuente: (Resistorinchina)

6.1.2. Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)

El transistor bipolar de puerta aislada (IGBT, del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor) es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia.

Este dispositivo posee la características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y bajo voltaje de saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT.

Los transistores IGBT han permitido desarrollos que no habían sido viables hasta entonces, en particular en los Variadores de frecuencia así como en las aplicaciones en máquinas eléctricas y convertidores de potencia que nos acompañan cada día y por todas partes, sin que seamos particularmente conscientes de eso: automóvil, tren, metro, autobús, avión, barco, ascensor, electrodoméstico, televisión, domótica, Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o SAI (en Inglés UPS), etc. (Blogger, 2016)

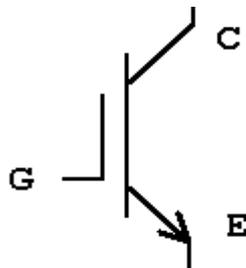


Figura 6. Símbolo Electrónico del IGBT

Fuente: (Blogger, 2016)

6.1.3 Funcionamiento del Transistor IGBT

Para encender el IGBT, la terminal del colector (C) debe ser polarizada positivamente con respecto a la terminal del emisor (E). La señal de encendido es un voltaje positivo (V_G) que es aplicado a la puerta (G). Este voltaje, si es aplicado como un pulso de magnitud aproximada de 15 V, puede causar que el tiempo de encendido sea menor a 1 segundo, después de lo cual la corriente del colector es igual a la corriente de carga (asumida como constante). Una vez encendido, el

dispositivo se mantiene así por una señal de voltaje en la puerta. Sin embargo, en virtud del control de voltaje la disipación de potencia en la puerta es muy baja.

EL IGBT se apaga simplemente removiendo la señal de voltaje positivo del terminal de la puerta. (Blogger, 2016)

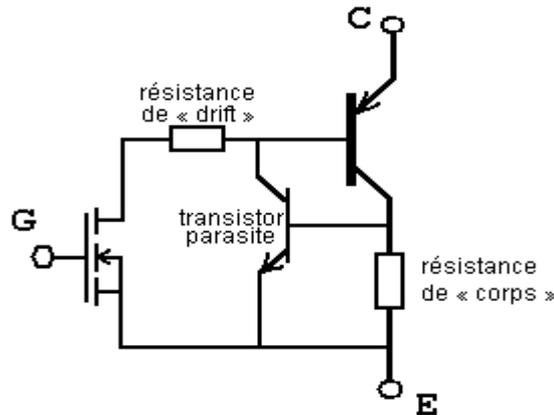


Figura 7. Circuito equivalente de un IGBT

Fuente: (Blogger, 2016)

6.1.4. Características del Transistor IGBT

El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 100 kHz y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones. Es usado en aplicaciones de altas y medias energías como fuente conmutada, control de la tracción en motores y cocina de inducción. Grandes módulos de IGBT consisten en muchos dispositivos colocados en paralelo que pueden manejar altas corrientes del orden de cientos de amperios con voltajes de bloqueo de 6.000 voltios.

Se puede concebir el IGBT como un transistor Darlington híbrido. Tiene la capacidad de manejo de corriente de un bipolar pero no requiere de la corriente de base para mantenerse en conducción. Sin embargo las corrientes transitorias de conmutación de la base pueden ser igualmente altas. En aplicaciones de electrónica de potencia es intermedio entre los tiristores y los Mosfet. Maneja más potencia que los segundos siendo más lento que ellos y lo inverso respecto a los primeros.

Este es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. La tensión de control de puerta es de unos 15 V. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta. (Wikipedia, 2016).

6.2. Modelos técnicos de las unidades de resistencia para frenado

6.2.1. Resistencia con caja con carcasa de acero inoxidable de alta potencia de frenado

La resistencia de frenado permite el buen funcionamiento del variador en aplicaciones de frenado de parada o en marcha frenada, transformando la energía eléctrica en una energía calorífica. (DirectIndustry, 2017)

Características

- Montaje: Con caja, con carcasa de acero inoxidable
- Características eléctricas: De alta potencia
- Aplicaciones: Frenado
- Resistencia: Mín.: 0.07 Ohm, Máx.: 420 Ohm



Figura 8. Resistencia con carcasa de acero inoxidable de alta potencia de frenado

Fuente: (DirectIndustry, 2017)

6.2.2. Resistencia de frenado de alambre bobinado de alta potencia

Esta caja del resistor se diseña para las condiciones resistentes y ásperas tales como elevadores, grúas o generadores eléctricos. Capacidad para soportar sobrecarga durante mucho tiempo sin cualquier daño. (DirectIndustry, 2017)

Características dominantes:

- Tecnología: Alambre bobinado
- Características eléctricas: De alta potencia
- Aplicaciones: Frenado
- Resistencia: Mín.: 1 Ohm, Máx.: 10 kOhm
- Potencia (W): Mín.: 2 W (0 hp), Máx.: 36 kW (48.28 hp)
- Coeficiente de temperatura: 25.50, 100 y 400 ppm/°C

- Temperatura de operación: -55°C a 225°C
- Protección: IP00, IP20, IP23.
- Material: OCR25AL5/CrAlFe/CrNi/CuNi



Figura 9. Resistencia de frenado de alambre bobinado de alta potencia

Fuente: (DirectIndustry, 2017)

6.2.3. Resistencia con carcasa de aluminio de alto impulso / IP65 / IP21

Los resistores compactos del freno están eléctricamente aislados y con pequeñas dimensiones. Pueden ser cabidos fácilmente en construcciones compactas y se diseñan especialmente para soportar altas cargas de pulsos en sistemas de impulsión industriales. (DirectIndustry, 2017)

Características dominantes:

- Montaje: Carcasa de aluminio
- Características eléctricas: De alto impulso
- Protección: IP65, IP21
- Aplicaciones: Frenado de potencia
- Resistencia: Mín.: 1 Ohm, Máx.: 10 kOhm
- Potencia (W): Mín.: 50 W (0.07 hp), Máx.: 5 kW (6.71 hp)
- Temperatura de operación: -55°C a 225°C
- Coeficiente de temperatura: 50, 100 y 400 ppm/°C

- Material: OCR25AL5/CrAlFe/CrNi/CuNi



Figura 10. Resistencia con carcasa de aluminio de alto impulso IP65 / IP21

Fuente: (DirectIndustry, 2017)

6.2.4. Resistencia en caja con carcasa de aluminio para potencia de frenado

Resistor condensado con la sección rectangular plana. Los usos incluyen alisar los picos de la energía para los reguladores electrónicos de la velocidad.

Características:

- Montaje: Con caja, con carcasa de aluminio
- Características eléctricas: De potencia
- Aplicaciones: Frenado de potencia
- Resistencia: Mín.: 1 Ohm, Máx.: 500 Ohm

Se utiliza en transformador de la frecuencia, industria fabril, industria eléctrica, construcción del aparato, inversores, reguladores de la velocidad. (DirectIndustry, 2017)



Figura 11. Resistencia con caja con carcasa de aluminio de potencia de frenado

Fuente: (DirectIndustry, 2017)

6.2.5. Resistencia de alambre bobinado de montaje vertical de cargas plana

Se introduce nuevas resistencias fijas de tipo láminas bobinadas construidas de acuerdo con la protección IP 00. La serie de tipo estándar viene con cintas de acero galvanizado de 2 anchos. La serie está disponible como serie tipo L (versión estándar) y tipo serie LB (versión ancha) con clips y soportes ajustables hasta 1110 W de disipación continua. Las resistencias tienen un diseño plano especialmente adecuado para la integración y también viene como unidades ensambladas y en varias longitudes, anchos, varias especificaciones basadas en la necesidad. Las resistencias fijas encuentran la aplicación como resistencia de freno, resistencia de carga y resistencia de protección. (DirectIndustry, 2017)

Características:

- Tecnología: De alambre bobinado
- Montaje: De montaje vertical
- Características eléctricas: De Potencia
- Aplicaciones: De frenado
- Resistencia: Mín.: 0.46 Ohm - Máx.: 299 Ohm



Figura 12. Resistencia de alambre bobinado de montaje vertical de cargas plana

Fuente: (DirectIndustry, 2017)

7. Funcionamiento de la unidad de frenado en los aerogeneradores sincrónicos

El giro descontrolado de las palas de los aerogeneradores 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 (la tensión de salida es proporcional a la velocidad de giro). 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 con el aerogenerador o a la salida del rectificador y disipan mediante calor los excesos de potencia generados en situaciones de viento excesivo, regulando así la potencia además de la tensión de entrada al inversor.

Se incorpora un sistema de protección mediante resistencias de frenado que permite la parada completa del aerogenerador (siempre que las resistencias se diseñen correctamente). Las resistencias de frenado se colocan en paralelo con la salida del rectificador y su activación se controla mediante un IGBT, a través de un PWM (Modulación por ancho de pulso), dotando de gran precisión y suavidad a la regulación del sistema. De esta manera se suavizan los golpes de par en el sistema mecánico, incrementando su vida útil y reduciendo las operaciones de mantenimiento del mismo. Además, posee un sistema de enclavamiento capaz de bloquear el aerogenerador cuando esto resulte necesario. Este sistema de enclavamiento cortocircuita los terminales de salida del aerogenerador, lo que provoca un bloqueo y una parada segura del sistema sin riesgos a su realimentación. Esto resulta muy adecuado para operaciones de mantenimiento o en situaciones meteorológicas muy adversas de carácter transitorio, en las que las velocidades del viento puedan superar los límites de diseño del conjunto. La posibilidad de activar de manera remota el sistema de enclavamiento, permite realizar paradas del aerogenerador sin la necesidad de desplazarse hasta la instalación.

El dimensionamiento de las resistencias de frenado debe realizarse de manera particularizada a cada sistema, teniendo en cuenta las características del aerogenerador (potencia y tensión de salida) y las velocidades máximas de viento del

emplazamiento. Hay que tener en cuenta que ante una pérdida de red las resistencias de frenado deben ser capaces de disipar toda la potencia extraída del aerogenerador.

En función del valor resistivo seleccionado en la instalación se obtendrán las siguientes áreas de operación segura, dentro de las cuales se es capaz de frenar el aerogenerador bajo cualquier condición de viento. Si la turbina trabaja fuera del área establecida en la gráfica, la capacidad de frenado no está garantizada. (Ingeteam, 2016)

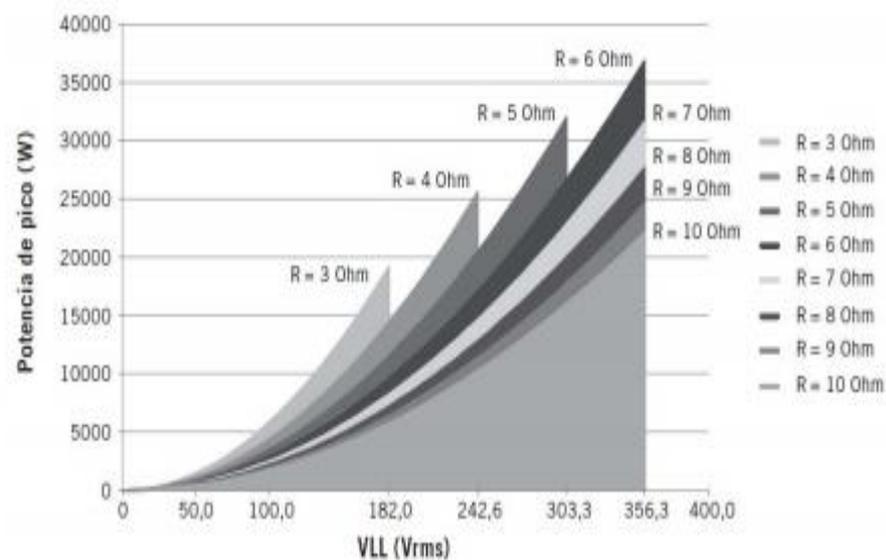


Figura 13. Área de frenado seguro

Fuente: (Ingeteam, 2016)

Una red eléctrica tiene una pluralidad de suministradores que generan electricidad procedente de distintas tecnologías (centrales térmicas, centrales eléctricas, centrales hidráulicas,...). Al propio tiempo, existe una pluralidad de clientes consumidores que se conectan y desconectan a la red según sus necesidades, lo que se traduce, por ejemplo, en maniobras de arranque y parada de grandes motores, acoplamiento y desacoplamiento de transformadores, etc.; también pueden ocurrir caídas de rayos o cortocircuitos entre fases de las líneas o entre cualquier fase de las líneas y tierra además de otros fenómenos.

Los aerogeneradores que, debido a su gran coste y delicado diseño, gozan de una autoprotección extrema que, en caso de producirse un hueco de tensión, desencadena un proceso que acaba con la detención del aerogenerador.

Esta autoprotección consta del convertidor para aerogenerador, la unidad de frenado y el inversor para red, que se encuentran interconectados energéticamente.

Interconectados energéticamente, es que pueden intercambiar energía y potencia entre sí, es decir, el aerogenerador envía potencia al convertidor para aerogenerador. Este convertidor para aerogenerador, a su vez, la transmite a la unidad de frenado y al inversor para red.

El aerogenerador cuando está convirtiendo la energía del viento en energía eléctrica. Si hay un hueco de tensión, y la red no puede absorber toda la energía que produce el aerogenerador, la parte que no pueda ser absorbida por la red eléctrica debido al hueco de tensión, hay que disiparla en las resistencias de la unidad de frenado, y otra parte se envía a red a través del inversor para red. En el caso de que la red no pueda absorber nada de la energía, toda la energía que produce el aerogenerador, se disipará en las resistencias eléctricas del disipador de energía.

Este sistema de autoprotección garantiza la continuidad de operación de aerogeneradores ante huecos de tensión. (Patentados, 2011)

8. Huecos de tensión

Los huecos de tensión se encuentran dentro del conjunto de los fenómenos transientes en las redes eléctricas, ocurriendo en un corto período de tiempo, del orden de los ciclos.

Los huecos de tensión son reducciones repentinas del valor RMS de la tensión nominal, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura. Estas reducciones son distintas a las debidas a las variaciones normales del voltaje. Las variaciones normales de voltaje tienen que ver con que los consumos no son constantes en el tiempo produciendo corrientes y voltajes variables que se mueven dentro de rangos permitidos. Por otra parte, los huecos de tensión están por debajo de los límites normales por lo que no son deseables y muchas veces estos huecos provocan fallas y daños a equipos. La magnitud de un hueco de tensión se establece en este documento como el mínimo valor RMS de la caída de tensión, esto es, el voltaje remanente que más adelante de detallará.

Si bien los huecos de tensión no son tan dañinos como las interrupciones de larga y corta duración (valor RMS del voltaje igual a 0), son mucho más frecuentes y

muchas veces producen que operen las protecciones de equipos provocando su desconexión. Es por esto que el fenómeno de los huecos de tensión se hace considerable si se presenta muchas veces al año en un mismo punto de la red eléctrica. (HENRÍQUEZ, 2013)

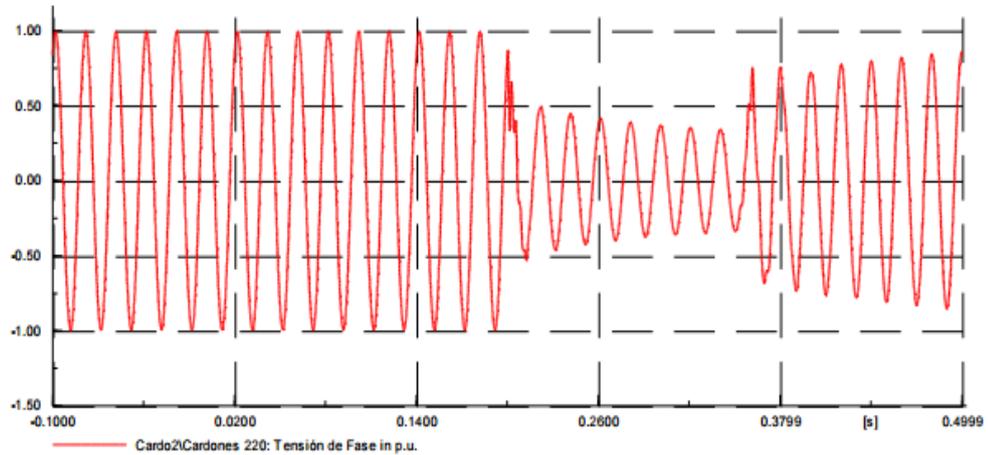


Figura 14. Ejemplo de simulación de un hueco de tensión

Fuente: (HENRÍQUEZ, 2013)

Reporte de resultados

Anteriormente los aerogeneradores dedicados a la generación que estaban conectados a las redes eléctricas, tenían una respuesta ante un hueco de tensión de la red o interrupción en la que normalmente se desconectaban automáticamente ante una bajada de tensión corta.

En el pasado, este asunto no repercutía de modo significativo en el funcionamiento de la red, ya que era pequeña la cantidad de aerogeneradores conectados a la misma. Ahora, que la potencia eólica conectada a la red es importante, el déficit de generación eólica la cual puede desconectarse ante un hueco de tensión, puede, poner en peligro la estabilidad del sistema de suministro, como ya ha ocurrido en algunas ocasiones. Aparte del propio problema intrínseco de los aerogeneradores por las paradas y arranques, la desconexión de una potencia eólica importante produce que los restantes suministradores conectados a esa red tengan que reequilibrar el sistema incrementando su aportación, a veces incluso por encima de sus posibilidades.

Este proyecto investigativo se centra en las unidades de frenado una solución eficiente para los aerogeneradores sincrónicos cuando se presentan huecos de tensión y de qué manera ha fortalecido a los sistemas eólicos evitando que estos se desconecten de la red de suministro.

A través de consultas y entrevistas a diferentes ingenieros conocedores de los sistemas eólicos, especialmente en la parte de electrónica de potencia para la protección de los aerogeneradores, se logró cumplir con los objetivos establecidos de la investigación.

Mediante el análisis de los beneficios que tendrá el proyecto se concluye que este trabajo investigativo, tendrá impactos técnicos muy positivos directos por varios de los elementos a ser ejecutados, es decir, lo que se logra al tener una unidad de frenado es que al momento que el aerogenerador no esté trabajando en condiciones normales debido a la variación que presenta el viento o a los huecos de tensión que se pueden presentar en la red, permite que el aerogenerador entre en un estado de reposo mediante el accionamiento de la unidad de frenado. Por lo tanto, esto se refleja en un sistema con calidad y flexibilidad que cumpliendo con los requerimientos sistemáticos en el momento que se produzcan las fallas en la red, convirtiéndolo en un sistema confortable y eficiente.

Además se concluye que para proponer un modelo técnico de unidad de resistencia para frenado, es importante establecer un estudio técnico para realizar el dimensionamiento correcto de las resistencias de frenado, tomando en cuenta las características del generador, la potencia y tensión de salida, que permitirán disipar mediante calor los excesos de potencia generados, por otra parte también es aconsejable realizar un estudio económico, ya que existen modelos de unidad de resistencia para frenado de menor costo en los cuales su vida útil y capacidad de disipar excesos de potencia, son inferiores a otros tipos de modelos de mayor costo, los cuales tienen gran capacidad para disipar potencia y su vida útil es más prolongada, además garantizan el correcto funcionamiento de los aerogeneradores y muchas veces vienen a ser la mejor inversión económica.

CAPITULO TERCERO

Referencial

PRESUPUESTO

La investigación tuvo un costo de \$ 280,00, los mismos que fueron financiados en su totalidad por el investigador, quedando los valores distribuidos de la siguiente forma:

RUBROS	VALORES
Selección del tema	\$ 20,00
Elaboración y entrega del anteproyecto	\$ 20,00
Aprobación del anteproyecto	\$ 20,00
Uso de internet	\$ 20,00
Investigación de la parte teórica	\$ 30,00
Impresiones	\$ 20,00
Transporte	\$ 50,00
Corrección y presentación de avance del trabajo de titulación	\$ 30,00
Varios	\$ 20,00
Entrega del informe final	\$ 20,00
Aprobación y sustentación	\$ 30,00
TOTAL	\$ 280,00

CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recopilación de información	x									
Aplicación de las técnicas		x								
Entrevista 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 (conclusiones)										x

BIBLIOGRAFÍA

- Acciona.* (2011). Obtenido de <http://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>
- Acciona.* (2011). Obtenido de <http://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/>
- Blogger.* (2016). Obtenido de <http://meiteg.blogspot.com/2011/12/transistor-igbt-simbolo-mas-extendido.html>
- DirectIndustry.* (2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/metal-deploye-resistor/product-125367-1555695.html>
- DirectIndustry.* (2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/shenzhen-sikes-electric-co-ltd/product-161297-1662060.html>
- DirectIndustry.* (2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/shenzhen-sikes-electric-co-ltd/product-161297-1662057.html>
- DirectIndustry.* (2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/tuerk-hillinger-gmbh/product-19801-364019.html>
- DirectIndustry.* (2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/frizlen-gmbh-co-kg/product-62640-406786.html>
- Energiaeolica.* (2009). Obtenido de <http://www.energieaolica.gub.uy/index.php?page=generalidades>
- Enertra.* (2014). Obtenido de <http://www.enertra.es/energias-renovables/eolica-hibrida>
- HENRÍQUEZ, S. E. (Enero de 2013). Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113264/cftapia_sh.pdf?sequence=1
- Ingeteam.* (2016). *Ingeteam.* Obtenido de *Ingecon:* http://www.ingeconsuntraining.info/wp-content/uploads/2012/06/Sistemas_de_frenado_en_aerogeneradores_residenciales.pdf
- Moreno, R. P. (2014). Obtenido de <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/07/la-energia-eolica-como-suministro.html>
- Nordest-Canarias.* (2017). Obtenido de <http://www.nordest-canarias.com/energias-renovables/energia-eolica/energia-eolica-de-conexion-a-red/>

- Obeki.* (s.f.). Obtenido de Obeki.com:
<http://www.obeki.com/productos/Generadores%20de%20Imanes%20Permanentes.pdf>
- Patentados.* (2011). Obtenido de <http://patentados.com/patente/sistema-garantizar-continuidad-operacion-aerogeneradores-ante-huecos/>
- Preicado, F. S. (2012). *Atmosferis.* Obtenido de <http://www.atmosferis.com/aerogeneradores-regulacion-de-velocidad-de-rotacion/>
- Resistorinchina.* (s.f.). Obtenido de <http://www.resistorinchina.es/10-1-braking-resistor-unit.html>
- Semantica Consultores.* (2012). Obtenido de <http://semanticaconsultores.com/que-es-una-resistencia-de-frenado/>
- Sinergia.* (2011). Obtenido de http://www.sinergiasoluciones.com.mx/ES/AplicacionesYAsesoríaTécnica/Tipos%20de%20proyectos_2/Sistemas%20e%20C3%B3licos.pdf
- Wikipedia.* (2015). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica))
- Wikipedia.* (2016). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_IGBT

ANEXOS

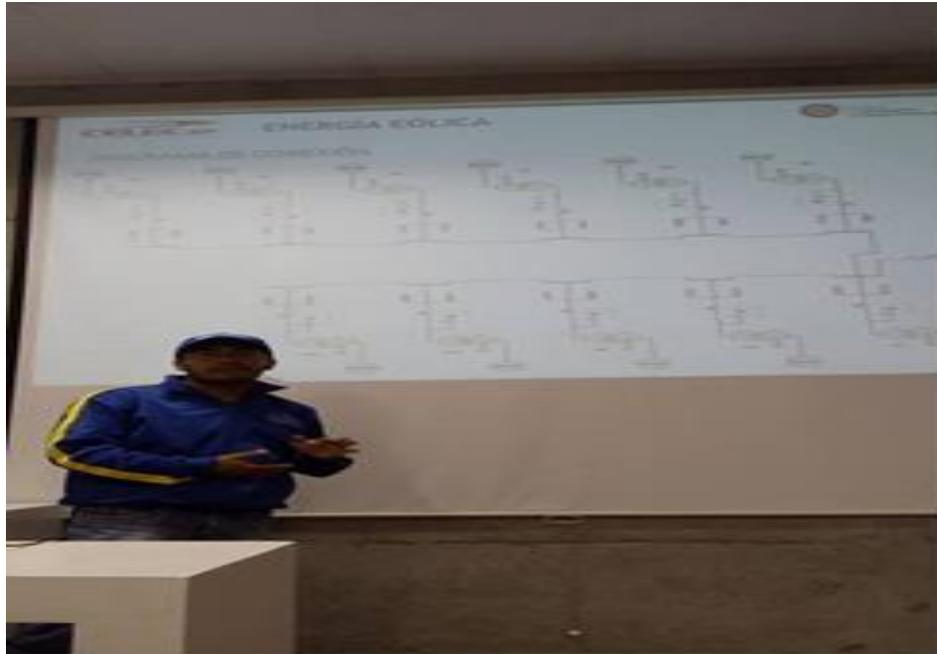
Anexo 1. Aerogeneradores del Parque eólico Villonaco



Anexo 2. Visita Técnica al Parque eólico Villonaco



Anexo 3. Exposición técnica del ingeniero operador del Parque Eólico Villonaco



Anexo 4. Centro de operaciones del Parque Eólico Villonaco



Anexo 5. 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

CELEC EP
SECTORES ESTRATÉGICOS

Anexo 6. Revisión de avance con Tutor y Revisora



ANEXO 7. Estructura general del convertidor GOLDWIND en la central eólica de Villonaco

