



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Diseño de la etapa de acondicionamiento eléctrico para el prototipo de vórtice gravitacional, construcción de un convertidor Boost conmutado DC/DC.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Aguilar Jiménez, Ricky Javier

DIRECTOR: Castillo Calvas, Tuesman Daniel, Mgtr

LOJA – ECUADOR

2019



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2019

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Mgtr.

Tuesman Daniel Castillo Calvas

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Diseño de la etapa de acondicionamiento eléctrico para el prototipo de vórtice gravitacional, construcción de un convertidor Boost conmutado DC/DC**, realizado por Aguilar Jiménez Ricky Javier, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja agosto del 2019

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Aguilar Jiménez Ricky Javier, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Construcción del sistema de acondicionamiento eléctrico para el prototipo de vórtice gravitacional.” de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Tuesman Daniel Castillo Calvas director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Aguilar Jiménez Ricky Javier

Cédula: 0705717098

DEDICATORIA

A mi querida familia.

Ricky Javier Aguilar Jiménez

AGRADECIMIENTO

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. A mi hermana.

Ricky Javier Aguilar Jiménez

INDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
INTRODUCCIÓN.....	4
CAPÍTULO 1.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
1.1. Introducción.	7
1.2. Vórtice gravitacional.....	7
1.3. Electrónica de potencia.....	7
1.4. Electrónica de potencia en micro hidrogeneradores.....	8
1.5. Generadores.....	8
1.5.1 Generador en corriente continua.....	9
1.5.2 Generador asíncrono.....	9
1.5.3 Generador síncrono.....	10
1.5.4 Generador de imanes permanente.....	11
1.6. Convertidor DC/ DC.....	11
1.6.1 Convertidor elevador (Boost).....	11
1.6.2 Convertidor reductor (Buck).....	12

1.6.3	Convertidor reductor/elevador (Buck-bost).....	12
1.6.4	Convertidores no aislados.....	13
1.6.5	Bucle de retroalimentación.....	13
1.6.5.1	<i>Bucle cerrado</i>	14
1.7.	Rectificadores.....	14
1.8.	Reguladores de carga.....	14
1.8.1	Regulador PWM.....	14
1.8.2	Regulador MPPT.....	14
1.9.	Inversores.....	15
1.10.	Baterías.....	16
1.10.1	Baterías Líquidas.....	16
1.10.2	Baterías tipo AGM.....	16
1.10.3	Baterías de Gel.....	17
1.10.4	Baterías tipo VRLA.....	17
CAPÍTULO 2.....		18
DISEÑO E INVESTIGACIÓN DE LOS MÓDULOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO		18
.....		18
2.1.	Diseño del sistema eléctrico.....	19
2.2.	Módulo de generación.....	19
2.3.	Módulo de control.....	21
2.4.	Almacenamiento de energía.....	23
2.5.	Presupuesto.....	24
CAPÍTULO 3.....		25
DISEÑO DE UN CONVERTIDOR DE VOLTAJE CONMUTADO BOOST		25
3.1	Equipos.....	26
3.2	Construcción Step Up Boost DC/DC Feedback.....	26
3.3	Presupuesto.....	32
3.4	Resultados.....	32

3.5 Especificaciones técnicas del circuito elaborado.....	37
CONCLUSIONES.....	38
RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyección del crecimiento energético en Ecuador hasta el año 2025.....	4
Figura 2. Partes que conforman una máquina síncrona con rotor cilíndrico.....	10
Figura 3. Esquema básico de un convertidor elevador Boost.....	11
Figura 4. Esquema básico de convertidor reductor Buck.....	12
Figura 5. Esquema básico de un convertidor Buck/Boost.....	13
Figura 6. Esquema de un convertidor elevador PWM.....	13
Figura 7. Curva de trabajo de los reguladores PWM y MPPT.....	15
Figura 8. Gráfica de una onda cuadrada.....	15
Figura 9. Gráfica de una onda sinusoidal modificada.....	16
Figura 10. Gráfica de una onda sinusoidal pura.....	16
Figura 11. Diagrama de bloques de la Distribución de los módulos del sistema eléctrico. ...	19
Figura 12. Generador de imanes permanentes de 48 voltios.....	20
Figura 13. Tabla de rendimiento del generador marca Ista Breeze.....	21
Figura 14. Regulador de carga MPPT de 2000W 35A.....	21
Figura 15. Inversor de voltaje DC / AC de 1500W.....	22
Figura 16. Batería de ciclo profundo de 40 A hora.....	23
Figura 17 Generador eléctrico monofásico.....	26
Figura 18. Topología del elevador de voltaje retroalimentado a diseñarse.....	27
Figura 19. Gráfica del producto del voltaje por el tiempo.....	29
Figura 20. Diseño del circuito impreso del elevador de voltaje.....	31
Figura 21. Placa final del elevador de voltaje retroalimentado.....	31
Figura 22. Conexión de la carga a la salida del circuito para las pruebas respectivas.....	33
Figura 23. Conexión en físico de la carga utilizada para las mediciones.....	33
Figura 24. Voltaje de salida de 24 VDC del circuito elevador retroalimentado.....	34
Figura 25. Conexión de los equipos para la realización de las mediciones.....	34
Figura 26. Resultados obtenidos con una corriente de 1 A.....	35

Figura 27. Resultados obtenidos con una corriente de 2 A	35
Figura 28. Resultados obtenidos con una corriente de 3 A	36
Figura 29. Resultados obtenidos con una corriente de 4 A	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos Técnicos del Generador.....	20
Tabla 2. Datos Técnicos de Regulador de voltaje.....	22
Tabla 3. Datos Técnicos del inversor de voltaje.....	22
Tabla 4. Datos Técnicos del banco de baterías.....	23
Tabla 5. Presupuesto final del sistema eléctrico para el prototipo de vórtice gravitacional...	24
Tabla 6. Costo total de la fabricación del elevador de voltaje retroalimentado.....	32
Tabla 7. Resultados obtenidos al setear una corriente de 1A.....	35
Tabla 8. Resultados obtenidos al setear una corriente de 2A.....	36
Tabla 9. Resultados obtenidos al setear una corriente de 3A.....	36
Tabla 10. Resultados obtenidos al setear una corriente de 4A.....	37
Tabla 11. Datasheet del circuito elevador de voltaje retroalimentado.....	37

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el diseño de los módulos de acondicionamiento eléctrico para el prototipo de vórtice gravitacional, la construcción de un convertidor de voltaje conmutado DC/DC. El sistema de acondicionamiento está dividido en tres módulos. El módulo de generación que ésta encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. El segundo módulo realiza el control de carga e inversión de energía DC/AC; el ultimo módulo almacena la energía producida en un banco de baterías. En cada uno de los módulos se especifica un equipo para diseñar un sistema con una potencia de 2 KW. Para el diseño, elaboración del convertidor de voltaje conmutado se utiliza un circuito integrado LM2587 Boost que permite optimizar el funcionamiento y reduce las pérdidas de tensión.

PALABRAS CLAVES: convertidor conmutado, módulo, energía.

ABSTRACT

The present work of degree details the design of the electrical conditioning modules for the gravitational vortex prototype, the construction of a DC/DC switched voltage converter. The conditioning system is divided into three modules. The generation module that is responsible for transforming mechanical energy into electrical energy. The second module performs DC/AC power inversion and load control; the last module stores the produced energy in a battery bank. Each of the modules specifies a system to design a system with a power of 2 KW. For the elaboration, design of the switched converter, an Boost LM2587 integrated circuit used that allows to optimize the operation and reduce the losses of tension.

KEYWORDS: switched voltage converter, module, energy.

Objetivo general

- Diseñar la etapa de acondicionamiento del vórtice gravitacional, diseñar y construir el módulo de auto regulación de voltaje de tipo Boost.

Objetivos específicos

- Conocer el funcionamiento de un vórtice gravitacional para la generación de energía eléctrica.
- Revisar y rediseñar los sistemas de conversión eléctrica propuestos para el vórtice gravitacional.
- Construir un elevador de voltaje retroalimentado para implementarse en el prototipo de vórtice gravitacional existente.
- Realizar pruebas de rendimiento bajo distintas condiciones.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico hace que en Latinoamérica año tras año se vaya incrementando la demanda energética. Según el Banco mundial hasta el año 2030 la población crecerá un 80%, lo que provocará un aumento en el uso de aparatos eléctricos y electrónicos. Una forma para cubrir esta demanda de manera sustentable es la utilización de energías renovables que en los últimos años los países que forman parte de ECPA Alianza de Energía y Clima de las Américas están optando por utilizar sus abundantes recursos naturales (Banco Mundial, 2017). Según el Plan Maestro de Electricidad 2016 – 2025 de Ecuador se estima que para el año 2025 toda la demanda energética será solventada por centrales hidráulicas, como podemos visualizar en la figura 1 en la que también se puede evidenciar que la producción de energías no convencionales no aumentará.(CELEC, 2017)

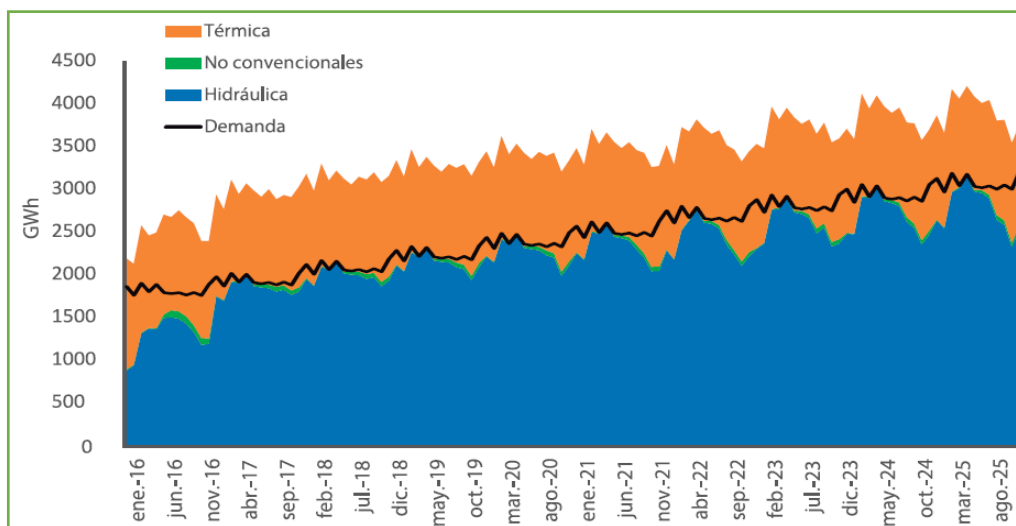


Figura 1. Proyección del crecimiento energético en Ecuador hasta el año 2025.

Fuente:(CELEC,2017).

Elaborado por:(CELEC,2017).

Una de las problemáticas que se presenta en Ecuador es el acceso a la energía eléctrica en sectores alejados por la topología geográfica que presenta el terreno, esto representa el 2,67% (ARCONEL, 2017) de la población que no cuenta con este servicio básico, debido a estas dificultades imposibilita a las autoridades de turno den prioridad a estos lugares por la inversión económica que se necesita para llevar redes eléctricas a estos sitios, causando una pobreza energética en nuestro país lo que conlleva a un impacto socioeconómico y no permite el desarrollo de estos sectores. Se ha tratado de mitigar esta problemática con energías renovables como la solar que aprovecha la radiación electromagnética procedente del sol, mediante celdas fotovoltaicas, pero este sistema no es completamente limpio y presenta una gran intermitencia porque depende de los rayos solares.

Una nueva forma de generación es la micro hidrogenación basada en vórtice gravitacional que presenta ventajas ante los demás sistemas, para su instalación no necesita un caudal abundante para hacer girar la turbina que activa el generador eléctrico, por lo que es una alternativa viable a implementarse en nuestro país por los recursos hídricos que posee. En el ámbito local en la Universidad Técnica Particular de Loja se han desarrollado investigaciones relacionadas al vórtice gravitacional enfocadas en mejorar su parte estructural, el diseño de su sistema mecánico y electrónico, presentando este último una de las mayores dificultades tanto en el prediseño como en su implementación. Por cuestiones de logística se reestructuró los objetivos planteados inicialmente que consistían en el diseño e implantación del sistema eléctrico del prototipo de vórtice gravitacional, por este motivo se decidió diseñar un elevador de voltaje retroalimentado DC/DC, para lo cual se dividió el presente trabajo en dos partes.

La primera se enfoca en diseñar una propuesta de equipos a utilizarse para la construcción de la etapa de acondicionamiento eléctrico del sistema de vórtice gravitacional, para lo cual se desarrolló la siguiente distribución de los módulos que conforman el sistema. El módulo de generación utiliza un generador síncrono trifásico de 2 kW de baja revoluciones, la energía producida por el generador ingresa al módulo de control que amplifica y transforma el voltaje de 48 V DC a 110 V AC, el último módulo que conforma el sistema es el de almacenamiento que consta de un banco de baterías de ciclo profundo para respaldar el sistema.

Actualmente luego de transformar la energía AC en DC se necesita estabilizar el voltaje de salida para lo cual se utiliza reguladores de voltaje lineales comúnmente, los que ocasionan pérdidas de potencia. Para solucionar este inconveniente en la segunda parte del trabajo de fin de titulación se elabora un regulador conmutado ajustable que permita reducir las pérdidas de potencia ocasionadas por los reguladores lineales. La ventaja que presenta el regulador conmutado es, que incluso si el voltaje de entrada fluctúa a la salida obtendremos el mismo voltaje de salida que se estableció.

CAPÍTULO 1
REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Introducción.

El siguiente capítulo tiene como objetivo hacer una revisión de literatura para recopilar información más relevante que permita desarrollar este proyecto de fin de carrera.

1.2. Vórtice gravitacional.

Es una nueva tecnología de turbina que ha surgido en los últimos años y promete ser un candidato para competir con los sistemas convencionales, es la hidrogenación de vórtice gravitacional que fue creada por Franz Zotlöterer en el año 2006, esta tecnología permite mantener una alta eficiencia con caudales medianos o pequeños lo que lo hace idóneo para la electrificación fuera de la red en áreas rurales. (Timilsina, Mulligan, & Bajracharya, 2018)

Se han realizado varias investigaciones desde que surgió la idea de generar energía mediante el vórtice gravitacional enfocadas en mejorar la parte estructural del vórtice una de estas investigaciones es la realizada por Javed Chattha quien pudo identificar parámetros que se deben tomar en cuenta como son la velocidad tangencial del agua en la base de vórtice, la altura del vórtice y además de la variación de parámetros geométricos, para lograr un mejor rendimiento del sistema. (Chattha, Cheema, & Khan, 2017)

Wajiha Rehman en su publicación expresa que la mayor velocidad tangencial que se puede obtener en el vórtice es con una cuenca cónica. Rehman centro su trabajo en encontrar el impacto que causan los parámetros geométricos en la velocidad del flujo para lograr un vórtice gravitacional con un rendimiento mejorado. Finalizado su análisis identificó la combinación de parámetros como la relación diámetro superior a diámetro de salida que debe ser de 2.5 y tener una inclinación en la entrada de 60 grados con el ángulo de la placa prerrotacional de 30 grados para conseguir un vórtice simétrico de alta velocidad. (Rehman, Ijaz, & Munir, 2017)

“Generación eléctrica y monitoreo de un sistema de hidrogenación basada en vórtice gravitacional” es un trabajo desarrollado en la Universidad Técnica Particular de Loja en el cual se diseña y elabora un generador síncrono monofásico de fase dividida de baja potencia, que se conecta a un sistema de poleas para incrementar su velocidad, este sistema conecta la hélice ubicada en el tanque de circulación del vórtice gravitacional con el generador. En este diseño se incorporó un sistema de monitoreo en tiempo real de la velocidad de rotación del generador, la tensión de salida y el voltaje de la batería. (Ortega Suing & Romero Añazco, 2014)

1.3. Electrónica de potencia.

Para brindar un mejor servicio eléctrico a los usuarios se utiliza la electrónica de potencia para lograr un mejorar sustancialmente el rendimiento de la red eléctrica demostrando que es una tecnología importante. (Zhang, 2013)

1.4. Electrónica de potencia en micro hidrogeneradores.

La hidroelectricidad según el tipo de instalación se divide en cinco categorías dentro de las cuales la micro hidrogenación está en el tipo desviación porque desvía una parte del río o riachuelo para que funcione el sistema. Generalmente las pequeñas plantas de energías renovables utilizan generadores asíncronos debido a que son baratos confiables y no necesitan mucho mantenimiento. (Nababan, Muljadi, & Blaabjerg, 2012)

En la publicación “An Overview of Power Topologies for Micro-Hydro Turbines” describe los generadores de velocidad fija que permiten desviaciones limitadas solamente por la cabeza y la descarga, mientras que en los generadores de velocidad variable pueden mejorar la eficiencia de la conversión de la energía en las turbinas de agua. También se presentan varias topologías conectadas a la red con generadores variables que se conectan a convertidores AC/DC/AC para incorporarse a la red, mientras que los sistemas desconectados de la red generalmente son empleados para la carga de baterías. (Nababan, Muljadi, & Blaabjerg, 2012)

Generalmente hay cuatro tipos de topologías de electrónica de potencia entre ellas tenemos los rectificadores de AC a DC que son utilizados para generar un voltaje DC controlado desde una fuente de voltaje AC no controlada, los convertidores DC a DC son los encargados de convertir el voltaje o corriente DC a un nivel superior o inferior según se requiera. Un inversor DC a AC genera un voltaje AC controlado a partir de una entrada DC, mientras que los convertidores AC a AC se usan para cambiar la frecuencia de salida.

El trabajo de fin de titulación “Diseño de la etapa electrónica de un sistema de energía renovable basado en un pico hidrogenador DC de vórtice gravitacional” presenta dos sistemas de generación uno con salida DC y otro con salida AC, ambos sistemas utilizan un generador DC de imanes permanentes de 48 VDC. Cuentan con un banco de baterías, un bus DC para conectar otros sistemas y un controlador PI encargado de eliminar el excedente de energía mediante cargas fantasmas cuando no se encuentra ninguna carga conectada al sistema. La diferencia que presentan estos sistemas es la utilización de convertidores tipo Buck cuando se requiere una salida DC y convertidores tipo Boost e inversores DC/AC cuando sea una salida AC. (C.Quizhpe M.Soto, 2018)

1.5. Generadores.

Un generador es una máquina capaz de transformar la energía mecánica que recibe su eje en energía eléctrica. (Manzano Orrego, 2008) El funcionamiento de un generador se basa en los principios de inducción magnética formulada por Lenz y Faraday. Los generadores se diferencian de acuerdo al tipo de corriente producen que puede ser de dos tipos (DC corriente continua) y (CA corriente alterna) que a su vez pueden ser síncronos o asíncronos. (C.Quizhpe

M.Soto, 2018) Los generadores son máquinas muy evolucionadas que pueden obtener un rendimiento bastante alto (95%) en su funcionamiento nominal. En algunos generados se instalan multiplicadores de velocidad para aumentar el giro del rotor del generador permitiendo reducir su tamaño y coste. (Ceupe, 2019)

1.5.1 Generador en corriente continua.

Los generadores en corriente continua convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Estas máquinas tienen similitud a las máquinas en CA ya que tienen voltajes y corrientes de ca dentro de ellas, internamente cuentan con un conmutador encargado de convertir las tensiones internas de CA en tensiones en sus terminales obteniendo una salida DC. Pueden operar físicamente como motor o como generador solo es cuestión de manipular la dirección del flujo de potencia que circula a través de ella.(Stephen J. Chapman, 2012)

Principalmente un generador está constituido por un rotor y un estator. El estator es la parte fija y está formado por un núcleo macizo, por el estator circula toda la energía producida. Según como se conecte el campo con la armadura, se diferencian los bobinados en serie y paralelo. Los bobinados de campo en serie están formados por un mínimo de vueltas de alambre de gran calibre lo que permite que la corriente de armadura circule. Mientras que el bobinado de campo en paralelo conta de muchas vueltas de alambre de pequeño calibre por donde circulará una pequeña corriente. Las escobillas permiten transmitir la corriente continua entre el estator y el rotor, por su parte el rotor está formado por un núcleo de fierro laminado evitando así pérdidas debido a corriente parásitas.(Juela, 2017; M.Rodríguez & M.León, 2016)

Al alimentar los devanadores de campo en un generador de corriente continua con una fuente directa de tensión, esto causará que circule una corriente de excitación causando que en el entrehierro de la máquina se cree un campo magnético fijo. Si el rotor empieza a girar realizando un trabajo mecánico, las espiras cortarán el flujo magnético, esto hará que en el devanado de la armadura se induzca una tensión alterna que rectifica por acción del colector de delgas y las escobillas convirtiéndose en una tensión continua.(Salguero, 2017)

1.5.2 Generador asíncrono.

En las máquinas asíncronas el devanado del estator normalmente es trifásico, en máquinas de baja potencia puede ser monofásico o bifásico. Mientras que en el rotor su devanado siempre es polifásico. El rotor de estas máquinas puede ser de dos tipos de jaula de ardilla y de rotor bobinado. (Pozueta, 2015)

La composición de un rotor de jaula de ardilla utiliza barras de cobre desnudo un poco más largas que el rotor que se colocan en las ranuras por uno de sus extremos. Mientras que los extremos opuestos se sueldan a dos anillos de cobre lo que ocasiona que todas las barras

estén en cortocircuito entre sí. Un rotor devanado casi siempre está conectado en Y con 3 conductores. Existen tres anillos colectores donde las terminales están conectadas, estos anillos giran junto con el rotor.(WILDI, 2007)

1.5.3 Generador síncrono.

Un generador síncrono transforma la energía mecánica en energía eléctrica en AC, al igual que las demás máquinas eléctricas está constituido por dos devanados independientes. El primero es un devanado inductor que es alimentado por una corriente continua y está elaborado en forma de arrollamiento concentrado o distribuidos en ranuramos. Mientras que el devanado inducido está dispuesto en forma de un arrollamiento trifásico por el cual recorre una corriente alterna. (Mora, 2003)

Las máquinas síncronas constan de una parte activa fija llamada inducido, armadura o estator y de una parte giratoria coaxial que se conoce como inductor o rotor, la separación que existe entre estos dos componentes se denomina entrehierro. Esta máquina puede utilizarse como generador o motor. Al trabajar como generador se aplica un voltaje DC en el campo de excitación del rotor y este se ve desplazado por una fuente mecánica externa que produce un campo magnético giratorio que atraviesa los conductores del estator, provocando con esto un voltaje entre los terminales del generador.(Marino, 2011)

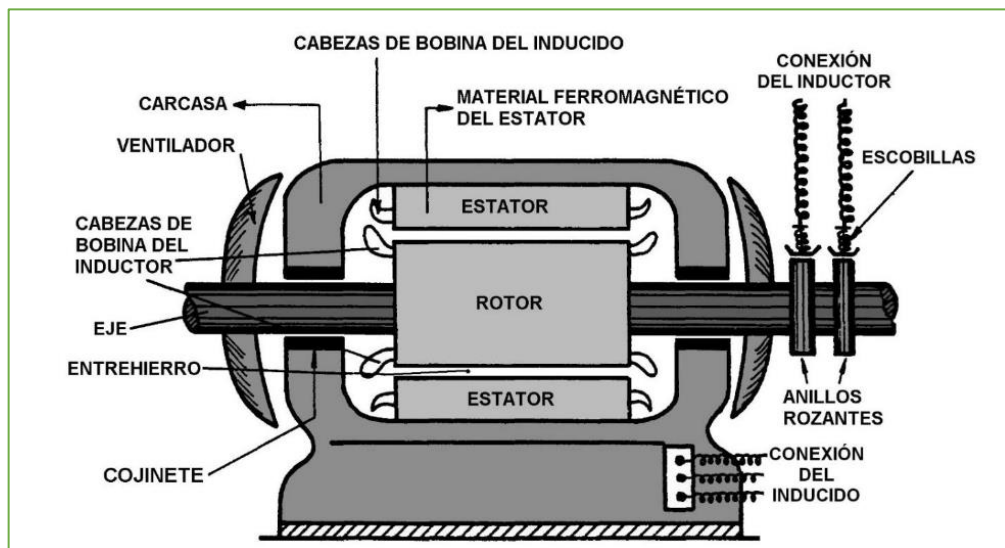


Figura 2. Partes que conforman una máquina síncrona con rotor cilíndrico.

Fuente:(Rodríguez Pozueta, 2015).

Elaborado por:(Rodríguez Pozueta, 2015).

En la figura 2 observamos una máquina síncrona con rotor cilíndrico, cuando actúa como generador de corriente alterna hace girar su rotor y con él gira el campo magnético del inductor. El campo es generado por una corriente continua y al hacer girar el rotor las fases del estator 'ven' un campo magnético móvil. (Rodríguez Pozueta, 2015)

1.5.4 Generador de imanes permanente.

Un generador de imanes permanentes cuenta con un tipo de imán artificial, los imanes permanentes artificiales son fabricados con materiales ferromagnéticos duros que luego de ser imantados pueden generar un campo magnético perdurable.(M.Rodríguez & M.León, 2016)

1.6. Convertidor DC/ DC.

La función principal que tiene un convertidor es transformar una tensión continua en otro nivel de tensión continua, está puede ser mayor o menor al voltaje de entrada. Las configuraciones más utilizadas en DC son: reductor (Buck), elevador (Boost), Reductor-elevador (Buck-Boost). Un convertidor DC/ DC tiene una similitud a un transformador CA debido que estos se usan para subir o bajar el voltaje de una fuente. (Cardona Herrera & Ospina Hurtado, 2015)

Los convertidores de conmutación pueden dividirse en dos grupos convertidores no aislados que comparten una ruta en común entre la fuente de entrada y la carga de salida y los convertidores aislados que mediante componentes magnéticos de acoplamiento mutuo (transformadores) transfieren la energía, lo que permite un aislamiento entre la entrada y salida. (Roberts, 2015)

1.6.1 Convertidor elevador (Boost).

Como su nombre lo indica un convertidor elevador hace que el voltaje de salida sea mayor que el de entrada. (Rashid, 2005) Un convertidor elevador puede contener al menos dos semiconductores (un diodo y un transistor) y un componente de almacenamiento de energía como un condensador, inductor, para eliminar el ruido y la ondulación de tensión se utiliza un condensador como filtro, normalmente se añaden a la entrada y salida del circuito. (Electronoobs, 2018)

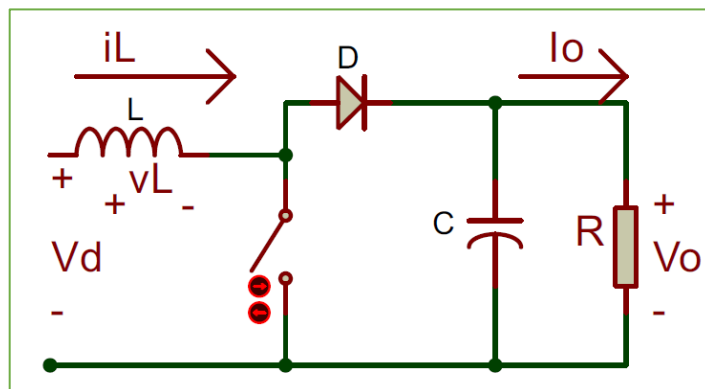


Figura 3. Esquema básico de un convertidor elevador Boost.
Fuente:(Mohan, Undeland, & Robbins, 2009).
Elaborado por: El Autor.

En un convertidor elevador el voltaje que se obtiene a su salida siempre es mayor que el voltaje de entrada. La figura 3 muestra un circuito de un convertidor elevador. Si el interruptor está encendido el diodo se polariza de forma inversa, aislado la etapa de salida. El inductor es alimentado por el voltaje de entrada. Cuando el interruptor esta desconectado la salida recibe la energía tanto del inductor como de la entrada. El condensador de filtrado ubicado a la salida debe ser muy grande para asegurar un voltaje de salida constante $V_o(t) \approx V_o$. (Mohan et al., 2009)

1.6.2 Convertidor reductor (Buck).

Como su nombre lo indica a su salida se obtiene un voltaje más bajo que la entrada, este tipo de convertidor es principalmente utilizado en fuentes de energía DC y para controlar la velocidad en motores DC. (Mohan et al., 2009)

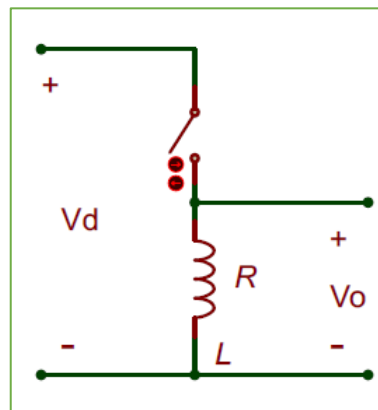


Figura 4. Esquema básico de convertidor reductor Buck.
Fuente: (Rodríguez Pozueta, 2015).
Elaborado por: El Autor.

1.6.3 Convertidor reductor/elevador (Buck-bost).

Un convertidor reductor/elevador puede utilizarse en fuentes de energía DC reguladas, donde el voltaje de salida puede ser mayor o menor al voltaje de entrada según se requiera. Este tipo de convertidor resulta de la unión en cascada de dos convertidores básicos el convertidor elevador y el convertidor reductor. (Mohan et al., 2009)

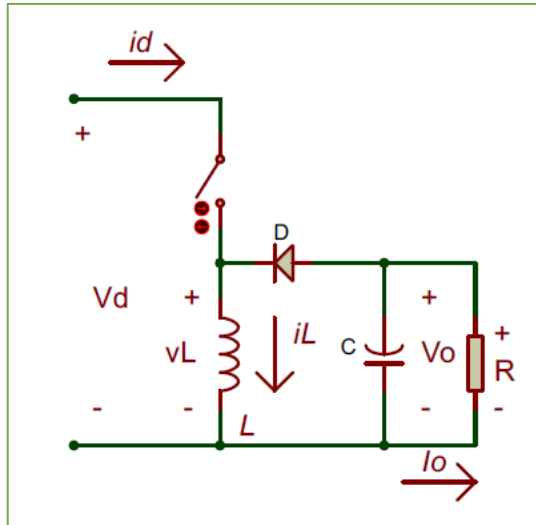


Figura 5. Esquema básico de un convertidor Buck/Boost.
Fuente:(Rodríguez Pozueta, 2015).
Elaborado por: El Autor.

1.6.4 Convertidores no aislados.

Los convertidores elevadores son convertidores no aislados, una forma básica de subir el voltaje es utilizar un convertidor basado en PWM que solo comprende tres componentes (un inductor, un interruptor y un diodo). Los circuitos no aislados DC/DC se emplean para niveles de baja potencia y son de un costo y tamaño reducido, para los sistemas de alta potencia se trabaja con convertidores aislados. (Forouzesh, Siwakoti, Gorji, Blaabjerg, & Lehman, 2017)

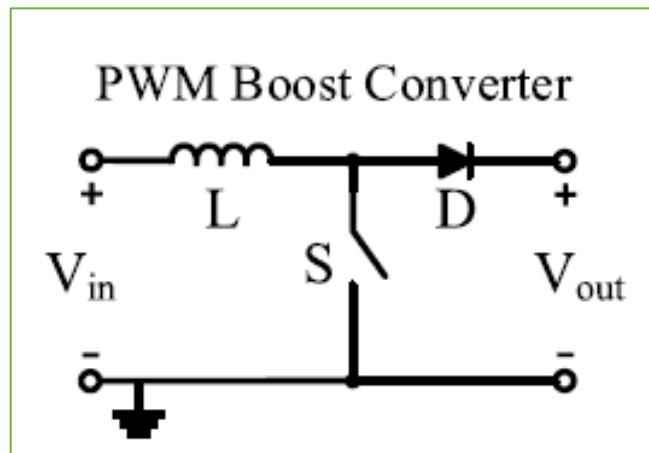


Figura 6. Esquema de un convertidor elevador PWM.
Fuente: (Forouzesh, Siwakoti, Gorji, Blaabjerg, & Lehman, 2017).
Elaborado por: (Forouzesh, Siwakoti, Gorji, Blaabjerg, & Lehman, 2017).

1.6.5 Bucle de retroalimentación.

El objetivo de un bucle de retroalimentación en un convertidor DC/DC es mantener el voltaje salida independientemente del voltaje de entrada o las condiciones que se presenten. Si en el diseño no calculan adecuadamente los parámetros puede ocasionar inestabilidad o fallo de regulación. (Roberts, 2015)

1.6.5.1 Bucle cerrado.

La ventaja de un bucle cerrado se debe a que los cambios de voltaje de entrada se compensan, así como los cambios en la tensión de salida ocasionados por cambios en la carga. Se puede utilizar un lazo de retroalimentación para hacer una salida constante a partir de una fuente de voltaje variable en la entrada para ello se utiliza un amplificador de error que ajusta la salida mediante una señal de retroalimentación basada en la corriente de salida en lugar de la tensión de salida.(Roberts, 2015)

1.7. Rectificadores.

Se utilizan para convertir una corriente alterna en corriente continua, los rectificadores pueden ser de media onda o de onda completa. Un rectificador de onda completa hace básicamente lo mismo que un rectificador de media onda, pero el de onda completa presenta algunas ventajas. Presenta menos rizado a la salida el rectificador de onda completa que el de media onda otra ventaja que presenta es que la corriente media del generador de alterna es nula por lo que evita problemas asociados a las corrientes medias del generador distintas de cero.(Hart, 2001)

1.8. Reguladores de carga.

En los sistemas desconectados de la red uno de los equipos más característicos es el regulador de carga que es el encargado de controlar el flujo de energía entre el generador y las baterías controlando la carga de las mismas.(Serrano, 2016) Estos equipos permiten cargar las baterías de forma controlada evitando un deterioro y una sobrecarga.(Saclima Solar Fotovoltaica, 2016)

1.8.1 Regulador PWM.

Este tipo de regulador solo emplea el voltaje que necesita la batería o el banco de baterías, para ello reduce la tensión de entrada del generador a las baterías logrando que la tensión entre ambas sea igual y compatible, esto ocasiona que no se aproveche en su totalidad el generador provocando pérdidas de potencia. (Autosolar Energy Solutions SLU, 2019a) El regulador PWM(modulación por anchura de pulsos) carga de forma gradual la batería a pulsos de tensión permitiendo que la corriente se fluya poco a poco hasta que la batería se llene.(Serrano, 2016)

1.8.2 Regulador MPPT.

Como se visualiza en la figura 7 los reguladores MPPT (seguidor del punto de máxima potencia) trabajan en la parte de su curva donde se optimiza la carga independiente de la carga conectada al generador logrando que utilice toda la intensidad que produzca el

generador independientemente del voltaje, permitiendo reducir las pérdidas en un 30% que un regulador PWM. (Autosolar Energy Solutions SLU, 2019b)

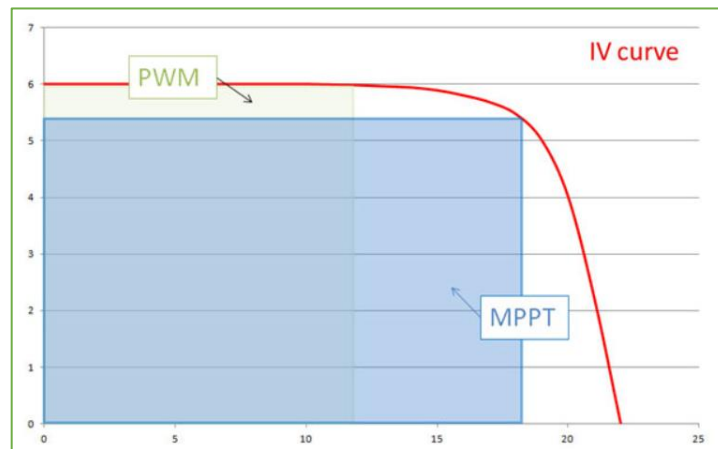


Figura 7. Curva de trabajo de los reguladores PWM y MPPT.
Fuente:(Serrano, 2016).
Elaborado por:(Serrano, 2016).

1.9. Inversores.

Un inversor es un dispositivo electrónico que tiene como función convertir una corriente continua DC de entrada a una corriente alterna AC de salida. El principal objetivo que tiene un inversor es la conversión de un voltaje DC a un voltaje simétrico de salida AC con especificaciones de tensión y frecuencia según se necesite.(CORPNEWLINE, 2016)

Los inversores son indispensables cuando queremos alimentar a través de corriente continua los equipos electrónicos que funcionen en corriente alterna. Se puede utilizar inversores en sistemas aislados autónomos y en sistemas conectados a la red, se puede considerar 3 tipos de inversores utilizados para alimentar cargas de corriente alterna. Los de onda cuadrada que son adecuados para alimentar cargas puramente resistivas. (MpptSolar, 2019)

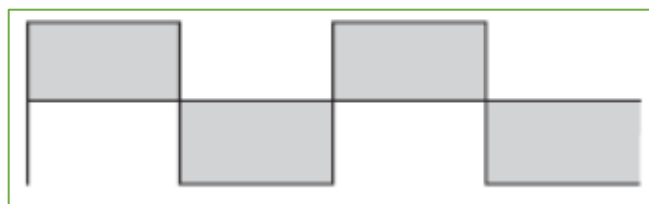


Figura 8. Gráfica de una onda cuadrada.
Fuente:(MpptSolar, 2019).
Elaborado por:(MpptSolar, 2019).

Los de onda sinusoidal modificada que se utilizan para cargas resistivas y capacitivas, al conectar una carga inductiva este tipo de inversores pueden producir ruido.

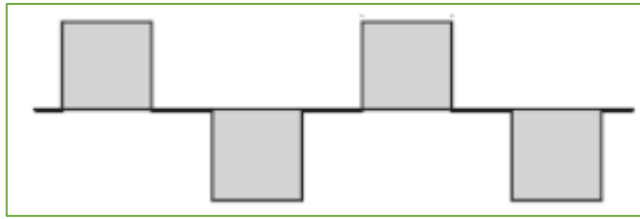


Figura 9. Gráfica de una onda sinusoidal modificada
 Fuente:(MpptSolar, 2019).
 Elaborado por:(MpptSolar, 2019).

Los de onda sinusoidal pura son comúnmente los más utilizados porque permiten conectar todo tipo de carga porque su onda sinusoidal producida es idéntica a la de nuestra red eléctrica.

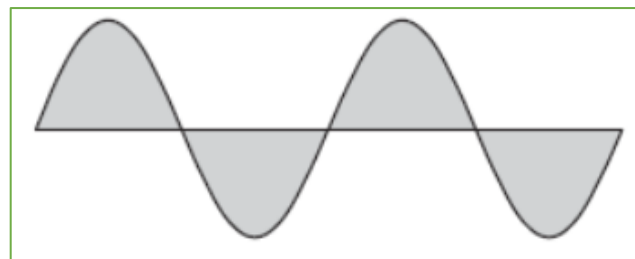


Figura 10. Gráfica de una onda sinusoidal pura
 Fuente:(MpptSolar, 2019).
 Elaborado por:(MpptSolar, 2019).

1.10. Baterías.

Las baterías son dispositivos que sirven para almacenar la energía en forma química. Al conectar una batería a un circuito eléctrico la energía almacenada de forma química se transforma en energía eléctrica en corriente continua, todas las baterías cuentan con un electrodo positivo, negativo y un separador.(Yuasa Battery Europe, 2014) Cuando conectamos una carga a una batería y esta se está descargando ocasiona un cambio electroquímico entre todos los materiales en los dos electrodos.(RENOVAENERGIA, 2015b) En la actualidad existen muchos tipos de baterías empleadas en diferentes áreas. A continuación, se detallará algunos de estos tipos de baterías.

1.10.1 Baterías Líquidas.

Son las más antiguas permitiendo que se encuentren en el mercado a precios favorables, la ventaja de utilizar este tipo de baterías es que son menos problemáticas si se sobrecargan pero presentan una vida útil muy corta aproximadamente de 400 ciclos de carga y descarga.(RENOVAENERGIA, 2015b)

1.10.2 Baterías tipo AGM.

Utilizan fibra de vidrio donde el ácido es fijado, son las más usadas para aplicaciones solares y eólicas. Este tipo de batería presentan la eficiencia más alta de todas las baterías de plomo

ácido (hasta un 90%), pueden trabajar con corrientes altas, gracias a que tienen una baja resistencia interna. (RENOVAENERGIA, 2015b)

1.10.3 Baterías de Gel.

Lo que caracteriza esta batería es que el ácido es en forma de gel así se evita la pérdida de líquido que tienen otras baterías, pueden resistir bajas temperaturas y tienen una vida útil mucho mayor y son las menos afectadas ante descargas profundas pero son muy susceptibles al cargar.(RENOVAENERGIA, 2015b)

1.10.4 Baterías tipo VRLA.

Tienen una tecnología que recombina el oxígeno e hidrógeno que se expulsa durante la carga logrando que eliminen la pérdida de agua si no son sobrecargadas. (RENOVAENERGIA, 2015b)

CAPÍTULO 2

DISEÑO E INVESTIGACIÓN DE LOS MÓDULOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

2.1. Diseño del sistema eléctrico.

En este capítulo se diseñará cada uno de los módulos que forman parte del sistema de acondicionamiento eléctrico del prototipo de vórtice gravitacional. El sistema por diseñarse tiene una potencia de 2 KW con una salida AC (corriente alterna). Luego de revisar literatura referente al tema en capítulo 1 y las topologías existentes se planteó la siguiente topología para el sistema.

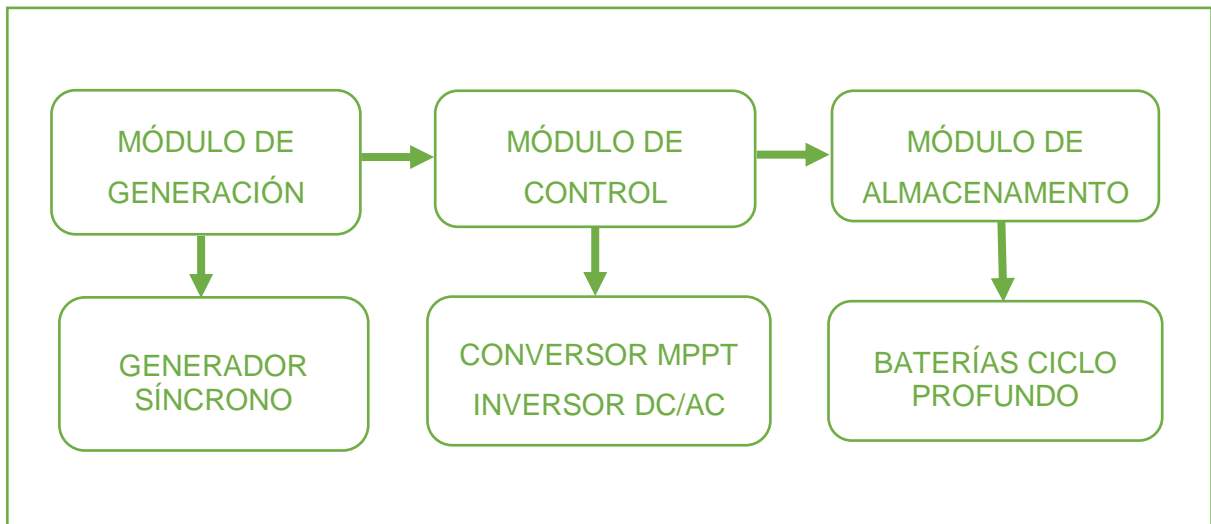


Figura 11. Diagrama de bloques de la Distribución de los módulos del sistema eléctrico.

Fuente: El Autor.

Elaborado por: El Autor.

En la figura 11 se observa la distribución de los módulos a lo largo del sistema que está dividido en tres partes, el sistema cuenta con un generador síncrono de imanes permanentes, un regulador de carga, un inversor DC/ AC y un banco de baterías. Se sugiere el uso de cargas fantasmas para eliminar el exceso de energía cuando no exista carga a la salida del sistema. A continuación, se detallará cada módulo con sus respectivos equipos.

2.2. Módulo de generación.

El módulo de generación es la parte principal del sistema por que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, para escoger el generador idóneo que presente las mejores prestaciones para el sistema y trabaje conjuntamente con turbina, se procedió a buscar la disponibilidad en el mercado de generadores de baja potencia. Luego de revisar los distintos tipos de generadores disponibles en el mercado se optó por utilizar un generador síncrono de imanes permanentes de 48 voltios trifásico ya que presentan una mayor eficiencia energética, menor tamaño, menor peso que otros generadores.



Figura 12. Generador de imanes permanentes de 48 voltios.
 Fuente: (IstaBreeze, 2019).
 Elaborado por: (IstaBreeze, 2019).

Cabe mencionar que en Ecuador existen dos estaciones climáticas a lo largo del año, invierno y verano. Como se mencionó en el capítulo 1 la generación energética basada en vórtice gravitacional depende del caudal que ingrese al tanque de circulación, en la etapa de verano que está comprendida entre los meses de junio a noviembre tenemos una reducción de caudal en ríos, riachuelos, etc. Lo que producirá fluctuaciones al caudal que ingrese al vórtice por lo que se sugiere el uso de generadores de baja revoluciones para mitigar este inconveniente. La tabla 1 detalla las características del generador que se escogió el cual cumple con los requerimientos.

Tabla 1. Datos Técnicos del Generador.

Especificaciones del generador	
Generador	Imanes permanentes trifásico (imanes NdFeBo, resistente a temperaturas de 150°)
Potencia nominal	2 KW
Potencia máxima	3.2 KW
Tensión del sistema	48 V
Corriente de salida	AC
Rango de velocidad	0 - 800 rpm
Espacio de trabajo	170 – 600 rpm
Dirección	Cualquiera
Eficiencia	92 %
Peso	22 kg

Fuente: (IstaBreeze, 2019).
 Elaborado por: El Autor.

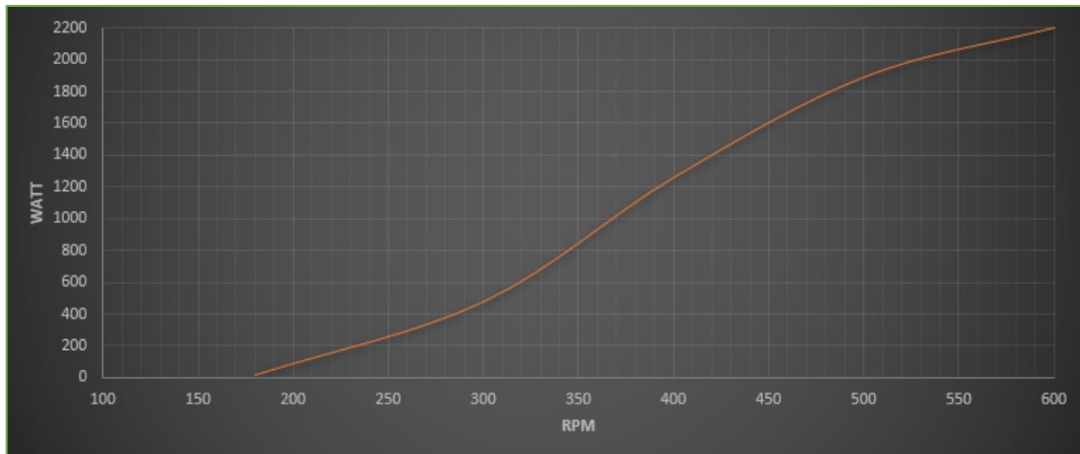


Figura 13. Tabla de rendimiento del generador marca Istabreeze.
 Fuente:(Istabreeze, 2019).
 Elaborado por: (Istabreeze, 2019).

La tabla de rendimiento es muy importante a la hora de seleccionar un equipo debido a que nos permite visualizar su rendimiento, en la figura 13 se visualiza la potencia del generador en función de las revoluciones por minuto (RPM), y se puede observar que los datos de la gráfica concuerdan con los de la tabla 1.

2.3. Módulo de control.

La tensión producida por el generador ingresa al módulo de control que está conformado por dos equipos un regulador de carga y un inversor. En el mercado destacan dos tipos de reguladores los reguladores de carga MPPT y los reguladores de carga PWM, para el sistema se propone la utilización de un regulador MPPT, aunque este tipo de regulador tiene un precio más elevado que el PWM pero el costo adicional se compensa gracias a que permite aprovechar un 30% más la energía del generador, el modelo que se escogió para este sistema se detalla en tabla 2, este equipo permitirá extender la vida útil del banco de baterías, algunos modelos de reguladores MPPT integran una carga fantasma para eliminar el excedente de energía cuando no se tiene una carga a su salida, la mayoría de estos equipos son para potencias menores a 1 KW.



Figura 14. Regulador de carga MPPT de 2000W 35A.
 Fuente:(RENOVAENERGIA, 2015c).
 Elaborado por:(RENOVAENERGIA, 2015c).

Tabla 2. Datos Técnicos de Regulador de voltaje.

Especificaciones del regulador de voltaje	
Tensión de batería	Selección automática 12/ 24/ 36/ 48 V
Corriente de carga	35 A
Potencia FV máxima	12V:500W/ 24V:1000W/ 36V:1500W/ 48V:2000W
Máxima corriente	40 A
Corriente de salida	AC
Eficacia máxima	98%
Humedad	95% sin condensación
Autoconsumo	12: 20mA / 24:15mA / 48:10mA

Fuente: (RENOVAENERGIA, 2015c).

Elaborado por: El Autor.

La salida del regulador de voltaje tiene una tensión de 48 voltios en DC, para lograr transformar esta tensión en AC se escogió un inversor de DC / AC de onda sinusoidal pura porque permiten conectar cualquier tipo de carga a su salida, para ello se seleccionó el siguiente inversor que cumple con estos requisitos logrando obtener una salida de 110 VAC a partir de una entrada de 48 VDC, en la tabla 3 podemos encontrar sus principales especificaciones técnicas.



Figura 15. Inversor de voltaje DC / AC de 1500W.

Fuente:(Mouser Electronics, 2019).

Elaborado por:(Mouser Electronics, 2019).

Tabla 3. Datos Técnicos del inversor de voltaje.

Especificaciones del inversor	
Serie	Inversor TS-1500-148A.
Voltaje entrada	42 to 60 VDC
Voltaje de salida	110 VAC

Potencia de salida	1500 W
Exactitud de regulación	3 %
Número de salidas	2
Corriente de entrada	37,5 A
Peso	6.81 kg

Fuente: (Mouser Electronics, 2019).
Elaborado por: El Autor.

2.4. Almacenamiento de energía.

Todo sistema de energía renovable requiere el uso de baterías para almacenar la energía generada a lo largo del día. Actualmente la batería de tipo AGM es el más utilizado porque tienen una mayor eficiencia aproximadamente del 90% y los ciclos de trabajo superan fácilmente los 800 ciclos lo que extiende su vida útil. Por estos motivos para el sistema se propone la utilización de baterías de ciclo profundo tipo AGM para crear un arreglo de 4 baterías de 12 voltios de 40 amperios para el almacenamiento de energía, las características de la batería que escogió se pueden visualizar en la tabla 4.



Figura 16. Batería de ciclo profundo de 40 A hora.
Fuente:(RENOVAENERGIA, 2015a).
Elaborado por:(RENOVAENERGIA, 2015a).

Tabla 4. Datos Técnicos del banco de baterías.

Especificaciones de la batería	
Tipo de batería	Batería estacionaria, ciclo profundo.
Voltaje nominal	12 VDC
Tipo de electrolito	Electrolito tipo AGM
Dimensiones	198 (L) x 166 (A) x 171 (H)
Capacidades nominales	40 Ah @20 hr-rate to 1.75v per cell @25oC
Tipo de terminales	F4 / F11
Límite de corriente de descarga	400 A

Límite de carga recomendado	12 A
Peso	13 kg

Fuente: (RENOVAENERGIA, 2015a).
Elaborado por: El Autor.

2.5. Presupuesto.

En esta sección del capítulo se especifica el costo inicial que tendrá el sistema eléctrico del vórtice gravitacional, los costos que se visualizan en la tabla 5 pueden variar debido a que algunas partes de los módulos no están disponibles en nuestro país y es necesario importar estos equipos, los mismos que están sujetos a impuestos regulados por la SENA (Servicio Nacional de Aduana del Ecuador) lo que puede conllevar a una variación del presupuesto. En el presupuesto también se incluye la estructura metálica utilizada para aislar el tablero del suelo donde se ubicarán los equipos de control y banco de baterías, (Disensa, 2019) se recomienda ubicar el tablero a 0.80 metros de separación con respecto del suelo.

Tabla 5. Presupuesto final del sistema eléctrico para el prototipo de vórtice gravitacional.

Ítem	Cant.	V. Unitario	V. Total
Generador (PMG) 48 V – 2000w	1	1350	1350
Convertidor MPPT	1	626,23	626,23
Inversor DC/AC 48VDC a 110VAC 1500W	1	469,38	469,38
Baterías de ciclo profundo 12V 40A	4	138.25	553
Armario 0,8 m x 0,60m x0,31m Aislante térmico y Eléctrico	1	112	112
Rollo de Cable Awg 14 THHN	1	65	65
Tubo Estructural Negro Cuadrado 100 x 100 x 4 mm	2	100	200
Teja Toledo-Rojo 1044 mm x 6 m x 0,45 mm	1	76,68	76,68
Otros (tornillos, cinta aislante, soldadura, etc)	1	250	250
		\$ 3702,29	

Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

El costo total especificado solo contempla el sistema eléctrico, la estructura del vórtice gravitacional tiene un costo adicional lo que incrementa el costo total del sistema.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE UN CONVERTIDOR DE VOLTAJE CONMUTADO BOOST

3.1 Equipos.

El capítulo 3 corresponde al diseño y construcción de un convertidor Boost retroalimentado, para comprobar el funcionamiento del convertidor se utilizará el generador del prototipo de vórtice gravitacional elaborado en el trabajo de fin de titulación “ Diseño, construcción e implementación de un bloque de generación eléctrica y un módulo de monitoreo para un sistema de hidrogenación basada en vórtice gravitacional ” desarrollado por (Ortega Suing & Romero Añazco, 2014). Quienes diseñaron y construyeron un generador eléctrico asíncrono monofásico de fase dividida (GAM-FD).

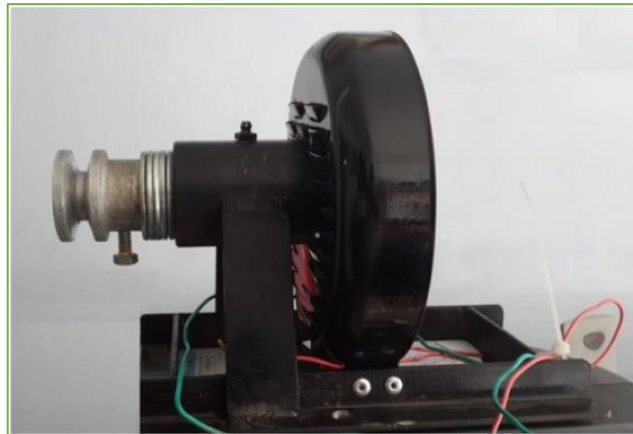


Figura 17 Generador eléctrico monofásico
Fuente: (Ortega Suing & Romero Añazco, 2014)
Elaborado por: (Ortega Suing & Romero Añazco, 2014)

Podemos visualizar el generador en la figura 17 que luego de las pruebas realizadas al bloque de generación dio como resultado un voltaje eficaz AC variable entre 13.5V y 14.5V, que ingresa a un puente de diodos monofásico de onda completa para su rectificación, la tensión de salida ingresará a un elevador de voltaje Step Up Boost DC/DC para obtener una salida de 24V DC, el diseño y construcción de este elevador se detalla en este capítulo.

3.2 Construcción Step Up Boost DC/DC Feedback.

Como se mencionó en el capítulo 2 un vórtice gravitacional es susceptible a los cambios de caudal lo que ocasiona variación en el voltaje de salida del generador, por este motivo se decidió diseñar un circuito elevador retroalimentado que permite obtener un voltaje de salida mayor al voltaje de entrada, incluso si se cambia el valor de entrada el voltaje de salida será el mismo.

Para el diseño del elevador se optó por utilizar un integrado para convertidores conmutados lo que permitirá reducir el costo del circuito final y reducir los componentes necesarios para su funcionamiento, se decidió utilizar el integrado monolítico LM2587-ADJ que soporta

voltajes de entrada de 4V a 40V y utiliza interruptor NPN que soporta 5A y 65V a la salida, también cuenta con un pin de retroalimentación. El esquema propuesto en la figura 18 se empleará para el diseño, primero se procedió a calcular los valores de componentes que se necesita para la elaboración de este circuito.

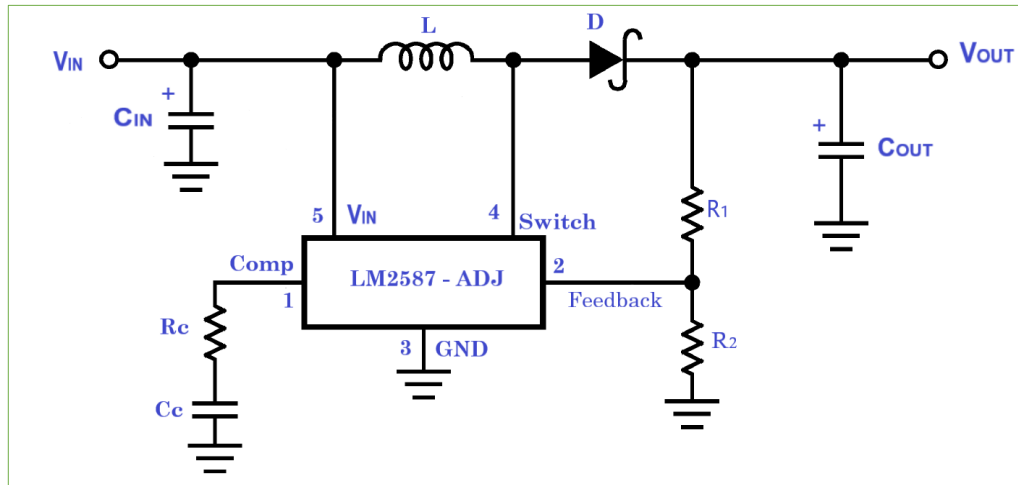


Figura 18. Topología del elevador de voltaje retroalimentado a diseñarse.
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

El fabricante del integrado en su hoja de especificaciones facilita las ecuaciones necesarias para encontrar los componentes que formaran el circuito, para ello debemos encontrar la corriente máxima de la carga de la siguiente manera.

$$I_{Load(max)} = \frac{2.1A \times V_{IN(min)}}{V_{OUT}}$$

$$I_{Load(max)} = \frac{2.1 \times 10}{24} = 0.88 A$$

Donde:

$V_{IN(min)}$ Tensión mínima de entrada

V_{OUT} Voltaje de salida regulado

$I_{LOAD(max)}$ Corriente máxima de salida

Para seleccionar el inductor que se necesita primero encontraremos estos 3 parámetros.

$$D_{(max)} = \frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN(min)}}{V_{OUT} + V_F - 0.6}$$

$$D_{(max)} = \frac{24 + 0.8 - 10}{24 + 0.8 - 0.6} = 0.61$$

Donde.

$D_{(max)}$ Ciclo de servicio de conmutador máximo.

V_F Voltaje de polarización

Luego se encuentra el producto del voltaje por el tiempo de carga del inductor

$$E.T = \frac{D_{(max)}(V_{IN(min)} - 0.6V)10^6}{52000Hz}$$

$$E.T = \frac{0.61(10 - 0.6)10^6}{52000Hz} = 110$$

Donde.

E.T Producto del Voltaje x Tiempo.

$$I_{IND,DC} = \frac{1.05 \times I_{LOAD(max)}}{1 - D_{(max)}}$$

$$I_{IND,DC} = \frac{1.05 \times 0.88}{1 - 0.61} = 2.37$$

Donde.

$I_{IND,DC}$ La corriente media del inductor bajo carga completa

Una vez encontrados estos parámetros utilizamos el resultado de $E.T$ y $I_{IND,DC}$ para identificar el código del inductor con la intersección de estos valores en la figura 19 obteniendo como resultado un inductor de:

$$H = 220 \mu H$$

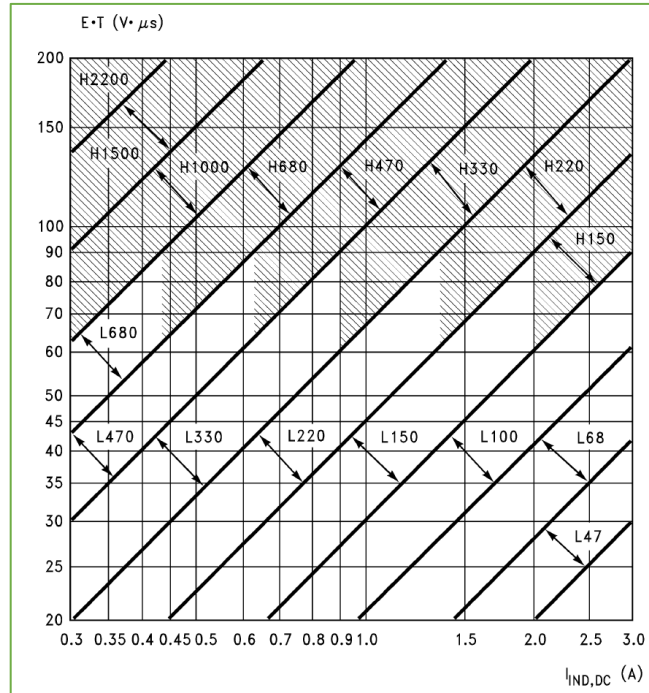


Figura 19. Gráfica del producto del voltaje por el tiempo
Fuente:(Texas Instruments, 2019) .
Elaborado por:(Texas Instruments, 2019).

Ahora se procede a encontrar el valor de máximo del resistor de estabilización, se recomienda que el valor del resistor que se utilizara sea menor a 3 kΩ.

$$R_C \leq \frac{750 \times I_{LOAD(max)} \times V_{OUT}^2}{V_{IN(min)}^2}$$

$$R_C \leq \frac{750 \times 0.88 \times 24^2}{10^2} = 3.80 \text{ k}\Omega$$

Donde.

R_C Resistor de estabilización del regulador.

Para calcular el valor mínimo del capacitor de salida y el capacitor c_C usamos las siguientes ecuaciones.

$$C_{OUT} = \frac{0.19 \times L \times R_C \times I_{LOAD(max)}}{V_{IN(min)} \times V_{OUT}}$$

$$C_{OUT} = \frac{0.19 \times 220\mu H \times 3.8 \text{ k} \times 0.88}{10 \times 24} = 582 \mu F$$

$$c_C = \frac{58.5 \times V_{OUT}^2 \times C_{OUT}}{R_C^2 \times V_{IN(min)}}$$

$$c_C = \frac{58.5 \times 24^2 \times 680 \text{ uF}}{3.8 \text{ k}^2 \times 10} = 0.1 \text{ uF}$$

Donde.

L Inductor.

C_{OUT} Capacitor de salida.

c_C Capacitor de estabilización del regulador.

El esquema que se propuso en la figura 18 es para un elevador ajustable ahora encontraremos los valores de los resistores que se necesita para tener la salida deseada. Se empleará un potenciómetro de 10 k Ω y un resistor de 4.7 k Ω en R_1 y 330 Ω R_2 .

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$V_{OUT} = 1.23 \left(1 + \frac{4.7 \text{ k}\Omega}{330 \Omega} \right) = 18 \text{ V}$$

$$V_{OUT} = 1.23 \left(1 + \frac{10 \text{ k}\Omega}{330 \Omega} \right) = 39 \text{ V}$$

Donde.

V_{OUT} voltaje de Salida.

V_{REF} Voltaje de referencia (1.23 V)

Se sugiere que para mantener estable y constante la fuente de voltaje del LM2587 el capacitor de entrada C_{IN} debe ser ≥ 100 uF para estabilizar el voltaje.

Obtenidos los valores de los componentes se procedió a la elaboración del circuito impreso utilizando el programa Proteus (Labcenter, 2016) para realizar el trazado de las pistas. La figura 20 presenta el trazado final entre componentes.

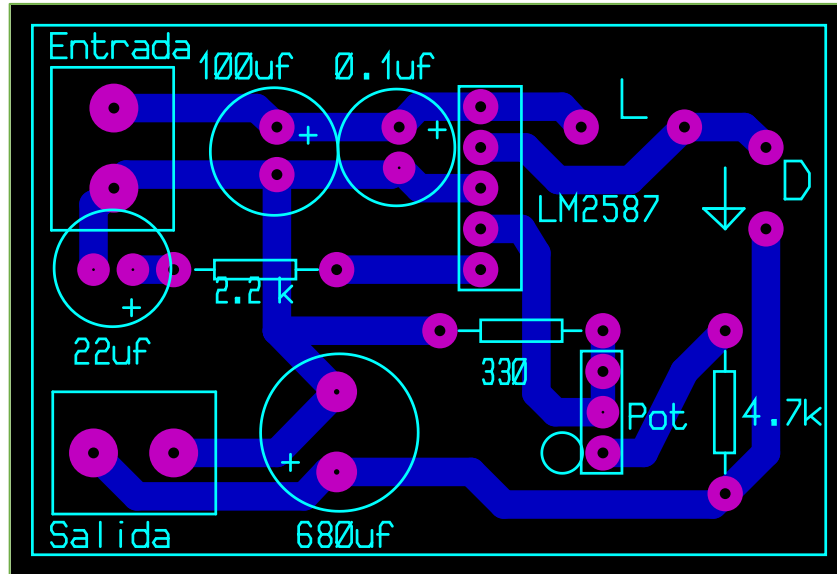


Figura 20. Diseño del circuito impreso del elevador de voltaje.
 Fuente: El Autor.
 Elaborado por: El Autor.

Para la construcción en físico primero se realizó la impresión del circuito en papel termotransferible para transferir las pistas al cobre, una vez realizado este proceso se remueve el cobre de la baqueta en las partes que no existe pistas para lo cual se empleó cloruro férrico. Luego de concluido este proceso se perforó y soldó los componentes en la placa obteniendo como resultado el circuito de la figura 21. El circuito cuenta con un resistor variable que permite modificar el voltaje de salida.

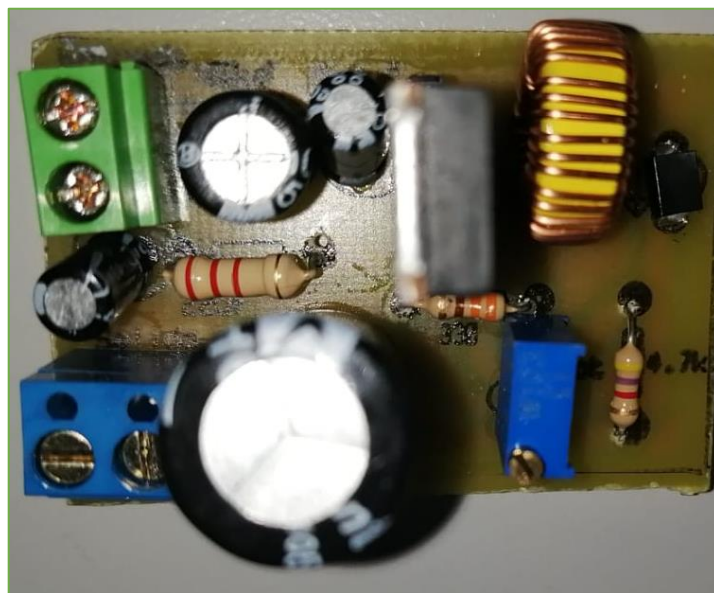


Figura 21. Placa final del elevador de voltaje retroalimentado
 Fuente: El Autor.
 Elaborado por: El Autor.

3.3 Presupuesto.

El costo total de la elaboración del circuito elevador retroalimentado DC/DC se detalla en la tabla 6 con las listas de componentes empleados.

Tabla 6. Costo total de la fabricación del elevador de voltaje retroalimentado.

Ítem	Cant.	V. Unitario	V. Total
Integrado LM2587	1	1,20	1,20
Condensador electrolítico 680 uF	1	0,80	0,80
Condensador electrolítico 100 uF	1	0,20	0,20
Condensador electrolítico 22 uF	1	0,10	0,10
Condensador electrolítico 0.1 uF	1	0,10	0,10
Bornera 2 pines	2	0,40	0,80
Resistor 4.7 K Ω	1	0,05	0,05
Resistor 2.2 K Ω	1	0,05	0,05
Resistor 330 Ω	1	0,05	0,05
Diodo Schottky SS54	1	0,80	0,80
Inductor	1	2,10	2,10
Resistor variable 10 K Ω	1	0,35	0,35
Baquela, Acido	1	2,20	2,20
Total		\$ 8,80	

Fuente: El Autor.

Elaborado por: El Autor.

3.4 Resultados.

Debido a la reubicación del laboratorio de Hidráulica donde reposaba el prototipo de vórtice gravitacional se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento del circuito en el laboratorio de Electrónica y Robótica Aplicada utilizando una fuente de alimentación DC Tektronix que permite setear el voltaje y la corriente de entrada, para alimentar el circuito. Como carga a la salida del circuito se conectó 4 leds de potencia de 3 W en paralelo como se visualiza en la figura 22, 23. El voltaje de entrada que se estableció fue 10 V DC para realizar todas las pruebas. Las mediciones se efectuaron a la salida del circuito y en el nodo 2, cabe mencionar

que la corriente en los demás nodos es la misma. El parámetro que se modificó en las distintas mediciones es la corriente de entrada de 1A a 4A.

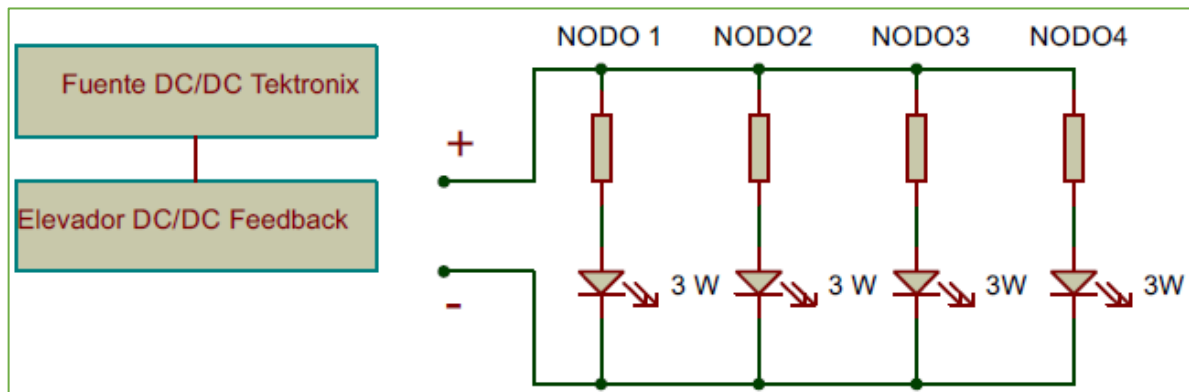


Figura 22. Conexión de la carga a la salida del circuito para las pruebas respectivas.
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

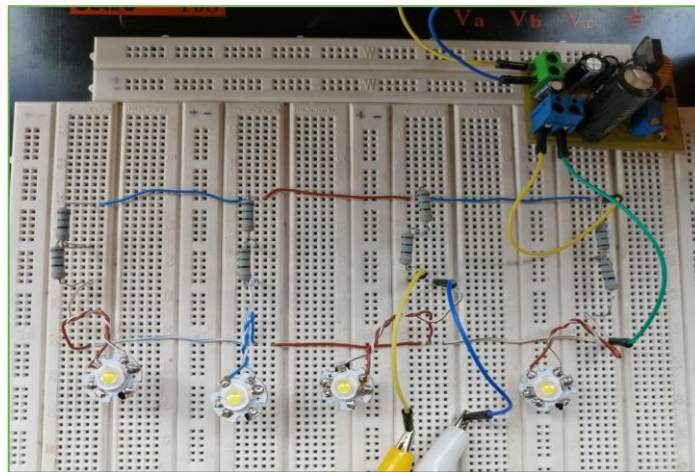


Figura 23. Conexión en físico de la carga utilizada para las mediciones.
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

Antes de comenzar con las mediciones se ajustó el resistor variable para que la salida del circuito sea de 24 VDC. Para comprobar que el voltaje de salida, se utilizó un osciloscopio como se muestra en la figura 24 el voltaje de salida es de 24 VDC.

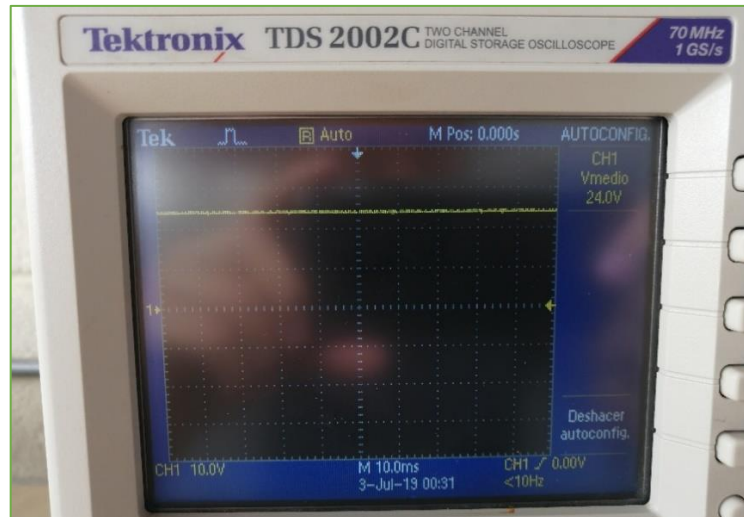


Figura 24. Voltaje de salida de 24 VDC del circuito elevador retroalimentado.
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

Luego de comprobar el voltaje de salida se procedió a conectar todos los equipos necesarios para realizar las mediciones como se visualiza en la figura 25. Se utilizó dos multímetros digitales uno conectado a la salida del circuito y el otro conectado al Nodo 2, para verificar el voltaje de salida se conectó la sonda del osciloscopio a la salida del circuito y la distribución de las cargas que se emplearon se observa en la figura 23.



Figura 25. Conexión de los equipos para la realización de las mediciones.
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

Una vez conectados todos los equipos se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento la primera de ellas con una corriente de entrada de 1A. Los resultados obtenidos se especifican en la tabla 7.



Figura 26. Resultados obtenidos con una corriente de 1 A.
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

Tabla 7. Resultados obtenidos al setear una corriente de 1A.

Voltaje entrada	Corriente de entrada	Voltaje de salida	Corriente de salida	Corriente nodo 2
10 V DC	1 A	6.43 V DC	0.36 A	0.09 A

Fuente: El Autor
Elaborado por: El Autor.

Medición realizada con una corriente de entrada de 2A. Los resultados obtenidos se especifican en la tabla 8.



Figura 27. Resultados obtenidos con una corriente de 2 A
Fuente: El Autor.
Elaborado por: El Autor.

Tabla 8. Resultados obtenidos al setear una corriente de 2A.

Voltaje entrada	Corriente de entrada	Voltaje de salida	Corriente de salida	Corriente nodo 2
10 V DC	2 A	8.02 V DC	0.52 A	0.12 A

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor.

Medición realizada con una corriente de entrada de 3A. Los resultados obtenidos se especifican en la tabla 9.



Figura 28. Resultados obtenidos con una corriente de 3 A

Fuente: El Autor.

Elaborado por: El Autor

Tabla 9. Resultados obtenidos al setear una corriente de 3A.

Voltaje entrada	Corriente de entrada	Voltaje de salida	Corriente de salida	Corriente nodo 2
10 V DC	3 A	9.04V DC	0.63 A	0.15 A

Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor.

Medición realizada con una corriente de entrada de 4A. Los resultados obtenidos se especifican en la tabla 10.



Figura 29. Resultados obtenidos con una corriente de 4 A
 Fuente: El Autor.
 Elaborado por: El Autor

Tabla 10. Resultados obtenidos al setear una corriente de 4A.

Voltaje entrada	Corriente de entrada	Voltaje de salida	Corriente de salida	Corriente nodo 2
10 V DC	4 A	16.6 V DC	1.42 A	0.34 A

Fuente: El Autor
 Elaborado por: El Autor.

3.5 Especificaciones técnicas del circuito elaborado.

Para una mayor comprensión se decidió elaborar un datasheet del circuito con sus principales características.

Tabla 11. Datasheet del circuito elevador de voltaje retroalimentado.

Especificaciones del Elevador de Voltaje Feedback	
Voltaje entrada	4 a 30 V DC
Voltaje de salida	6 a 40 V DC
Corriente máxima	4 A

Fuente: El Autor.
 Elaborado por: El Autor

CONCLUSIONES

- ✓ El sistema propuesto puede ser utilizado para brindar energía a sectores alejados en nuestro país que no cuentan con un suministro eléctrico, logrando mejorar la calidad de vida de estas personas.
- ✓ Este tipo de diseño también puede utilizarse en la agricultura, ganadería, etc. Lo que permitirá optimizar algunos procesos, permitiendo que el productor aumente su producción cada mes obteniendo mayores utilidades.
- ✓ El rendimiento del sistema depende en gran parte del diseño del vórtice gravitacional, si el diseño del tanque de circulación y la hélice no son los correctos ocasionará que el generador no trabaje a su máxima capacidad.
- ✓ Para aumentar la eficiencia de los equipos luego del generador se recomienda el uso de controladores de carga MPPT y baterías de ciclo profundo porque aprovechan al máximo el voltaje suministrado hacia ellos.
- ✓ La ventaja de utilizar un convertidor retroalimentado luego de la etapa de rectificado se ve reflejada en la reducción de las pérdidas de potencia que presentan los demás tipos de convertidores.
- ✓ En las pruebas realizadas se comprobó que si se varía el voltaje de entrada el voltaje de salida no sufre cambio y se mantiene estable lo que lo hace ideal para sistemas con una entrada fluctuante.
- ✓ Al utilizar circuitos integrados retroalimentados para convertidores conmutados se evita realizar la etapa correspondiente a la generación de pulsos de conmutación debido a que este tipo de circuito integrado ya integra un interruptor y un circuito de generación de PWM internamente.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere no variar el voltaje de salida por encima de los 40 V DC debido a que el diodo Schottky utilizado trabaja hasta este valor.
- ✓ Al regular el voltaje de salida este debe ser mayor al voltaje de entrada si se baja a un valor inferior al voltaje de entrada podría ocasionar que el circuito se estropee.
- ✓ Para disminuir el costo final se recomienda que la estructura se realice con planchas de acero inoxidable.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCONEL. (2017). Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano – ARCONEL. Retrieved October 16, 2018, from <http://www.regulacioneolica.gob.ec/boletines-estadisticos/>
- Autosolar Energy Solutions SLU. (2019a). Comprar Regulador de Carga | Regulador Solar al mejor precio. Retrieved July 1, 2019, from <https://autosolar.es/reguladores-de-carga-pwm>
- Autosolar Energy Solutions SLU. (2019b). Reguladores de Carga MPPT | al Mejor Precio. Retrieved July 1, 2019, from <https://autosolar.es/reguladores-de-carga-mppt>
- Banco Mundial. (2017). La energía que necesita la América Latina del futuro. Retrieved October 16, 2018, from <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/11/23/energias-renovables-america-latina-futuro>
- C.Quizhpe M.Soto. (2018). *Diseño de la etapa electrónica de un sistema de energía renovable basado en un pico hidrogenerador CC de vórtice gravitacional*. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/22530?locale=es>
- Cardona Herrera, S., & Ospina Hurtado. (2015). *Construcción de módulo convertidor CC-CC elevador, para prácticas en el laboratorio del programa ingeniería mecatrónica*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5633>
- CELEC. (2017). PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD 2016-2025. Retrieved October 25, 2018, from <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/plan-maestro-de-electricidad-2016-2025>
- Ceupe. (2019). ¿Qué es un generador eléctrico? Retrieved July 2, 2019, from <https://www.ceupe.com/blog/que-es-un-generador-electrico.html>
- Chattha, J. A., Cheema, T. A., & Khan, N. H. (2017). Numerical investigation of basin geometries for vortex generation in a gravitational water vortex power plant. *2017 8th International Renewable Energy Congress, IREC 2017, (Irec)*. <https://doi.org/10.1109/IREC.2017.7926028>
- CORPNEWLINE. (2016). Inversor de Voltaje. Retrieved July 1, 2019, from <https://corpnewline.com/inversores.htm>
- Disensa. (2019). Teja Toledo-Rojo 1044 mm x 6 m x 0,45 mm- Rooftec - disensa. Retrieved June 13, 2019, from https://www.disensa.com.ec/teja-toledo-rojo-1044-mm-x-6-m-x-0-45-mm-rooftec/p?utm_cp=16_228_04_6133880

- Electronoobs. (2018). DC a DC impulso casera circuito convertidor. Retrieved June 12, 2019, from http://www.electrooobs.com/eng_circuitos_tut10_1.php
- Forouzes, M., Siwakoti, Y. P., Gorji, S. A., Blaabjerg, F., & Lehman, B. (2017). Step-Up DC-DC converters: A comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(12), 9143–9178. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2652318>
- Hart, D. (2001). *Eléctronica de Potencia*.
- IstaBreeze. (2019). 2 KW 48V Permanentmagnet Generator für Heli 2 Istabreeze®. Retrieved June 13, 2019, from <https://www.istabreeze.com/online/Generator/2-KW-48V-Permanent-Magnet-Generator-for-Heli-2-IstaBreeze>
- Juela, L. (2017). *Hidroeléctrica, Comparación de los diferentes tipos de generadores para una pico central*. Retrieved from <https://goo.gl/Ki4xsJ>
- Labcenter, E. (2016). Proteus 8 Professional.
- M. Rodríguez, & M. León. (2016). *Análisis y aplicación de un generador de imanes permanentes para un sistema de energía eólica*. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13147>
- Manzano Orrego, J. J. (2008). *Electricidad I : teoría básica y prácticas*. Marcombo.
- Marino, A. (2011). (PDF) Maquinas Síncronas. Conceptos básicos. Retrieved July 2, 2019, from https://www.researchgate.net/publication/235752001_Maquinas_Sincronicas_Conceptos_basicos
- Mohan, N., Undeland, T., & Robbins, W. (2009). *Electrónica de Potencia Convertidores, aplicaciones y diseño*. (M. G. Hill, Ed.) (3° edición).
- Mora, J. (2003). *Máquinas eléctricas*. (Mc Graw Hill, Ed.) (Quinta Edición).
- Mouser Electronics. (2019). TS-1500-148A MEAN WELL | Mouser. Retrieved June 13, 2019, from <https://www.mouser.com/ProductDetail/MEAN-WELL/TS-1500-148A?qs=sGAEpiMZZMuA3R93OldqB7X8OndIWYbT1OyvU5ivEB0=>
- Mpptsolar. (2019). Cómo Funciona un Inversor: Esquema y Funcionamiento. Retrieved July 1, 2019, from <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>
- Nababan, S., Muljadi, E., & Blaabjerg, F. (2012). An overview of power topologies for micro-hydro turbines. *Proceedings - 2012 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for*

Distributed Generation Systems, PEDG 2012, 737–744.
<https://doi.org/10.1109/PEDG.2012.6254084>

Ortega Suing, J. R., & Romero Añazco, G. E. (2014). *Generación eléctrica y monitoreo de un sistema de hidrogenación basada en vórtice gravitacional*. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/9060>

Pozueta, M. Á. R. (2015). MÁQUINAS ASÍNCRONAS O DE INDUCCIÓN M.A.R. Pozueta-1-MÁQUINAS ASÍNCRONAS O DE INDUCCIÓN. Retrieved from https://ocw.unican.es/pluginfile.php/136/course/section/64/Tema_3.pdf

Rashid, M. (2005). *ELECTRÓNICA DE POTENCIA CIRCUITOS, DISPOSITIVOS Y APLICACIONES* (3RA EDICIÓN).

Rehman, W., Ijaz, M., & Munir, A. (2017). Designing of micro gravitational vortex turbine's vortex pool. *American Society of Mechanical Engineers, Power Division (Publication) POWER, 2, 1–7.*
<https://doi.org/10.1115/POWER-ICOPE2017-3186>

RENOVAENERGIA. (2015a). Batería de ciclo profundo RITAR DC1240 12V40AH | Renova Energía. Retrieved June 13, 2019, from https://www.renova-energia.com/productos/baterias-de-ciclo-profundo/baterias_ritar_ra1240d_12v40ah-2/

RENOVAENERGIA. (2015b). Baterías de Ciclo Profundo - RenovaEnergía. Retrieved July 1, 2019, from <https://www.renova-energia.com/productos/baterias-de-ciclo-profundo/>

RENOVAENERGIA. (2015c). Regulador de Voltaje BLUESOLAR MPPT 150/35 | Renova Energía. Retrieved June 13, 2019, from <https://www.renova-energia.com/product/regulador-de-voltaje-bluesolar-mppt-15035/>

Roberts, S. (2015). *DC/DC Book of Knowledge Practical tips for the User* (Second Edi).

Rodríguez Pozueta, M. Á. (2015). Máquinas Eléctricas I-- G862 Tema 4 . Máquinas Síncronas. Retrieved from https://ocw.unican.es/pluginfile.php/136/course/section/64/Tema_4.pdf

Saclima Solar Fotovoltaica. (2016). Reguladores ¿PWM o MPPT? | Saclima Fotovoltaica. Retrieved July 1, 2019, from <http://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/reguladores-pwm-o-mppt/>

Salguero, F. (2017). *Máquinas Eléctricas*.

Serrano, R. (2016). Diferencia entre controlador de carga PWM y MPPT | Energía solar fotovoltaica | Paneles solares | sistema solar fotovoltaico | TRITEC-Intervento. Retrieved July 1, 2019, from <http://www.tritec-intervento.cl/productostritec/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y->

mppt/

- Stephen J. Chapman. (2012). *Maquinas Eléctricas-Chapman-5ta-edición* (Quinta Edi). Retrieved from <https://www.yumpu.com/es/document/read/59512622/maquinas-electricas-chapman-5ta-edicion>
- Texas Instruments. (2019). Hojas de datos LM2587, guías de selección, más literatura, blogs. Retrieved June 13, 2019, from <http://www.ti.com/product/LM2587/technicaldocuments>
- Timilsina, A. B., Mulligan, S., & Bajracharya, T. R. (2018). Water vortex hydropower technology: a state-of-the-art review of developmental trends. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(8), 1737–1760. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1589-0>
- WILDI, T. (2007). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y SISTEMAS DE POTENCIA*. (PEARSON, Ed.) (EDICION, S).
- Yuasa Battery Europe. (2014). Funcionamiento de las baterías - Yuasa. Retrieved July 1, 2019, from <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/funcionamiento-de-las-baterias/>
- Zhang, J. (2013). Power electronics in future electrical power grids. *2013 4th IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/PEDG.2013.6785586>