



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio y análisis de un inversor monofásico comercial
para un sistema fotovoltaico**

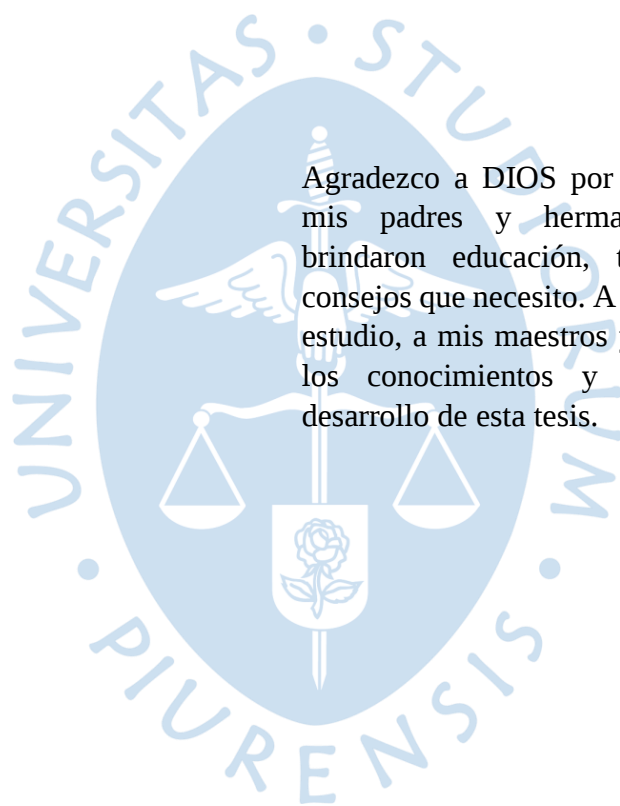
Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Juan Francisco Risco Quezada

Asesor:
Dr. Ing. Edilberto Vásquez Díaz

Piura, noviembre 2020





Agradezco a DIOS por darme fortaleza, a mis padres y hermanos quienes me brindaron educación, todo el apoyo y consejos que necesito. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y asesor por darme los conocimientos y consejos para el desarrollo de esta tesis.



Resumen Analítico-Informativo

Estudio y análisis de un inversor monofásico comercial para un sistema fotovoltaico.

Juan Francisco Risco Quezada

Asesor(es): Dr. Ing. Edilberto Vásquez Díaz

Tesis.

Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, Noviembre de 2020

Palabras claves: Inversor/fotovoltaico/switching/fuentes de alimentación/monofásico

Introducción: La presente tesis se basa en un análisis de un inversor comercial de corriente, se estudia el funcionamiento del inversor teniendo en cuenta sus características de diseño, fuente de alimentación para la cual fue diseñada y especificaciones técnicas, según estos datos se realizan modificaciones como el cambio de la fuente de alimentación para luego evaluar su comportamiento y de acuerdo a los resultados concluir si es factible el cambio en el diseño para diversas aplicaciones, como por ejemplo, en sistemas fotovoltaicos.

Metodología: Para el desarrollo de este proyecto de tesis se usará un inversor comercial monofásico de 350W POWER INVERTER, es necesario tener la placa electrónica descubierta en la cual se encuentran todos los componentes del inversor, lo que facilitará un mejor estudio; el análisis de cada componente será realizado con ayuda de los equipos electrónicos del Laboratorio de Electrónica de la Universidad De Piura. Los principales equipos de laboratorio necesarios para el estudio se encuentran: osciloscopios, fuentes de voltaje y de corriente, cables, multímetros, pinzas amperimétricas, soldador eléctrico, entre otros. Se realizará el diagrama completo del circuito del inversor ya que no se cuenta con éste; los resultados e inconvenientes se detallarán en los capítulos correspondientes. El cambio en el proceso de implementación del inversor estará dado por la sustitución en el tipo o modelo de fuentes continuas para alimentación y se presentarán los resultados de acuerdo con estas modificaciones.

Resultados: El diseño para el cual ha sido fabricado el inversor, no se admiten las fuentes descritas como fuente switching, batería de moto y fuente variable, solo puede ser accionado con batería de carro. Esto puede hacer referencia a la corriente que la fuente de alimentación proporciona ya que la batería entrega más corriente que las demás fuentes como se comentó en el capítulo 4.

Conclusiones: No son factibles los cambios realizados en la fuente de alimentación debido a que en las pruebas de funcionamiento se demostró que las tensiones obtenidas no fueron las esperadas, por lo tanto, se puede decir que no mejoro el funcionamiento del inversor con los cambios realizados. Para este sistema se recomienda usar una batería de carro ya que esta puede dar corrientes iniciales de hasta 25 A, en lugar de otras baterías que dan corrientes de 18A (laboratorio de electrónica) o de 3A (batería de una moto). En las pruebas de funcionamiento se comprobó que la corriente inicial de funcionamiento del sistema era superior a los 18 A, pero menor a los 25 A.

Fecha de elaboración del resumen: 13 de noviembre de 2020

Analytical-Informative Summary

Estudio y análisis de un inversor monofásico comercial para un sistema fotovoltaico

Juan Francisco Risco Quezada

Asesor(es): Dr. Ing. Edilberto Vásquez Díaz

Tesis.

Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, Noviembre de 2020

Keywords: Inverter/ Photovoltaic/ switchin/ Power supply/ Monophase.

Introduction: This thesis is based on an analysis of a commercial current inverter, the operation of the inverter is studied taking into account its design characteristics, power supply for which it was designed and technical specifications, according to these data modifications are made such as the change of the power supply and then evaluate its behavior and, according to the results, conclude if the change in design is feasible for various applications, such as in photovoltaic systems.

Methodology: For the development of this thesis project, a single-phase commercial inverter of 350W POWER INVERTER will be used, it is necessary to have the electronic board discovered in which all the inverter components are located, which will facilitate a better study; The analysis of each component will be carried out with the help of the electronic equipment of the Electronics Laboratory of the University of Piura. The main laboratory equipment necessary for the study are: oscilloscopes, voltage and current sources, cables, multimeters, current clamps, electric soldering iron, among others. The complete diagram of the inverter circuit will be made since it is not available; the results and drawbacks will be detailed in the corresponding chapters. The change in the inverter implementation process will be given by the substitution in the type or model of continuous power supplies and the results will be presented in accordance with these modifications.

Results: The design for which the inverter has been manufactured, the sources described as switching source, motorcycle battery and variable source are not allowed, it can only be powered with a car battery. This can refer to the current that the power supply provides since the battery delivers more current than the other sources as discussed in chapter 4.

Conclusions: The changes made to the power supply are not feasible because in the performance tests it was shown that the voltages obtained were not the expected ones, therefore, it can be said that the operation of the inverter did not improve with the changes made. For this system it is recommended to use a car battery since it can give initial currents of up to 25 A, instead of other batteries that give currents of 18A (electronics laboratory) or 3A (motorcycle battery). In the functional tests it was found that the initial operating current of the system was higher than 18 A, but less than 25 A.

Summary date: November 13th, 2020

Prólogo

Un inversor de corriente es una herramienta útil en el ámbito de la obtención de energía mediante el uso de recursos renovables como la energía solar. Estos dispositivos pueden suministrar energía eléctrica a muchos equipos en zonas de difícil acceso a líneas de transmisión, una opción para atenuar el inconveniente de lugares inaccesibles es el uso de sistemas fotovoltaicos que facilitan la obtención de energía eléctrica y ayuda a mejorar la condición de vida de familias situadas en lugares lejanos.

La investigación se realizará con el fin de tener una guía sobre el estudio y análisis de un inversor para futuros proyectos sobre sistemas fotovoltaicos.

Con el agradecimiento total a todos los que han hecho posible la realización de este proyecto y la culminación de mi etapa universitaria: mis padres, hermanos, profesores y sobre todo a mi asesor Dr. Ing. Edilberto Vásquez Díaz.

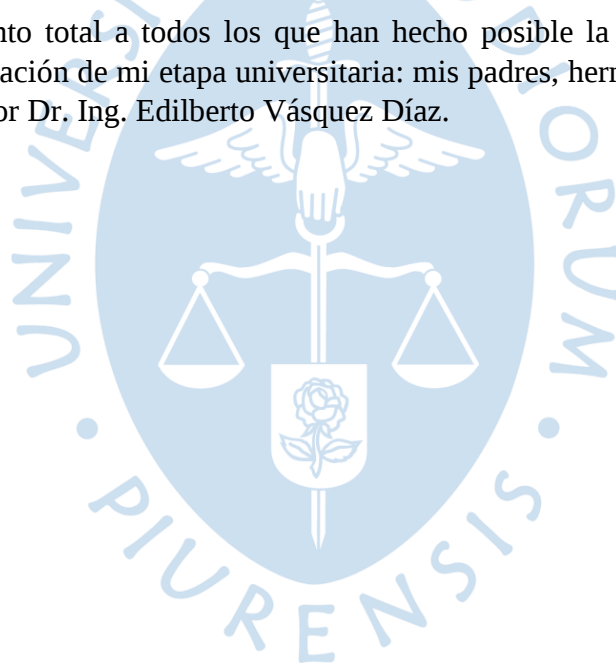




Tabla de contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1 Planteamiento del problema.....	3
1.1 Objetivos del estudio	3
1.2 Hipótesis	3
1.3 Antecedentes	3
1.3.1 Proyecto 1	4
1.3.2 Proyecto 2	4
Capítulo 2 Marco teórico, generalidades y estado del arte frente a sistemas fotovoltaicos ..	7
2.1 Formulación del proyecto.....	7
2.1.1 Definición del problema	9
2.1.2 Estado de arte.....	10
2.1.3 Solución del problema	21
2.2 Sostenibilidad del proyecto.....	22
2.2.1 Impacto global.....	22
2.2.2 Impacto económico	23
2.2.3 Impacto ambiental	23
2.2.4 Impacto social	23
2.3 Gestión del proyecto.....	24
2.3.1 Factibilidad técnica	24
2.3.2 Balance presupuestal	27
Capítulo 3 Evaluación e implementación del inversor.....	29
3.1 Características principales del inversor en estudio.....	29
3.2 Funcionamiento del inversor en estudio.....	31
3.2.1 Elementos principales del inversor en estudio	33
3.3 Modificación del diseño principal.....	38
3.3.1 Batería de carro	39
3.3.2 Fuente <i>switching</i>	40
3.3.3 Fuente variable.....	41
3.3.4 Batería de moto	42
Capítulo 4 Pruebas de funcionamiento	45

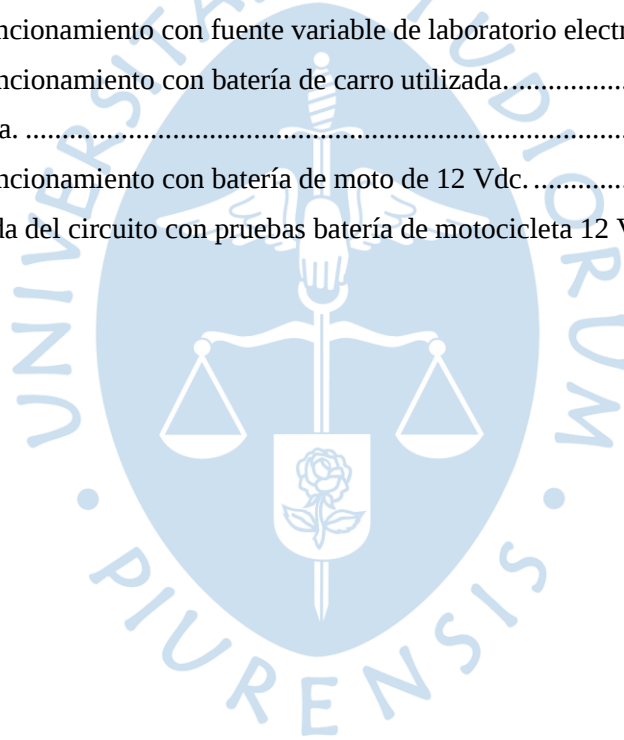
4.1 Pruebas con fuente <i>switching</i> de laboratorio de electrónica UDEP	46
4.2 Pruebas con fuente variable.....	48
4.3 Pruebas con batería de carro de 12 V	49
4.4 Pruebas con batería de moto de 12 V	50
Capítulo 5 Resultados obtenidos.....	53
Conclusiones	55
Referencias bibliográficas.....	57



Lista de figuras

Figura 1.Evolución del consumo energético mundial según el tipo de fuente.	8
Figura 2. Consumo de energía primaria en el mundo 2006.....	8
Figura 3.Radiación en Perú	10
Figura 4.Distribución de energía en el Perú.....	11
Figura 5.Consumo promedio de artefactos en casa.....	11
Figura 6. Panel solar fotovoltaico	12
Figura 7. Colector solar	12
Figura 8.Función de panel solar	13
Figura 9.Eschema de un panel fotovoltaico alimentado a una bombilla.....	13
Figura 10.Funcionamiento sistema fotovoltaico.	15
Figura 11.Topología Push-Pull	15
Figura 12.Topología Medio Puente.....	16
Figura 13.Topología Puente Completo	17
Figura 14.Inversor trifásico.....	18
Figura 15.Conmutación de salida de seis pulsos.....	19
Figura 16. Tensión línea-línea de salida.....	19
Figura 17. Ondas portadoras y de ref para control PWM $m_f=0.9$, $m_a=0.7$ inv. Trifásico.	20
Figura 18. Formas de onda de salida.....	20
Figura 19. Esquema de bloques de fuente DC	21
Figura 20. Elementos sistema fotovoltaico.	24
Figura 21. Sistema fotovoltaico en hogar.....	24
Figura 22. Componentes y características de un panel solar.....	25
Figura 23. Diagrama general de inversor en estudio.....	30
Figura 24. Ubicación de dos circuitos inversores del inversor en estudio.	30
Figura 25. Diagrama de inversor de alta frecuencia.....	31
Figura 26. Explicación del funcionamiento de inversor en estudio.	32
Figura 27. Placa electrónica de inversor en estudio.	34
Figura 28.Placa PWM KA7500B.....	35
Figura 29. Placa PWM SG3524.	36

Figura 30. Circuito PWM SG3524.....	36
Figura 31. Transformador de alta frecuencia EI40-B12V-J21	37
Figura 32. Especificaciones técnicas de transformador EI40-B12V-J21	38
Figura 33. Batería de carro utilizada.	39
Figura 34. Fuente switching utilizada.	40
Figura 35. Fuente switching laboratorio electrónica UDEP.....	41
Figura 36. Fuente variable utilizada.....	42
Figura 37. Batería de moto utilizada.	42
Figura 38. Puntos de medida de para pruebas de funcionamiento.	46
Figura 39. Forma de onda de fuente switching utilizada.....	47
Figura 40. Pruebas con fuente switching de laboratorio de electrónica UDEP.....	47
Figura 41. Señal a la salida del circuito con pruebas fuente variable.....	48
Figura 42. Pruebas de funcionamiento con fuente variable de laboratorio electrónica UDEP....	49
Figura 43. Pruebas de funcionamiento con batería de carro utilizada.....	50
Figura 44. Señal de salida.	50
Figura 45. Pruebas de funcionamiento con batería de moto de 12 Vdc.	51
Figura 46. Señal a la salida del circuito con pruebas batería de motocicleta 12 Vdc.....	51



Lista de tablas

Tabla 1. Características de los principales tipos de baterías.....	26
Tabla 2. Baterías utilizadas en instalaciones solares.....	26
Tabla 3. Balance presupuestal	27
Tabla 4. Listado de elementos principales del inversor en estudio.....	33
Tabla 5. Datos técnicos de batería utilizada	39
Tabla 6. Datos técnicos de fuente utilizada.....	40
Tabla 7. Datos técnicos de fuente variable utilizada.....	41
Tabla 8. Datos técnicos de batería de moto utilizada.....	42
Tabla 9. Resultados obtenidos de pruebas de funcionamiento.....	53



Introducción

El presente trabajo de tesis hace referencia al estudio y análisis de un inversor comercial de corriente y su aplicación en un sistema fotovoltaico, la metodología utilizada es la siguiente:

Se plantean los objetivos e hipótesis para el desarrollo de la tesis en los cuales se plasman las condiciones iniciales del problema y lo que se espera obtener al finalizar el proyecto.

Para el desarrollo de este proyecto de tesis se usará un inversor comercial monofásico de 350W POWER INVERTER, es necesario tener la placa electrónica descubierta en la cual se encuentran todos los componentes del inversor, lo que facilitará un mejor estudio; el análisis de cada componente será realizado con ayuda de los equipos electrónicos del Laboratorio de Electrónica de la Universidad De Piura. Los principales equipos de laboratorio necesarios para el estudio se encuentran: osciloscopios, fuentes de voltaje y de corriente, cables, multímetros, pinzas amperimétricas, soldador eléctrico, entre otros.

Se realizará el diagrama completo del circuito del inversor ya que no se cuenta con éste; los resultados e inconvenientes se detallarán en los capítulos correspondientes.

El cambio en el proceso de implementación del inversor estará dado por la sustitución en el tipo o modelo de fuentes continuas para alimentación y se presentarán los resultados de acuerdo con estas modificaciones.

Dado que este tipo de inversor es complejo, se detallarán las funciones que cumplen cada sistema, por ejemplo, se cuenta con una sola placa electrónica que contiene dos circuitos inversores diferentes y dos circuitos rectificadores distintos para el mismo inversor.

Las pruebas de funcionamiento serán realizadas utilizando las siguientes fuentes de alimentación: fuente switching de Laboratorio de electrónica UDEP, fuente variable, batería de carro de 12V, batería de moto de 12V. Se espera obtener una lista resultados que ayuden en proyectos e investigaciones futuras relacionadas al mismo tema.



Capítulo 1

Planteamiento del problema

1.1 Objetivos del estudio

El objetivo principal de la tesis es realizar el estudio y análisis de un inversor comercial con la finalidad de modificar sus parámetros de entrada, estudiar el comportamiento frente a distintas fuentes de alimentación para así comprobar las mejoras presentadas por estos cambios.

Seleccionar qué tipo de fuente de alimentación es adecuada para garantizar el funcionamiento del inversor comercial frente a los cambios propuestos.

Demostrar su funcionamiento respecto a los cambios realizados en el proceso de implementación mediante la alimentación a cualquier dispositivo.

1.2 Hipótesis

El inversor será capaz de accionar distintas cargas frente a los cambios de fuentes de alimentación para la cual no ha sido diseñado.

1.3 Antecedentes

Se han realizado diversos proyectos enfocados al diseño de inversores aplicados a sistemas fotovoltaicos, de los cuales se mencionarán dos proyectos similares a esta tesis.

1.3.1 Proyecto 1

El proyecto se denomina “Diseño e implementación de un inversor DC/AC en un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica, a una finca” cuyos autores son Francy Marcela Bocachica Bustos y Miguel Reynaldo Hernández Borrero, desarrollado en la Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia en el año 2019.

El proyecto consiste en diseñar un inversor de corriente para un sistema fotovoltaico de alimentación de corriente a una finca, así utilizando energía renovable en sustitución del uso de energía convencional.

La metodología utilizada en este proyecto se basó en el estudio y la correcta selección de los componentes del inversor, en la simulación con software *PsPice* del comportamiento de las cargas a la salida del inversor, así como de la tensión y, posteriormente, el montaje del circuito en físico.

Se muestran los resultados obtenidos tanto en la simulación como en el circuito físico. Éstos indican a los autores un correcto diseño y funcionamiento de su propuesta.

Se diseñó un inversor de potencia relativamente baja y económica.

1.3.2 Proyecto 2

El proyecto se denomina ‘Diseño de un inversor multinivel en cascada monofásico de bajo contenido armónico para cargas resistivas’ cuyo autor es Edgardo Alberto Portugal Fernández, elaborado en la facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú en el año 2006.

El proyecto consistió en diseñar un inversor multinivel en cascada monofásico que genere, a partir de un arreglo de baterías, una tensión alterna de quince niveles pico a pico, cuyas magnitudes de las tensiones armónicas correspondientes a la tercera, quinta, séptima, novena, undécima, décimo tercera y décimo quinta se vean reducidas y se mantenga por debajo de las tolerancias establecidas en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Peruana.

La investigación se desarrolló en cuatro capítulos. El primero, analiza la calidad de la energía eléctrica generada por un inversor que forma parte de un sistema de conversión

de energía de viento. En el segundo, se describen las tecnologías utilizadas en el diseño de un inversor monofásico. El tercero muestra el procedimiento seguido para el diseño de un inversor multinivel en cascada monofásico para cargas resistivas. El cuarto, presenta los resultados obtenidos con el prototipo fabricado a escala reducida.¹

Se concluyó que el diseño permite generar una tensión de corriente alterna con un factor de distorsión armónica total (*THD*) de un 5.2%, los armónicos se mantenían por debajo de las tolerancias establecidas en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.



¹ E. Portugal, 'Diseño de un inversor multinivel en cascada monofásico de bajo contenido armónico para cargas resistivas', Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2006, s.f..



Capítulo 2

Marco teórico, generalidades y estado de arte frente a sistemas fotovoltaicos

2.1 Formulación del proyecto

El desarrollo y aumento de la población en el mundo es, cada vez, mayor, por lo que el incremento en número de miembros dentro de las familias ha generado un aumento en el consumo de energía eléctrica; en consecuencia, la demanda ha aumentado.

Por lo general, el principal sustento energético es proporcionado mayoritariamente, por combustibles fósiles como el carbón y petróleo. Los de menor uso son los recursos del tipo renovable como el viento, radiación solar.

En la figura 1 y 2, respectivamente, se observan graficas en las cuales se representa la evolución del consumo energético mundial según el tipo de fuente y el consumo de energía primaria.

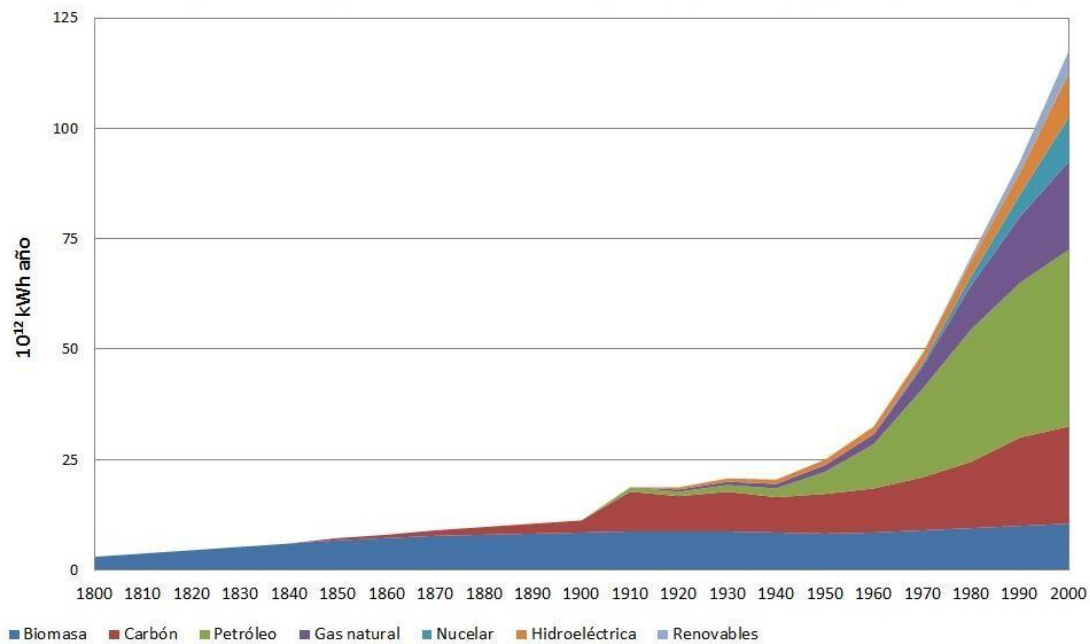


Figura 1. Evolución del consumo energético mundial según el tipo de fuente.

Fuente: Saladié, O., Oliveras, J., Módulos universitarios en ciencia del desarrollo sostenible (MOUDS)

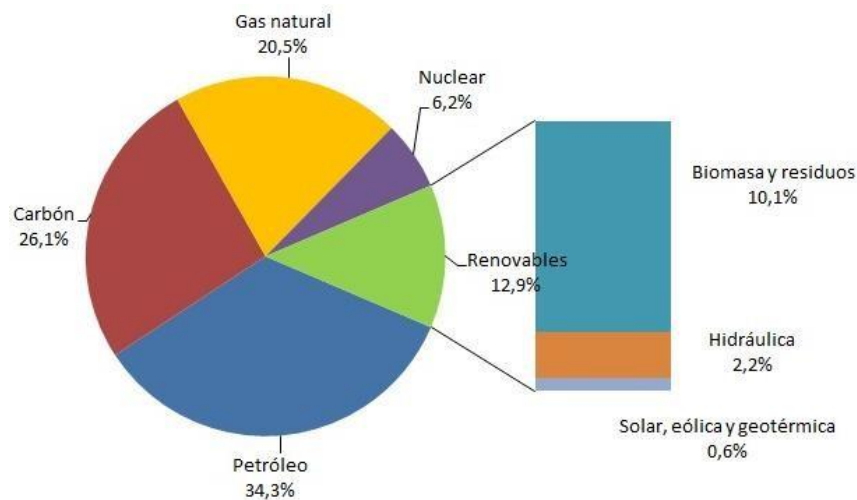


Figura 2. Consumo de energía primaria en el mundo 2006.

Fuente: Saladié, O., Oliveras, J., Módulos universitarios en ciencia del desarrollo sostenible (MOUDS)

A medida que se utilizan en mayor cantidad recursos como combustibles fósiles, debido a la alta demanda de energía, en un futuro éstos podrían agotarse ya que no son renovables; surge la necesidad de buscar fuentes de energía alternativas, fuentes

energéticas que sean renovables y a su vez, que sean limpias y no perjudiquen al medio ambiente.

La realización de este proyecto está enfocada en el aprovechamiento de la energía solar mediante paneles solares como una alternativa de solución a los problemas de sustento energético.

Es necesario el uso de equipos especiales para convertir la energía de las fuentes naturales en energía útil y apta para el consumo. La energía eléctrica obtenida de los paneles solares es una energía de corriente continua sin embargo los equipos que son utilizados en los hogares por lo general deben ser alimentados con tensión alterna para su correcto funcionamiento.

Por lo tanto, para generar corriente alterna a partir de corriente continua será necesario el uso de un inversor de corriente eléctrica, cuyo estudio y análisis de su diseño se explicarán en las secciones posteriores correspondientes.

2.1.1 Definición del problema

a) Requerimiento

Alimentar una carga de tensión alterna monofásica o trifásica a partir de una fuente de tensión continua, este requerimiento surge como consecuencia que los paneles solares proporcionan una tensión y corriente continua; y muchos de nuestros equipos funcionan con tensión alterna.

b) Consideraciones

La modificación de las fuentes de alimentación para la implementación del inversor se realizará considerando la potencia de las cargas, dependiendo de ésta se seleccionará el tipo de inversor monofásico o trifásico, número de paneles, cantidad de baterías y sus resultados se mostrarán en una sección posterior.

La energía solar es convertida en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, esta se almacenará en baterías para alimentar el inversor cuando no se cuente con el recurso solar necesario.

Se considera en este proyecto un análisis de las características de las fuentes de suministro de energía distintas a los paneles solares que podrían accionar de igual manera al inversor.

2.1.2 Estado de arte

Perú, al ser un país muy cercano a la línea ecuatorial, cuenta con altos valores de radiación solar, los cuales tienen poca variación a lo largo del año. Según el Ministerio de Energía y Minas, se disponen los siguientes niveles: en la costa (5 a 6 kWh/m²), en la selva (4.5 a 5 kWh/m²) y en la sierra (5.5 a 6.5 kWh/m²).²

La región Piura es una de las zonas con mayor radiación solar la cual es de manera constante a lo largo del año como lo muestra la figura 3, sin embargo, en el Perú no se aprovecha mucho este recurso como se ve en la figura 4. Según un estudio realizado por SENAMHI en el año 2017 revela la cantidad de radiación en las diferentes regiones del país.

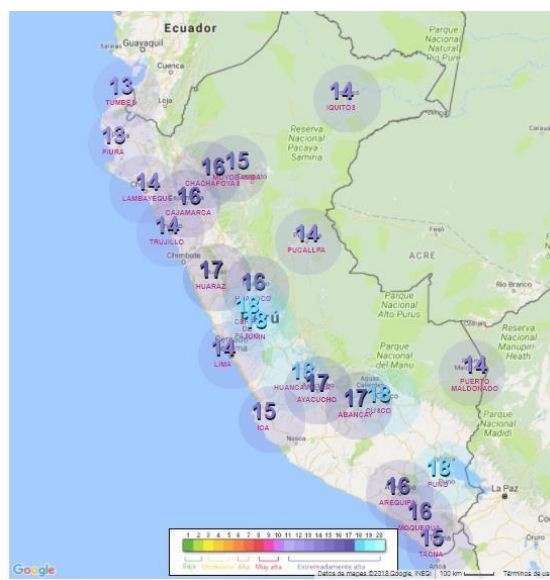


Figura 3. Radiación en Perú

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/>

Debido a esto se buscará la manera de aprovechar al máximo este recurso con el que se cuenta en considerable cantidad, incentivando el uso de energías limpias y el uso de nuevas tecnologías.

² J. Marcos y L. Marroyo, Convertidores electrónicos de Potencia: Capítulo 3.- Semiconductores de Potencia, Navarra, España: Universidad Pública de Navarra, s.f..

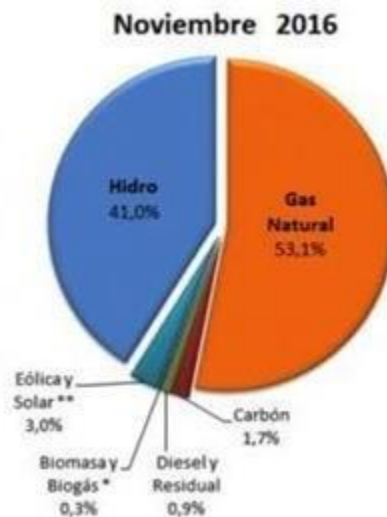


Figura 4. Distribución de energía en el Perú.

Fuente: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/renovable-peru>.

A continuación, en la figura 5 se puede apreciar la cantidad de potencia utilizada por los equipos que se encuentran, por lo general, en un hogar. Estos datos son de mucha importancia ya que de acuerdo a este parámetro se realizará el diseño del inversor de corriente.

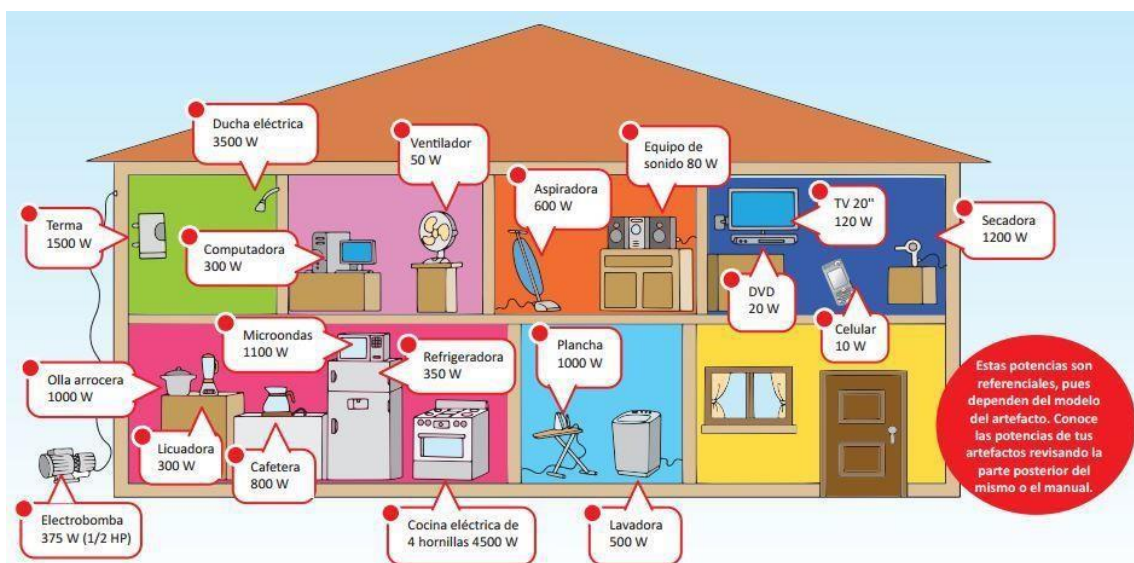


Figura 5. Consumo promedio de artefactos en casa.

Fuente: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Folleteria/5%20Quieres%20saber%20cuanto%20consumen%20tus%20artefactos.pdf

A) Paneles solares

Son elementos que permiten captar la energía de la radiación solar, para luego, transformarla en energía eléctrica con el uso de paneles fotovoltaicos (figura 6) o energía térmica con el uso de colectores solares (figura 7).

Los paneles solares fotovoltaicos se utilizan para obtener energía eléctrica para la alimentación de equipos, mientras que los colectores solares se utilizan para aplicaciones donde el calor es de gran importancia.

En este caso nos concentraremos en los paneles solares fotovoltaicos, cuya palabra proviene de los términos “photo” = luz y “voltaico” = electricidad. Estos paneles aprovechan la diferencia de potencial de los semiconductores (Silicio) generado por la radiación para generar directamente energía eléctrica.³



Figura 6. Panel solar fotovoltaico

Fuente: <https://ecoinventos.com/que-es-y-como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica/>



Figura 7. Colector solar.

Fuente: <https://instalacionesmorant.com/project/energia-solar-termica-de-apoyo-a-la-produccion-de-ac/>

³ Agencia Insular de Energía Tenerife, «Energía Solar Fotovoltaica,» s.f.. [En línea]. Available: http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf. [Último acceso: 15 Mayo 2017].

Para obtener corriente a través de los paneles solares fotovoltaicos, los fotones (conforman la luz y son partículas transportadoras de energía) liberan energía al golpear a una célula la cual es absorbida por los materiales semiconductores liberando a la vez un electrón. Cuando el electrón se desplaza deja una carga positiva que se llama ‘hueco’; es por esto que, a mayor cantidad de fotones, habrá mayores pares de electrón hueco lo que genera mayor cantidad de corriente, entonces esto se logra con una mayor intensidad de luz. En las figuras 8 y 9 se aprecia los componentes, función de un panel solar y esquema de alimentación de una carga usando paneles solares respectivamente.

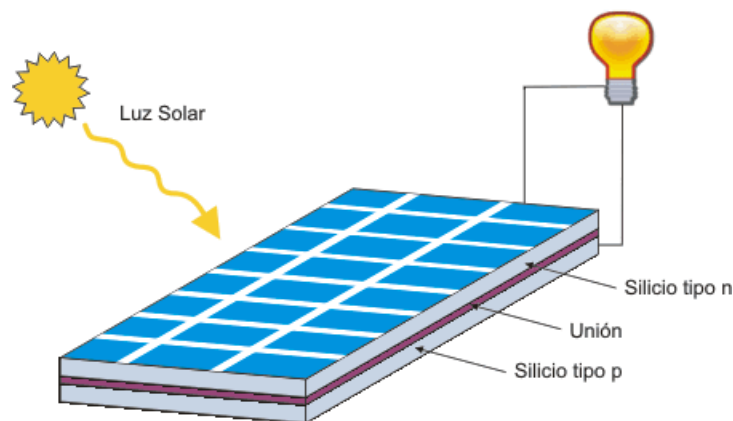


Figura 8. Función de panel solar

Fuente: <https://sites.google.com/site/icestceldas/home/como-funcionan-las-celdas-solares>

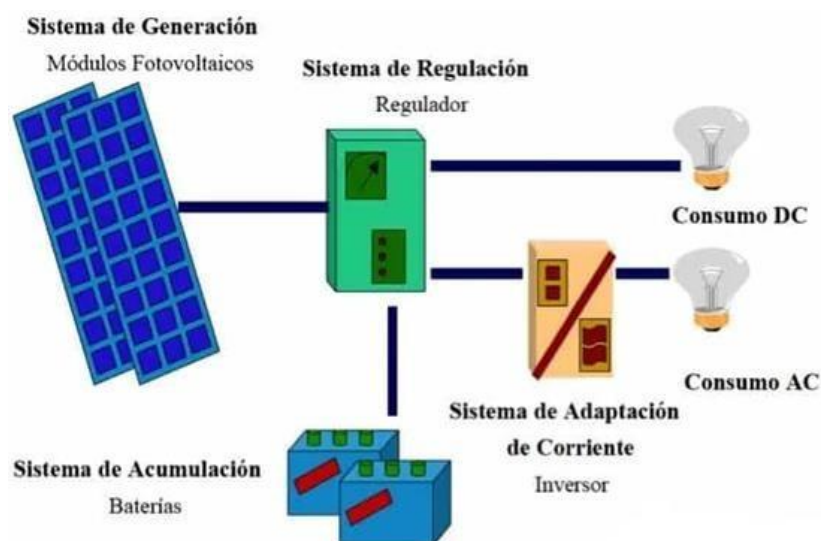


Figura 9. Esquema de un panel fotovoltaico alimentado a una bombilla.

Fuente: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>

a.1) Tipos de sistemas fotovoltaicos⁴

a.1.1) Sistemas conectados a la red

Son sistemas que siempre están conectados a la red eléctrica nacional; por lo que cuando no se cuenta con suficiente energía solar para cubrir con la demanda de energía eléctrica, el suministro se hace por medio de la red eléctrica proporcionando energía. Cuando se cuenta con exceso de energía solar, este exceso de energía eléctrica se transfiere a la red.

a.1.2) Sistemas aislados

Se utilizan para proporcionar electricidad a los usuarios con costo de consumo de energía muy bajos y no amerita pagar el coste de la conexión a la red o para los que sería muy difícil conectarlos a la red debido a su ubicación geográfica poco accesible.

En estos sistemas aislados es necesario almacenar la energía eléctrica en baterías recargables para garantizar la continuidad del fluido eléctrico.

Además, se debe instalar un regulador de carga que sirve para preservar a las baterías de un exceso de carga del generador fotovoltaico y de un exceso de descarga debido a su uso constante. De lo contrario se obtendrá resultados desfavorables en su correcta funcionalidad y en la duración de los acumuladores.

B) Inversores monofásicos

Los inversores monofásicos se encargan de convertir una tensión continua (DC) a una tensión alterna (AC) para así poder alimentar la red o las cargas que lo necesiten como se aprecia en la figura 10. En el presente trabajo la tensión continua será suministrada por cuatro fuentes como batería de carro, batería de moto, fuente *switching* y fuente variable, las cuales entregaran igual cantidad de voltaje.

Para conseguir tensiones de salidas elevadas a la salida del inversor, se suele emplear una primera etapa de elevación DC/DC o bien una etapa posterior de elevación AC/AC.

⁴ Agencia Insular de Energía Tenerife, «Energía Solar Fotovoltaica,» s.f.. [En línea]. Available: http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf. [Último acceso: 15 Mayo 2017].

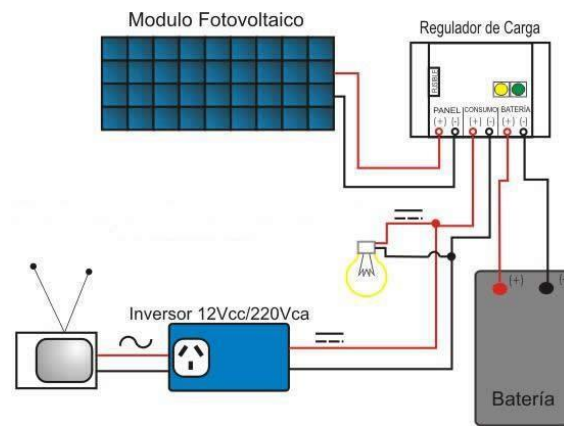


Figura 10. Funcionamiento sistema fotovoltaico.

Fuente: <http://como-functiona.co/el-sistema-fotovoltaico/>

Los inversores se pueden clasificar, según su fuente de energía, en inversores en fuente de tensión (VSI) e inversores en fuente de corriente (CSI). Para el presente trabajo nos enfocaremos solo en los de tipo VSI.

b.1) Tipos de Topología VSI

b.1.1) Topología Push-Pull

Se utiliza en el sistema un transformador con toma intermedia (figura 11) de manera que con únicamente dos interruptores se consigue aplicar a la carga tensiones desde el valor positivo del bus de tensión continua hasta el mismo valor de polaridad contraria.

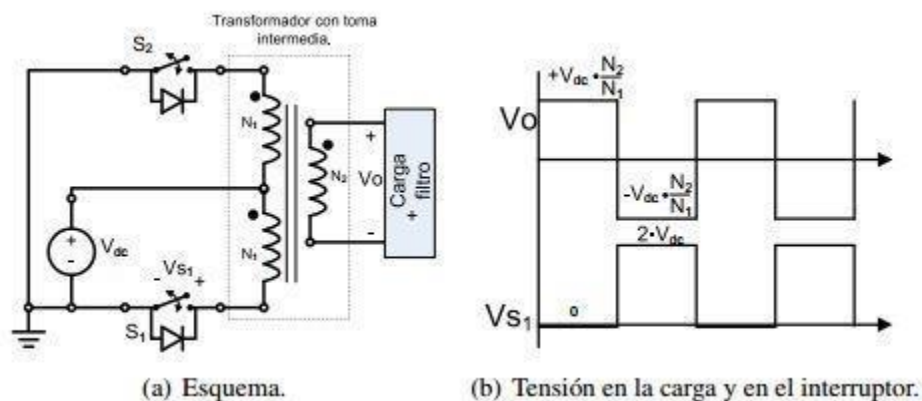


Figura 11. Topología Push-Pull.

Fuente: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15377/PFC-Raul_martin_delgado-29-06-2012.pdf?sequence=1

Las ventajas de este sistema son: el disparo resulta sencillo, solo se emplean dos interruptores de potencia y poder controlar la salida de la tensión en función del número de espiras del transformador.

Los inconvenientes son: los interruptores deben soportar el doble de la tensión del bus de continua y se genera sobretensiones debido a la inductancia de dispersión del transformador. Además, que solo se usa para potencias menores a 1 kW.

Se debe considerar que esta topología no tolera asimetría en las señales de control, ya que se saturaría el núcleo del transformador.

b.1.2) Topología medio puente

Consiste en crear una tensión media a partir de dos condensadores. Esto introducirá a la carga una tensión máxima de la mitad del valor del bus DC. Es importante resaltar que los interruptores deben ser capaces de soportar la tensión total de ambas fuentes. La figura 12 muestra el esquema de este tipo de topología y las formas de onda en la carga e interruptor

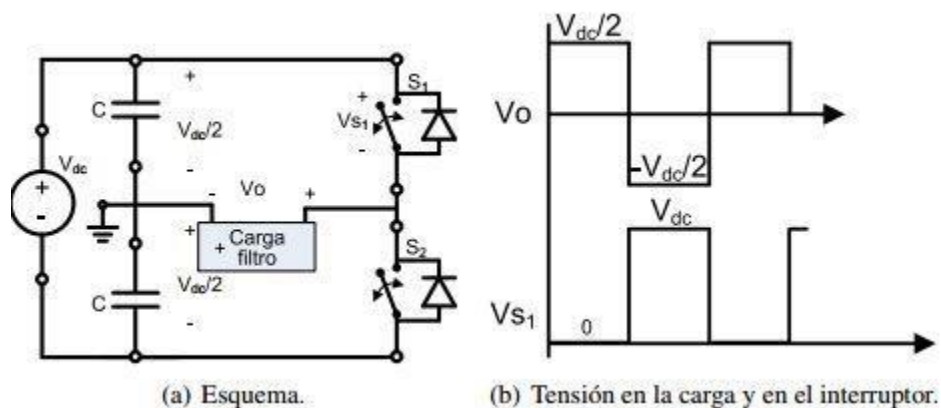


Figura 12. Topología Medio Puente.

Fuente: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15377/PFC-Raul_martin_delgado-29-06-2012.pdf?sequence=1

La ventaja es que solo se emplean dos interruptores de potencia lo que hace más simple el diseño y económico.

Los inconvenientes son: los interruptores deben soportar el doble de tensión aplicada a la carga y además se utiliza mal el bus DC ya que la tensión de salida es la mitad de la tensión del bus DC. Además, a la misma potencia se tienen mayores valores de corrientes, aumentando con ello las pérdidas del sistema.

b.1.3) Topología puente completo

Emplea cuatro interruptores (figura 13), de manera que con una sola fuente continua se puede cargar tantas tensiones positivas como negativas o cero con un simple cambio de los interruptores que conducen en cada momento.

Las ventajas son: la tensión aplicada en la carga es la tensión de la fuente continua, se puede aplicar a la carga V_{dc} , $-V_{dc}$ o $0V$; el bus DC se utiliza de mejor manera ya que la tensión máxima de salida es la tensión del bus DC, por lo que se cuadruplica la potencia de trabajo; y la tensión que soportan los interruptores es la misma de la fuente continua.

Las desventajas son: se duplica el número de interruptores con respecto a las anteriores topologías y que dos de los interruptores no están conectados a tierra por lo que serán necesarios circuitos de disparo que permitan aplicar una tensión flotante. Además, debido a que se trabaja con mayor número de semiconductores, aumentan las pérdidas producidas por la conducción de estos, teniendo un rendimiento inferior a las otras topologías.

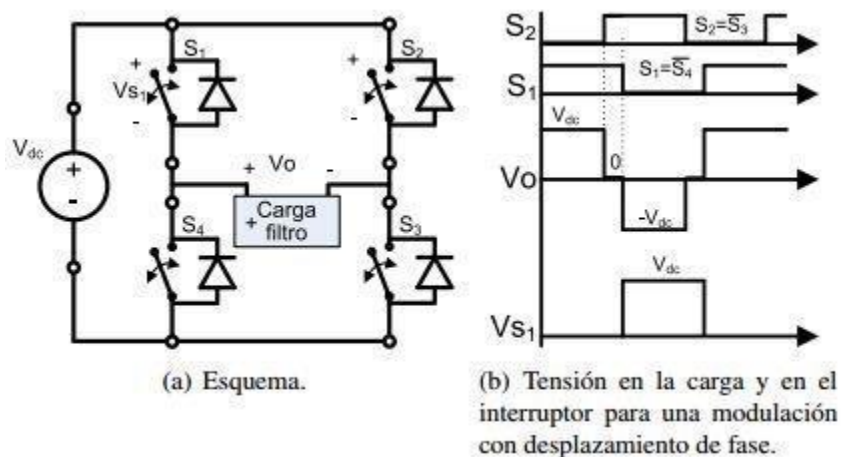


Figura 13. Topología Puente Completo
Fuente: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15377/PFC_Raul_martin_delgado-29-06-2012.pdf?sequence=1

C) Inversores trifásicos

Los inversores trifásicos, al igual que los monofásicos, permiten obtener una salida de corriente alterna, sin embargo, su salida ahora es trifásica, esto para requerimientos de mayor potencia, entre los tipos de inversores trifásicos se encuentra el inversor de seis pasos y el inversor por modulación PWM.

c.1) Inversor de seis pasos

Como se puede apreciar en la figura 14 el inversor cuenta con seis interruptores ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$), el ciclo de trabajo de estos interruptores es de 50% y su conmutación tiene un periodo de $T/6$ (figura 15 y figura 16); para evitar problemas como cortocircuitos en la fuente, es necesario que los interruptores S_1 y S_4 no estén cerrados al mismo tiempo y de la misma manera el par de interruptores S_3 - S_6 y S_5 - S_2 para el correcto funcionamiento del inversor.

De la figura 16 se puede apreciar que las tensiones V_{ao}, V_{bo} y V_{co} pueden tener como valor cero o $+V_{cc}$; mientras que las tensiones de salida V_{ab}, V_{bc} y V_{ca} pueden tener como valor cero, $+V_{cc}$ y $-V_{cc}$.

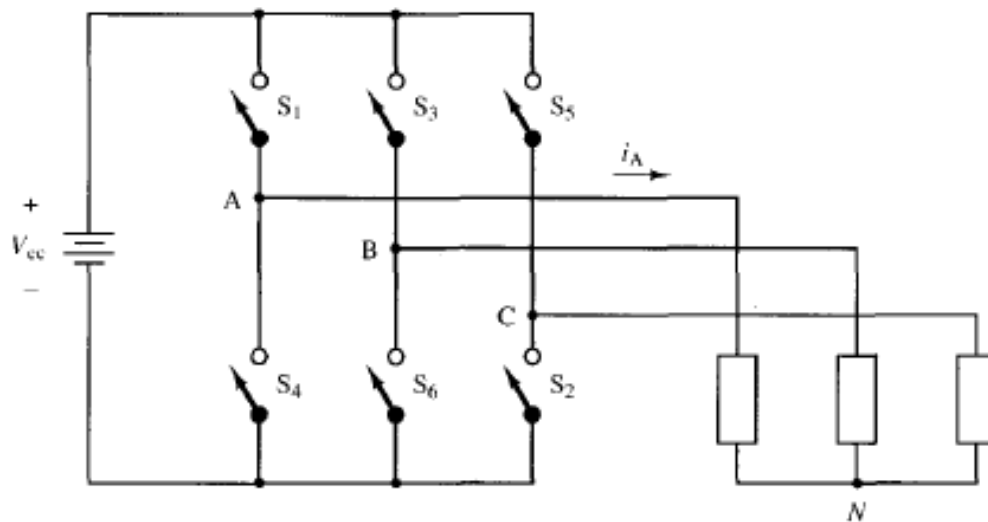


Figura 14. Inversor trifásico

Fuente: Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

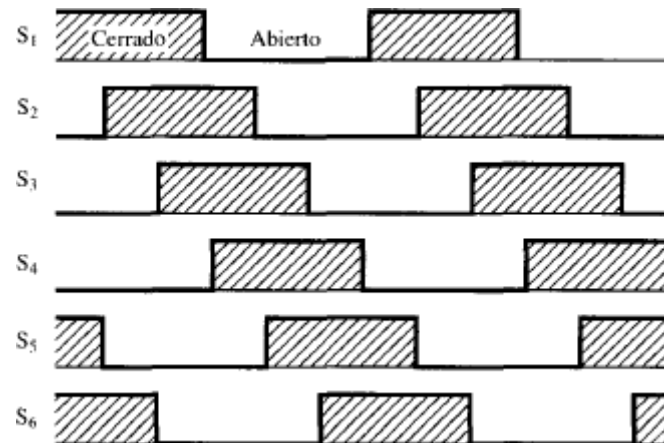


Figura 15. Conmutación de salida de seis pulsos.

Fuente: Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

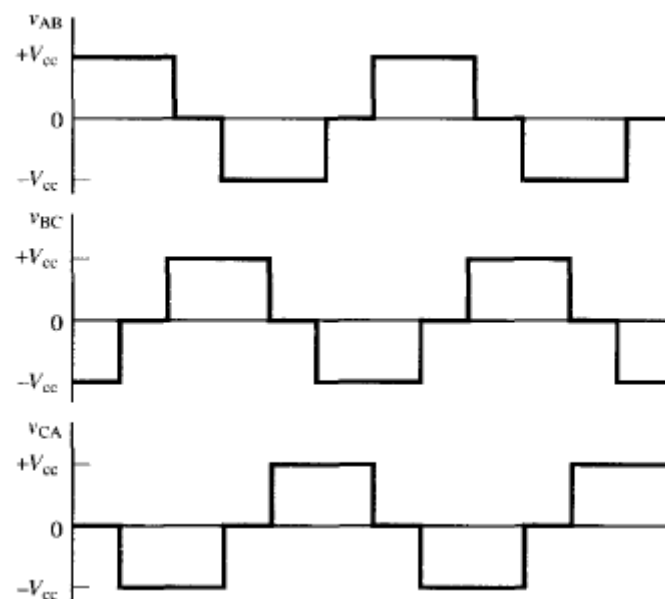


Figura 16. Tensión línea-línea de salida.

Fuente: Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

c.2) Inversor trifásico PWM

El uso de la conmutación PWM permite la sencillez del filtrado para la reducción de armónicos, así como también el control de la amplitud a la frecuencia fundamental.

Los interruptores se controlan mediante la comparación de una onda senoidal de referencia con una onda portadora triangular, la frecuencia de la onda de referencia es

igual a la frecuencia fundamental de salida, las amplitudes de las ondas de referencia y portadora determinan la amplitud de salida.

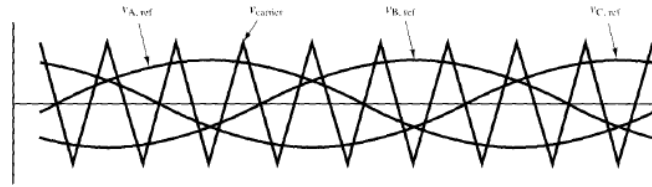


Figura 17. Ondas portadoras y de ref para control PWM $mf=0.9$, $ma=0.7$ inv. Trifásico.

Fuente: Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

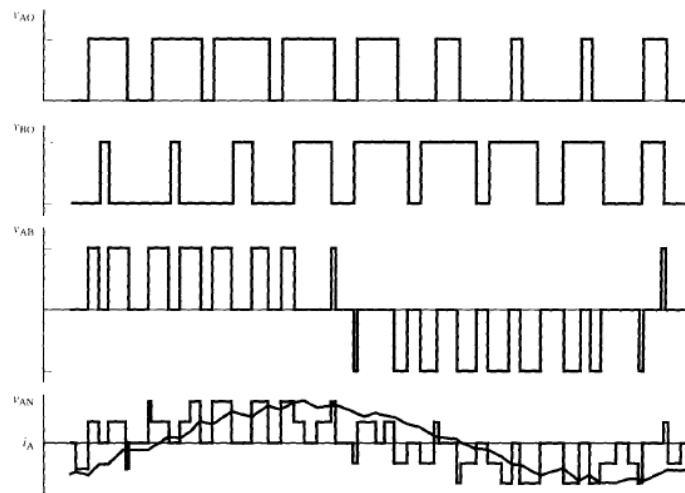


Figura 18. Formas de onda de salida.

Fuente: Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

D) Tipos de fuentes de energía

A continuación, se menciona de manera simplificada los tipos de fuentes suministradoras de energía.

d.1) Solar. Se genera la energía eléctrica a partir de la energía solar a través de paneles solares.

d.2) Nuclear. Esta se genera mediante la síntesis de los núcleos atómicos.

d.3) Hidráulica. Se genera la energía eléctrica mediante la energía de la fuerza del agua a través de las centrales hidroeléctricas.

d.4) Química. La energía eléctrica se genera a través de las reacciones químicas.

d.5) Eléctrica. Energía a partir de la carga eléctrica y los campos eléctricos.

d.6) Eólica. Energía que se genera por la fuerza de los vientos.

d.7) Térmica. La energía eléctrica se genera a través del calor.

E) Tipos de fuentes de alimentación

e.1) Paneles solares

Como se mencionó anteriormente y se apreció en las figuras 7, 8, 9 y 10 los paneles solares son dispositivos utilizados para convertir la energía solar en energía eléctrica.

e.2) Baterías

Son acumuladores de energía que proporcionan electricidad ya sea a un motor de arranque, un dispositivo electrónico u otras cargas que requieran tensión continua.

En la presente tesis se ha utilizado baterías de 12 V de carro y de moto las cuales se describen en el capítulo 3, sección 3.3.

e.3) Fuentes DC

Son dispositivos los cuales se encargan de convertir voltaje de corriente alterna en voltaje de corriente directa; la obtención de la tensión se da en los procesos de entrada, transformación, rectificación, filtración, regulación y salida. Estos procesos siguen la secuencia mostrada en la figura 19.

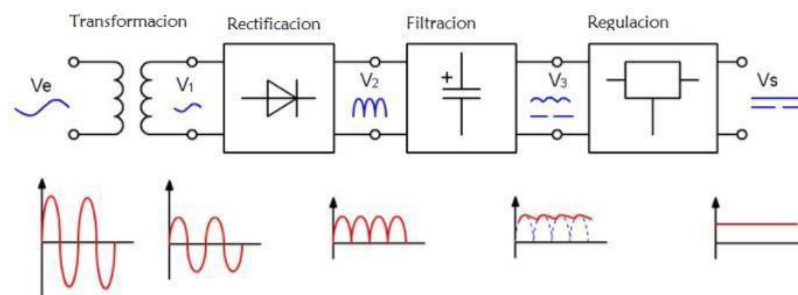


Figura 19. Esquema de bloques de fuente DC.

Fuente: http://www.portaleso.com/web_electronica_3/electronica_indice.html

2.1.3 Solución del problema

El problema del proyecto se basa en el uso de fuentes de energía no renovables para convertirlas de energía útil, por tal motivo, se busca el desarrollo de nuevas ideas para

aprovechar fuentes renovables. Debido a esto se alimentará una carga teniendo en cuenta las zonas de difícil acceso para el montaje de la red eléctrica.

La solución está dada mediante la implementación de un inversor monofásico que pueda satisfacer los siguientes requerimientos:

- ✓ Potencia de la carga: Se alimentará una carga que consuma un promedio de 37.8W/h. Para un uso promedio de 6 horas se tendrá 226.8W, por lo que se puede establecer un límite de diseño para el sistema de 250W.
- ✓ La tensión de entrada será proporcionada por una fuente continua que podría ser una batería de almacenamiento, la cual es alimentada por paneles solares, o una fuente de alimentación DC.
- ✓ De las tipologías expuestas, se elegirá la de puente completo ya que tiene mejores características frente a las otras para este proyecto como por ejemplo que se utiliza el mismo valor de tensión de la fuente continua en la carga.

2.2 Sostenibilidad del proyecto

2.2.1 Impacto global

El problema en el desarrollo de estas tecnologías frente al ambiente no es nada nuevo, ya que trasciende en el pasar del tiempo. El progreso de estas ha favorecido el cambio de las condiciones de vida del hombre, el crecimiento de la población mundial, la producción de alimentos y la necesidad de bienes de consumo en general, es por esto que esta tecnología puede ser utilizada en diferentes sectores como por ejemplo el sector agroindustrial para el accionamiento de bombas para sistemas de riego y así reemplazar a la electricidad generada por las fuentes de energía convencionales.

El ser humano, con su participación puede mitigar el daño al medio ambiente y con esto a nosotros mismos. Estimular a los organismos internacionales, nacionales, así como a las grandes empresas en la necesidad de medidas rápidas.

2.2.2 Impacto económico

Actualmente la economía, se encuentra altamente apoyada por el progreso tecnológico en cuanto a procesos, herramientas y sistemas de información entre otros recursos, orientados al aumento de la productividad del área en el que se desempeña esta ciencia; esta tecnología genera un gran crecimiento económico en las familias ya que no se tendría un pago por facturación mensual como sí lo harían si tuvieran contratado el fluido eléctrico tradicionales por esto que las personas de bajos recursos se beneficiarán con este nuevo sistema.

Sin costo de facturación mensual, solo se gastaría en instalación y mantenimiento.

2.2.3 Impacto ambiental

La naturaleza es capaz de renovar muchos recursos naturales si estos son consumidos de manera adecuada, sin embargo, otros recursos no pueden renovarse. Por ejemplo, el petróleo y el carbón tardan en formarse millones de años, es por esto que al utilizar estos sistemas, se tendrá un mejor aprovechamiento de los recursos naturales como la solar y aumentar el uso de energías renovables; además de no explotar las otras fuentes de energía ya que esto trae consigo perjuicios a la naturaleza y medio ambiente y en consecuencia a nosotros mismos como por ejemplo : energía hidráulica perjudica a la naturaleza y los recursos hidrobiológicos, energía térmica y nuclear perjudica en la contaminación al medio ambiente ,etc.

2.2.4 Impacto social

Dentro de las diferentes acepciones que existen sobre tecnología hay una cuyo fin es resolver las problemáticas sociales de una población determinada, donde lo importante es la organización de la comunidad en torno a los problemas que los aquejan (pueden ser privados o públicos) utilizando la tecnología como la principal herramienta para su solución.

Gracias a estos sistemas se conseguirá que en las familias lleven una vida más apacible y cómoda por lo que esta tecnología mejorará la calidad de vida de las personas de bajos recursos y hogares asentados en zonas rurales y/o aisladas, que se encuentran alejadas de las zonas urbanas, y en las que, además, se carece del servicio eléctrico.

2.3 Gestión del proyecto

2.3.1 Factibilidad técnica

b) Elementos para el sistema fotovoltaico.

Como se puede apreciar en la figura 20 y en la figura 21, respectivamente, los elementos principales que hacen posible la transformación de energía solar en energía eléctrica son los siguientes: paneles solares fotovoltaicos, regulador o controlador de carga, acumulador e inversor.

La instalación de estos sistemas fotovoltaicos es autosuficiente ya que la vivienda no tiene que estar conectada a la red pública, por lo tanto, produce por si sola la electricidad necesaria para su consumo. El sistema está conectado a la red como se muestra en la figura 21.

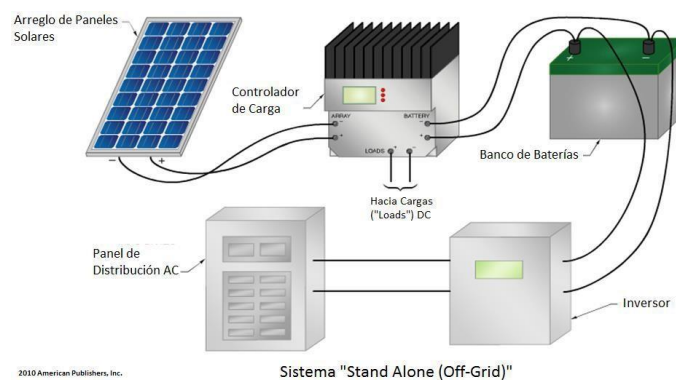


Figura 20. Elementos sistema fotovoltaico.

Fuente: <http://www.energiasolar.lat/rentabilidad-fotovoltaica/>

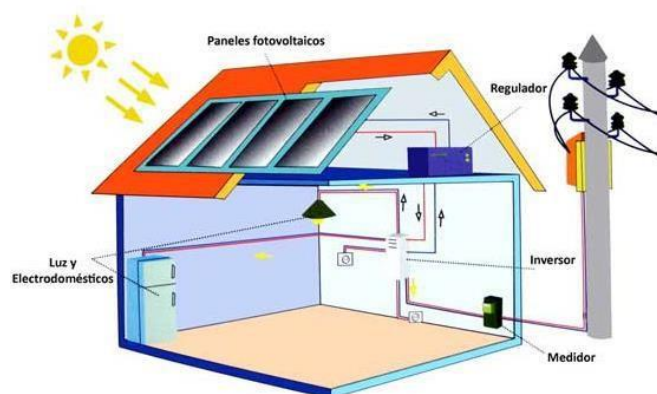


Figura 21. Sistema fotovoltaico en hogar.

Fuente: <http://programacasasegura.org/mx/energia-electrica-limpia-parte-ii/>

b.1) Panel solar

El panel solar es un elemento formado por un conjunto de celdas solares conectadas eléctricamente y montadas sobre una estructura de soporte. Su diseño suele estar para valores de tensión estándares de 6V, 12V, 24V, etc., los cuales definirán el valor de voltaje al cual trabajará el sistema fotovoltaico. El costo de un panel solar depende de ciertos factores como marca, calidad, potencia, etc. y puede variar entre de 90 y 350 Nuevos soles.

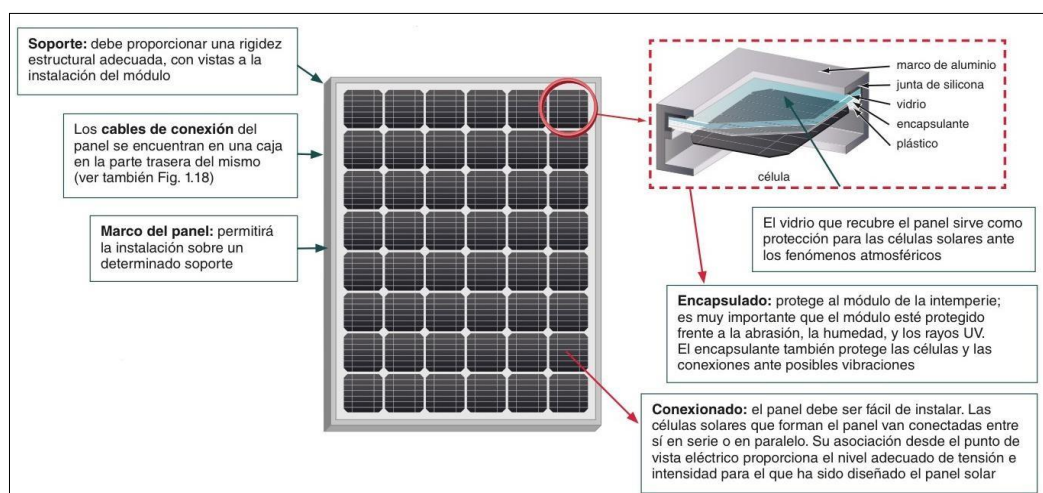


Figura 22. Componentes y características de un panel solar.

Fuente: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

b.2) Regulador o controlador.

Los reguladores son dispositivos electrónicos que permiten mantener los niveles de tensión continua (proporcionada por los paneles) de manera constante, evitando así las sobrecargas en los acumuladores y alargando su periodo de vida útil. En la figura 20 se puede apreciar que el regulador va conectado antes de la batería y después de los paneles.

b.3) Acumulador

Los acumuladores de energía son dispositivos de almacenamiento de energía cuyo objetivo principal en los sistemas fotovoltaicos es almacenar la energía eléctrica proporcionada por los paneles solares.

La energía solar no es constante durante el día y el año, por lo que para mantener el uso correcto de los equipos y sin dañarlos es necesario que estos tengan un suministro

constante de energía, para esto se conectan los acumuladores para almacenar energía en épocas donde la radiación solar sea nula o tenga valores limitados.

Las características y tipos de acumuladores o baterías que pueden ser utilizados en los sistemas fotovoltaicos se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1. Características de los principales tipos de baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

Tabla 2. Baterías utilizadas en instalaciones solares.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	• Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos.	• Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares.	
Arranque (SLI, automóvil)	• Precio. • Disponibilidad.	• Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito.	
Solar	• Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclados medios.	• Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclados profundos y prolongados.	
Gel	• Escaso mantenimiento.	• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I.	

Fuente: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

b.4) Inversor de corriente

El inversor es un dispositivo electrónico que sirve para transformar corriente continua en corriente alterna, este último tipo de corriente es la adecuada para el correcto funcionamiento de los equipos en los hogares, la red eléctrica nacional es de 220 V y 60 Hz.

Las principales características de un inversor son:

- Alta eficiencia y funcionar en rango alto de potencia.

- Bajo consumo en vacío, es decir, que no haya consumo cuando no haya carga conectada.
- Poseer buena resistencia a los picos de arranque.
- Adecuada protección contra corto-circuitos.
- Alta seguridad.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida, es decir, ser compatible con la red eléctrica.

2.3.2 Balance presupuestal

Tabla 3. Balance presupuestal.

ITEM	PRODUCTO	COSTO(S/.)
01	Bibliografía	30.00
02	Pasajes(visita(s))	30.00
03	Elementos y dispositivos	800.00
04	Cargas de consumo de corriente	000.00
	Total	860.00

Fuente: Elaboración propia.



Capítulo 3

Evaluación e implementación del inversor

3.1 Características principales del inversor en estudio

El inversor en estudio es un equipo que permite obtener una tensión alterna a partir de una tensión continua, sus características principales son las siguientes:

- ✓ Inversor comercial monofásico *Power Inverter*.
- ✓ Transformador de alta frecuencia
- ✓ Potencia: 350 W
- ✓ Tensión de entrada: 12 Vdc
- ✓ Tensión de salida: 220Vac

La placa interna del equipo consta de dos etapas en las cuales se puede observar dos circuitos inversores, dos circuitos rectificadores y un transformador de alta frecuencia que separa estas dos etapas. A continuación, en la figura 23 se muestra el bosquejo realizado del diagrama del circuito total de la placa interna del inversor.

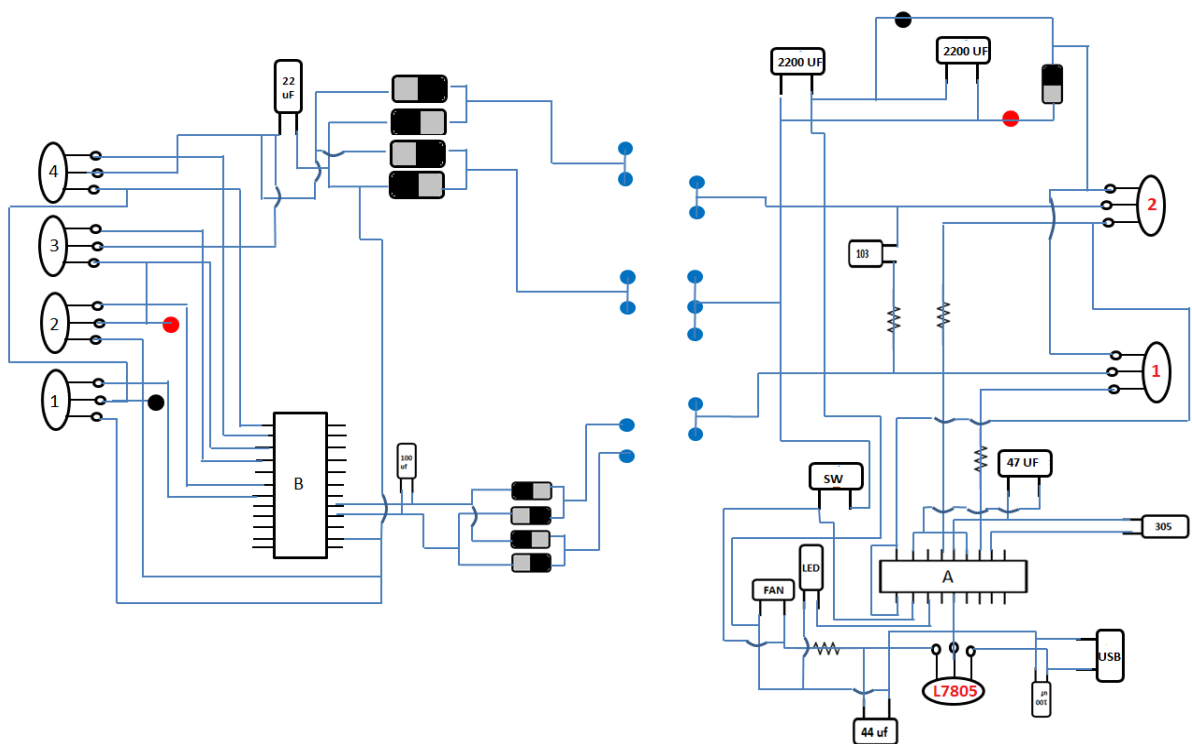


Figura 23. Diagrama general de inversor en estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Para explicar la conexión de los componentes del inversor, se resaltan las etapas del circuito como se muestra la figura 24.

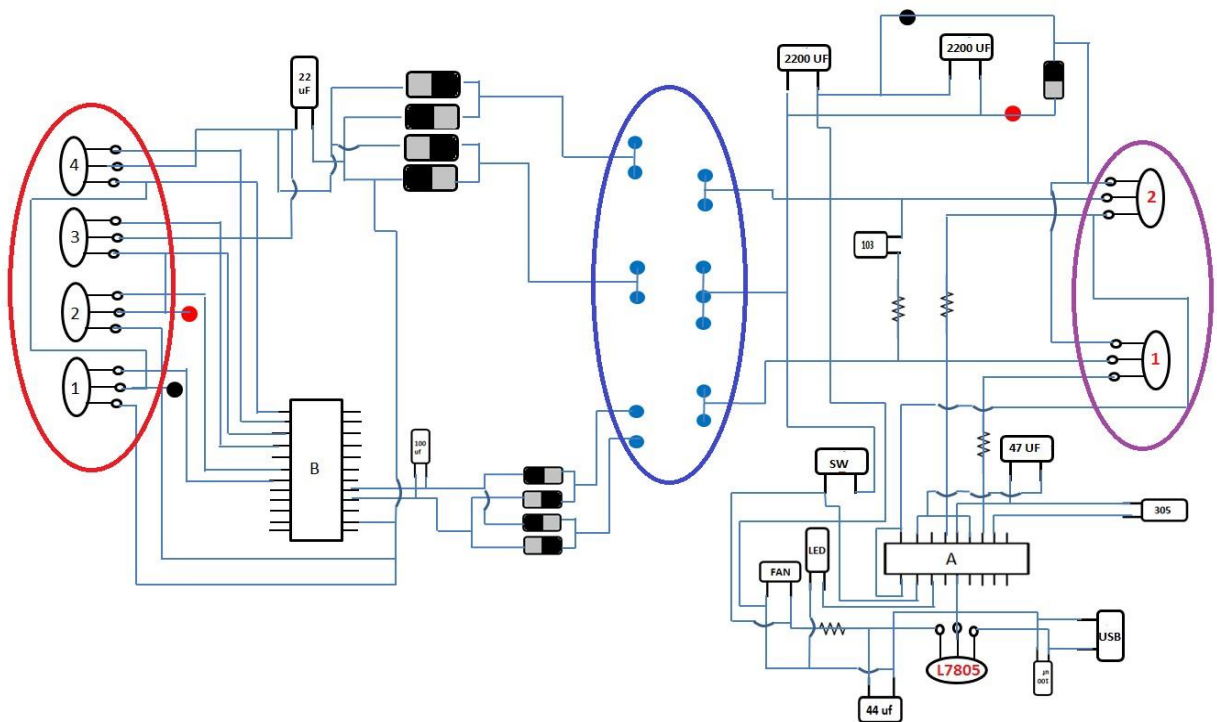


Figura 24. Ubicación de dos circuitos inversores del inversor en estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Del diagrama anterior se puede observar el primer circuito inversor en la primera etapa, el cual es de media onda representado en círculo morado y en la segunda etapa un segundo circuito inversor de onda completa representado en círculo rojo con dos circuitos rectificadores, el transformador de alta potencia señalado en círculo azul va conectado entre ambos circuitos, además se pueden observar dos placas integradas A y B cuya función es entregar señales de conmutación a los dos circuitos inversores para apertura y cierre.

3.2 Funcionamiento del inversor en estudio

El inversor en estudio funciona con tecnología de alta frecuencia ya que hace uso de un transformador (de alta frecuencia) que a su vez funciona como aislamiento entre dos etapas. La figura 25 muestra un circuito general de un inversor con esta tecnología.

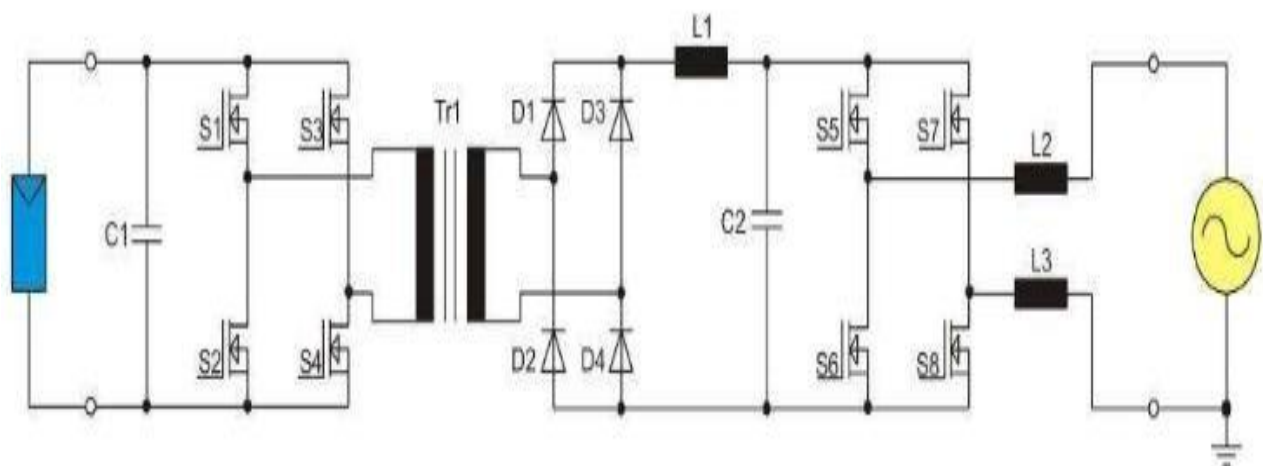


Figura 25. Diagrama de inversor de alta frecuencia.

Fuente: <https://studylib.es/doc/4760149/transformador-de-alta-frecuencia-con-conmutaci%C3%B3n>

Teniendo en cuenta las características mencionadas del inversor en estudio, se procede a explicar el principio de funcionamiento.

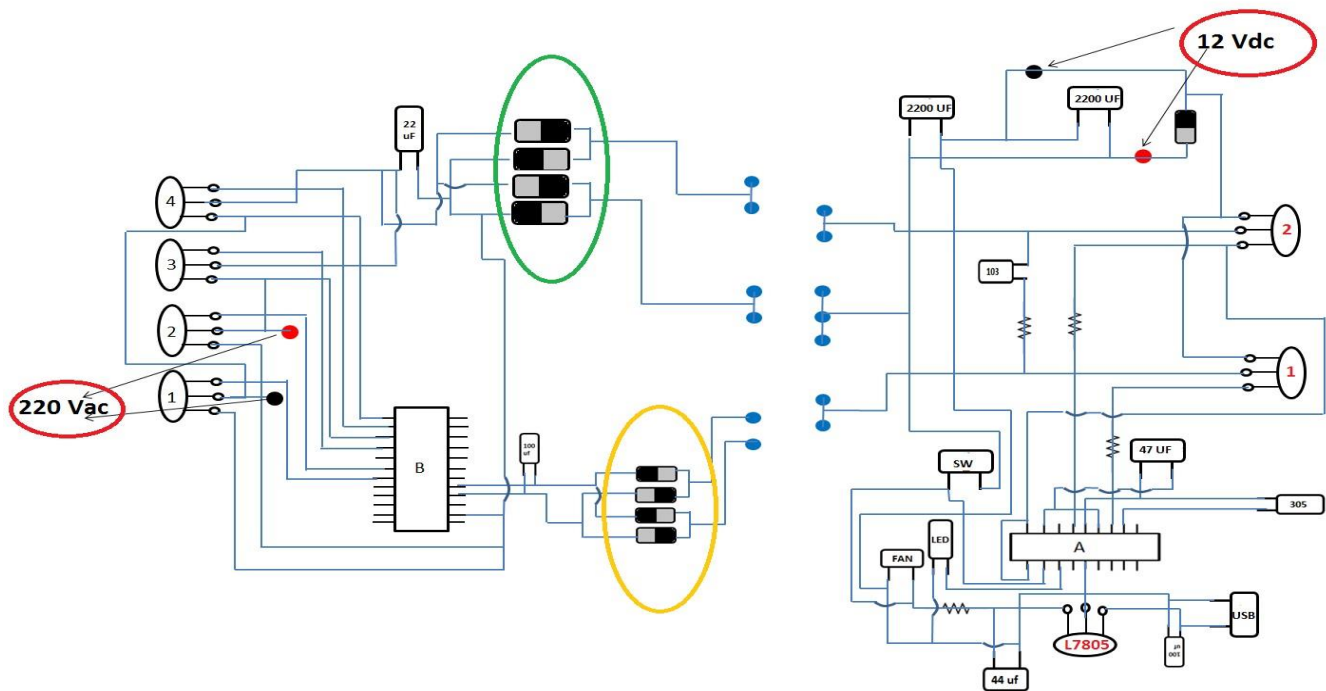


Figura 26. Explicación del funcionamiento de inversor en estudio.
Fuente: Elaboración propia.

La fuente de alimentación de 12Vdc se conecta a los terminales señalados de color rojo y negro los cuales conectan con el primer circuito inversor de media onda, una placa integrada con alimentación de tensión continua va conectada a este mismo inversor para generar la señal de conmutación, a la salida del primer inversor se obtiene una señal cuadrada alterna de alta frecuencia de 12 Vac.

La señal alterna de 12 V de alta frecuencia ingresa a un transformador el cual eleva y transmite la tensión hasta un valor mayor de tensión alterna en la salida del transformador, esta señal aun no es óptima para ser usada, para esto es necesario hacer pasar esta señal por un nuevo inversor, sin embargo antes debe ser rectificad con el circuito rectificador señalado de color verde para lograr alimentar al inversor con tensión continua, el segundo circuito integrado (B) que da la señal de conmutación al segundo inversor es accionado a través de la señal en continua que entrega el rectificador señalado de color amarillo cuya alimentación la da el transformador.

Finalmente, del segundo circuito inversor se obtiene una señal alterna de 220Vac a una frecuencia de 60 Hz la cual está en calidad para ser usada.

3.2.1 Elementos principales del inversor en estudio

El inversor presenta diversos componentes electrónicos, de los cuales los principales se listan en el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 4. Listado de elementos principales del inversor en estudio.

ELEMENTO	CANTIDAD
Transistor Mosfet JCS1404 C	02
Transistor Tianrui 740	04
Transformador de alta frecuencia EI40-B12V-J21	01
Transistor L7805	01
Diodo LF 26 MLC	04
Diodo FR 07	04
Diodo 1N 5408	01
Capacitor 2200uf	02
Capacitor 22uf	01
Capacitor 100uf	02
Capacitor 47uf	02
Circuito integrado PWM SG3524	01
Circuito integrado KA7500B	01

Fuente: Elaboración propia.

Los elementos de la tabla 4 que componen el inversor en estudio se pueden observar en la figura 27.

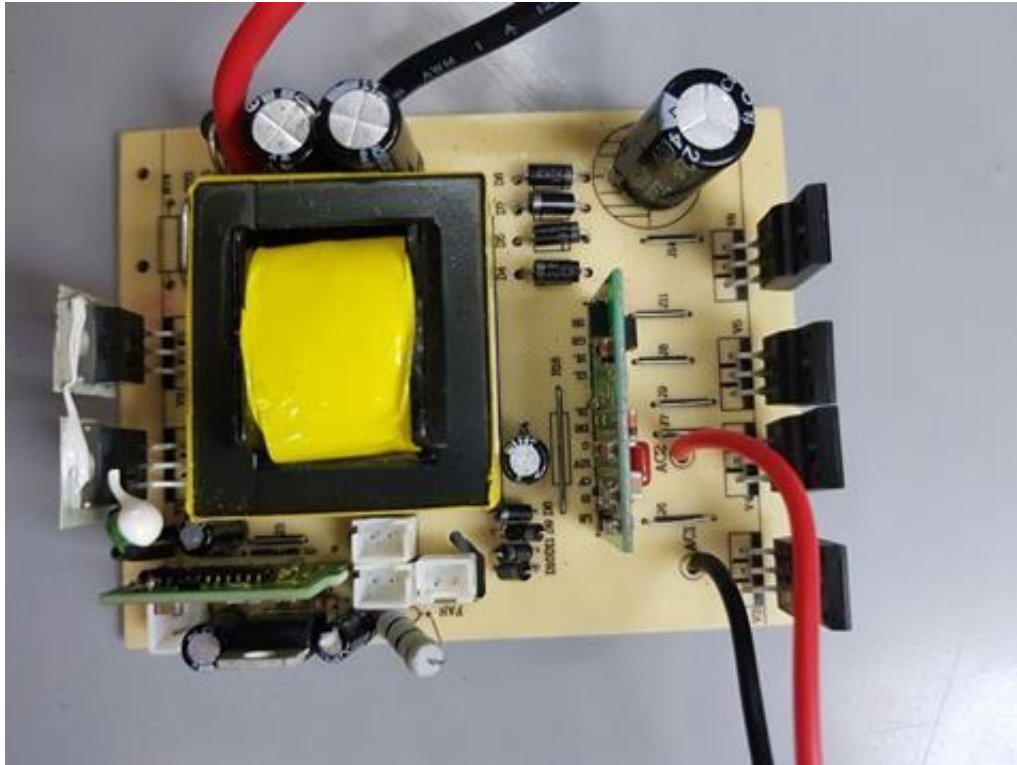


Figura 27. Placa electrónica de inversor en estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Placa PWM KA7500B

El integrado KA7500B se usa en el circuito de control PWM de conmutación para el circuito inversor de la primera etapa del inversor en estudio.

Consta de dos amplificadores de error, flip flop, un circuito de control de salida, un comparador PWM, un comparador de tiempo muerto y un oscilador. Este dispositivo puede funcionar en la conmutación frecuencia de 1 KHz a 300 KHz.⁵

⁵ <https://www.mouser.com/ds/2/149/KA7500B-889308.pdf>

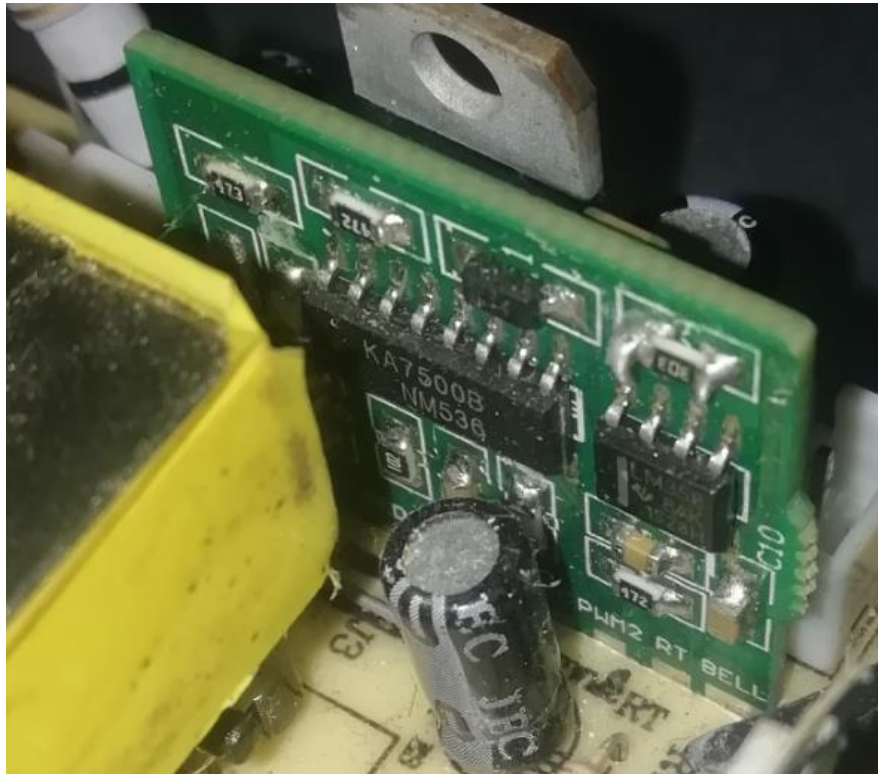


Figura 28. Placa PWM KA7500B
Fuente: Elaboración propia.

Placa PWM SG3524

Circuito integrado que representa un PWM. Estas placas incorporan todas las funciones requeridas para la construcción de regulación de suministro de energía, inversor o regulador variable, así también como convertidores DC-DC.⁶

⁶ Texas Instruments, «SGx524 Regulating Pulse-Width Modulators,» s.f.. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sg2524.pdf>. [Último acceso: 25 Junio 2017].

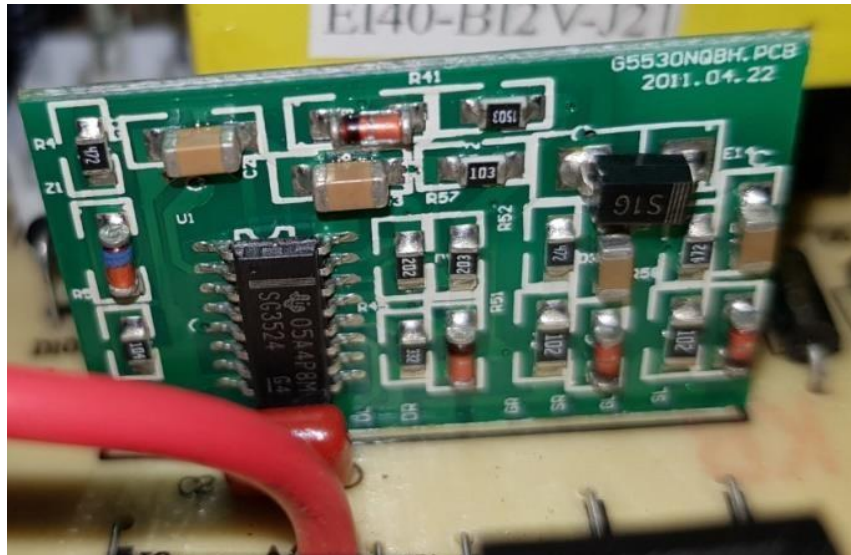


Figura 29. Placa PWM SG3524.
Fuente: Elaboración propia.

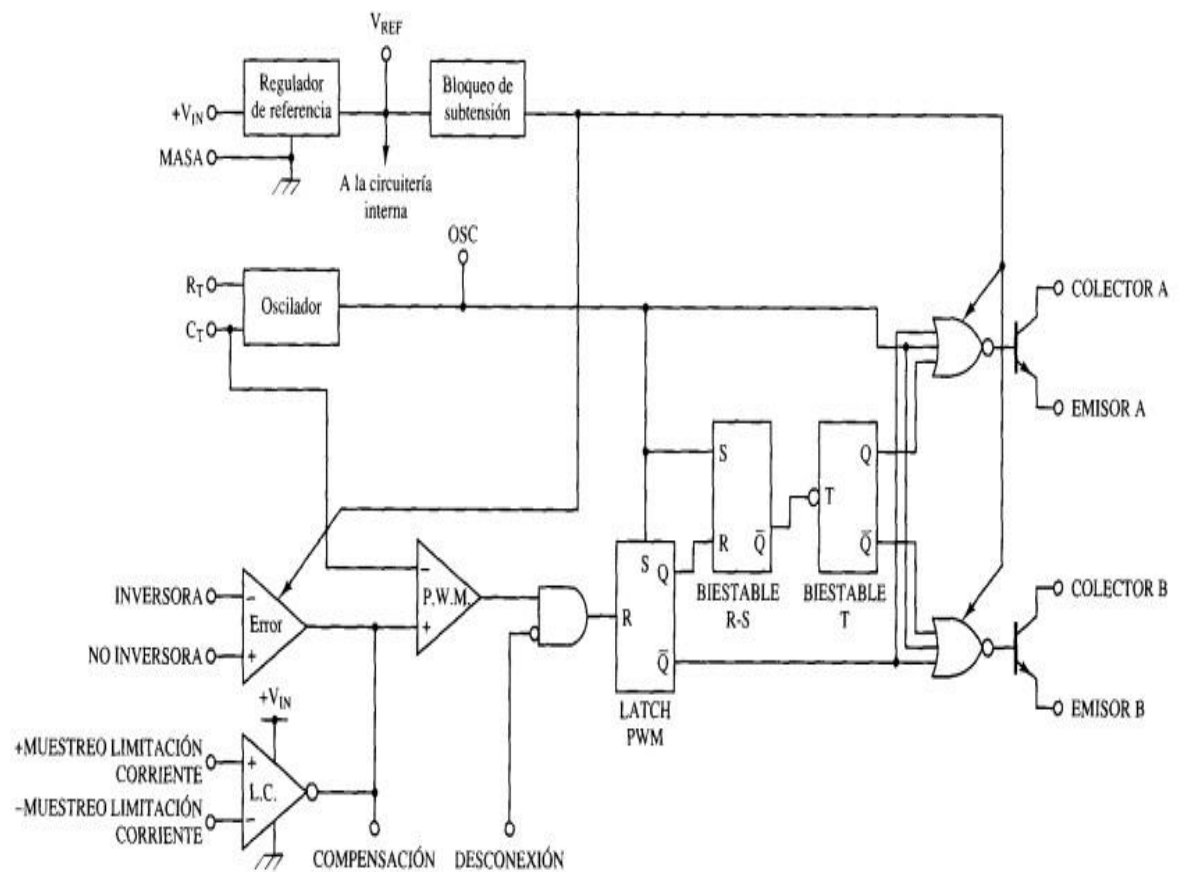


Figura 30. Circuito PWM SG3524.
Fuente: Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

Transformador de alta frecuencia EI40-B12V-J21

Las características principales del transformador de alta frecuencia modelo EI40 son las siguientes:

- ✓ Entrada 12V
- ✓ Salida 220V
- ✓ *Power supply topology: push pull*
- ✓ Fase individual
- ✓ Núcleo de ferrita
- ✓ Potencia de salida 350W
- ✓ Frecuencia 50KHz
- ✓ Bobina toroidal



Figura 31. Transformador de alta frecuencia EI40-B12V-J21
Fuente: Elaboración propia.

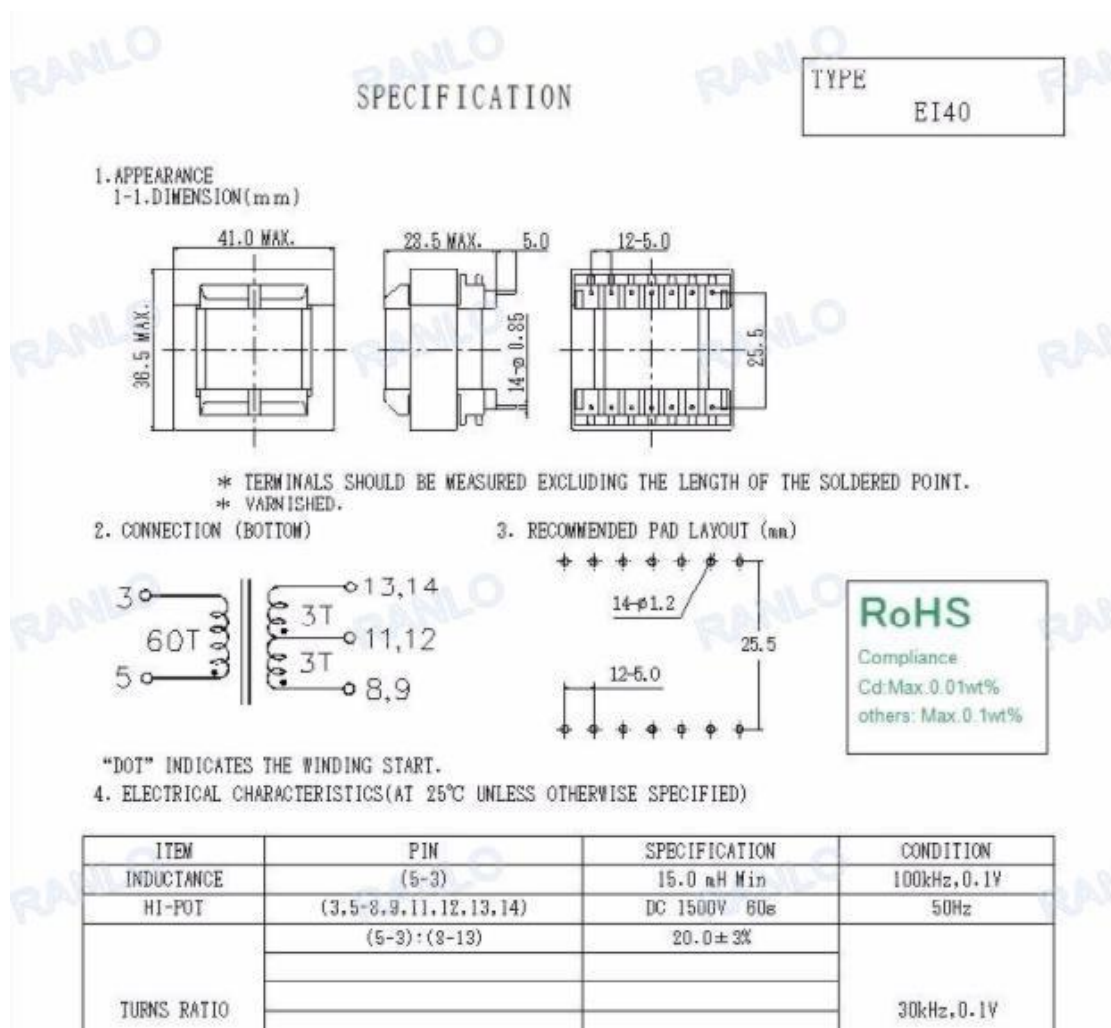


Figura 32. Especificaciones técnicas de transformador EI40-B12V-J21

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/ei40-led-lighting-electric-12v-high-frequency-transformer>

62059279398.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.37ca151fOHdJgB&s=p

3.3 Modificación del diseño principal

Dentro de los parámetros de diseño del inversor en estudio está la tensión de 12 Vdc la cual debe ser proporcionada por una batería de automóvil.

El cambio del diseño principal consiste en sustituir la fuente de alimentación, es decir, analizar el funcionamiento del inversor ya sea alimentándola con una batería de moto, fuente *switching* o fuente regulable.

Se decidió usar estas cuatro fuentes de alimentación ya que estas pueden proporcionar 12 V como tensión de entrada; las fuentes *switching* y regulable pueden suministrar una tensión continua, sin embargo, es necesario que estos dispositivos sean

previamente alimentados con una tensión alterna de 220 V a diferencia de las baterías de carro y moto.

Teniendo en cuenta el apartado anterior, se realizan las pruebas de funcionamiento para evaluar y comparar el comportamiento del inversor frente estos cuatro cambios.

A continuación, se detalla las características principales de fuentes de alimentación.

3.3.1 Batería de carro

Se describe como primera opción la batería de carro utilizada debido a que es la fuente de alimentación para la cual el inversor fue diseñado.

Tabla 5. Datos técnicos de batería utilizada.

Marca:	Etna
Modelo:	FF-11
Tensión:	12 Vdc
Corriente:	54Ah
Potencia de arranque (A):	394 A
Número de placas:	11

Fuente: Datos de placa.



Figura 33. Batería de carro utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Fuente *switching*

Se decide alterar la fuente de alimentación con una fuente *switching* para evaluar el funcionamiento, esta fuente es proporcionada por el laboratorio de electrónica de la Universidad de Piura.

Las características técnicas de la fuente *switching* utilizada son las siguientes:

Tabla 6. Datos técnicos de fuente utilizada.

Marca:	Thermaltake
Modelo:	TR2-430W
Tensión entrada:	100 - 240 VAC
Tensión salida:	+3.3V,20A +5V,13A +12V,32A +5V,2.5A -12V,0.5 A
Frecuencia:	50Hz / 60Hz
Potencia:	430 W

Fuente: Datos de placa.



Figura 34. Fuente *switching* utilizada.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 35. Fuente switching laboratorio electrónica UDEP.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Fuente variable

Como tercera opción de cambio de fuente se tiene una fuente variable, que al igual que la fuente *switching*, también es proporcionada por el laboratorio de electrónica de la Universidad de Piura.

Tabla 7. Datos técnicos de fuente variable utilizada

Marca:	Dlin PS2303D DC Power Supply
Tensión entrada:	220 Vac
Tensión salida:	0-15 Vdc
Corriente de salida:	0A-1 A
Frecuencia:	60 Hz
Potencia salida:	401 - 500W

Fuente: Datos de placa.

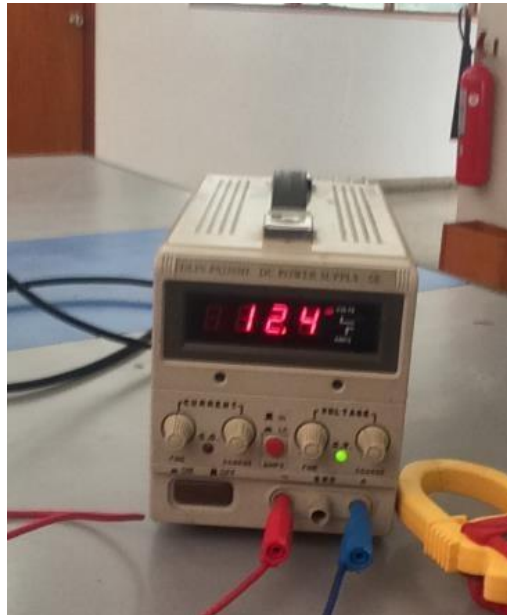


Figura 36. Fuente variable utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Batería de moto

Por último, se realizó cambio de fuente de alimentación con batería de motocicleta la cual tiene las siguientes características de operación:

Tabla 8. Datos técnicos de batería moto utilizada.

Marca:	Yuasa
Modelo:	NPW36-12
Tensión:	12 Vdc
Capacidad:	7Ah

Fuente: Datos de placa.

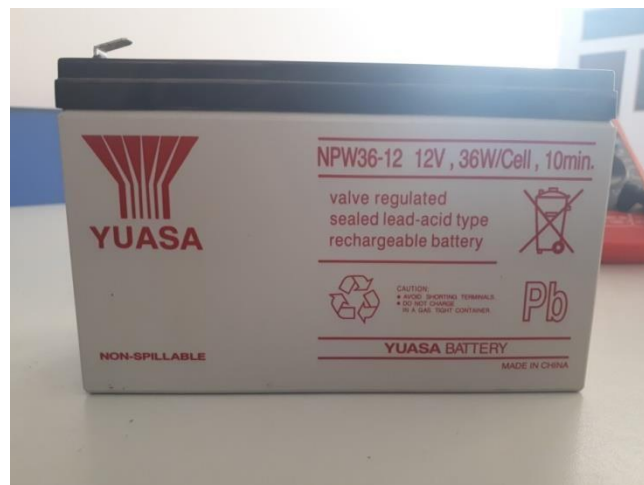


Figura 37. Batería de moto utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

De las características técnicas de las fuentes de alimentación descritas, las 4 permiten alimentar con una tensión de 12Vdc, por lo que si alimentan a un inversor se podría obtener un valor de tensión de 220 Vac; es necesario verificar esta hipótesis con pruebas de funcionamiento las cuales se describirán en el capítulo 4.





Capítulo 4

Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en el laboratorio de electrónica de la Universidad de Piura. Para el funcionamiento del inversor es necesario suministrar una tensión de 12 Vdc mediante una fuente de corriente continua.

Para realizar las pruebas se necesitan de instrumentos que permitan medir parámetros como corriente y voltaje tales como: multímetro, osciloscopio y cables.

Cada prueba será realizada midiendo la tensión en 3 puntos del inversor: conexión de entrada, salida del transformador y conexión de salida del inversor, los cuales serán llamados para efecto de estudio punto 1, 2 y 3 respectivamente; de acuerdo a estos datos se podrá verificar el comportamiento del circuito respecto a las fuentes de alimentación.

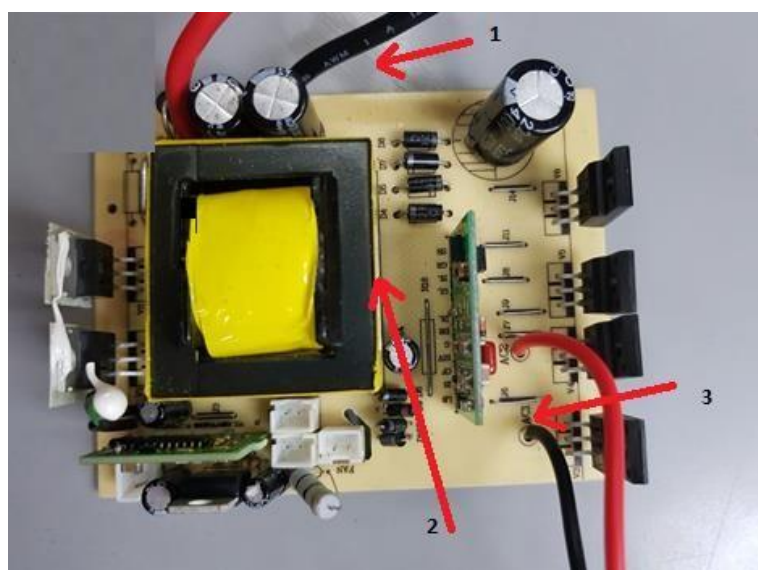


Figura 38. Puntos de medida de para pruebas de funcionamiento.
Fuente: Elaboración propia.

4.1 Pruebas con fuente *switching* de laboratorio de electrónica UDEP

Esta fuente proporciona una tensión de 12 Vdc cuya forma de señal es cuadrada como se aprecia en la figura 39 y una corriente de 15 A.

A la salida del inversor se obtuvo una señal de 6.14 V medidos con el multímetro y se registró una onda de salida oscilante en el osciloscopio como se muestra en la figura 40, en esta prueba también se realizó la medida en la entrada de transformador, en la cual se obtuvo un valor aproximado de tensión de 13 Vac, por último, a la salida del transformador de 2.16 Vac.

Las mediciones en los puntos 1,2 y 3 fueron: 12 Vdc, 2.16 Vac, 6.14 Vac, respectivamente.

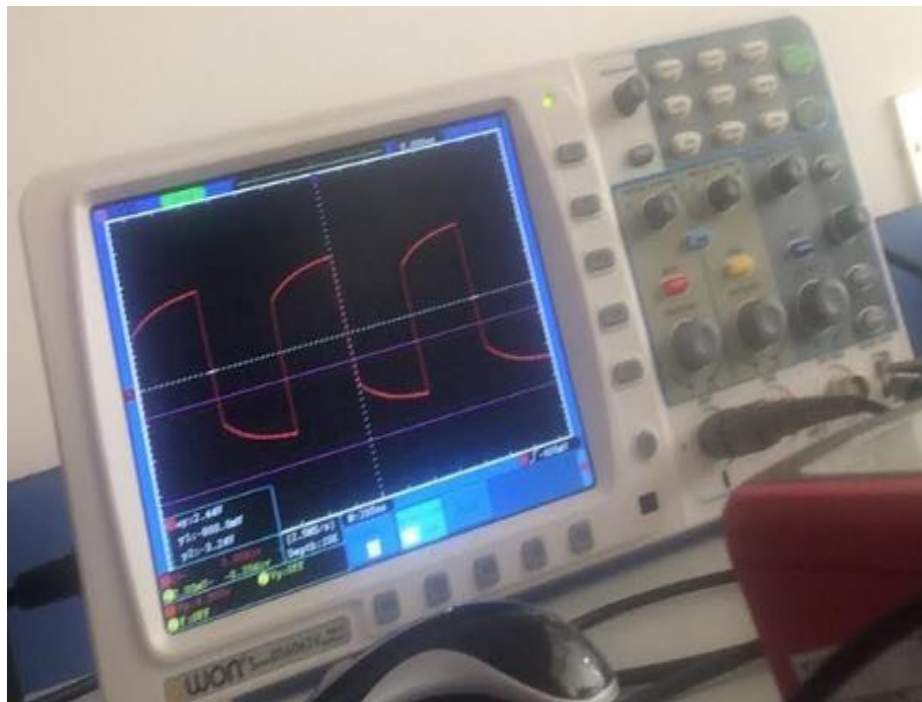


Figura 39. Forma de onda de fuente *switching* utilizada.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 40. Pruebas con fuente switching de laboratorio de electrónica UDEP.
Fuente: Elaboración propia

4.2 Pruebas con fuente variable

Con esta prueba se puede observar la forma de la señal de salida en el osciloscopio, al ser un valor muy bajo en amplitud, la onda tiende a una forma de línea recta, lo que nos indica que el valor obtenido no se aproxima al valor requerido.

De la misma manera del caso anterior la fuente entrega una tensión continua de 12 V, se obtiene un voltaje de salida 5 V en alterna en el punto de medida número 3; en esta prueba también se realizó la medida en la entrada de transformador, en la cual se obtuvo un valor aproximado de tensión de 5 Vac, por último, a la salida del transformador el valor que se visualizó fue de 0.8 Vac.

Las mediciones en los puntos 1,2 y 3 fueron: 12 Vdc, 0.8 Vac, 5 Vac, respectivamente



Figura 41. Señal a la salida del circuito con pruebas fuente variable.
Fuente: Elaboración propia.

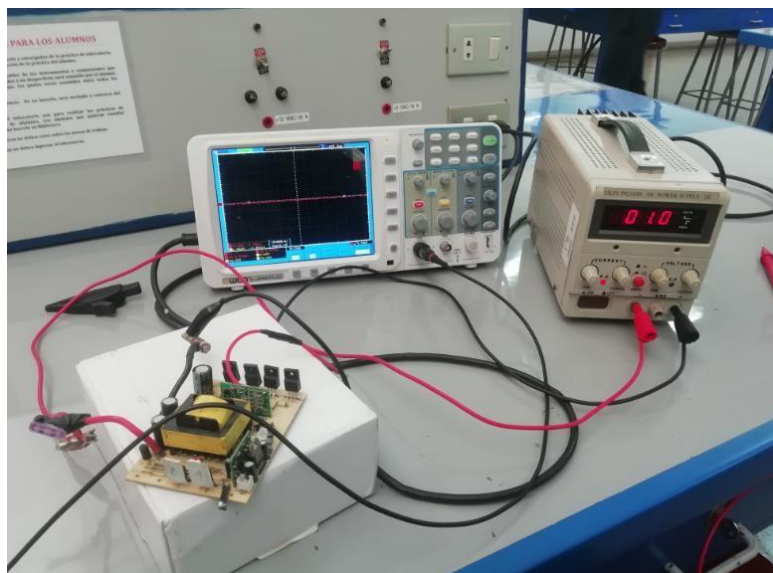


Figura 42. Pruebas de funcionamiento con fuente variable de laboratorio electrónica UDEP.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Pruebas con batería de carro de 12 V

En esta prueba la batería proporcionó una tensión de entrada en continua de 12 V y una corriente de 105 A. La forma de onda de la señal de salida que se obtuvo fue similar a una sinusoidal como se observa en la figura 44, lo cual es lo que se esperaba.

Con esta batería se obtuvieron valores de tensión entre 218-227 Vac medidos con multímetro. No se realizó medidas en el punto 2 ya que los valores en el punto de medida

número 3 fueron los esperados, lo cual quiere decir que con esta de fuente DC, el comportamiento del inversor es el correcto.

Las mediciones en los puntos 1 y 3 fueron: 12 Vdc, 218-227Vac, respectivamente.

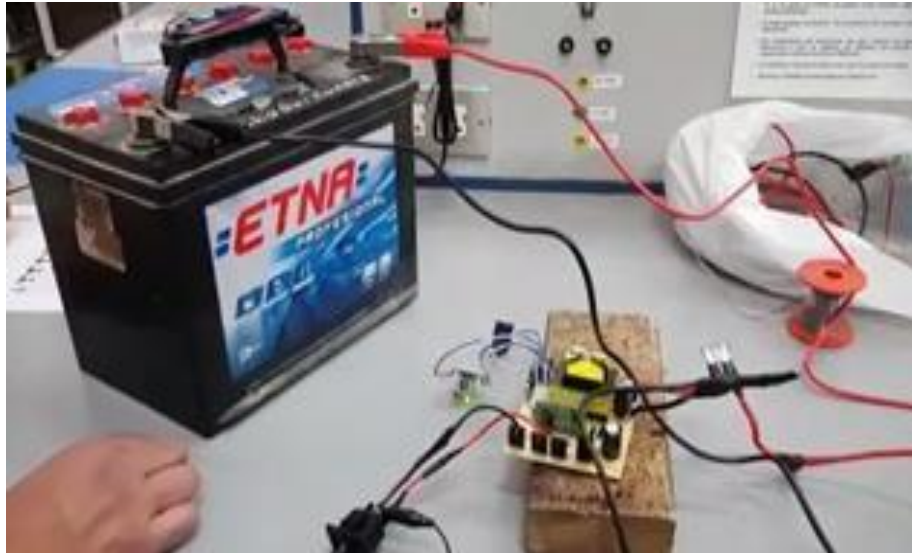


Figura 43. Pruebas de funcionamiento con batería de carro utilizada.
Fuente: Elaboración propia.

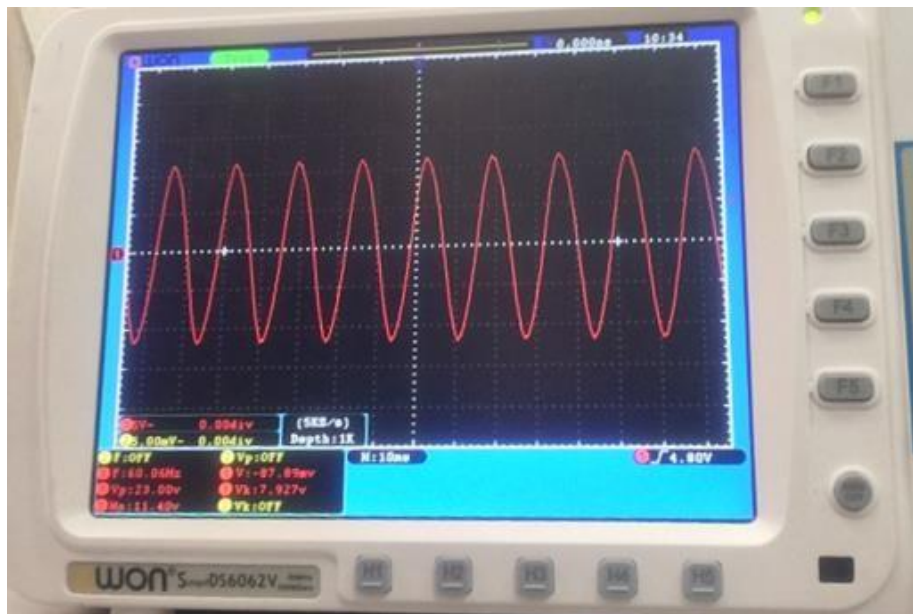


Figura 44. Señal de salida.
Fuente: Elaboración propia.

4.4 Pruebas con batería de moto de 12 V

Al igual que en la prueba de funcionamiento con fuente regulable, se observó la forma de la señal de salida del inversor en el osciloscopio, al ser un valor muy bajo en

amplitud, la onda tiende a una forma de línea recta, lo que nos indica que el valor obtenido no se acerca a lo que se necesita.

Las pruebas de funcionamiento realizadas con batería de moto arrojaron valores de cero voltios en los puntos de medida como salida de transformador y salida del inversor.

Las mediciones en los puntos 1,2 y 3 fueron: 12 Vdc, 0 Vac, 0 Vac, respectivamente.

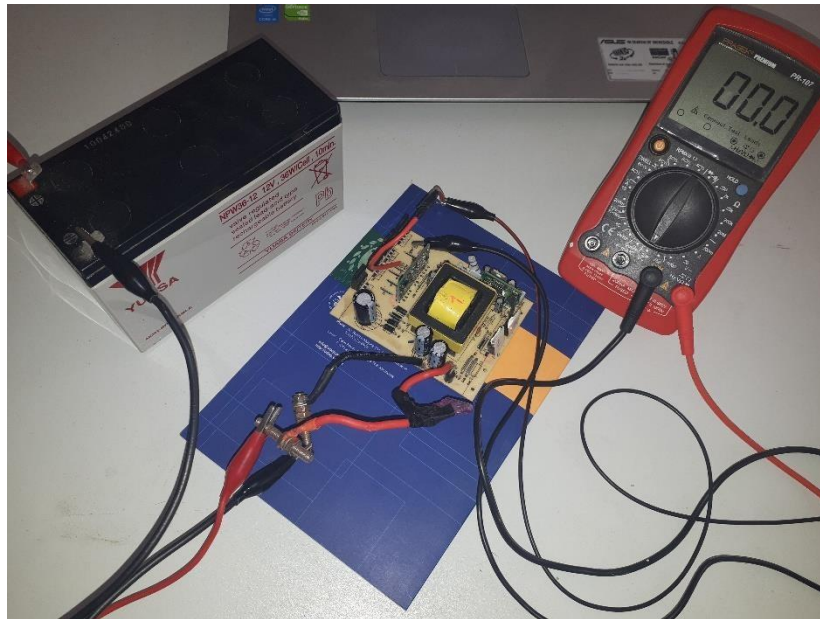


Figura 45. Pruebas de funcionamiento con batería de moto de 12 Vdc.
Fuente: Elaboración propia.

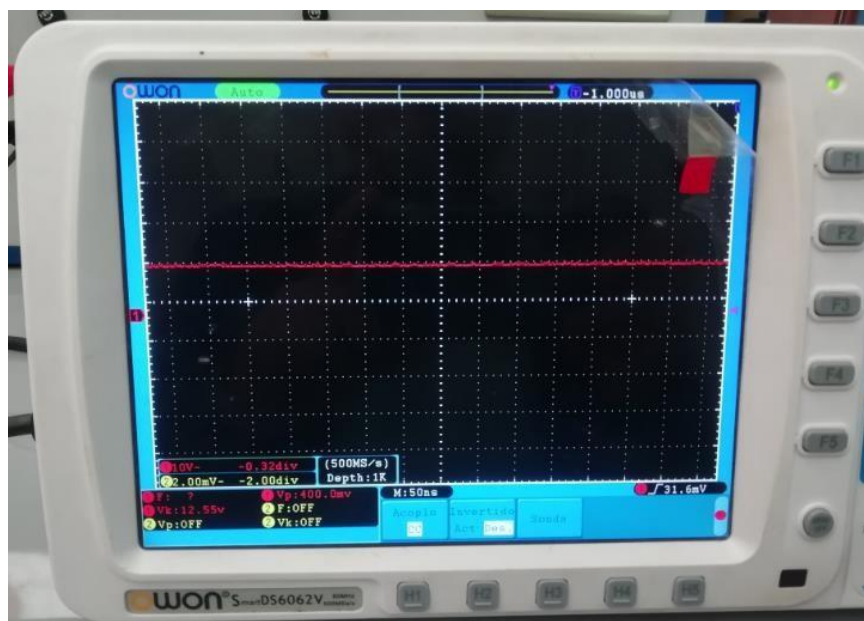


Figura 46. Señal a la salida del circuito con pruebas batería de motocicleta 12 Vdc.
Fuente: Elaboración propia.

En resumen, se realizaron 4 pruebas de funcionamiento, en las cuales 3 de ellas proporcionaron valores bajos en tensión a la salida del inversor.

Para determinar el problema por el cual a la salida del inversor no se obtiene 220 Vac, se realizaron pruebas en el transformador de alta frecuencia con el fin de verificar si este elemento es el que genera el problema, al medir con un multitester la entrada en baja potencia, lo que marcaba era entre 8 Vac-13 Vac pero a la salida del transformador marcaba entre 2 Vac – 3 Vac, con el osciloscopio se comprobó que la señal entrada corresponde a una onda alterna de mayor amplitud que a la salida del transformador.

En el caso de la batería de moto, con una capacidad de 7 Ah, no pudo lograr una tensión de salida, sin embargo, la fuente *switching* con 32 A, se obtuvo un voltaje de 6.14 vdc. Por lo tanto, para que se pueda obtener los resultados esperados, es necesario que la fuente de alimentación pueda proporcionar suficiente corriente como en el caso de la batería de carro, es decir una corriente alrededor de 394 A.

Por lo tanto, se puede decir que la corriente que entrega la fuente de alimentación es fundamental para el correcto funcionamiento del inversor, ya que en el caso de la batería de carro con una capacidad de 54 Ah y una corriente de arranque de 394 A, es mayor a la de las otras fuentes utilizadas.



Capítulo 5

Resultados obtenidos

Luego de realizar las pruebas de funcionamiento del inversor, se observaron y analizaron detalles que se explicarán con los datos citados en la tabla 7.

Tabla 9. Resultados obtenidos de pruebas de funcionamiento.

Tipo de Fuente DC.	Tensión de entrada	Tensión de salida transformador	Tensión de salida
Fuente <i>Switching</i>	12 V	13 Vac	6.14 Vac
Fuente Variable	12 V	0.8 Vac	5 Vac
Batería Carro	12 V	--	218-227 Vac
Batería Moto	12 V	0 Vac	0 Vac

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se pueden observar los valores obtenidos durante las pruebas de funcionamiento, se verifica que la batería de carro da como resultado una mayor tensión de salida a diferencia de las otras tres fuentes.

Queda demostrado que el diseño para el cual ha sido fabricado el inversor, no se admiten las fuentes descritas, y solo puede ser accionado con batería de carro. Esto puede hacer referencia a la corriente que la fuente de alimentación proporciona ya que la batería entrega más corriente que las demás fuentes como se dijo en el capítulo anterior.

Las pruebas de funcionamiento dan la idea que el inversor también puede ser accionado mediante paneles solares ya que la corriente entregada por este sistema se puede acumular en baterías, las cuales entregarán corriente al inversor.

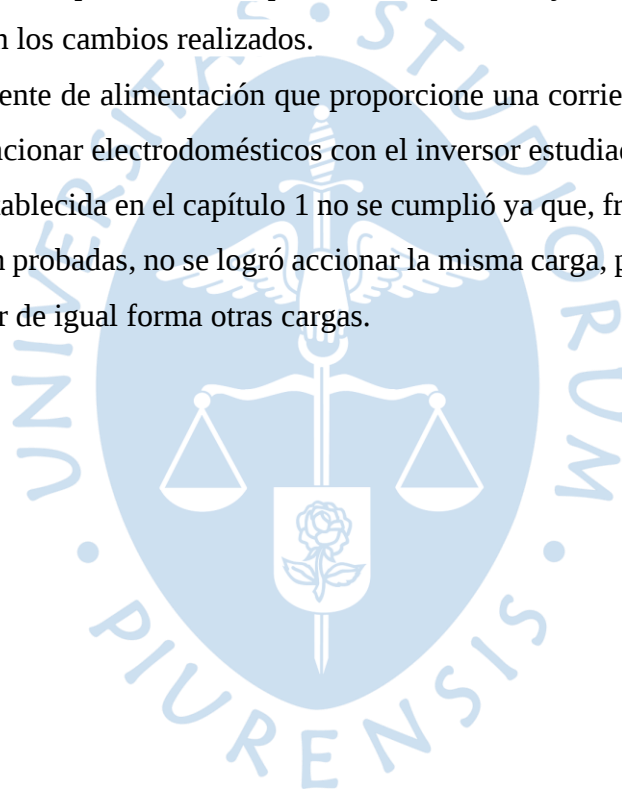


Conclusiones

1. Las pruebas de funcionamiento fueron de ayuda para poder resaltar puntos importantes como por ejemplo la corriente necesaria para el correcto funcionamiento del inversor y así obtener una tensión de 220Vac a la salida de este.
2. Para aplicaciones como en equipos electrónicos, equipos de precisión, es necesario que la forma de la señal de salida sea de forma senoidal ya que se requiere buena precisión para no dañar los equipos, debido a esto se debe realizar un buen diseño del inversor de corriente.
3. Para el diseño del inversor monofásico las topologías son importantes ya que de eso depende el voltaje de salida y el número de semiconductores que se usará. En este caso se eligió la topología H o puente completo debido a que con esta obteníamos un voltaje de salida igual que el de entrada que era lo que se necesitaba aun cuando esto implicaba usar más semiconductores.
4. Tener cuidado al manipular la placa donde se han montado los componentes del inversor, ya que, debido al transformador de baja frecuencia, este mantiene una carga en su bobinado, el cual no se descarga de manera autónoma, o al menos, siempre mantiene parte de su carga acumulada, por lo cual, si se hace contacto directo en la placa sin las medidas de protección necesarias, ocurrirá una descarga sobre el cuerpo que haya hecho contacto, lo cual puede causar descarga eléctrica y en consecuencia, adormecimiento del rostro, malestar general y todos los efectos propios del aturdimiento.
5. Para este sistema se recomienda usar una batería de carro ya que esta puede dar corrientes iniciales de hasta 25 A, en lugar de otras baterías que dan corrientes de 18A (laboratorio de electrónica) o de 3A (batería de una moto). En las pruebas de

funcionamiento se comprobó que la corriente inicial de funcionamiento del sistema era superior a los 18 A, pero menor a los 25 A.

6. Como propuesta de análisis y estudio del inversor se recomienda la continuación del análisis para una próxima aplicación como por ejemplo en una industria pesquera, ya que se cuenta con equipos que pueden ser accionados mediante sistemas fotovoltaicos y así se poder ahorrar en combustibles, debido a que la energía se obtiene por medio de grupos electrógenos, mas no, de la red eléctrica.
7. No son factibles los cambios realizados en la fuente de alimentación debido a que en las pruebas de funcionamiento se demostró que las tensiones obtenidas no fueron las esperadas, por lo tanto, se puede decir que no mejoro el funcionamiento del inversor con los cambios realizados.
8. Al tener una fuente de alimentación que proporcione una corriente considerable, podrá hacer funcionar electrodomésticos con el inversor estudiado.
9. La hipótesis establecida en el capítulo 1 no se cumplió ya que, frente a las fuentes de alimentación probadas, no se logró accionar la misma carga, por lo tanto, no se podrán accionar de igual forma otras cargas.



Referencias bibliográficas

Agencia insular de energía Tenerife, 'Energía solar fotovoltaica' http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_energia_solar_fotovoltaica_iter.pdf.

América fotovoltaica(s.f.), 'La Guía Solar'. <http://www.laguiasolar.com/energias-alternativas/>.

Bocachica B., Francy & Hernández B., Miguel (2009), Diseño e implementación de un inversor dc/ac para implantar en un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a una finca.

Carrod electrónica(s.f.), KA7500B. <https://www.carrod.mx/products/circuito-ingegrado-ka7500b>.

Cornejo L., Héctor (2013), sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la Universidad de Piura.

Hart, Daniel W. Electrónica de potencia. Madrid: Pearson education S.A., 2001.

Moreno F., Edison (2012), inversor de voltaje DC AC.

Paredes H., Israel. Ramírez Q., Héctor. Ramos T., Andy. Risco Q., Juan & Zuloeta S., Juan. Inversor Monofásico Utilizando Paneles Solares Orientado al Abastecimiento de un TV, no publicado, Universidad de Piura, Perú.

Sai(s.f.). Distribuidor tecnológico <https://www.sai-elche.com/convertidor-de-12v220v-350w-schuko--usb-autoswith-power-inverter-p-1-50-3030-o-12/>.

Saladié, O., Oliveras, J., Módulos universitarios en ciencia del desarrollo sostenible (MOUDS), <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/4-recursos-naturales-y->

fuentes-de-energia/figura-416-consumo-de-energia-primaria-en-el-mundo-segun-tipo-de-fuente-2006

ST.life.augumented(s.f.),SG3524,<https://www.st.com/en/powermanagement/sg3524.html>.

Texas Instruments, «SGx524 Regulating Pulse-Width Modulators,» s.f. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sg2524.pdf>. [Último acceso: 25 junio 2017].

