

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA**  
**Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE MODULACIÓN POR ANCHURA DE  
PULSOS APLICADO AL INVERSOR FOTOVOLTAICO COMO SOLUCIÓN AL  
EFECTO DE DISTORSIÓN TOTAL ARMÓNICA EN LA MEJORA DE LA  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS ALBERTO CCAMA POLANCO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ  
2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE MODULACIÓN POR ANCHURA DE  
PULSOS APLICADO AL INVERSOR FOTOVOLTAICO COMO SOLUCIÓN AL  
EFECTO DE DISTORSIÓN TOTAL ARMÓNICA EN LA MEJORA DE LA  
EFICIENCIA ENERGÉTICA

TESIS PRESENTADA POR:

**CARLOS ALBERTO CCAMA POLANCO**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Fecha de sustentación: 28/09/2018

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

PRIMER MIEMBRO:

Ing. OMAR LUÍS NEIRA CUTIPA

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. JHIMMY ALBERTH QUISOCALA HERRERA

DIRECTOR / ASESOR:

Mg. GREGORIO MEZA MAROCHO

Área : Energías Renovables

Tema : Eficiencia Energetica



## DEDICATORIA

*El presente trabajo de tesis va dedicado a mi familia el sacrificio y esfuerzo, el entendimiento, por el amor que nos une y nos fortalece a mi esposa VILMA , a mis hijos Adrian Gabriel Ccama, Dajhanne Gabriela Ccama.*

*A mis padres por ser las personas que siempre se preocuparon por un objetivo que es impulsarnos por la obtención de una profesión como es Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA – PUNO , como es MARIO CIPRIANO CCAMA RAMOS Y ROSARIO DORIS POLANCO .*

*A todos los Maestros que nos acompañaron durante la formación en la EPIME, compartiendo sus experiencias profesionales y académicas. .*

*A mis amigos y compañeros presentes, que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, en nuestra época universitaria.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Nuestro Señor Dios todo poderoso por guiarnos hacia un buen camino, a mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron para estar ahora aquí en este lugar y apoyarme en mi sueño.*

*A la Universidad Nacional Del Altiplano, por acogerme dentro de sus aulas y los maestros que imparten sus experiencias y conocimiento en su gran labor de formación de profesionales.*

*En especial agradecer a todos los Maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su esfuerzo y dedicación en la enseñanza para nuestra formación profesional y ciudadana.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
CAPITULO I.....	15
1.1 INTRODUCCION.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	17
1.2.1 ARMONICOS.....	18
1.2.2 DISTORSION ARMONICA .....	19
1.2.3 EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE LOS ARMONICOS .....	20
1.2.4 PROBLEMAS PRODUCIDOS POR LOS ARMONICOS. ....	22
1.3 ANTECEDENTES.....	23
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	27
1.5.1 PROBLEMA GENERAL.....	27
1.5.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	27
1.6 OBJETIVOS .....	28
1.6.1 OBJETIVO GENERAL .....	28
1.6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	28
1.7 HIPÓTESIS.....	28
1.7.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	28
1.7.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	28

CAPITULO II .....	29
2.1 REVISIÓN DE LITERATURA.....	29
2.2 INVERSOR DE CORRIENTE DIRECT EN CORRIENTE ALTERNA (CD- AC) .....	29
2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL INVERSOR MONOFASICO DE MEDIO PUENTE.....	30
2.2.2 INVERSOR MONOFASICO EN PUENTE. ....	36
2.3 CONTROL DE VOLTAJE DE LOS INVERSORES MONOFASICOS .....	39
2.3.1 MODULACION DE UN SOLO ANCHO DE PULSO.....	39
2.3.2.MODULACION DE VARIOS ANCHOS DE PULSO.....	41
2.3.4.MODULACION SENOIDAL MODIFICADA DE ANCHO DE PULSO .46	
2.3.5.MODULACION SENOIDAL DEL ANCHO DE PULSO (SPWM) .....	47
2.3.6.RELACION DEL ANCHO DE PULSO.....	52
CAPITULO III .....	55
3.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
3.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACION .....	56
3.4 TIPOLOGÍA Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	57
3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	58
3.5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL PRIMER OBJETIVO:.....	58
3.5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SEGUNDO OBJETIVO:.....	58
3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	58
3.6.1..... INVERSOR DE CORRIENTE CONTINUA EN ALTERNA AC DE 150W .....	59

CAPITULO IV .....	71
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	71
4.2. RESULTADOS .....	71
4.2.1.....MODELAMIENTO DE UN INVERSOR MONOFASICO CON TRANSISTORES .....	71
4.2.1.1 CONVERTOR DC – AC.....	71
4.2.2INVERSOR TIPO FUENTE DE CORRIENTE .....	72
4.2.3INVERSOR PUENTE COMPLETO MONOFASICO VSI .....	77
4.2.3.1 INVERSOR FOTOVOLTAICO.....	77
4.2.4.....CONVERSORES DC-AC TIPO VSI CONFIGURACIÓN BASICAL.- MONOFÁSICAS. ....	79
4.3 MODELAMIENTO DEL INVERSOR MONOFASICO APLICANDO LA MODULACION SINUSOIDAL POR ANCHURA DE PULSOS. ....	88
V. CONCLUSIONES .....	91
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. REFERENCIAS .....	93
ANEXOS .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Los armónicos.....	19
<b>Figura 2.2:</b> Inyección de Energía a la red procedente de paneles fotovoltaicos.....	30
<b>Figura 2.3:</b> Circuito Inversor de Medio Puente .....	31
<b>Figura 2.4:</b> Formas de onda para carga resistiva .....	32
<b>Figura 2.5:</b> Formas de Onda para carga Inductiva .....	33
<b>Figura 2.6:</b> a) Circuito de Medio Puente.....	34
<b>Figura 2.7:</b> Circuito Inversor de Puente Completo.....	36
<b>Figura 2.8:</b> Formas de Onda de una carga resistiva .....	37
<b>Figura 2.9:</b> Circuito en Puente Completo .....	38
<b>Figura 2.10:</b> Tension en la carga y en el interruptor para una modulación con desplazamiento de fase. ....	38
<b>Figura 2.11:</b> Modulación por ancho de pulso .....	40
<b>Figura 2.12:</b> Generacion de Señales de Excitación .....	42
<b>Figura 2.13:</b> Voltaje de salida del inversor monofásico .....	43
<b>Figura 2.14:</b> Modulación de ancho de pulso señal de salida.....	45
<b>Figura 2.15:</b> Modulación de ancho de pulso señal de salida con portadora triangular .....	46
<b>Figura 2.16:</b> Modulación senoidal modificada del ancho de pulso .....	47
<b>Figura 2.17:</b> Esquema de Modulación Por ancho de pulso .....	48
<b>Figura 2.18:</b> Esquema de Modulación por ancho de pulso .....	48
<b>Figura 2.19:</b> Contenido de Armonicas del Esquema PWM .....	50
<b>Figura 2.20:</b> Contenido de Armónicas del Esquema PWM .....	51
<b>Figura 2.21:</b> Zonas de Operación del PWM .....	52



<b>Figura 2.22:</b> Relaciones para el esquema PWM, bipolar, asimétrico .....	53
<b>Figura 2.23:</b> Ángulos para el K-esimo pulso.....	54
<b>Figura 3.24:</b> Inversor de Voltaje de AC 150W .....	59
<b>Figura 3.25:</b> Inversor DC-AC 150W.....	62
<b>Figura 3.26:</b> Circuito Esquemático del Inversor DC-AC .....	63
<b>Figura 3.27:</b> Circuito Inversor DC-AC.....	64
<b>Figura 3.28:</b> CI 555 Salida de onda cuadrada .....	64
<b>Figura 3.29:</b> Parte del inversor de voltaje DC AC 150W .....	66
<b>Figura 3.30:</b> CI 555 CI-CD 4013 Parte del Inversor de voltaje DC-AC 150W..	67
<b>Figura 3.31:</b> Circuito esquemático de inversor 12VCC-110-220V AC-20-40W	69
<b>Figura 3.32:</b> Circuito Impreso de Inversor 12VCC-110-220V AC - 20-40W ....	70
<b>Figura 4.33:</b> Tren de Pulsos en Psim .....	73
<b>Figura 4.34:</b> Circuito Inversor monofásico en Psim.....	74
<b>Figura 4.35:</b> Inversor Monofásico en Psim .....	76
<b>Figura 4.36:</b> Forma de onda de salida de dos niveles del inversor puente monofásico.....	77
<b>Figura 4.37:</b> Inversor Monofásico en Psim .....	78
<b>Figura 4.38:</b> Tren de pulsos en Psim.....	78
<b>Figura 4.39:</b> Circuito inversor monofásico en Psim .....	79
<b>Figura 4.40:</b> Inversor Monofásico en Psim .....	81
<b>Figura 4.41:</b> Forma de onda de salida de dos niveles del inversor puente monofásico.....	82
<b>Figura 4.42:</b> Circuito Inversor Puente completo .....	82
<b>Figura 4.43:</b> Circuito Puente.....	83
<b>Figura 4.44:</b> Conmutación de Estados S1 y S2.....	84

<b>Figura 4.45:</b> Conmutación de Estados S2 y S4 .....	85
<b>Figura 4.46:</b> Conmutación de Estados S1 S2.....	85
<b>Figura 4.47:</b> Conmutación de estados S2 S4.....	86
<b>Figura 4.48:</b> Inversor tipo puente de tres niveles.....	87
<b>Figura 4.49:</b> Inversor monofásico con modulación por ancho de pulso sinusoidal en Psim .....	88
<b>Figura 4.50:</b> Onda triangular para la modulación por ancho de pulso en Psim	89
<b>Figura 4.51:</b> Modulación por ancho de pulso en PSIM.....	89
<b>Figura 4.52:</b> Formas de onda aplicando la Modulación por ancho de pulso en PSIM .....	90
<b>Figura 4.53:</b> Modulación por anchura de pulso a la salida del inversor simulado en PSIM .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estados posibles de un inversor monofásico medio puente tipo VSI..	75
Tabla 2: Estados posibles en un inversor monofásico medio puente tipo VSI.	80
Tabla 3: Estadod de Conmutacion del Inversor tipo puente Monofasico .....	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Inversores Phoenix .....	103
Anexo 2: Características del Inversor.....	104

## RESUMEN

En el área de generación de energía eléctrica a partir de las fuentes limpias contribuyen a la alimentación de máquinas eléctricas para diferentes aplicaciones, existiendo un principal inconveniente como es la distorsión por armónicos generando pérdidas.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la aplicación de una de las técnicas de modulación aplicado a un inversor de un sistema de generación solar fotovoltaico con el único objetivo que es demostrar su contribución a la mejora de la eficiencia energética sin generar algún tipo de distorsión armónica durante el proceso.

Durante el proceso de análisis se muestra como la técnica de modulación por anchura de pulsos es una técnica aplicada a los inversores fotovoltaicos con el objetivo de generar una señal sinusoidal que permitirá realizar la alimentación a los equipos eléctricos.

Se realizaron las pruebas necesarias así como la simulación respectiva y comprobar de esta manera que la técnica de la modulación por anchura de pulsos es una técnica que aplicada a los inversores fotovoltaicos nos permite obtener una señal sinusoidal como se plantea en los objetivos.

**Palabras Clave :** Fotovoltaico, Inversor, Modulación, Portadora, pulsos..

## ABSTRACT

In the area of electric power generation from clean sources they contribute to the feeding of electric machines for different applications, there being a main disadvantage as the distortion by harmonics generating losses.

The objective of this paper is to analyze the application of one of the modulation techniques applied to an inverter of a solar photovoltaic generation system with the sole objective of demonstrating its contribution to the improvement of energy efficiency without generating any type of harmonic distortion. during the process. During the analysis process it is shown how the technique of pulse width modulation is a technique applied to photovoltaic inverters with the aim of generating a sinusoidal signal that will allow the power supply to the electrical equipment.

The necessary tests were carried out as well as the respective simulation and to verify in this way that the technique of pulse width modulation is a technique applied to photovoltaic inverters that allows us to obtain a sinusoidal signal as it is stated in the objectives.

**Keywords:** Carrier ,Inverter Modulation,photovoltaic, pulses.

## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCION.

“Los países de la Región Centroamericana ha apostado al desarrollo energético sostenible a través de una serie de pilares que se contemplan en la Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020 dentro de las cuales la eficiencia energética juega un rol importante”. (Díaz, 2016) p.16

El Ministerio de Energía y Minas es la autoridad competente del Estado para la promoción del uso eficiente de la energía, promover la creación de una cultura orientada al empleo racional de los recursos energéticos para impulsar el desarrollo sostenible del país buscando un equilibrio entre la conservación del medio ambiente y el desarrollo económico. (Minas, 2013)

El desarrollo de las tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independientemente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costos de la mitigación del cambio climático y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costos para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; estas deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas. (Minas, 2013)

Ya que en muchas zonas urbanas el suministro eléctrico se realiza por cableado convencional aéreo, lo que en algunas ocasiones resulta difícil e inseguro conseguir el suministro eléctrico para la señalización e iluminación.

“En la actualidad, la fuente de energía solar más desarrollada es la energía solar fotovoltaica. Según Sven (2008), podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030”.. (Cordano, 2017) p.20

La Eficiencia Energética (EE) debe considerarse en la matriz energética como la más importante del futuro. Ésta se puede definir como la optimización del uso de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible para las futuras generaciones de nuestro país.

Cabe señalar y esclarecer el término Eficiencia Energética, por cuanto esta conducta responsable y próxima integración a la cultura para hacer negocios, podría determinar en gran medida la sobrevivencia de muchas empresas en el escenario nacional, al reducir costos y su huella de carbono. Así también, es apropiado reconocer las oportunidades que ésta implica.

La Eficiencia Energética es un gran sistema que involucra a todas las áreas y perspectivas del negocio: cumplimiento de objetivos, empleados motivados y sustentabilidad.



Producto de un proyecto de EE ciertamente se genera ahorro de energías, pero también hace gente más responsable y comprometida; y un mayor orden de los procesos.

Entender esta forma de optimizar la energía ha resultado algo complejo. Por un lado descifrar el concepto eficiencia que no se digiere fácilmente; y en un segundo plano, porque se tiende a confundir con ahorro. Si bien todos los proyectos de Eficiencia Energética por defecto generan ahorro de combustible y/o electricidad, la idea es no dejar de usar estas energías convencionales, sino hacerlo de manera óptima, a su máximo rendimiento. Pero el concepto general de la Eficiencia Energética tiene mística.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

Los convertidores de corriente directa a corriente alterna (CD/CA), son dispositivos ampliamente usados en varias aplicaciones.

Su uso abarca desde pequeñas fuentes de energía para equipos electrónicos como son los artefactos electrodomésticos de uso común y artefactos electrodomésticos de oficina, hasta fuentes de alto poder para control de motores industriales, hornos de fundición o generadores eléctricos.

Sin embargo las técnicas de conversión emplean dispositivos de conmutación que generan corrientes armónicas que contaminan la red eléctrica causando fallas en la red de suministro y sobrecalentamiento en los conductores.

Diversas técnicas de conmutación se han inventado con el fin de incrementar la eficiencia reducir el contenido armónico tanto en la red de alimentación como a la salida del convertidor.

### 1.2.1 ARMONICOS.

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante. Estas cargas no lineales a pesar de estar alimentadas con una tensión senoidal absorben una intensidad no senoidal, haciendo que la corriente quede desfasada un ángulo  $\beta$  respecto de la tensión.

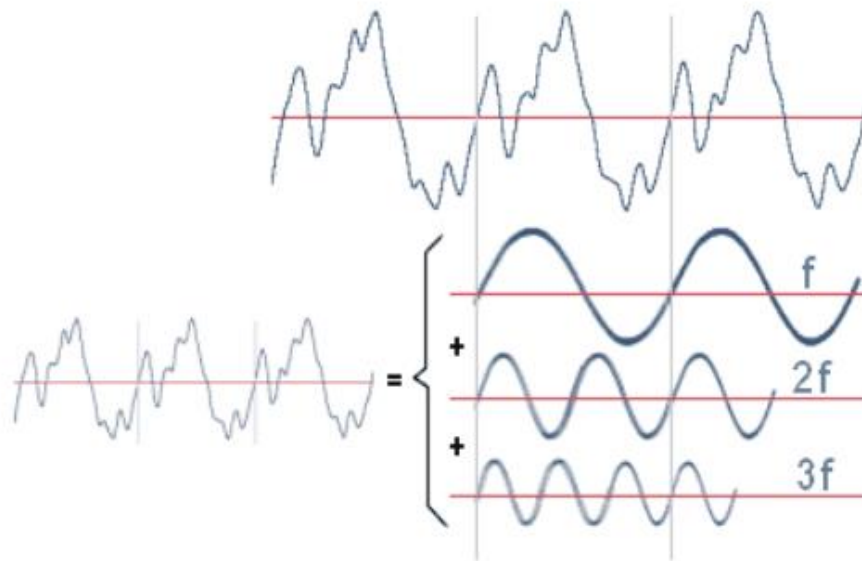
El orden del armónico es el número entero de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la de la componente fundamental. Por ejemplo, el armónico de orden 3 es aquel cuya frecuencia es 3 veces superior a la de la fundamental, o lo que es lo mismo, si la fundamental es de 50Hz el armónico de orden 3 tendría una frecuencia de 150Hz. El armónico fundamental se considera de orden 1.

Los armónicos se pueden clasificar en dos tipos: los impares y los pares.

A) Los armónicos impares son los que se encuentran habitualmente en las instalaciones eléctricas, industriales y edificios comerciales.

B) Los armónicos de orden par solo existen cuando hay asimetría en la señal debida a la componente continua.

**Figura 1.1:** Los armónicos.



Fuente: Análisis de las componentes armónicas de los inversores fotovoltaicos de conexión a red.

C) Espectro Armónico. El espectro armónico permite descomponer una señal en sus armónicos y representarlo mediante un gráfico de barras, donde cada barra representa un armónico, con una frecuencia, un valor eficaz, magnitud y desfase.

**1.2.2 DISTORSION ARMONICA**

La ecuación que se muestra como toda señal periódica no senoidal  $i(t)$  puede descomponerse en la suma de su componente fundamental  $i_1(t)$  y de sus  $h$  componentes armónicas  $i_h(t)$ .

$$i(t) = i_1(t) + \sum_{h \neq 1} i_h(t) \dots\dots\dots(1.1)$$

La distorsion armonica de una forma de onda representa el contenido en armonicos que tiene esa señal. La cantida de distorsion que presenta una forma de onda de tension o corriente se cuantifica mediante un indice llamado distorsion armonico total (THD), definido para tensiones y corrientes.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \dots\dots\dots(3.1)$$

El factor de potencia (FP) se puede definir como el producto del factor de potencia de desplazamiento (FPD) y del ratio  $I_1 / I_s$ .

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I_s} \cdot FPD \dots\dots\dots(4.1)$$

Por lo tanto, la presencia de armónicos en la corriente tiene un efecto muy negativo sobre la eficiencia con la que equipo proporciona potencia la red y es un aspecto muy importante a controlar, no solo a nivel de seguridad sino también de efectividad.

La distorsión armónica total de la onda de corriente generada por el inversor, THD1, es una medida de la calidad de la energía generada por el inversor sobre la que existe normativa internacional (IEC 61000-3-2 e IEEE std 929-2000).

**1.2.3 EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE LOS ARMONICOS**

Cualquier señal que circule por la instalación eléctrica, ya sea de corriente o de tensión, y cuya forma de onda no sea senoidal, puede provocar daños en ella o en los equipos conectados a la misma.

- a) Calentamientos (conductores, hilo de neutro y otros dispositivos)

El calentamiento es uno de los efectos más importantes de los armónicos. Se puede producir en los devanados de los

transformadores, motores, conductores en general y especialmente en el hilo de nuetro.

Debido al efecto piel, a medida que la frecuencia de la tension o corriente aumenta, esta tiende a circular por el exterior del conductor desaprovechando parte de la seccion, lo que significa que aumenta la resistencia del cable.

b) Salto de protecciones.

Las señales con armonicos pueden tener un valor de corrietne eficaz rms muy pequeño y sin embargo alcanzar un valor de pico muy grande.

c) Resonancia.

Un condensador en paralelo con una bobina forma un circuito resonante, capaza de amplificar las señales de una determinada frecuencia. Este circuito resonante puede amplificar ciertos armonicos, pudiendo hacer que los efectos de estos sean todavia mas perjudiciales, llegando a quemar las baterias de condensadores.

d) Vibraciones y Acoplamiento.

Las altas frecuencias de los armonicos y las subidas y bajadas rapidas de las señales distorsionadas provocan interferencias electromagneticas que pueden ser radiadas o conducidas.

e) Consecuencias de los armonicos en componentes conectados a las instalaciones.

e.1) Motores asincronos: La circulacion de corrientes armonicas por los devanados del motor provocan calentamientos en los mismos, lo que pone en peligro el aislamiento termico del arrollamiento. Tambien

puede producirse una pérdida de rendimiento y reducción de la vida del motor.

e.2) Cables: Los cables presentan una impedancia que depende de la frecuencia. A mayor frecuencia, mayor es la impedancia del cable, con lo que la calidad de la alimentación eléctrica se deteriora y se puede producir un excesivo calentamiento.

e.3) Transformadores.- Los armónicos producen varios efectos sobre los transformadores. Calienta el bobinado, aumenta la impedancia de fuente y produce pérdidas debidas a las corrientes de Foucault.

La aparición de corrientes y /o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros. (Horikoshi, 2009)

#### **1.2.4 PROBLEMAS PRODUCIDOS POR LOS ARMONICOS.**

Las corrientes armónicas ocasionan problemas tanto en el sistema de suministro de energía como dentro de la instalación. Los efectos y las soluciones a estos problemas son muy distintas en cada caso y se deben abordar por separado, es posible que las medidas adecuadas para controlar los efectos de los armónicos dentro de la instalación no reduzcan necesariamente la distorsión producida en el suministro.

- a) Problemas causados por corrientes armónicas.
- Sobrecarga de los conductores.
  - Sobrecalentamiento de los transformadores.

- Sobrecarga de los condensadores de corrección del factor de potencia, etc.
- b) Problemas causados por tensiones armónicas
  - Distorsión de la tensión.
  - Motores de inducción (aumento de las pérdidas por corrientes parasitas).
  - Ruido de paso por cero, etc. (Pellegrini, 2012)

### 1.3 ANTECEDENTES

Plantea un control efectivo y rápido que es necesario en los convertidores electrónicos de potencia. La transferencia de energía desde la fuente en estos es efectuada mediante un proceso controlado usando dispositivos de conmutación de semiconductores los cuales son encendidos y apagados en forma repetida. Los algoritmos los cuales generan las funciones de suicheo-técnicas de modulación de ancho de pulso son importantes. Hay un rango muy variado de esquemas que involucran estas técnicas. (Longatt, 2010)

En la mayoría de aplicaciones de los inversores electrónicos VSI actuales es necesario ajustar el valor de la tensión alterna (magnitud escalar), que se obtiene a la salida entre unos márgenes adecuados para la aplicación concentrada a la que se destine el inversor electrónico. La regulación de la tensión, que se obtiene a la salida del inversor, va a depender de la señal de referencia, que controla el funcionamiento del inversor y determina los pulsos de disparo de los interruptores controlados que los constituyen. La señal de referencia se determina a partir de los lazos de realimentación

disponibles en el sistema y serán los responsables de compensar las variaciones que se puedan producir en la carga, en la tensión de alimentación, temperatura de trabajo de los inversores electrónicos, etc. (Torres, 2010)

El control de los inversores consiste en modificar la tensión de salida de los mismos mediante la variación de ganancia, incorporando técnicas como el control por modulación por ancho de pulso PWM.

La Modulación por Ancho de Pulso PWM por sus siglas en inglés (Pulse-Width Modulation) es una técnica la cual modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea con el objetivo de transmitir información por un medio de comunicación o con el propósito de controlar la cantidad de energía que es inyectada hacia la carga. De esta manera los parámetros que se presentan en el PWM son: Periodo ( $T$ ) y el ciclo de trabajo ( $D$ ) en el cual indica el tiempo en que la señal se encuentra en estado alto respecto al tiempo total o periodo ( $T$ ). (Galarza, 2012)

El PWM utilizado para el control de los inversores, modifica algunas características de una señal denominada portadora con respecto a otra señal denominada moduladora o de referencia, donde las señales más comunes para su implementación son una señal senoidal de referencia con una señal triangular usada como portadora.

Los parámetros más importantes que relacionan las señales moduladora y portadora entre sí son la amplitud y la frecuencia. Teniendo de esta manera lo que es el índice de modulación en amplitud y el índice de modulación en frecuencia. (Galarza, 2012)



El sistema de condicionamiento y control energético está formado por un inversor que transforma la corriente continua en alterna y controla la calidad de la energía destinada a la red mediante un filtro L-C montado en el interior del propio inversor. La señal de potencia suministrada por un generador fotovoltaico iluminado es en tensión continua, que debe ser acondicionada para permitir el correcto acoplamiento a la red eléctrica. El equipo de acondicionamiento de potencia, denominado inversor DC/AC, realiza la conversión de continua en alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente, eficiencia y rendimiento, seguridad eléctrica, etc. El inversor generalmente funciona como fuente de corriente auto-conmutada y sincronizada con la red (Oscar, 2015)

Este equipo electrónico es el elemento central de un sistema fotovoltaico. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la de la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total. (MAMANI, 2017)

Los inversores son circuitos que transforman la corriente o tensión continua en alterna con magnitud y frecuencia variable. De esta manera se podrá tener a la salida una tensión que pueda ser fija o variable a una frecuencia fija o variable. (RASHID, 1993)

Para obtener una tensión alterna de salida variable se puede realizar controlando los parámetros de tensión de entrada continua DC y la ganancia del inversor la cual es la relación entre la tensión de salida AC y la tensión de entrada DC.

Por otro lado al no tener una tensión continua de entrada fija se puede variar la ganancia del inversor por medio del control por modulación por ancho de pulso PWM dentro del inversor. El control de los inversores según se realiza por medio de dispositivos de conmutación que usan una señal PWM controlando el encendido y apagado de los mismos. (LUQUE, 2017)

El control de los inversores consiste en modificar la tensión de salida de los mismos mediante la variación de ganancia, incorporando técnicas como el control por modulación por ancho de pulso PWM. (Ortiz Valencia & Ramos Paja, Noviembre 2015)

La modulación por Ancho de Pulso PWM por sus siglas en inglés (Pulse-Width Modulation) es una técnica la cual modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea con el objetivo de transmitir información por medio de comunicación o con el propósito de controlar la cantidad de energía que es inyectada hacia la carga.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La Eficiencia Energética (EE) debe considerarse en la matriz energética como la más importante del futuro. Ésta se puede definir como la optimización del uso de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible para las futuras generaciones de nuestro país. Cabe señalar y esclarecer el término Eficiencia Energética, por cuanto esta conducta responsable y próxima integración a la cultura para hacer negocios, podría determinar en gran medida la sobrevivencia de muchas empresas en el escenario nacional, al reducir costos y su huella de

carbono. Así también, es apropiado reconocer las oportunidades que ésta implica.

La Eficiencia Energética es un gran sistema que involucra a todas las áreas y perspectivas del negocio: cumplimiento de objetivos, empleados motivados y sustentabilidad.

Producto de un proyecto de EE ciertamente se genera ahorro de energías, pero también hace gente más responsable y comprometida; y un mayor orden de los procesos.

Entender esta forma de optimizar la energía ha resultado algo complejo. Por un lado descifrar el concepto eficiencia que no se digiere fácilmente; y en un segundo plano, porque se tiende a confundir con ahorro. Si bien todos los proyectos de Eficiencia Energética por defecto generan ahorro de combustible y/o electricidad, la idea es no dejar de usar estas energías convencionales, sino hacerlo de manera óptima, a su máximo rendimiento. Pero el concepto general de la Eficiencia Energética tiene mística.

## **1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.5.1 PROBLEMA GENERAL**

¿En qué medida el estudio y análisis de la técnica de modulación por anchura de pulsos aplicado al inversor fotovoltaico como solución al efecto de distorsión total armónica en la mejora de la eficiencia energética?.

### **1.5.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

a) ¿Es la técnica modulación por anchura de pulsos una técnica que nos permite obtener una señal sinusoidal pura?.

b) ¿Es posible aplicar la técnica de la modulación por anchura de pulsos al inversor fotovoltaico y solucionar el efecto de la distorsión total armónica en la mejora de la eficiencia energética?

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y aplicar la técnica de modulación por anchura de pulsos aplicado al inversor fotovoltaico como solución al efecto de distorsión total armónica en la mejora de la eficiencia energética..

### 1.6.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Análisis y estudio de la técnica de modulación por anchura de pulso.
- b) Aplicación de la técnica modulación por anchura de pulsos al inversor fotovoltaico y su mejora en la eficiencia energética.

## 1.7 HIPÓTESIS

### 1.7.1 HIPÓTESIS GENERAL

EL estudio y análisis de la técnica de modulación por anchura de pulsos aplicado al inversor fotovoltaico como solución al efecto de distorsión total armónica en la mejora de la eficiencia energética .

### 1.7.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) ¿Es la técnica modulación por anchura de pulsos una técnica que nos permite obtener una señal sinusoidal pura?.
- b) ¿Es posible aplicar la técnica de la modulación por anchura de pulsos al inversor fotovoltaico y solucionar el efecto de la distorsión total armónica en la mejora de la eficiencia energética?.

## CAPITULO II

### 2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

En el presente capítulo se desarrolla la revisión de literatura para dar a conocer los conceptos básicos de los inversores monofásicos tanto en media onda como en onda completa, así como la técnica de la modulación por anchura de pulso.

### 2.2 INVERSOR DE CORRIENTE DIRECT EN CORRIENTE ALTERNA (CD-AC)

El inversor es el elemento encargado de convertir la corriente continua extraída del generador fotovoltaico como fuente en corriente alterna para que sea consumida por las cargas.

El inversor, tiene como objetivo la transformación de manera eficiente de tensión continua (DC) a alterna (AC) con unas características determinadas, por ejemplo, una tensión eficaz de 220V y una frecuencia de 50Hz. (MARTIN DELGADO RAUL, 2012)

La tensión típica de almacenamiento de las baterías con tensiones típicas de 12V, 24V, 48V. Se obtiene tensiones de salida elevadas a la salida del inversor

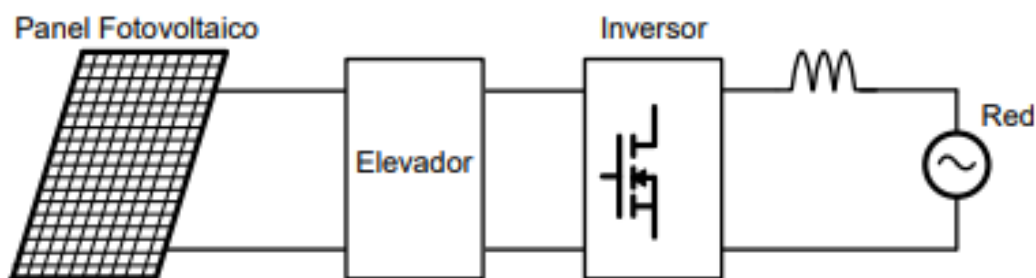
Aplicaciones típicas del inversor monofásico son la inyección de potencia a la red procedente de paneles fotovoltaicos como se muestra en la figura 1 o la alimentación de cargas con una tensión de salida controlada en la figura 2. (MARTIN DELGADO RAUL, 2012)

p.30

El mercado eléctrico Español en la actualidad permite la venta de energía a pequeños y grandes productores a partir de fuentes renovables..

Es por eso que el inversor monofásico tiene un gran nicho de aplicación en todo tipo de aplicaciones fotovoltaicas, no solo en inyección a red sino también en alimentación en modo isla, es decir, aislado de la red. (MARTIN DELGADO RAUL, 2012)

**Figura 2.2:** Inyección de Energía a la red procedente de paneles fotovoltaicos



Fuente: Martin delgado raul, I. b. (2012). diseño e implementación experimental de un inversor monofásico operando en modo isla.

### 2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL INVERSOR MONOFÁSICO DE MEDIO PUENTE.

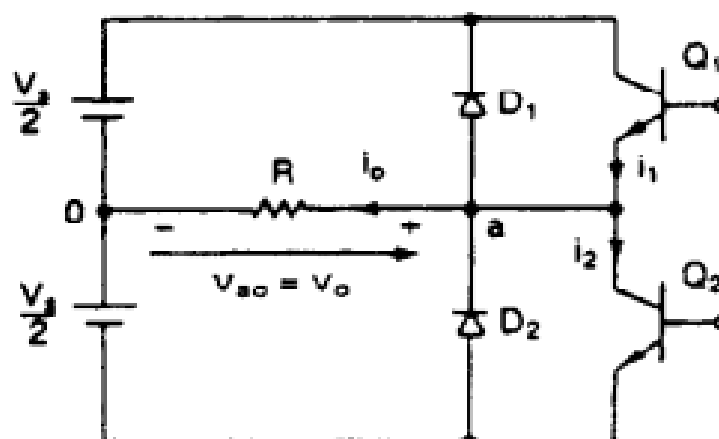
Mediante la figura 02 a continuación mostrada se puede explicar el principio de funcionamiento de los inversores monofásicos en referencia a los dispositivos de potencia y su operación en el circuito..

El circuito inversor está formado por dos pulsadores.

- El transistor  $Q_1$  está activo durante el tiempo  $T_0/2$  el voltaje instantáneo a través de la carga  $V_0$  es  $V_s/2$  en la carga.
- El transistor  $Q_2$  está activo durante el tiempo  $T_0/2$  aparece el voltaje  $-V_s/2$  en la carga.

- El circuito deberá ser diseñado de tal forma que  $Q_1$  y  $Q_2$  no estén activos simultáneamente. (RASHID, 1993)

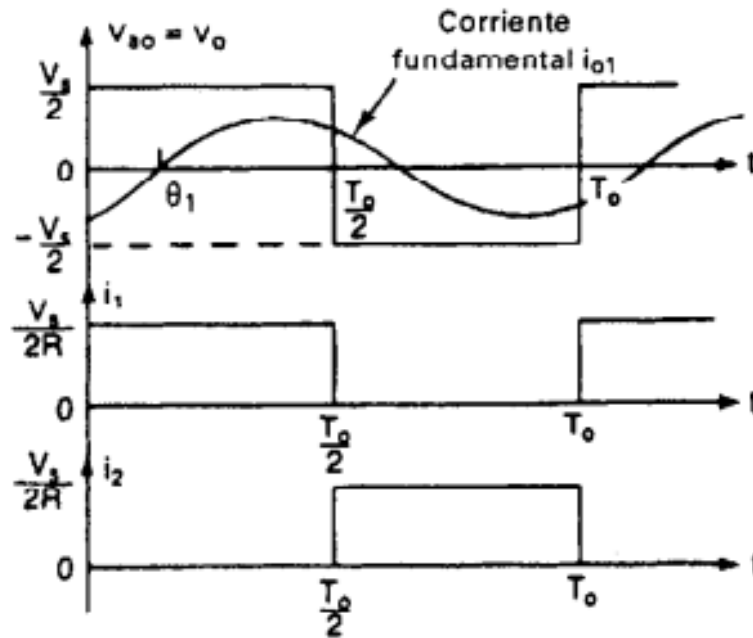
**Figura 2.3:** Circuito Inversor de Medio Punte



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

La figura 03 muestra las formas de onda para los voltajes de salida y las corrientes de los transistores en conmutación y como estos realizan la operación de conmutación para el caso de una carga resistiva

Figura 2.4: Formas de onda para carga resistiva



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

Este inversor requiere de una fuente de CD, cuando un transistor está inactivo, su voltaje inverso es  $V_1$  en vez de  $V_t = -V_s/2$ .

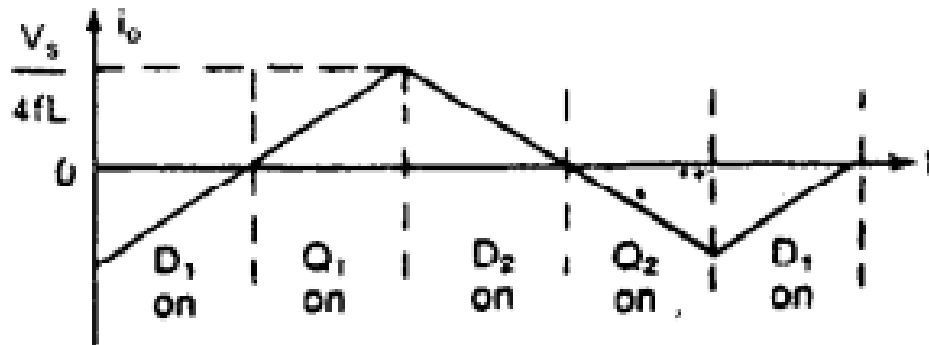
Este inversor se conoce como inversor de medio puente.

El voltaje eficaz (rms) de salida se puede encontrar a partir de.

$$V_0 = \left( \frac{2}{T} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \dots \dots \dots (2.1)$$



Figura 2.5: Formas de Onda para carga Inductiva



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

El voltaje instantáneo de salida se puede expresar en una serie de Fourier como:

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \text{sen}n\omega t = 0 \quad \text{PARA } n = 2,4, \dots \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

Donde:

$$\omega = 2\pi f_o: \text{ Es la frecuencia del voltaje de salida : } \left[ \frac{\text{radianes}}{\text{seg}} \right]$$

Para n=1

La ecuacion (1) proporciona el valor eficaz (rms) de la componente fundamental como:

$$V_1 = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.45V_s \dots \dots \dots (2.3)$$

Los transistores pueden substituirse por dispositivos de potencia como son GTO o por transistores de conmutación forzada. Si tq es el tiempo de desactivación de un tiristor, debe existir un tiempo mínimo de retraso tq que entre el tiristor que se desactiva y el disparo del siguiente tiristor. (RASHID, 1993).

Si estuvieran activos al mismo tiempo estos tiristores tendrían lugar a una condición de corto circuito causando la destrucción del dispositivo

.Siendo el tiempo máximo de conducción de un tiristor  $t = \frac{T_0}{2} - t_q$

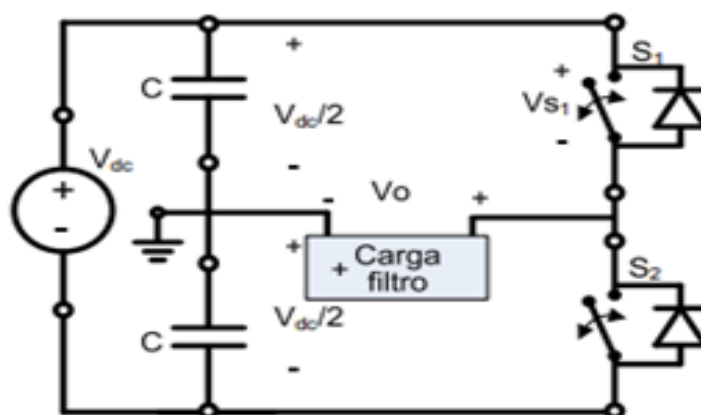
Considerando que en la práctica los transistores requieren de un cierto tiempo de activación y desactivación.

Si se quiere que un inversor logre el objetivo propuesto deberá tener en cuenta estas consideraciones.

La topología de Medio Puento o Half Bridge se basan en generar una tensión intermedia a través de un par de condensadores como se muestra en los circuitos a) y b) mostrados a continuación

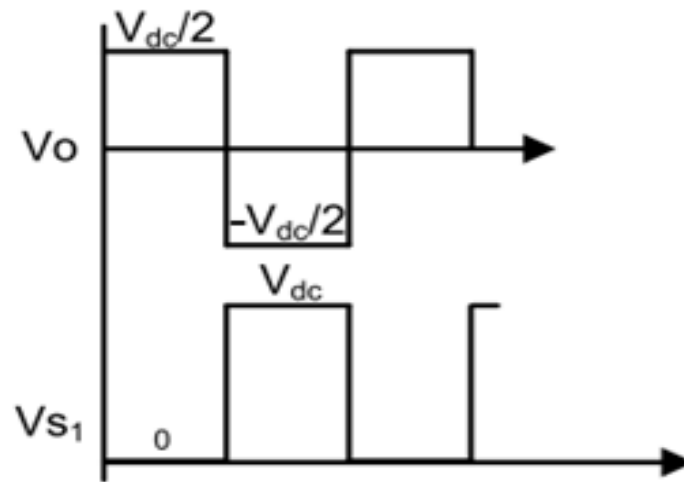
Esta topología aplicará a la carga una tensión máxima de la mitad del valor de tensión de corriente direct (DC). Los interruptores deben tener la capacidad de soportar la tensión total, es decir, la suma de ambas fuentes.

**Figura 2.6:** a) Circuito de Medio Puento



Fuente: Martín delgado raul, I. b. (2012). diseño e implementación experimental de un inversor monofásico operando en modo isla.

**Figura 2.6:** b) Topología Medio Puento, Tension en la carga y el interruptor.



Fuente: Martín delgado raul, I. b. (2012). diseño e implementación experimental de un inversor monofásico operando en modo isla.

Ventajas:

- Solo se emplean dos interruptores de potencia.
- Elementos de conmutación referidos a masa, por lo que su disparo resulta sencillo.

Inconvenientes:

- Los interruptores deben soportar el doble de la tensión aplicada a la carga.
- El interruptor S1 no se está referido a masa por lo que es necesario emplear algún tipo de circuito de disparo que permita aplicar una tensión.
- La tensión de salida máxima es la mitad de la tensión de la fuente DC.

### 2.2.2. INVERSOR MONOFÁSICO EN PUENTE.

Un inversor monofásico en puente aparece en la figura.

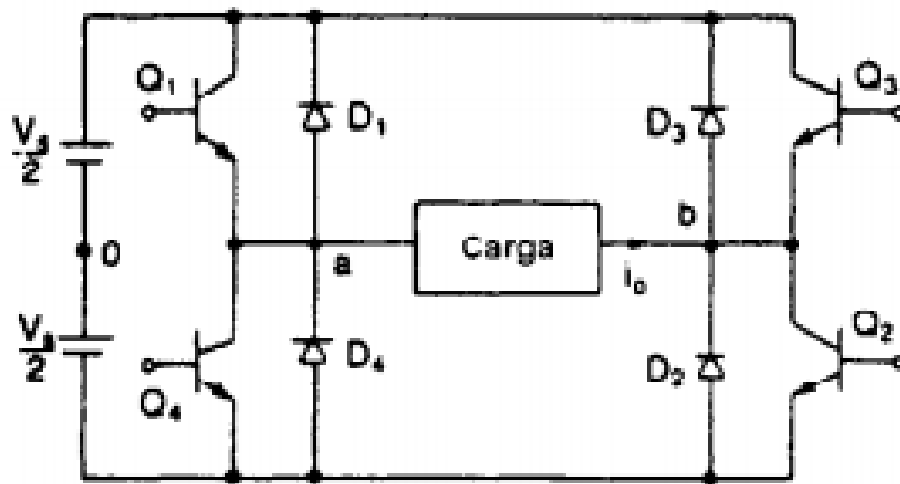
Está formado por cuatro pulsadores.

Cuando los elementos de conmutación que son los transistores  $Q_1$  y  $Q_2$  se activan simultáneamente, el voltaje de entrada  $V_s$  aparece a través de la carga.

Si los elementos de conmutación que son los transistores  $Q_3$  y  $Q_4$  se activan al mismo tiempo el voltaje a través de la carga se invierte y adquiere el valor de  $-V_s$ .

Como se indica en el circuito mostrado a continuación.

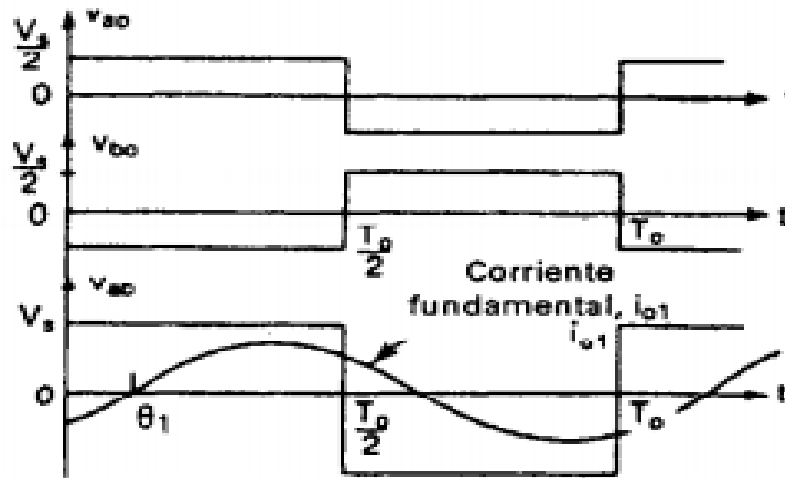
Figura 2.7: Circuito Inversor de Puente Completo



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

Siendo la forma de onda la que se muestra a continuacion:

**Figura 2.8:** Formas de Onda de una carga resistiva



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); “Electrónica de Potencia”

El voltaje eficaz (rms) de salida se puede determinar a partir de:

$$v_i = \left( \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \dots \dots \dots (2.4)$$

La ecuacion (3) se puede extender para que se exprese el voltaje instantáneo de salida en una serie de Fourier como:

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^x \frac{4V_s}{n\pi} \text{sen}n\omega t = 0 \dots \dots \dots (2.5)$$

Para n=1 en la ecuacion (4) proporciona el valor eficaz (rms) de la componente fundamental como:

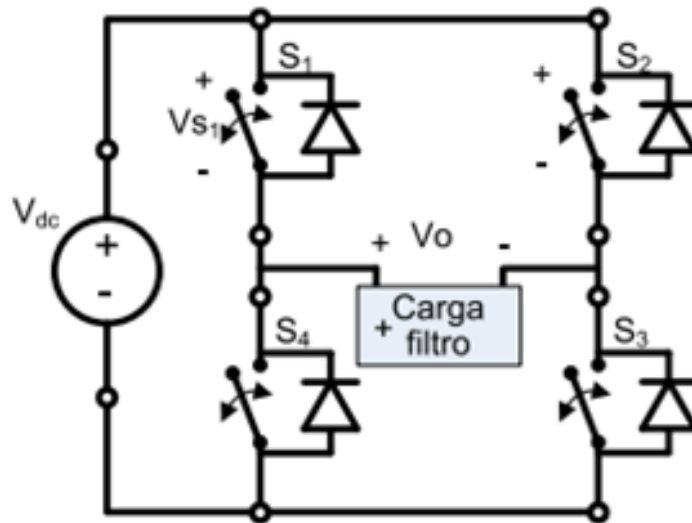
$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.90V_s \dots \dots \dots (2.6)$$

De esta forma, con una sola fuente de continua, se pueden aplicar a la carga tanto tensiones positivas como negativas o cero con un simple cambio de los interruptores que conducen en cada momento.

La arquitectura del circuito incorpora ventajas e inconvenientes de los dos anteriores.

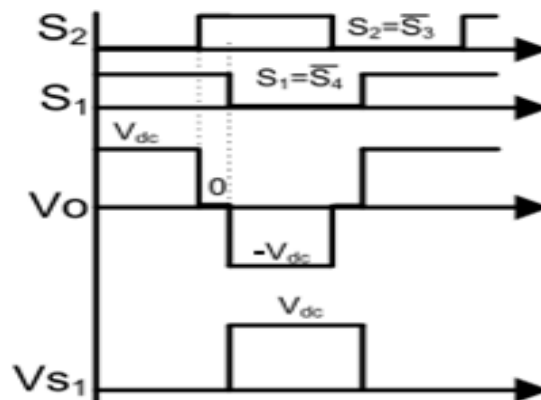
Se tienen algunos inconvenientes, No cabe duda que el principal inconveniente es la complejidad, pero al trabajar con altas potencias, las ventajas cobran mayor importancia que los inconvenientes. Por tanto esta es el tipo de circuito empleado para altas potencias.

**Figura 2.9:** Circuito en Puente Completo



Fuente: Martin delgado raul, I. b. (2012). diseño e implementación experimental de un inversor monofasico operando en modo isla.

**Figura 2.10:** Tension en la carga y en el interruptor para una modulación con desplazamiento de fase.



Fuente: Martin delgado raul, I. b. (2012). diseño e implementación experimental de un inversor monofasico operando en modo isla.

## 2.3 CONTROL DE VOLTAJE DE LOS INVERSORES MONOFASICOS

Las técnicas comúnmente utilizadas son:

1. Modulación de un solo ancho de pulso.- Para realizar variaciones de entrada de cd.
2. Modulación de varios anchos de pulso.- Para la regulación del voltaje de los inversores.
3. Modulación senoidal del ancho de pulso.- Para los requisitos de control constante del voltaje y la frecuencia.
4. Modulación senoidal modificada de ancho de pulso.-Modulación en el que se indica que los ancho de los pulsos más cercanos al pico de la onda senoidal no cambian en forma significativa con la variación del índice de modulación.

Se cuenta con varias técnicas para modificar la ganancia del inversor.

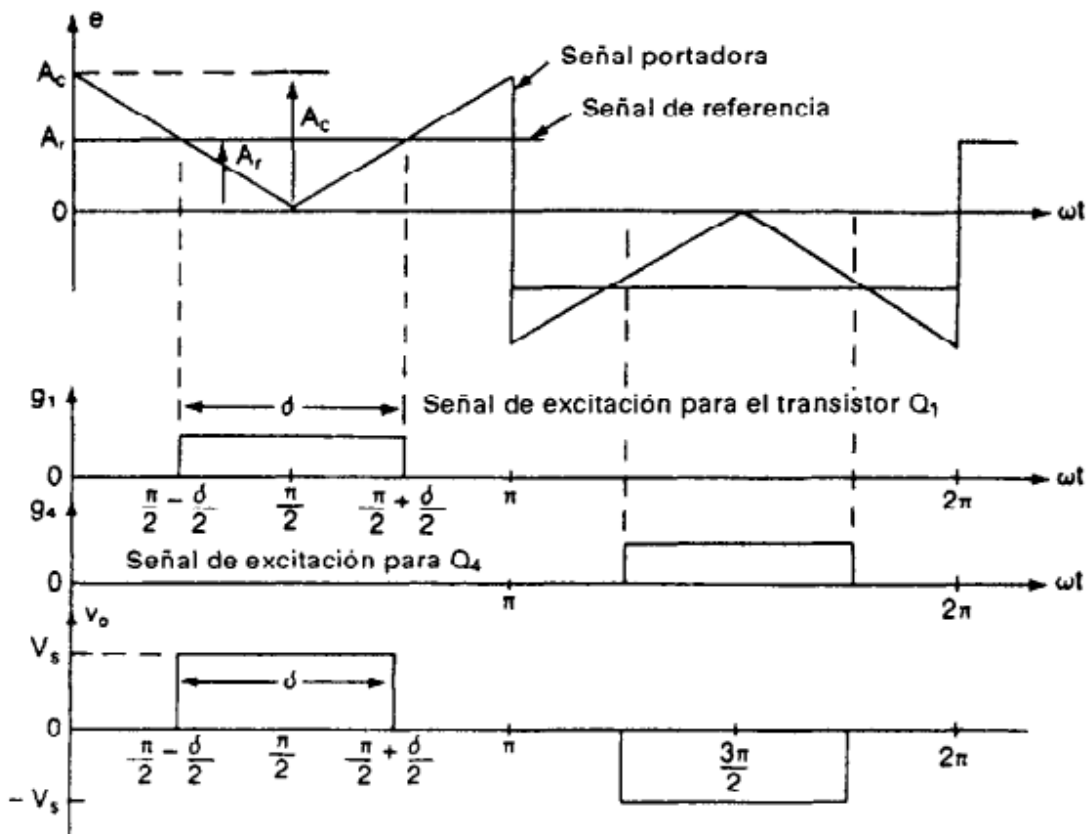
El método más eficiente de controlar la ganancia (y el voltaje de salida) es incorporar en los inversores el control de modulación del ancho de pulso (PWM). (RASHID, 1993)

### 2.3.1.MODULACION DE UN SOLO ANCHO DE PULSO

En el circuito de control por modulación de un solo ancho de pulso, existe un solo pulso por cada medio ciclo, el ancho se hace variar, a fin de controlar el voltaje de salida del inversor.

Se muestra a continuación la forma de onda de la generación de las señales de excitación y el voltaje de salida para los inversores monofásicos en puente completo.

Figura 2.11: Modulación por ancho de pulso



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

Las señales de excitación se generan comparando una señal rectangular de referencia de amplitud,  $A_r$  con una onda portadora triangular de amplitud,  $A_c$ . La frecuencia de la señal de referencia determina la frecuencia fundamental del voltaje de salida.

Si se varía  $A_r$  desde 0 hasta  $A_c$ , el ancho de pulso  $\delta$ , puede modificarse desde 0 hasta 180°.

La relación de  $A_r$  con  $A_c$  es la variable de control y se define como el índice de modulación de la amplitud, o simplemente índice de modulación, el mismo que se obtiene aplicando la siguiente relación

:



$$M = \frac{A_r}{A_c}$$

El voltaje eficaz (rms) de salida se puede determinar a partir de:

$$V_0 = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{(\pi-\delta)/2}^{(\pi+\delta)/2} V_s^2 d(wt) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Aplicando la serie de Fourier al voltaje de salida nos da:

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^x \frac{4V_s}{n\pi} \text{sen}\left(\frac{n\delta}{2}\right) \text{sen}(nwt) \dots \dots \dots (2.8)$$

**2.3.2.MODULACION DE VARIOS ANCHOS DE PULSO**

Utilizando pulsos en cada medio ciclo de voltaje de salida puede reducirse el contenido armónico. La generacion de señales de excitación para activar y desactivar los transistores que se muestran en la figura.11 a continuacion.

Mediante la comparación de una señal de referencia con una onda portadora triangular.

La frecuencia de señal de referencia establece la frecuencia de salida  $f_0$  y la frecuencia de la portadora  $f_c$  determina el número de pulso por cada ciclo  $p$ .

El indice de modulación controla el voltaje de salida, este tipo de modulación tambien se conoce como modulación uniforme de ancho de pulso (UPWM). El número de pulsos por medio de ciclo se determina a partir de:

$$p = \frac{f_c}{2f_0} = \frac{m_f}{2} \dots \dots \dots (2.9)$$

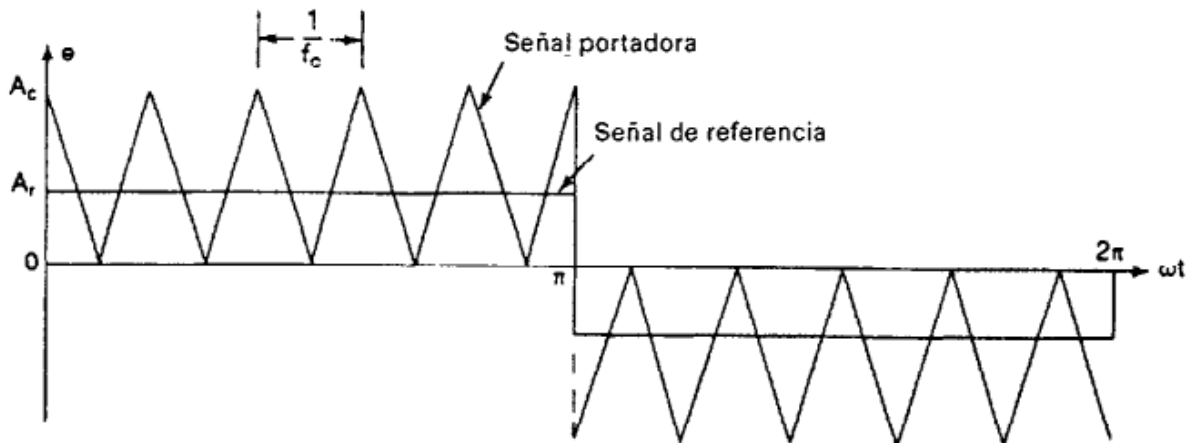
Donde:

$m_f = \frac{f_c}{f_0}$ : Relación de modulación de frecuencia.

La variación del índice de modulación M desde 0 hasta 1 varía el ancho de pulso desde 0 hasta  $\frac{\pi}{p}$  y el ancho del voltaje de salida desde 0 hasta  $v_s$

Se muestra el voltaje de salida para los inversores monofásicos en puente en la siguiente figura 12.

**Figura 2.12:** Generación de Señales de Excitación



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

Si  $\delta$  es el ancho de cada pulso, el voltaje rms de salida se puede determinar a partir de:

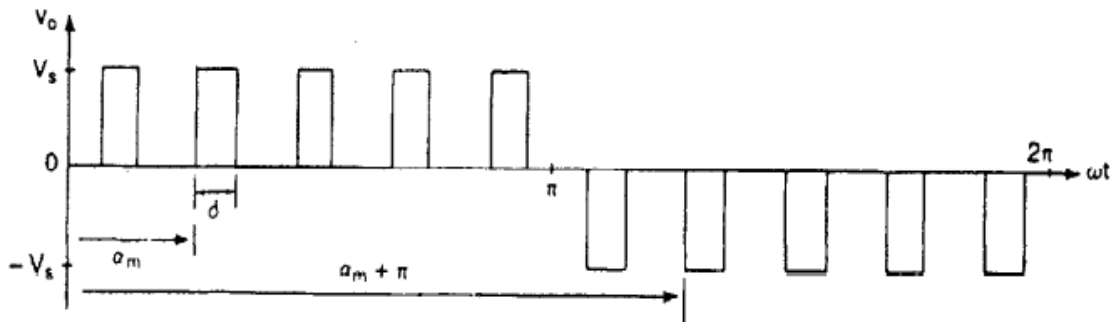
$$V_0 = \left[ \frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 d(wt) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \dots \dots \dots (2.10)$$

La forma general de una serie de Fourier para el voltaje instantáneo de salida es:

$$v_0(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^x B_n \text{sen}(nwt) \dots \dots \dots (2.11)$$

Se muestra a continuación el voltaje de salida

**Figura 2.13:** Voltaje de salida del inversor monofásico



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); “Electrónica de Potencia”

El coeficiente  $B_n$  de la ecuacion (8) se puede determinar considerando un par de pulsos, de tal forma que el pulso positivo de duración  $\delta$  se inicie en  $\omega t = a$  y el negativo del mismo ancho se inicie en  $\omega t = \pi + a$ .

Esto se muestra en la figura de voltaje de salida.

Se puede combinar los efectos de todos los pulsos para obtener el voltaje efectivo de salida.

Si el pulso positivo del par de orden  $m$  se inicia en

$$\omega t = \alpha_m \dots \dots \dots (2.12)$$

y si termina en

$$\omega t = \alpha_m + \pi \dots \dots \dots (2.13)$$

El coeficiente de Fourier para un par de pulsos es:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{\alpha_m}^{\alpha_m + \delta} \cos n\omega t d(\omega t) - \int_{\pi + \alpha_m}^{\pi + \alpha_m + \delta} \cos n\omega t d(\omega t) \right] \dots \dots \dots (2.14)$$

$$b_n = \frac{2V_s}{n\pi} \text{sen} \frac{n\delta}{2} \left[ \text{sen} n \left( \alpha_m + \frac{\delta}{2} \right) - \text{sen} n \left( \pi + \alpha_m + \frac{\delta}{2} \right) \right] \dots \dots \dots (2.15)$$

El coeficiente  $B_n$  se puede encontrar a partir de la ecuación (9) añadiendo los efectos de todos los pulsos.

$$B_n = \sum_{m=1}^p \frac{2V_S}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\delta}{2} \left[ \operatorname{sen} n \left( \alpha_m + \frac{\delta}{2} \right) - \operatorname{sen} n \left( \pi + \alpha_m + \frac{\delta}{2} \right) \right] \dots \dots \dots (2.16)$$

### 2.3.3. MODULACION SENOIDAL DEL ANCHO DE PULSO

El ancho de pulso varía en proporción con la amplitud de una onda senoidal del mismo pulso.

El factor de distorsión y las armónicas que se presentan de menor orden se reducen en forma significativa.

En la siguiente figura se muestra las señales de compuerta, las mismas que se generan al comparar una señal senoidal de referencia con una onda portadora triangular de frecuencia  $f_c$

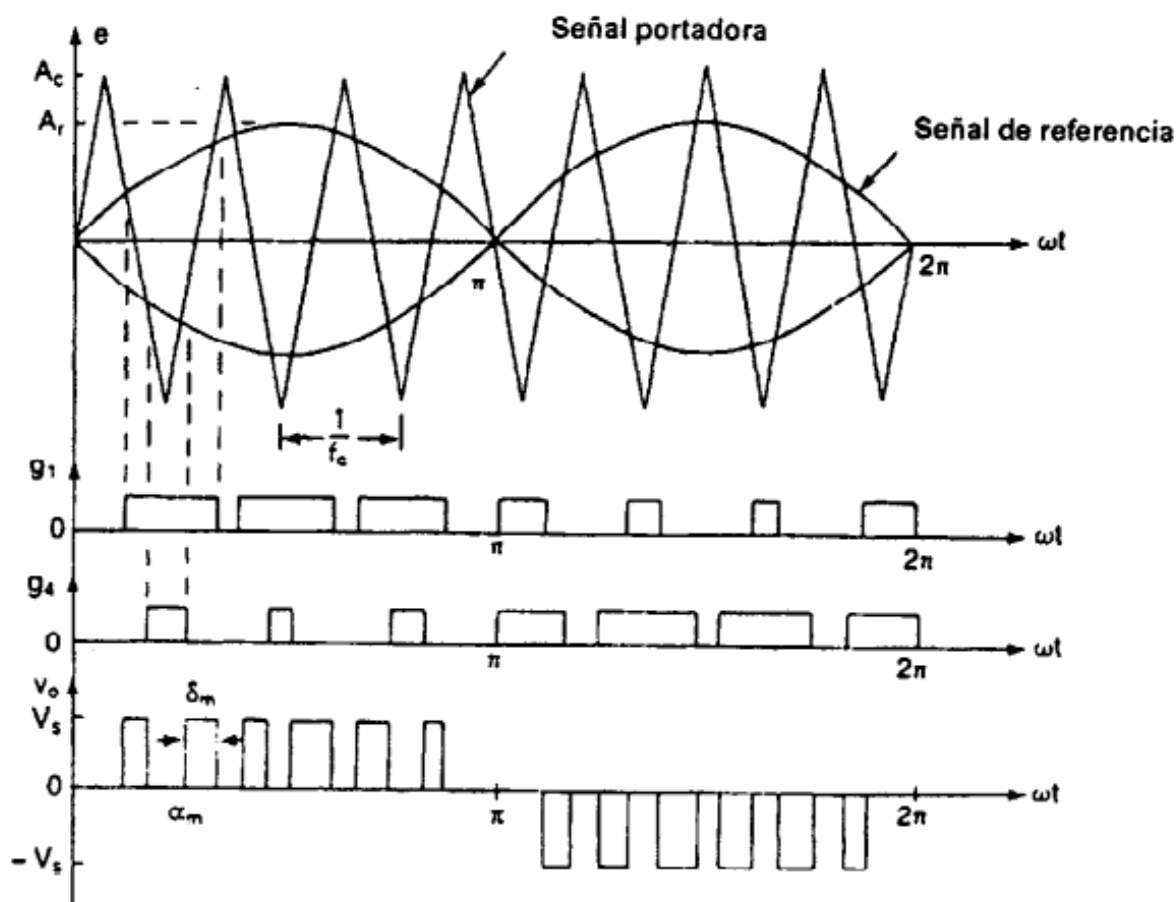
Esta técnica de modulación es muy aplicada en la Industria.

La frecuencia de la señal de referencia  $f_r$  determina la frecuencia de salida del inversor  $f_0$  y su amplitud pico  $A_r$  controla el índice de modulación  $M$  y el voltaje de salida  $V_0$ .

El número de pulsos por medio ciclo depende de la frecuencia portadora.

Se debe evitar que dos transistores en el mismo ramal no pueden conducir simultáneamente, el voltaje instantáneo de salida se muestra en la figura 13.

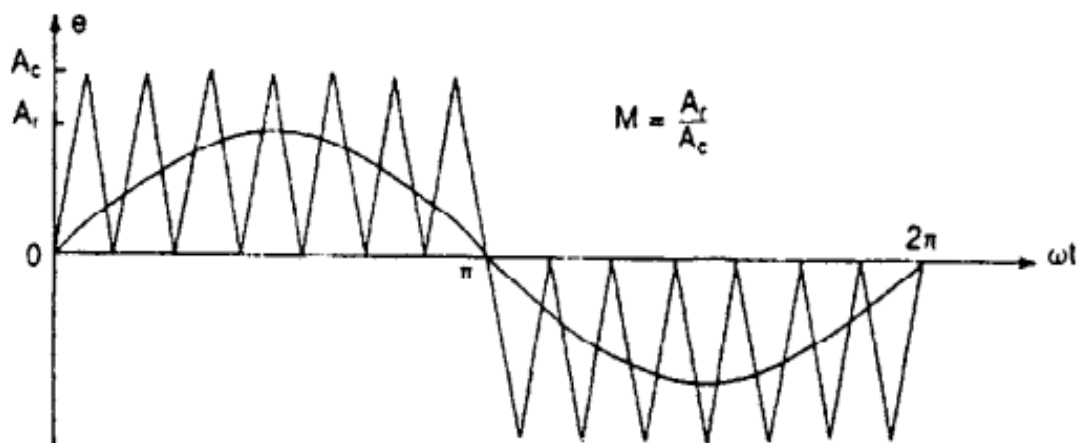
Figura 2.14: Modulación de ancho de pulso señal de salida



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

Obteniendo las mismas señales de salida se pueden generar con una portadora triangular unidireccional como se muestra en la siguiente figura 14.

**Figura 2.15:** Modulación de ancho de pulso señal de salida con portadora triangular



Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

#### 2.3.4. MODULACION SENOIDAL MODIFICADA DE ANCHO DE PULSO

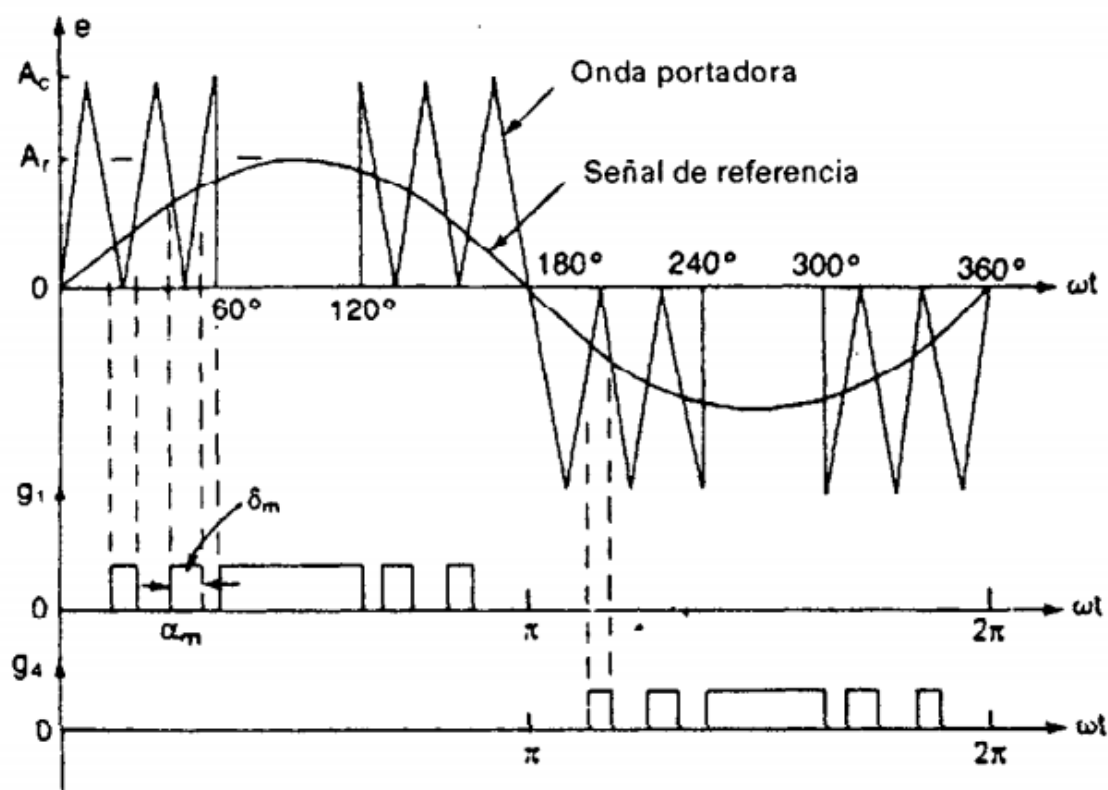
Modulación en el que se indica que los anchos de los pulsos más cercanos al pico de la onda senoidal no cambian en forma significativa con la variación del índice de modulación.

La técnica de modulación senoidal modificada de ancho de pulso se puede modificar de tal manera que la onda portadora se aplique durante el primero y el último intervalo de  $60^\circ$  de cada medio ciclo (de cero a  $60^\circ$  y de  $120^\circ$  a  $180^\circ$ ).

Se observa a continuación la componente fundamental y las componentes armónicas mejoran.

Reduciendo el número de conmutaciones de los dispositivos electrónicos de potencia y las pérdidas por conmutación.

**Figura 2.16:** Modulación senoidal modificada del ancho de pulso

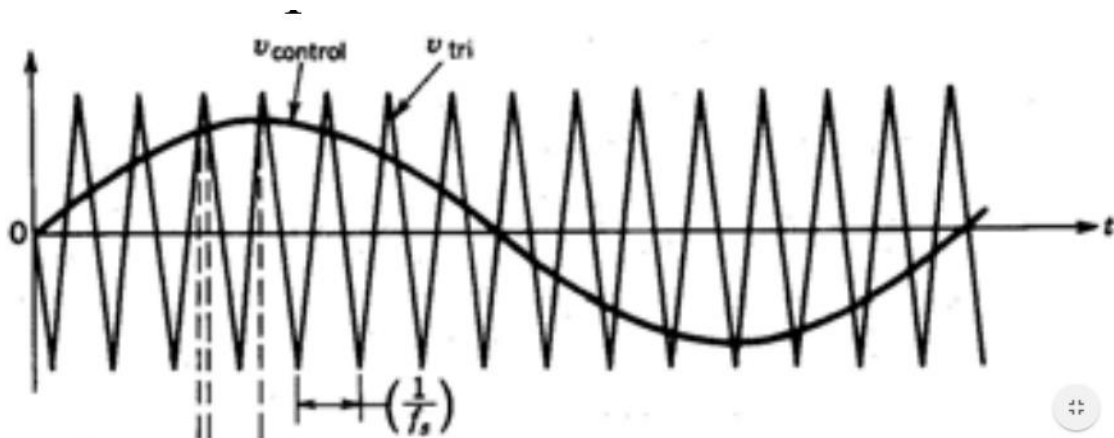


Fuente: Muhammad H, Rashid.(1993); "Electrónica de Potencia"

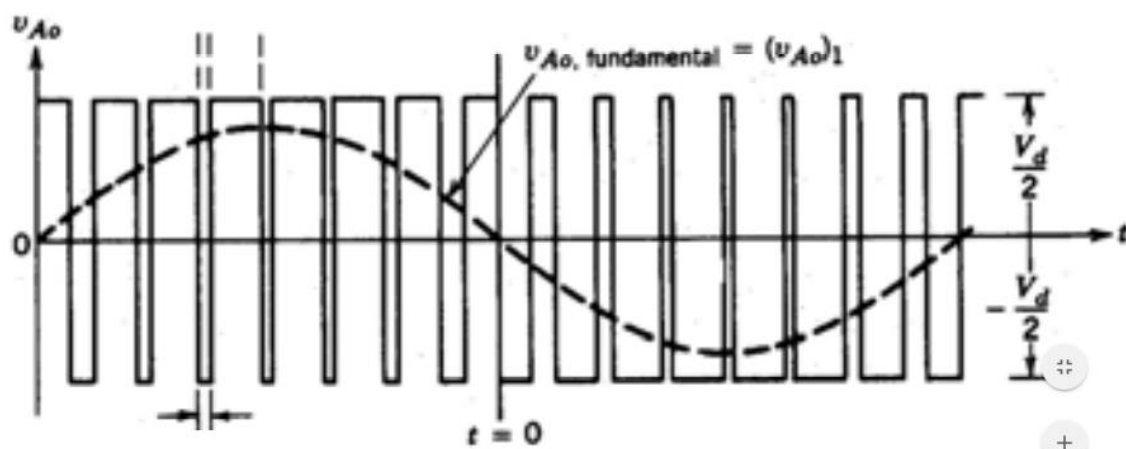
### 2.3.5. MODULACION SENOIDAL DEL ANCHO DE PULSO (SPWM)

La tecnología por Modulación Senoidal de Ancho de Pulso, se basa en emplear una modulación múltiple.

Esta técnica de control se basa en emplear una modulación múltiple (varios pulsos de disparo en cada medio ciclo de voltaje de salida), el ancho de cada pulso varía en proporción con la amplitud de una onda senoidal evaluada en el centro del mismo pulso.

**Figura 2.17:** Esquema de Modulación Por ancho de pulso

Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso.  
universidad central de venezuela.

**Figura 2.18:** Esquema de Modulación por ancho de pulso

Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso.  
universidad central de venezuela.

La modulación se logra empleando una señal de control senoidal  $v_{control}$  a la frecuencia de salida deseada  $f_1$ , que es comparada con una onda portadora triangular para generar las señales de disparo. La



frecuencia de la forma de onda triangular establece la frecuencia de suicheo del inversor  $f_s$ , y esta se mantiene constante. La relación de modulación de amplitud es:

$$m_a = \frac{V_{control}}{V_{TRI}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Donde:

$V_{CONTROL}$ : Es la amplitud pico de la señal de control.

$V_{CONTROL}$ : Es el pico de la onda portadora triangular.

La relación de modulación de frecuencia es:  $m_f = \frac{f_s}{f_1}$

En el caso de un puente completo de dos ramas, se cumple:

$$V_{CONTROL} > V_{TRIP}$$

$T_{A+}$  Y  $T_{B-}$  se mantienen operando.

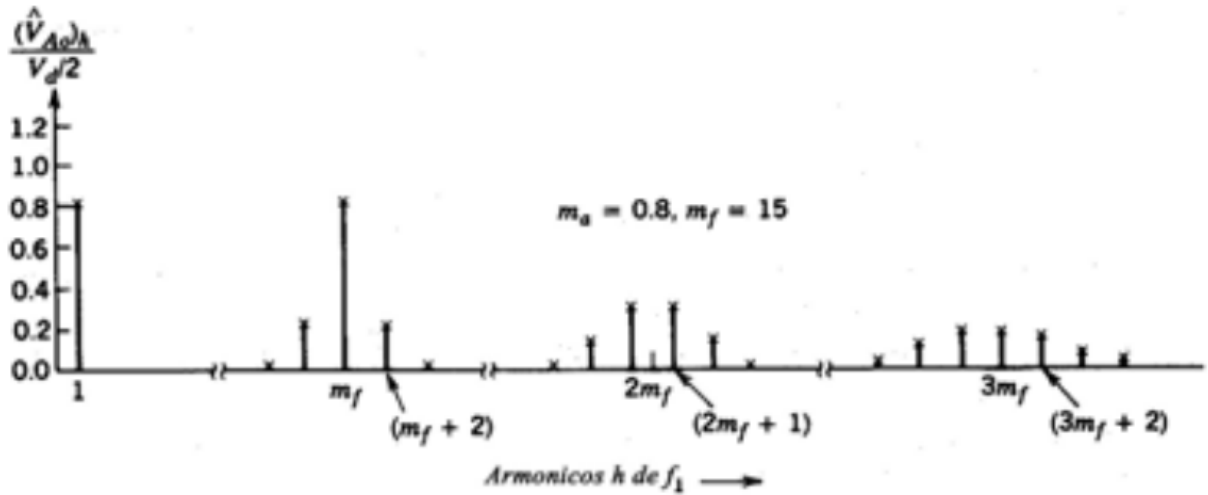
$$V_o = V_d \text{ Cuando } V_{control} < V_{trip}$$

$T_{A-}$  Y  $T_{B+}$  se mantienen operando.

$$V_o = -V_d . \text{ El voltaje de salida fluctúa entre } V_d \text{ y } -V_d$$

El voltaje de salida del inversor contiene armónicas, cuyo espectro armónico se muestra en la figura 18 siguiente.

**Figura 2.19:** Contenido de Armonicas del Esquema PWM



Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso. universidad central de venezuela.

Para relación de modulación amplitud menor a uno ( $m_a < 1$ ) se opera en el rango lineal del inversor, y el voltaje pico de la componente de frecuencia fundamental de voltaje de salida preserva una relación lineal entre el índice de modulación de amplitud y el  $V_d$ .

$$V_{01} = m_a V_d \dots \dots \dots (2.18)$$

El PWM empuja las armónicas en la onda de voltaje de salida al rango de las altas frecuencias, alrededor de la frecuencia de suicheo  $f_s$  sus múltiplos como  $mf$ ,  $2mf$ ,  $3mf$  y más.  $mf$

Debe ser un número entero impar tal que la forma de onda de voltaje de salida solo contenga armónicas impares. Es más fácil eliminar filtrando las armónicas de alta frecuencia. De ahí, que es deseable usar una frecuencia de suicheo lo más alta posible, pero esto tiene las desventaja que las pérdidas de conmutación aumentan proporcionalmente. La línea que delimita entre grande y bajos valores de  $mf$ .

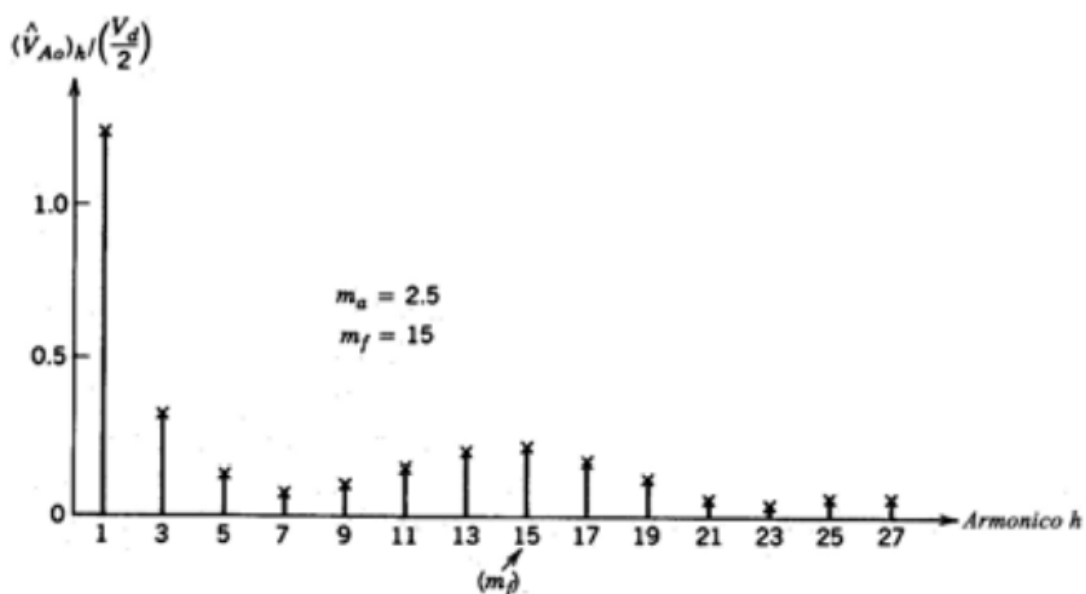
Para pequeños valores del índice de modulación de frecuencia  $m_f < 21$ , la forma de onda de la señal triangular y la señal de control deben ser sincronizadas. Esto es llamado PWM sincronizado, donde  $m_f$  no es un entero, subarmónicas de la frecuencia fundamental son producidas lo cual no es deseable. Cuando  $m_f$  se hace grande, los sub-armónicos debido al PWM asincrónico son pequeños. De ahí que a grandes valores de  $m_f$ , PWM asincrónico es empleado.

Para SPWM,  $m_a < 1$ , la amplitud del voltaje fundamental varia linealmente con  $m_a$ .

Pero en contraposición la magnitud de la componente de frecuencia fundamental es menor.

Cuando  $m_a$ , es incrementado mas allá de 1, la amplitud tambien se incrementa los cual resulta en una sobre modulación. La forma de onda de la salida contiene muchas más armónicas en el lado de la banda comparado con el rango lineal.

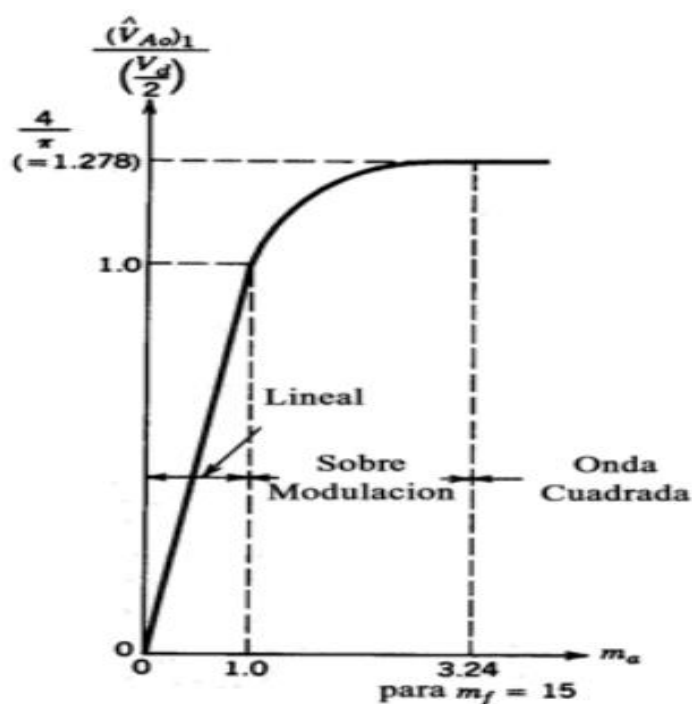
**Figura 2.20:** Contenido de Armónicas del Esquema PWM



Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso.  
universidad central de venezuela.

La amplitud normalizada del pico de la componente de frecuencia fundamental  $(V_{Ao})_1/V_d$  como una función de la relación del índice de modulación de amplitud es mostrado en la siguiente figura 20.

Figura 2.21: Zonas de Operación del PWM

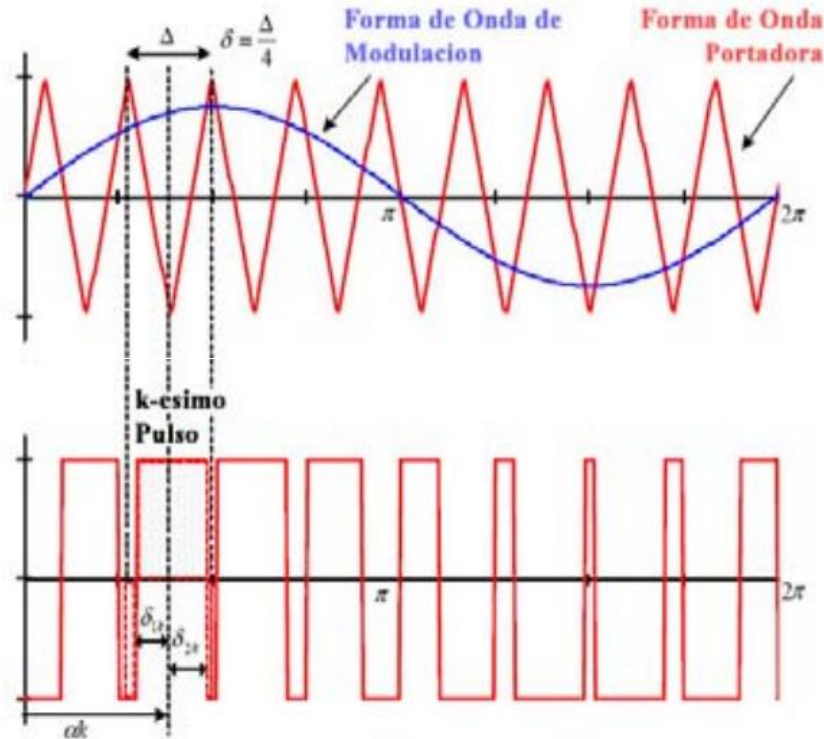


Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso. universidad central de venezuela.

### 2.3.6.RELACION DEL ANCHO DE PULSO

Para el caso del suicheo bipolar el inversor SPWM, se establecen las siguientes relaciones, sobre el k – esimo pulso.

**Figura 2. 22:** Relaciones para el esquema PWM, bipolar, asimétrico



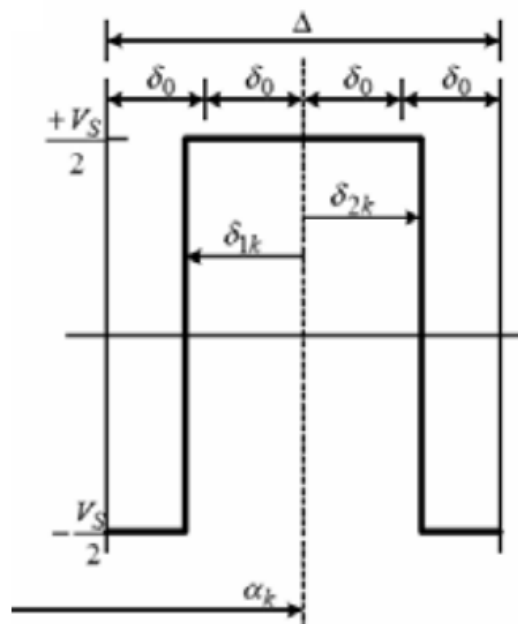
Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso.  
universidad central de venezuela.

Las características del  $k$  – esimo pulso puede ser agrupada en función del ancho del pulso en la siguiente figura.

Como se vio en el capítulo anterior, el inversor multinivel en cascada permite reducir la magnitud de las tensiones armónicas presentes en la tensión alterna generada y posee menores pérdidas de energía por conmutación que los inversores modulados por ancho de pulso. Además, este inversor, permite evitar el uso de transformadores para elevar la tensión y se adecua al uso de energías renovables al utilizar fuentes de tensión de corriente continua de diferente referencia. (FERNANDEZ, 2006).

El inversor diseñado deberá ser capaz de entregar una potencia máxima de 5 KW y una tensión de 220 VRMS de bajo contenido armónico dentro de las tolerancias establecidas por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Peruana. Se ha considerado una potencia máxima de 5 KW para una pequeña comunidad conformada por diez hogares, con un consumo de 500 W por casa. (FERNANDEZ, 2006)

**Figura 2.23:** Ángulos para el K-esimo pulso.



Fuente: Generalidades de la modulación de ancho de pulso. universidad central de venezuela.

## CAPITULO III

### 3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada en la presente investigación se ha enfocado en el cumplimiento de los objetivos como parte principal en el proceso de investigación científica, con la finalidad de que nos permita predecir, explicar y describir los fenómenos y adquirir, en tal sentido la metodología. La presente investigación es de tipo descriptiva, pues busca desarrollar una imagen o una representación exacta (descripción) del fenómeno estudiado a partir de sus características. Esto se refiere a la etapa preparatoria del trabajo científico que permita ordenar el resultado de las observaciones en referencia a sus características, factores, y otras variables de fenómenos y hechos.

El nivel de investigación es del tipo analítica, porque consiste en establecer la comparación de variables entre grupos de estudios y de control. Se refiere a la proposición de hipótesis que el investigador trata de probar o validar.

Así como también porque se fundamenta en base a las teorías y formulaciones estudiadas y establecidas anteriormente por otros investigadores, implica la síntesis posterior de lo analizado, ya que se trata de entender las situaciones en términos de sus componentes debido a que pretende descubrir los elementos que conforman la totalidad de las partes.

### 3.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- a) **Método.-** El método de investigación en cada objetivo es del tipo descriptivo. La toma de datos es del tipo Correlacional propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la Investigación.

En ese sentido el presente proyecto, es una investigación de campo de tipo descriptiva, por ser flexible permite sujetarse a esquemas de razonamiento lógico, es decir permite hacer análisis sistemático del problema, con el propósito de describir, explicar sus causas y efectos, entender su naturaleza y factores constituyentes o predecir su ocurrencia. Los datos de interés son recogidos en forma directa por el propio investigador.

La investigación descriptiva es aquella que se orientan a recolectar informaciones relacionadas con el estado real de las personas, objetos, situaciones o fenómenos, tal cual como se presentaron en su momento de recolección. (Chavez, 2004).

La investigación objeto de estudio se clasificó como descriptiva, debido a que buscó especificar propiedades, características y rangos importantes del fenómeno analizado, en este caso, de la variable estudiada. (Sampieri, 1991)

### **3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACION**

El presente proyecto de investigación titulado “Análisis y Aplicación de la Técnica de modulación por anchura de pulsos aplicado al inversor fotovoltaico como solución al efecto de distorsión total armónica en la mejora de la eficiencia energética” elaborado por el tesista Bach. Carlos Alberto Ccama Polanco.

Se aplica la modulación por anchura de pulsos en el inversor fotovoltaico en las instalaciones del laboratorio de la UNA PUNO.



**Ubicación UNA - PUNO**

Distrito	: Puno
Provincia	: Puno
Región	: Puno
Ubigeo	: 210503
Latitud	: 16° 3' 22.9" S (-
Sur	16.05634803000)
Longitud	: 69° 25' 47.9" W (-
Oeste	69.42997626000)
Altitud	: 3822 msnm
Hoso	: UTC-5
horario	

**3.4 TIPOLOGÍA Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

- a) **Tipo.-** El nivel de investigación es del tipo analítica, porque consiste en establecer la comparación de variables entre grupos de estudios y de control. Se refiere a la proposición de hipótesis que el investigador trata de probar o validar.
- b) **Nivel.-** De nivel descriptivo, en virtud a que la investigación descriptiva ofrece la posibilidad de predicción y requiere considerable conocimiento del área que se investiga.

### **3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de datos esta dada en funcion a un estudio bibliográfico odetenido en documentación teórica y conceptual referente al tema del análisis de las técnicas de modulación aplicados a los inversores en los sistemas fotovoltaicos.

#### **3.5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL PRIMER OBJETIVO:**

Se efectuó una recopilación de los principales estudios realizados relacionados con las técnicas de modulación aplicados a los inversores fotovoltaicos.

#### **3.5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SEGUNDO OBJETIVO:**

Se efectuó una recopilación de los principales estudios realizados relacionados con la distorsion armonica y sus efectos..

### **3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS.**

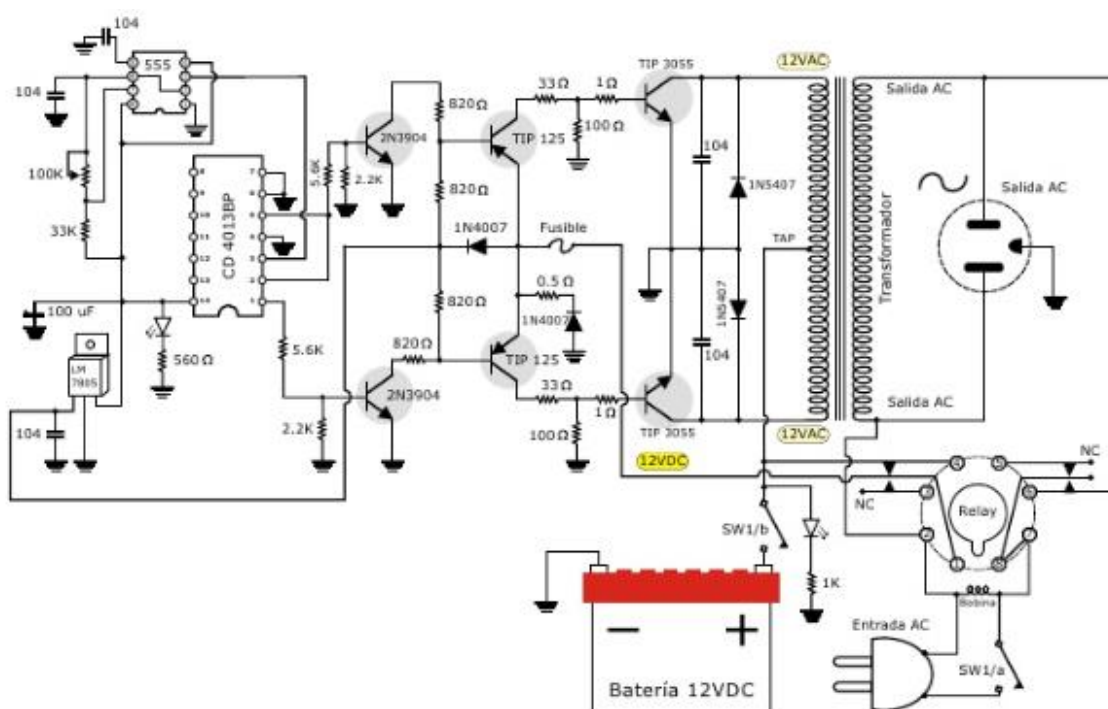
Para el procedimiento y analisis para la presente investigacion como primer paso se realizo el analisis de un inversor monofasico solo con transistores, especificamente el tipo de señal que se obtiene a la salida para una carga resistiva, en segundo lugar se realizo las mediciones de las señales de salida de un inversor monofasico que utiliza la modulacion sinusoidal por anchura de pulsos y observando en el osciloscopio como la señal de salida es una onda sinusoidal y comprobar como esta tecnica de modulacion es eficiente en la aplicación de un inversor de un sistema solar fotovoltaico, por ultimo es que se realiza la simulacion en el PSim en donde podemos observar con mayor detalle como es que se aplica y genera la modulacion sinusoidal por anchura de pulsos, siendo un software que se adapta a las necesidades de los procesos en desarrollo, investigacion y analisis e interpretcion de resultados.

### 3.6.1 INVERSOR DE CORRIENTE CONTINUA EN ALTERNA AC DE 150W

El Inversor de Voltaje es un sistema que convierte la tensión de corriente continua proveniente de una fuente que en nuestro caso será de un generador fotovoltaico en un voltaje de corriente alterna, que puede ser de 220V utilizada en el hogar, en los sectores rurales donde no está presente la red pública.

El presente inversor consta de un oscilador que controla unos transistores, los cuales “swtchean” “conmutan”, la corriente que proviene del generador fotovoltaico, generando una onda cuadrada. La forma de onda de salida de un inversor ideal es senoidal.

**Figura 3.24:** Inversor de Voltaje de AC 150W



FUENTE: Photovoltaic Systems Engineering. Florida - USA: Press LLC.

## LISTA DE MATERIALES

- Circuitos Integrados
  - NE 555
  - CD 4013
- Transistores
  - TIP 3055
  - TIP 125
  - 2N3904
- Resistencias
  - 4Resistencias de 820 ohm de 1/4W
  - 4Resistencias de 1 ohm de 1W
  - 2Resistencias de 33 ohm de 5W
  - 1Resistencia de 0,75 ohm de 5W
  - 1Resistencia de 33K ohm de 5W
  - 2Resistenis de 2,2K ohm de ¼ W
- Capacitores
  - 6Capacicotes de 0.1 uF (104) poliéster
  - 1Capacitor de 100uF a 16V
- Diodos
  - 2 diodos 1N5407
  - 2 diodos 1N4007
- Otros dispositivos
  - Relay de 110V o 220V dependiendo del voltaje de salida
  - 1 Regulador LM 7805

2 LED, uno intermitente y el otro normal.

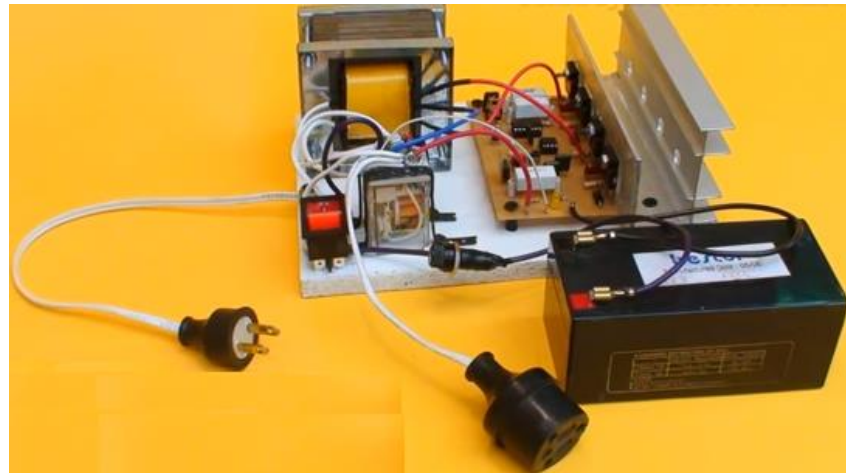
1 disipador de aluminio

Para la realización del análisis de investigación se utilizó los siguientes instrumentos para las respectivas mediciones:

- Computador personal HP Intel CORE i3
- Procesador Intel (R) CORE i3 CPU 2.5GHZ
- Memoria RAM 4.00GB
- Sistema Operativo Windows 7, procesador x64 bits.
- Software PSIM para el análisis y modelamiento del módulo fotovoltaico y el sistema microgrid.
- Inversor de la marca MAXIMUM OUTPUT POWER300W (Meind)
- Inversor de la marca SAMLEX CONVERTS 12V DC to 230V AC
- Multímetro
- Osciloscopio Tektronik
- Panel Fotovoltaico modelo CN-TX4210

El transformador para este inversor, se realiza usando un núcleo de 3,2cm, por 4cm. La función de este transformador es la de elevar el voltaje, al inverso de los transformadores convencionales.

(CONSTRUYASUVIDEOROCKOLA, 2011)

**Figura 3.25:** Inversor DC-AC 150W

FUENTE: Photovoltaic Systems Engineering. Florida - USA: Press LLC.

### 3.4.2.EL 555 (TEMPORIZADOR)

El CI 555 es un circuito integrado muy usado para generar oscilaciones y retardos de tiempo de precisión.

En esta aplicación trabaja con un oscilador astabale, que genera por la patita de salida de la señal (03) una onda cuadrada. La frecuencia de trabajo se regula mediante dos resistencias externas y un capacitor..

Analisis consiste en que una resistencia de 33K ohm que va de la pata 8(Vcc) que es la alimentacion a la pata 7, que descarga el condensador extremo del temporizador, y un resistor variable de 100K ohm que va conectado entre la pata de descarga (7) y la pata (6) o de entrada del comparador interno del 555, que se utiliza para poner la salida a nivel bajo.

El 555 entrega a la salida una corriente de hasta 200milliamperios que excita el circuito integrado CD4013BP.

CI INTEGRADO CD 4013B.- Es un flip-flop doble de tipo-D CMOS. Cada flip-flop se puede configurar con datos, restablecimiento y entradas de reloj independientes.

El CI. 555 tiene problemas al hacer el semiciclo negativo o estado bajo, usamos solo los semiciclos positivos del CI 555, para ordenarle al CI CD 4013 que genera una onda cuadrada perfecta.

La señal proveniente del CI. 555, entra al 4013 por la pata 03, generándose en las patas 1 y 2 las ondas cuadradas inversas. Es decir cuando la pata 1 está en (0) o estado bajo, la pata 2 está en (1) o estado alto y viceversa.

**Figura 3.26:** Circuito Esquemático del Inversor DC-AC

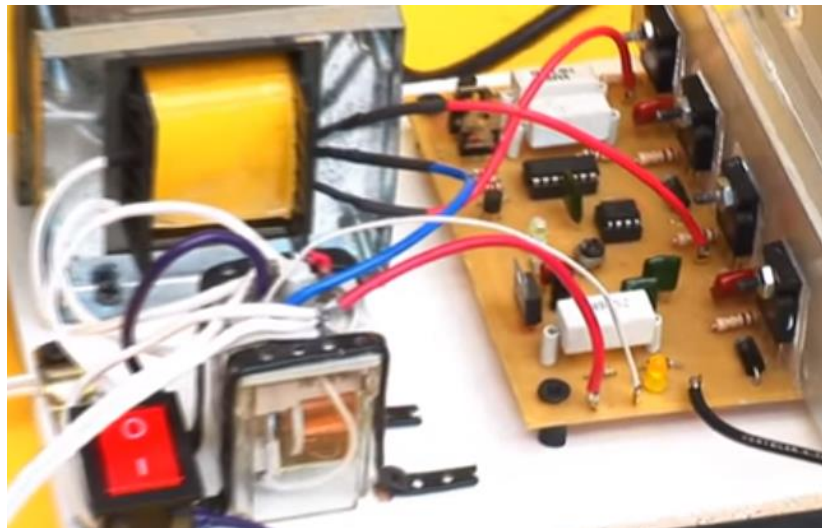


FUENTE: A, M. R. (2004). Photovoltaic Systems Engineering. Florida - USA: Press LLC.

Los circuitos integrados CI 555 y CI CD 4013 son alimentados el regulador LM7805. Este regulador genera una tensión positiva de tres terminales. Siendo la pata 1 (de izquierda a derecha), la entrada de voltaje ( $V_{cc}$ ), la pata 3 corresponde a la salida de voltaje ( $V_o$ ) y la pata

del centro o pata 2 corresponde a tierra o masa común, entregando 5 voltios.

**Figura 3.27:** Circuito Inversor DC-AC



FUENTE: A, M. R. (2004). *Photovoltaic Systems Engineering*. Florida - USA: Press LLC.

**Figura 3.28:** CI 555 Salida de onda cuadrada



FUENTE: A, M. R. (2004). *Photovoltaic Systems Engineering*. Florida USA: Press LLC.

Las señales de salida cuadradas que entrega el CD4013 en sus patas 1 y 2 estas son dirigidas a dos transistores 2N3904. Los transistores son NPN y tienen su base positiva, esto significa que al recibir la señal, solo conducen al momento del semiciclo positivo o estado alto (1), el colector se polariza negativamente, excitando la base de

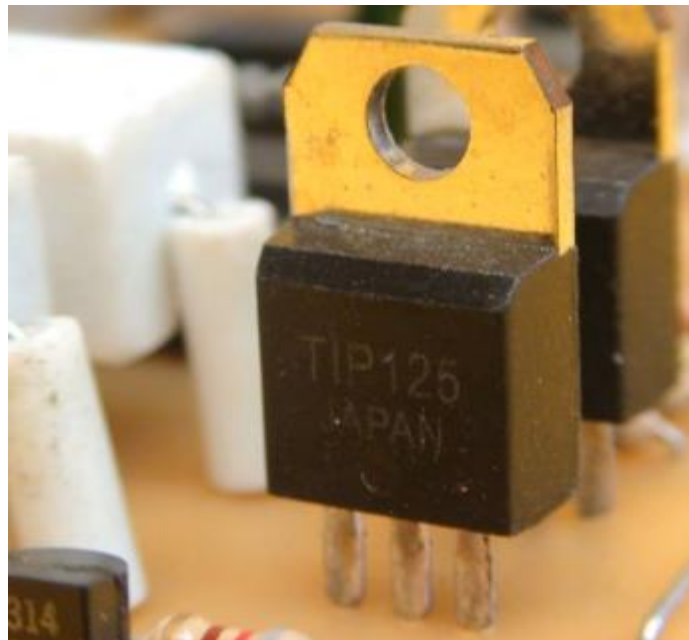


los transistores TIP125, que son PNP que solo conducen al recibir el semiciclo negativo o estado bajo (0).

Los transistores TIP125 son de silicio Epitaxial con una polaridad PNP. Son transistores de potencia de configuración Darlington, montados en encapsulado de plástico tipo A-220. Cuya aplicación más frecuente es de conmutación. Como su base es negativa, conducen cuando los 2N3904 entran e conducción a tierra. El positivo también llega a la base de estos transistores, asegurando que se mantengan cerrados, hasta que reciban la orden del CI CD 2N3904.

Los TIP 125 son los encargados de activar los transistores de salida, para este inversor es el TIP 3055 de polaridad NPN. La corriente positiva que va del emisor al colector de los TIP125 excita la base de los transistores TIP3055, haciendo oscilar los extremos del devanado primario del transformador y que estos están conectados a los colectores de los transistores de salida y los emisores están a tierra. Como el devanado del transformador está conectado a la batería es en ese momento que la corriente DC se convierte en corriente AC de tal forma que el transformador pueda elevar y entregar el voltaje deseado en su devanado secundario.

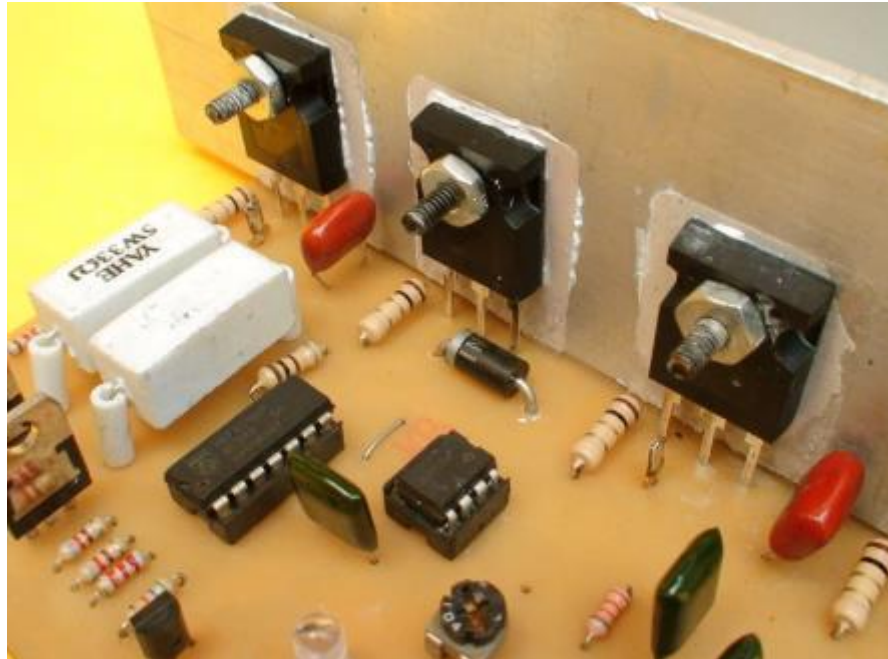
**Figura 3.29:** Parte del inversor de voltaje DC AC  
150W



FUENTE: A, M. R. (2004). Photovoltaic Systems  
Engineering. Florida - USA: Press LLC.

Se determinara la frecuencia al calibrar el resistor variable de 100k y fijando la frecuencia del CI 555 el mismo que en nuestro caso es de 60HZ.

**Figura 3.30:** CI 555 CI-CD 4013 Parte del Inversor de voltaje DC-AC 150W



FUENTE: A, M. R. (2004). Photovoltaic Systems Engineering.  
Florida - USA: Press LLC.

Un inversor o convertidor es un dispositivo electrónico para convertir corriente continua de una fuente de generación fotovoltaica, eólica y/o generador (batería).

El principio de funcionamiento del circuito inversor o convertidor es de 12VDC muy estable con ajuste preciso para la frecuencia de salida, la cual puede ser de 50Hz o de 60Hz incluso puede tener un valor diferente.

La forma de onda de salida es cuadrada.

Puede excitar a 4BJT del tipo 2SC3858 para armar un convertidor de hasta 500w.

El presente circuito trae un oscilador con salidas complementadas para actuar alternativamente sobre los suiches electrónicos de potencia que en este caso son los BJT de salida.

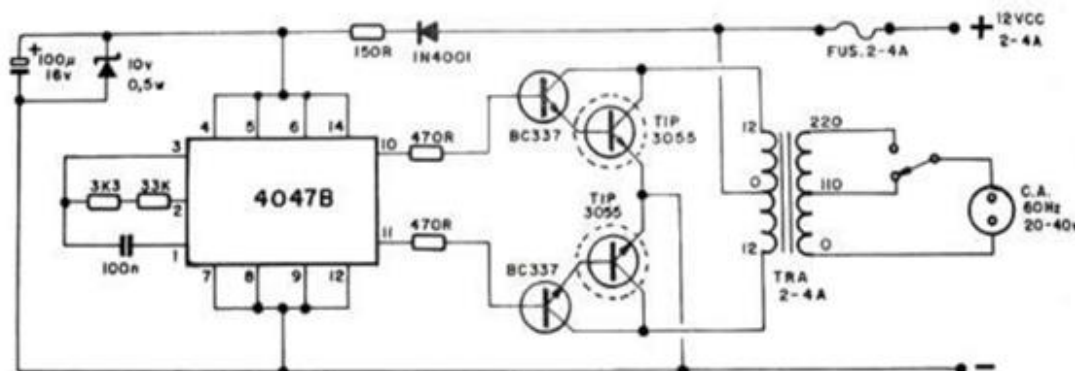
Se utiliza el CD4047 con este fin ya que oscila y trae la opción de salidas complementadas.

El circuito incorpora un diodo de protección contra inversión de polaridad y un regulador de 9 VDC para estabilidad del integrado oscilador.

Cuando se alimenta el circuito, oscila la frecuencia de 50Hz aproximadamente con el potenciómetro en su posición central, y si deseamos modificar este valor podemos hacerlo con la ayuda del cursor del potenciómetro de 50K presente.

Etapa del Oscilador.- Esta parte del circuito es responsable de generar una oscilación igual a la oscilación de que el proveedor proporciona servicio eléctrico en la entrada de red. Para algunos países esta frecuencia es de 50Hz/60Hz. (PALOMARES QUIROZ MIGUEL, 2010)

**Figura 3.31:** Circuito esquemático de inversor 12VCC-110-220V AC-20-40W



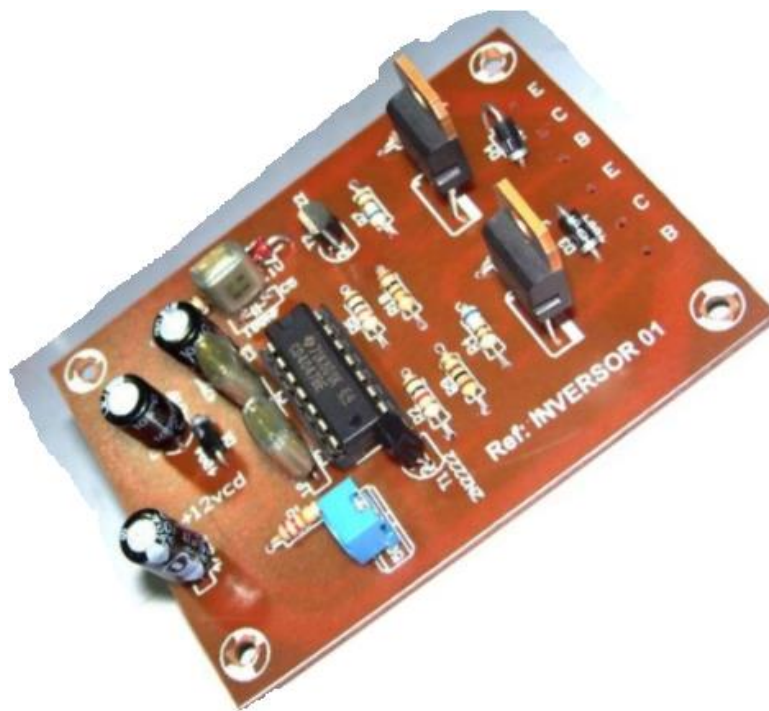
Fuente: CIRCUITO INVERSOR 12V CC - 110-220V AC-20-40W. LIMA: SIDERPERU.

Etapa de Amplificador.- El circuito amplificador de un inversor destinado a elevar el valor de los pulsos de manera que estos pulsos son utilizados por el voltaje de oscilación del oscilador de la etapa amplificadora. (PALOMARES QUIROZ MIGUEL, 2010)

Etapa elevadora.- Se compromete a elevar el voltaje a 120V o 220V la misma que esta a cargo de un transformador como el que se muestra en el esquema. (PALOMARES QUIROZ MIGUEL, 2010)

El dispositivo que genera la corriente continua es el generador fotovoltaico así como las baterías. (PALOMARES QUIROZ MIGUEL, 2010)

**Figura3.32:** Circuito Impreso de Inversor 12VCC-  
110-220V AC - 20-40W



Fuente: CIRCUITO *INVERSOR* 12V CC - 110-220V AC-  
20-40W. LIMA: SIDERPERU.

## CAPITULO IV

### 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se desarrollan y describen todos los procesos, metodos empleados en el desarrollo de la siguiente investigacion, tambien se proporcionan las imágenes de las señales de salida, hojas de datos del fabricante (Data Sheet) con la finalidad de facilitar y permitir su uso para futuras investigaciones.

El desarrollo de esta investigacion comprende el analisis y la aplicación de la técnica de modulación sinusoidal por anchura de pulsos aplicado a un inversor fotovoltaico y de esta manera eliminar la distorsión armónica que perjudica los equipos eléctricos y electrónicos.

Para la presente tesis, se realizo en base a un modulo implementado en forma personal modelo del panel , modelo del inversor, de 12V, multmetro y osciloscopio de la EPIME, mostrando todos los resultados de los circuitos y la simulacio respectiva como parte de los objetivos planteados.

### 4.2. RESULTADOS

#### 4.2.1 MODELAMIENTO DE UN INVERSOR MONOFASICO CON TRANSISTORES

##### 4.2.1.1 CONVERTOR DC – AC.

Un convertor DC-AC de conmutación (generalmente llamado “inversor”) es un sistema electrónico de potencia que produce una salida AC a partir de una entrada DC. La forma de onda de salida está formada por una serie de pulsos rectangulares con transiciones bruscas. El número de fases

de la salida está definido por la topología del convertidor, y la frecuencia y amplitud de la variable controlada (voltaje o corriente) están definidas por el control del convertidor.

Inversor Tipo Fuente de Voltaje.- Usualmente designado por las siglas VSI (del inglés Voltage Source Inverter). El convertidor se comporta como una fuente de tensión, con una impedancia de salida muy baja (idealmente cero); la corriente de salida depende de la impedancia del circuito externo, y puede estar en cualquier valor entre cero y el máximo nominal de salida del convertidor.

Un inversor VSI debe ser alimentado con una fuente de tensión DC de baja impedancia de salida (en principio ideal) que será para el caso la fuente el panel solar fotovoltaico.

El inversor tipo VSI produce una salida formada por un tren de pulsos de voltaje, con  $dv/dt$  alto. Por esta razón la impedancia de entrada de la carga debe ser de tipo inductivo para producir una forma de onda de corriente razonable. Conectar una carga de tipo capacitivo a la frecuencia de interés ocasionará la circulación de picos de corriente muy altos, lo cual es usualmente inaceptable y requiere la inclusión de un filtro inductivo para evitar el problema.

#### **4.2.2 INVERSOR TIPO FUENTE DE CORRIENTE**

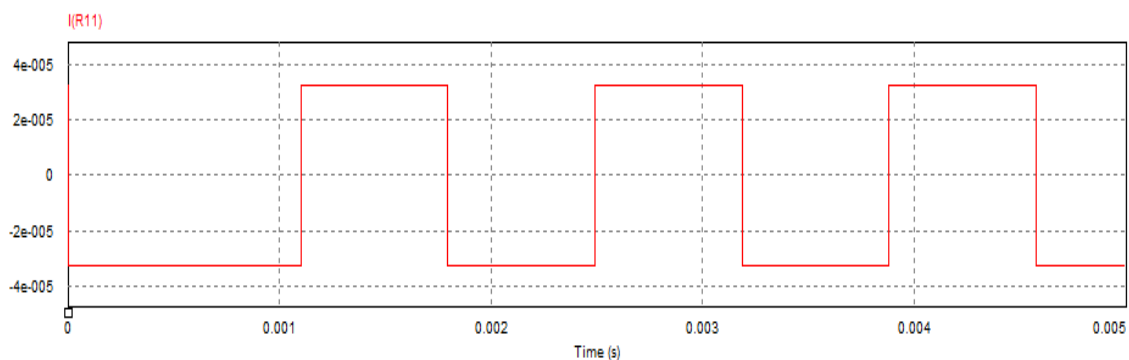
Designado por las siglas CSI (del inglés Current Source Inverter). El convertidor se comporta como una fuente de corriente, con una impedancia de salida muy alta (idealmente infinita); la tensión de



salida depende de la impedancia del circuito externo, y puede estar en cualquier valor entre cero y el máximo nominal de salida del convertidor. En principio el inversor de este tipo no necesita de un sistema limitador de corriente adicional y puede operar contra un cortocircuito en la salida.

Un inversor tipo CSI debe ser alimentado con una fuente de corriente DC de alta impedancia de salida (en principio ideal). El inversor tipo CSI produce una salida formada por un tren de pulsos de corriente, con  $di/dt$  alto. Por esta razón la impedancia de entrada de la carga debe ser de tipo capacitivo para producir una forma de onda de tensión razonable.

**Figura 4.33:** Tren de Pulsos en Psim

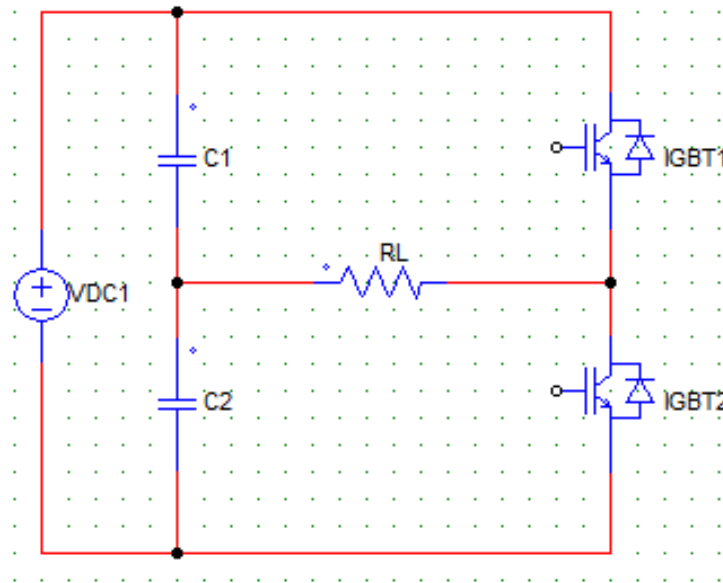


Fuente: Elaboración propia.

Convertidores DC-AC tipo VSI Configuraciones básicas.

I.- Monofásicas.

a) Inversor medio puente monofásico.

**Figura 4.34:** Circuito Inversor monofásico en Psim

Fuente: Elaboración propia.

Dado que existen dos conmutadores controlados (IGBT1 y IGBT2) cada uno de los cuales puede estar en uno de dos estados (encendido, "ON", o apagado, "OFF"), en teoría el circuito tiene cuatro estados diferentes.

En la práctica el estado  $S1=ON$ ,  $S2=ON$  es un estado prohibido, ya que aplica un cortocircuito a la fuente DC que producirá la destrucción de los dos conmutadores controlados.

Suponiendo que existe una carga reactiva genérica conectada al inversor, la situación de los tres estados no prohibidos es la indicada en la siguiente tabla. 01 mostrada a continuación.

Tabla 1 Estados posibles de un inversor monofásico  
medio puente tipo VSI

Estado	Estado de los Conmutadores	Tensión de Salida ( $V_o$ )	Componentes que conducen la corriente de carga ( $i_o$ )
1	$IGBT1 = ON,$ $IGBT2 = OFF$	$V_{CC}/2$	$S1$ si $i_o > 0$
2	$IGBT1 = OFF,$ $IGBT2 = ON$	$-V_{CC}/2$	$S1$ si $i_o > 0$
3	$IGBT1 = OFF,$ $IGBT2 = OFF$	$V_{CC}/2$ $-V_{CC}/2$	$S1$ si $i_o > 0$

Fuente: Elaboración Propia

En el modo normal de operación la salida del inversor se sintetiza empleando únicamente los estados 1 y 2, que son los que producen valores unívocamente definidos en la salida.

En el tercer estado, con ambos conmutadores controlados apagados, la polaridad de la tensión de salida depende del sentido de la corriente, y por lo tanto no está definida por el estado del convertidor.

Dado que en general se desea controlar la tensión de salida en función del estado del convertidor, este estado ( $S1=OFF$ ,  $S2=OFF$ ) no se emplea en la síntesis de la salida, aunque es alcanzado en forma transitoria durante las conmutaciones de los interruptores controlados, para evitar que se produzca el estado prohibido ( $S1=ON$ ,  $S2=ON$ ).

La forma de onda de salida producida por un inversor monofásico medio puente tipo VSI es una onda cuadrada de dos niveles,  $V_{cc}/2$  y  $-V_{cc}/2$ .

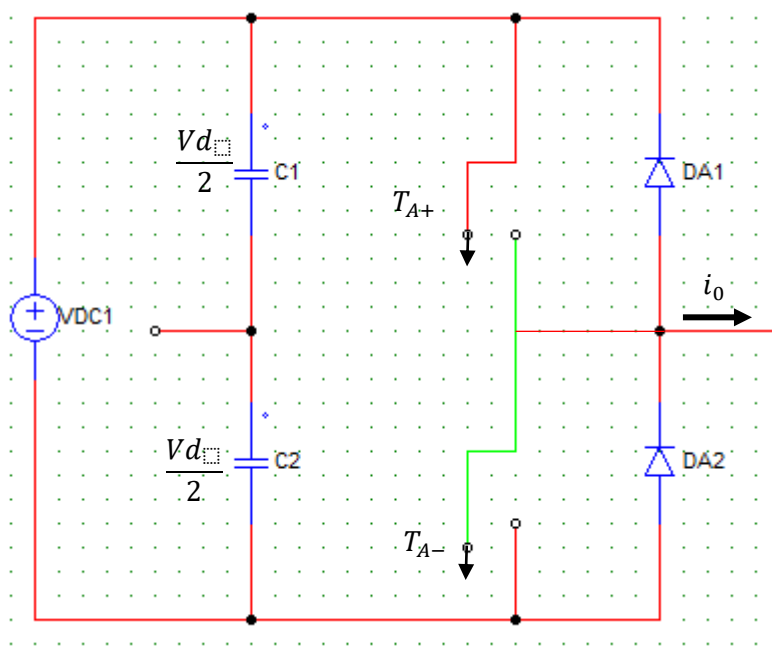
El conversor controla la frecuencia de la onda cuadrada generada en base a la frecuencia de conmutación de los dos dispositivos.

Si la duración de los estados 1 y 2 es la misma, con un ciclo de trabajo del 50%, la salida es una onda cuadrada simétrica y la amplitud de la salida depende exclusivamente del valor de la tensión DC de entrada al conversor.

Si la duración de los estados 1 y 2 se modula, la salida es del tipo PWM y el espectro armónico de la salida es controlable en composición y amplitud.

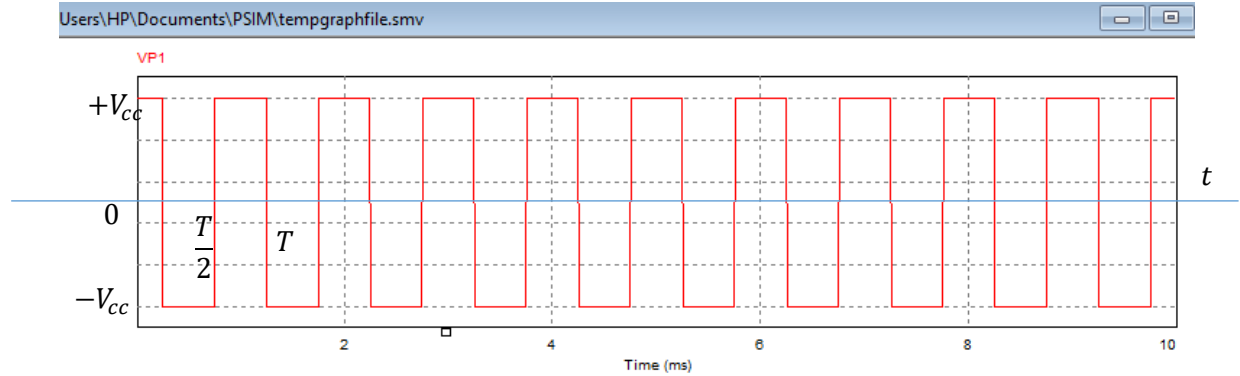
Análisis de la forma de onda de salida básica, la onda cuadrada de dos niveles.

**Figura 4.35:** Inversor Monofásico en Psim



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4.36:** Forma de onda de salida de dos niveles del inversor puente monofásico



Fuente: Elaboración Propia.

### 4.2.3 INVERSOR PUENTE COMPLETO MONOFASICO VSI

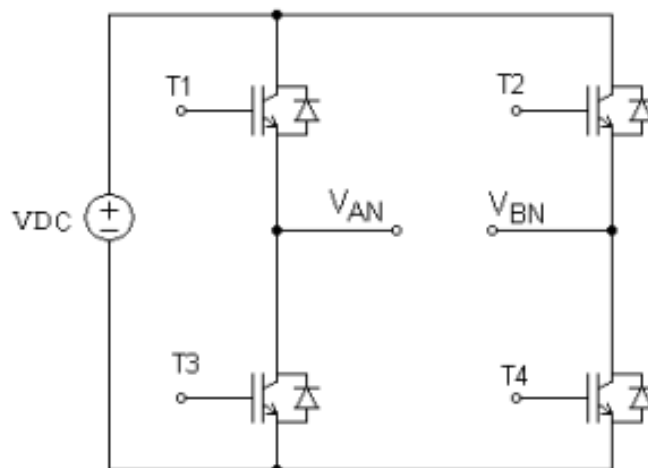
#### 4.2.3.1 INVERSOR FOTOVOLTAICO

Realizando un analisis del Inversor se deberán tomar en cuenta:

- Los interruptores controlados de potencia.
- Circuitos de control.

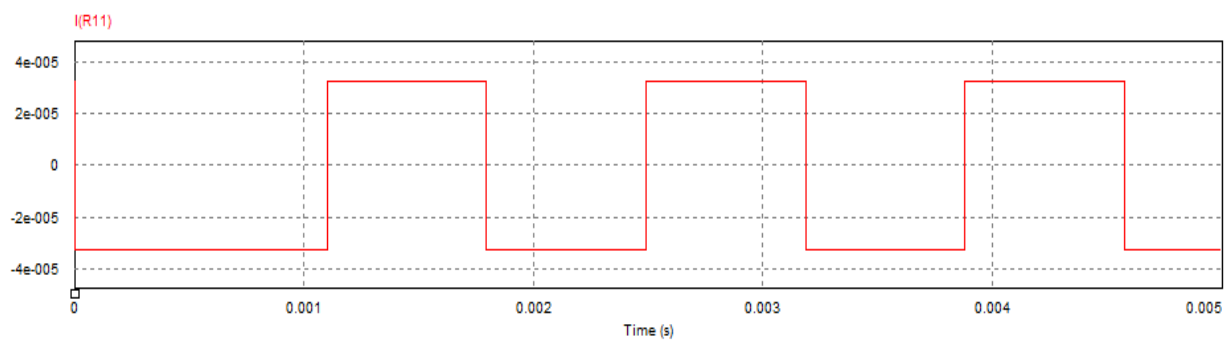
La configuración en puente monofásico, consiste en dos ramas de semiconductores conectados a los dos polos del campo fotovoltaico, entre los puentes medios de las ramas de interruptores se conectara la carga electrica.

**Figura 4.37:** Inversor Monofásico en Psim



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4.38:** Tren de pulsos en Psim

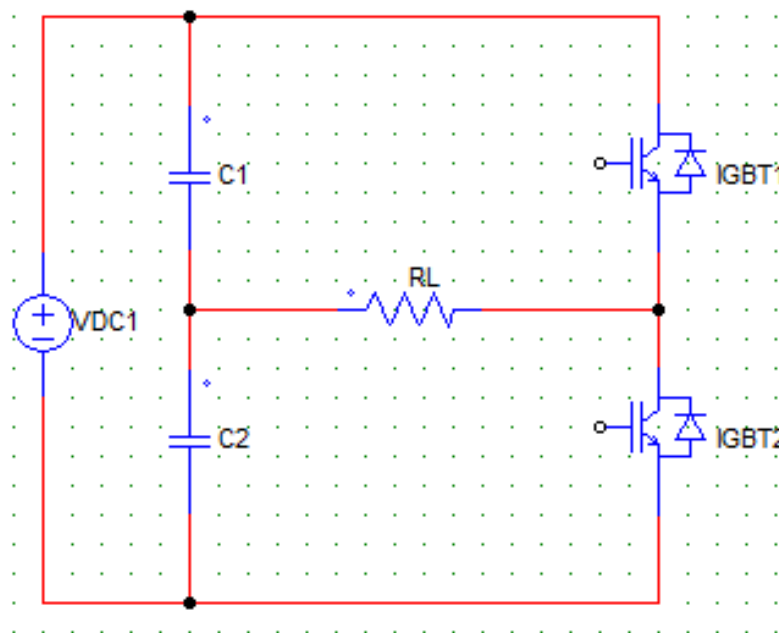


Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 CONVERSORES DC-AC TIPO VSI CONFIGURACIÓN BÁSICA I.- MONOFÁSICAS.

a) Inversor medio puente monofásico.

**Figura 4.39:** Circuito inversor monofásico en Psim



Fuente: Elaboración propia.

Dado que existen dos conmutadores controlados (IGBT1 y IGBT2) cada uno de los cuales puede estar en uno de dos estados (encendido, "ON", o apagado, "OFF").

En la práctica el estado  $S1=ON$ ,  $S2=ON$  es un estado prohibido, ya que aplica un cortocircuito a la fuente DC que producirá la destrucción de los dos conmutadores controlados.

Una carga conectada al inversor, la situación de los tres estados prohibidos es la indicada en la siguiente tabla.02 mostrada a continuación.

Tabla 2 Estados posibles en un inversor monofásico medio puente tipo VSI

Estado	Estado de los Conmutadores	Tensión de Salida ( $V_o$ )	Componentes que conducen la corriente de carga ( $i_o$ )
1	$IGBT1 = ON,$ $IGBT2 = OFF$	$V_{CC}/2$	$S1$ si $i_o > 0$
2	$IGBT1 = OFF,$ $IGBT2 = ON$	$-V_{CC}/2$	$S1$ si $i_o > 0$
3	$IGBT1 = OFF,$ $IGBT2 = OFF$	$V_{CC}/2$ $-V_{CC}/2$	$S1$ si $i_o > 0$

Fuente: Elaboración Propia

En el modo normal de operación la salida del inversor se sintetiza empleando únicamente los estados 1 y 2, que son los que producen valores unívocamente definidos en la salida.

En el tercer estado, con ambos conmutadores controlados apagados, la polaridad de la tensión de salida depende del sentido de la corriente, y por lo tanto no está definida por el estado del convertidor.

Dado que en general se desea controlar la tensión de salida en función del estado del convertidor, este estado ( $S1=OFF$ ,  $S2=OFF$ ) no se emplea en la síntesis de la salida, aunque es alcanzado en forma transitoria durante las conmutaciones de los interruptores controlados, para evitar que se produzca el estado prohibido ( $S1=ON$ ,  $S2=ON$ ).



La forma de onda de salida producida por un inversor monofásico medio puente tipo VSI es una onda cuadrada de dos niveles,  $V_{cc}/2$  y  $-V_{cc}/2$ .

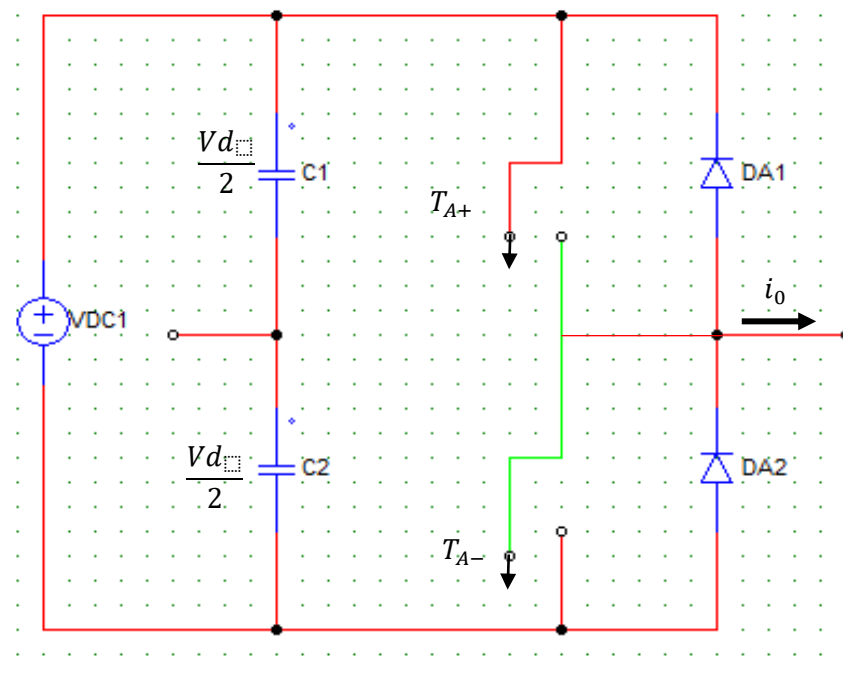
El conversor controla la frecuencia de la onda cuadrada generada en base a la frecuencia de conmutación de los dos dispositivos.

Si la duración de los estados 1 y 2 es la misma, con un ciclo de trabajo del 50%, la salida es una onda cuadrada simétrica y la amplitud de la salida depende exclusivamente del valor de la tensión DC de entrada al conversor.

Si la duración de los estados 1 y 2 se modula, la salida es del tipo PWM y el espectro armónico de la salida es controlable en composición y amplitud.

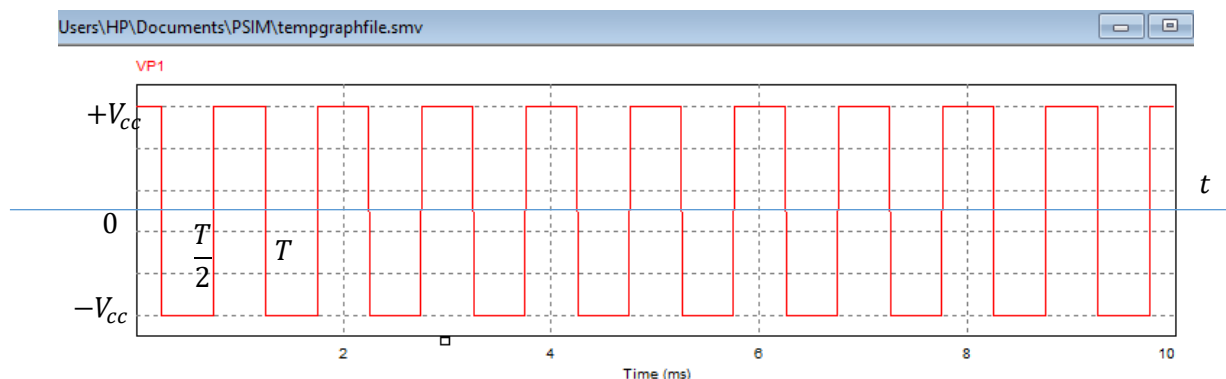
Análisis de la forma de onda de salida básica, la onda cuadrada de dos niveles.

**Figura 4.40:** Inversor Monofásico en Psim



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.41: Forma de onda de salida de dos niveles del inversor puente monofásico

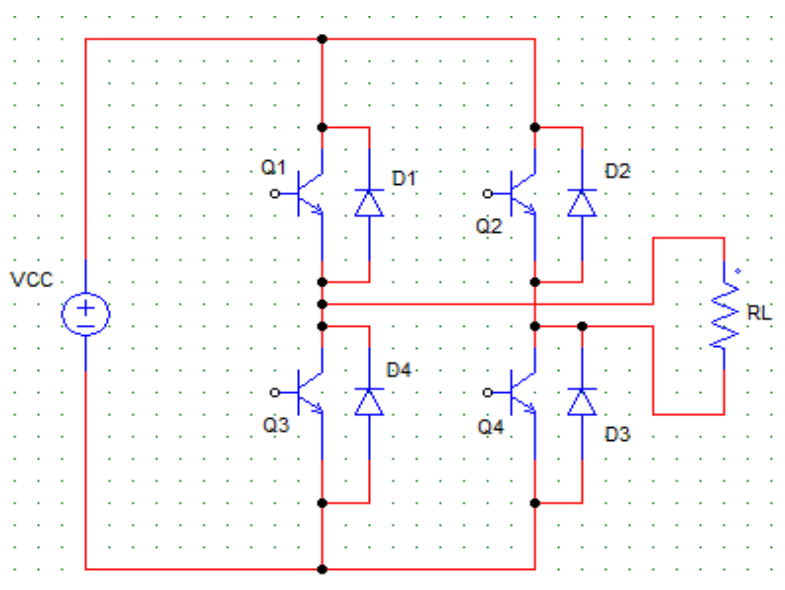


Fuente: Elaboración Propia.

No es aceptable que dos conmutadores en serie estén encendidos simultáneamente para no cortocircuitar la fuente de alimentación.

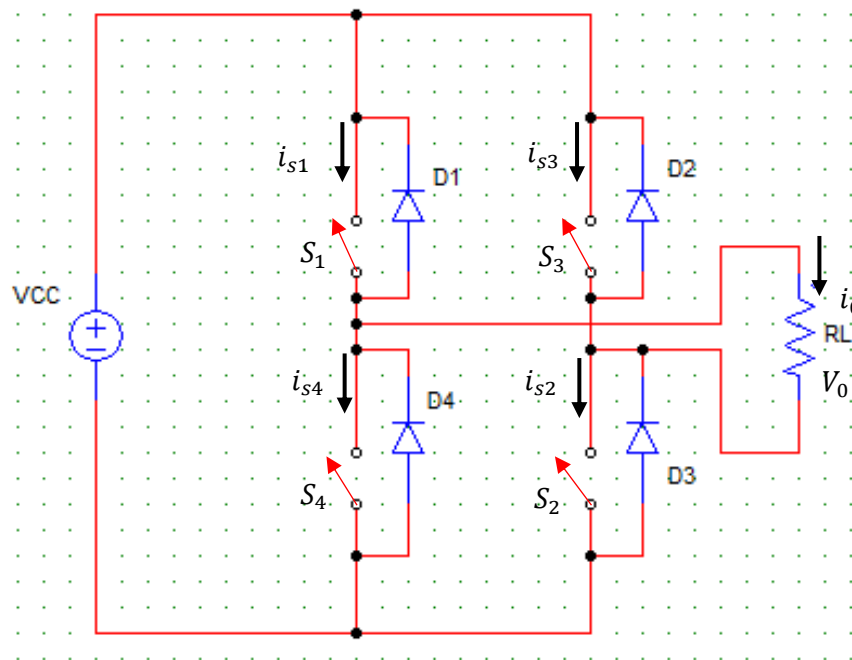
Para mantener continuidad en la corriente de carga dos conmutadores deben estar encendidos en todo momento. En estas condiciones el circuito tiene cuatro estados posibles.

Figura 4.42: Circuito Inversor Puente completo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.43: Circuito Punte



Fuente: Elaboración Propia.

Analizando el comportamiento del circuito, se puede reemplazar los arreglos conmutador principal-diodo antiparalelo con conmutadores ideales bidireccionales, considerando que:

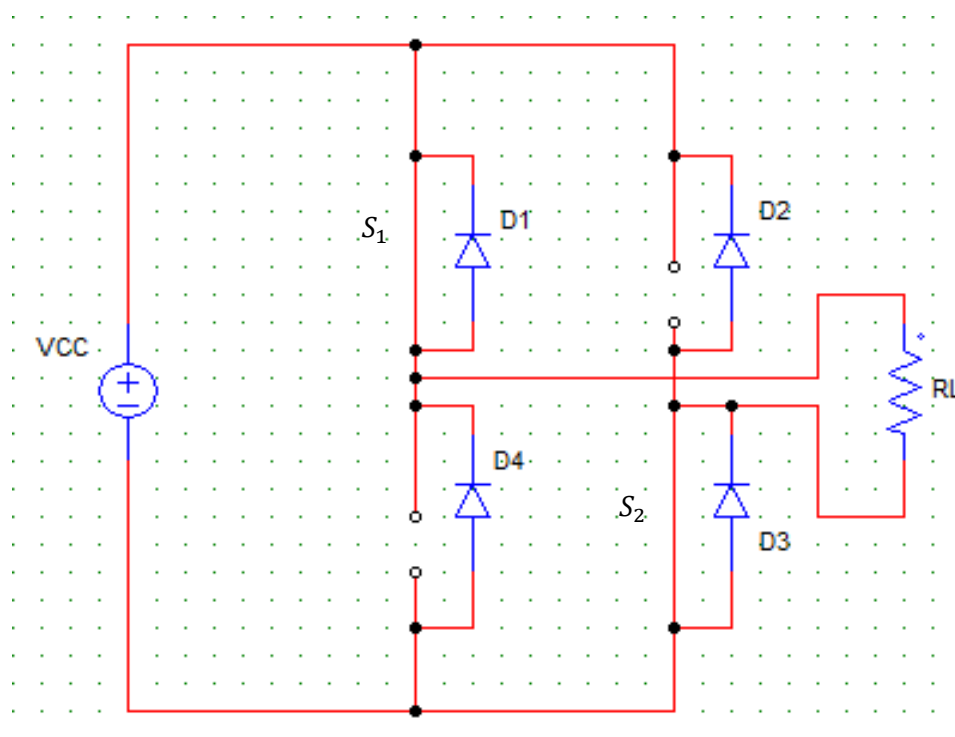
- 1.-No es aceptable que dos conmutadores en serie estén encendidos simultáneamente para no cortocircuitar la fuente de alimentación.
- 2.-Para mantener continuidad en la corriente de carga dos conmutadores deben estar encendidos en todo momento. En estas condiciones el circuito tiene cuatro estados posibles.

Tabla 3 Estado de Conmutacion del Inversor tipo puente Monofasico

Estado de Conmutación	Interruptores Cerrados	Voltaje de Salida $V_0$
$Q_1$	$S_1$ y $S_2$	$+V_{CC}$
$Q_2$	$S_3$ y $S_4$	$-V_{CC}$
$Q_3$	$S_1$ y $S_3$	0
$Q_4$	$S_2$ y $S_4$	0

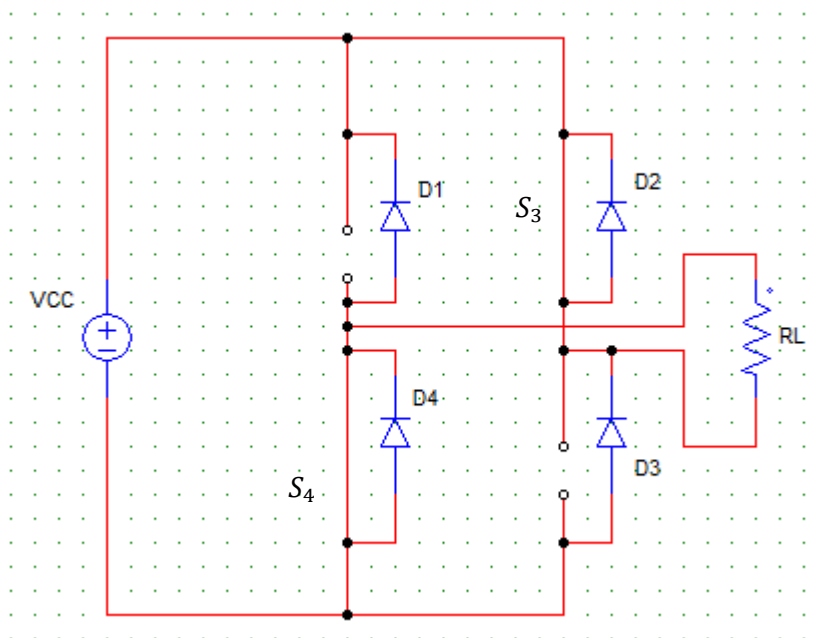
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.44: Conmutación de Estados S1 y S2



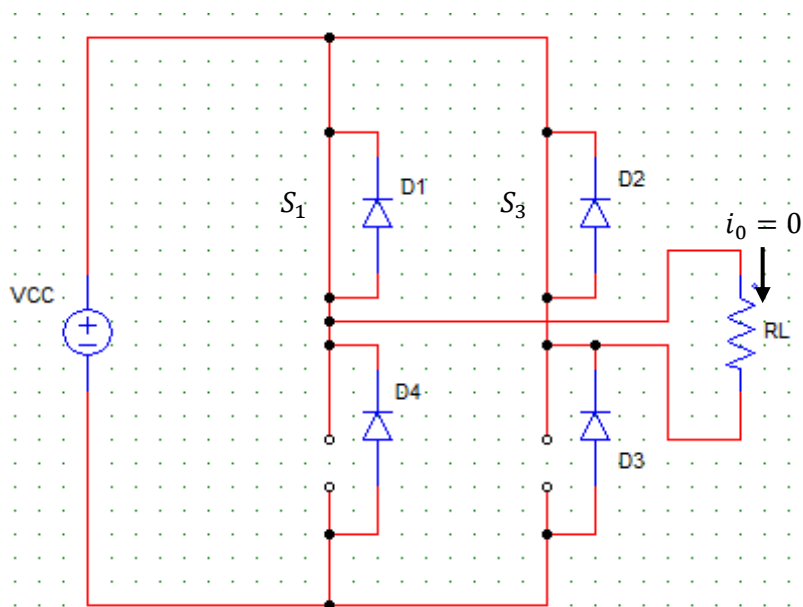
Fuente : Elaboración Propia.

**Figura 4.45:** Conmutación de Estados  $S_2$  y  $S_4$

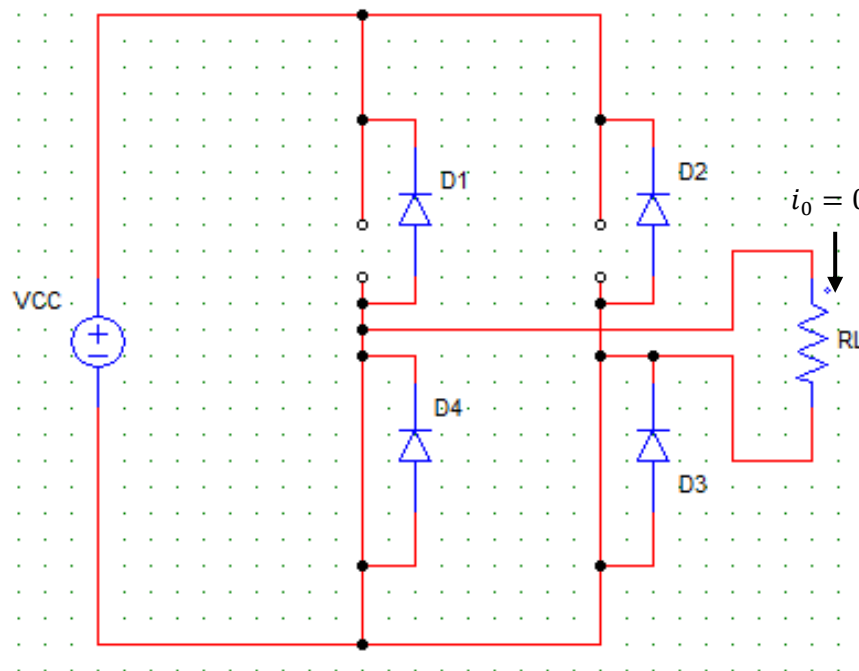


Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4.46:** Conmutación de Estados  $S_1$   $S_2$



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4.47:** Conmutación de estados S2 S4

Fuente: Elaboración Propia

Analizando los estados de conmutación 3 (S1 y S3) y 4 (S2 y S4) producen la misma tensión de salida y el mismo camino de corriente de conducción, siendo totalmente equivalentes.

El inversor puente completo monofásico puede operar naturalmente en dos modos distintos.

1.- Modo de dos niveles- Solo se emplean en forma sucesiva los estados:

$$Q_1 : 1(S_1 y S_2)$$

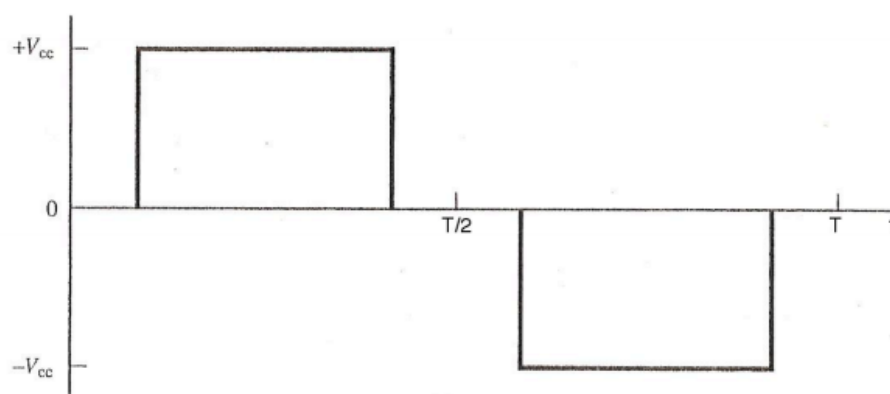
$$Q_2 : 2(S_3 y S_4)$$

La tensión de salida es una onda cuadrada de solo dos niveles.  $+V_{CC}$  y  $-V_{CC}$

2.- Modo de tres niveles. Se emplean los estados  $Q_1$  y  $Q_2$ , intercalando uno de los dos estados de salida nula ( $Q_3$  o  $Q_4$ ).

La tensión de salida es una onda cuadrada de tres niveles considerando los niveles:  $+V_{cc}$ ;  $0v$ ;  $-V_{cc}$

**Figura 4.48:** Inversor tipo puente de tres niveles

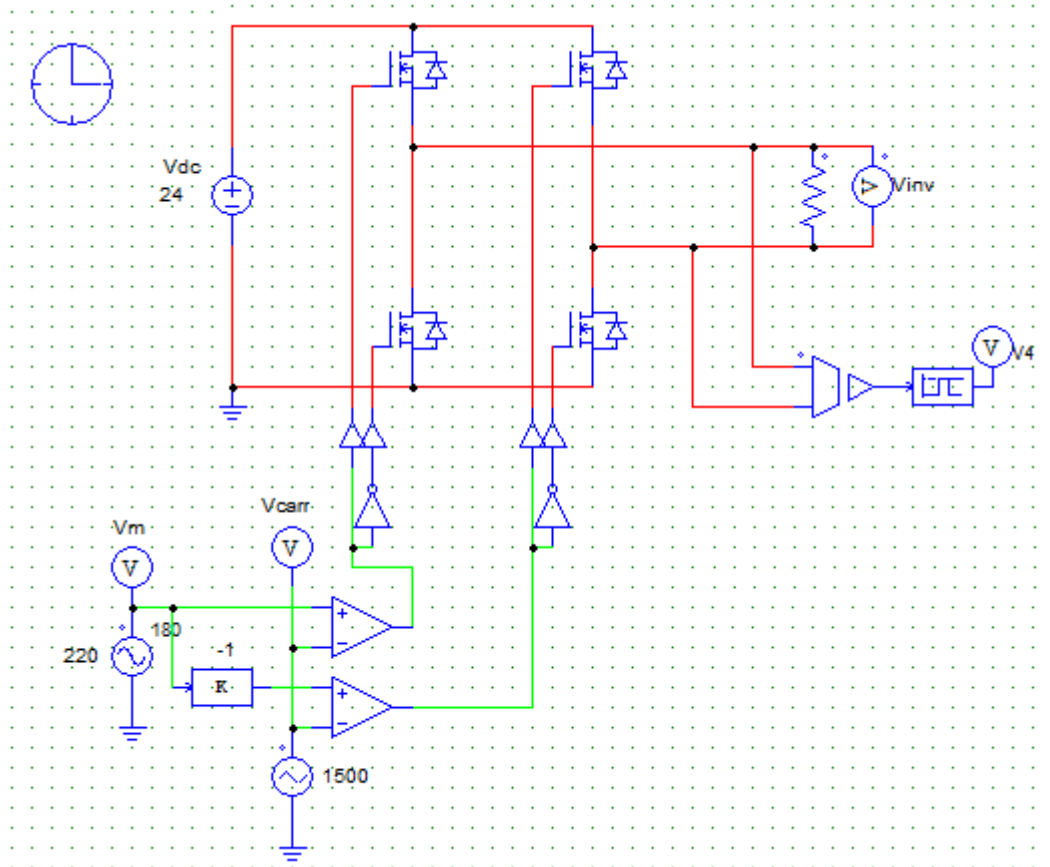


Fuente: ROSATO, RASHIT

Modulación PWM.- El control de las conmutaciones necesarias para implementar el proceso de PWM se logra en base a la comparación de una señal sinusoidal patrón de la amplitud y frecuencia deseada en la salida (la onda de referencia o modulante) con una onda triangular de frecuencia más elevada (la onda portadora o modulada).

**4.3 MODELAMIENTO DEL INVERSOR MONOFASICO APLICANDO LA MODULACION SINUSOIDAL POR ANCHURA DE PULSOS.**

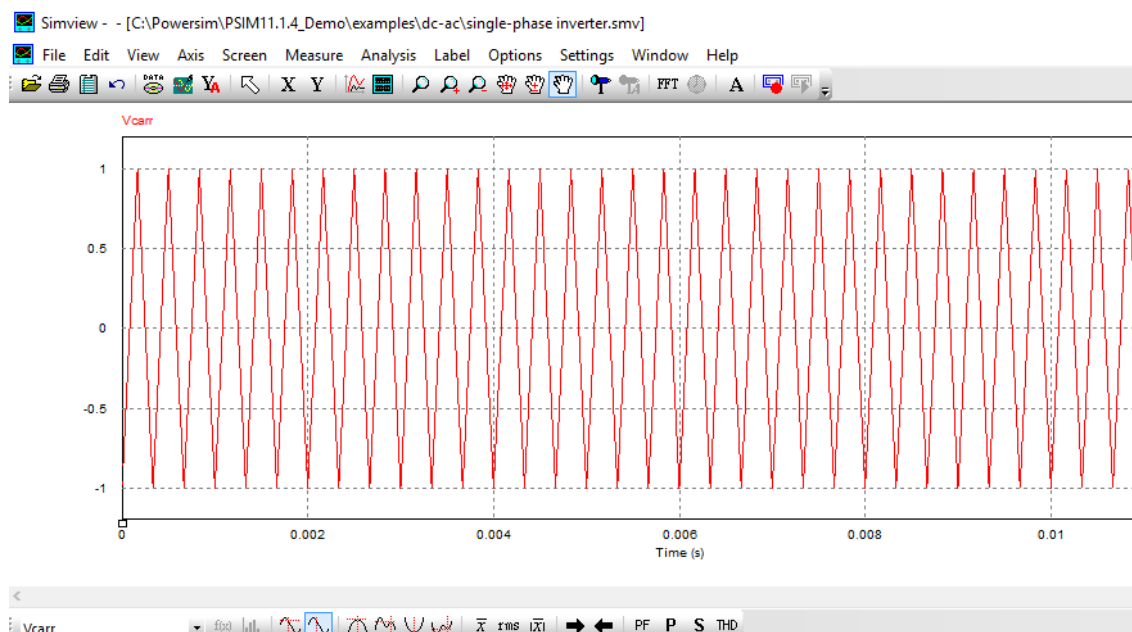
**Figura 4.49:** Inversor monofásico con modulación por ancho de pulso sinusoidal en Psim



Fuente :Elaboración: Propia

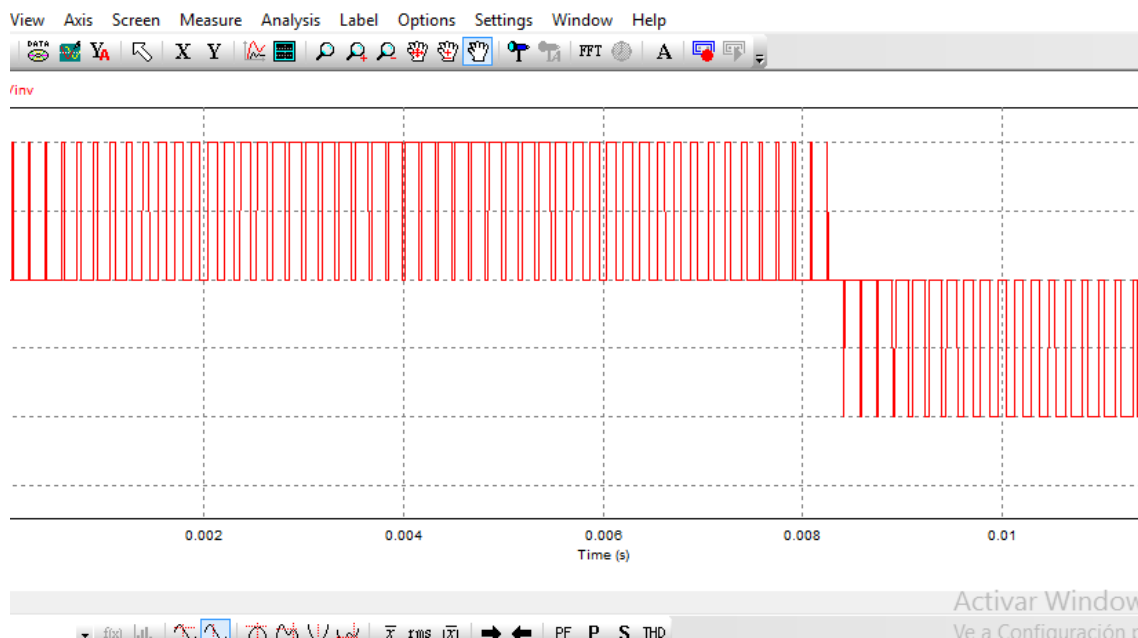


**Figura 4.50:** Onda triangular para la modulación por ancho de pulso en Psim



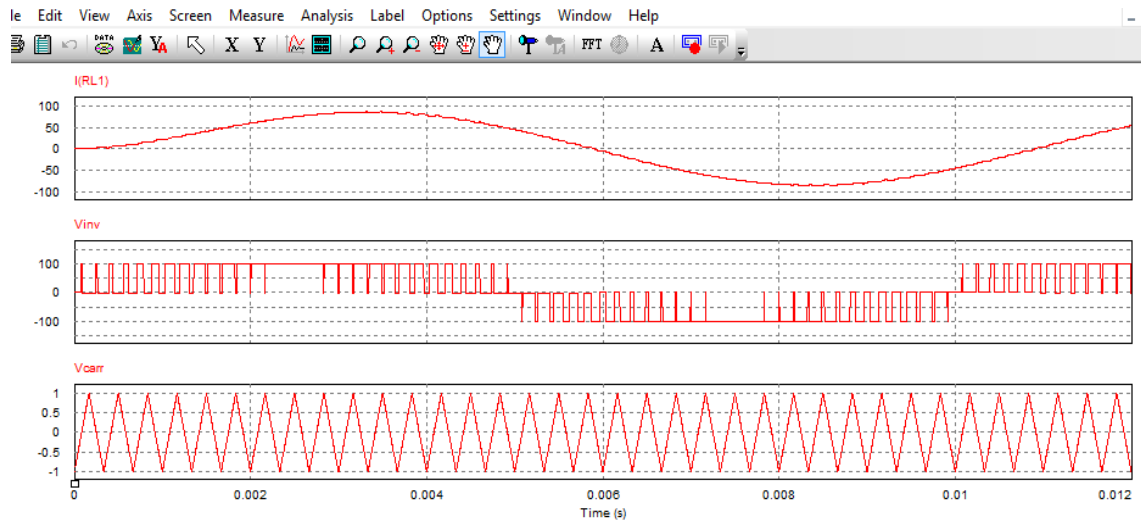
Fuente: Elaboración: Propia.

**Figura 4.51:** Modulación por ancho de pulso en PSIM



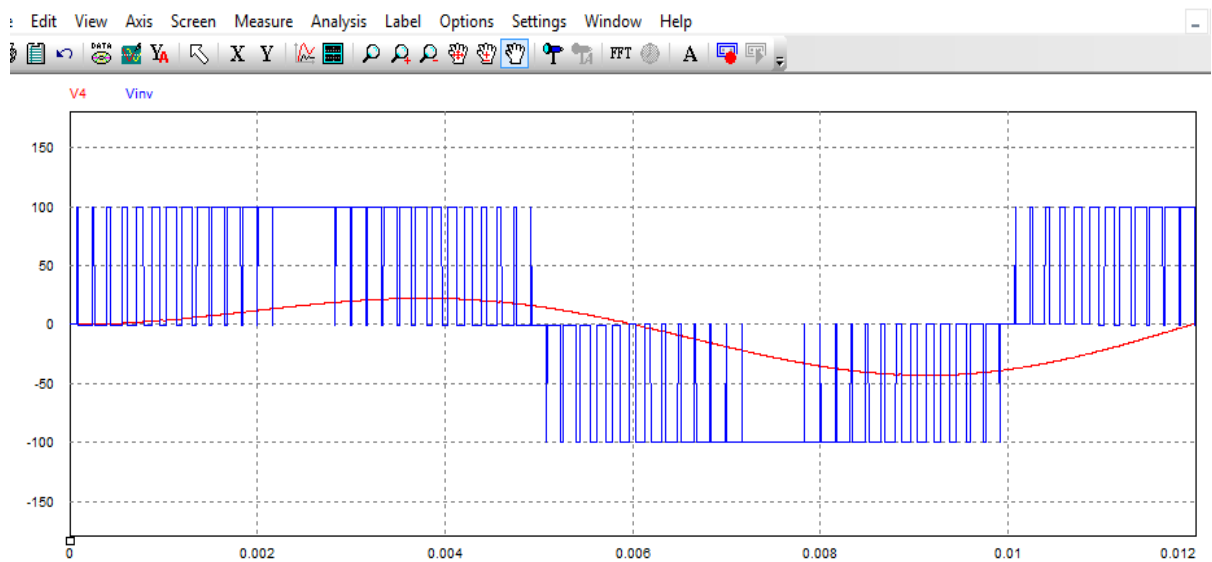
Fuente: Elaboración: Propia.

**Figura 4.52:** Formas de onda aplicando la Modulación por ancho de pulso en PSIM



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4.53:** Modulación por anchura de pulso a la salida del inversor simulado en PSIM



Fuente: Elaboración Propia.

## V. CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Durante el desarrollo de la presente investigación, se partió de los principios electrónicos del circuito inversor monofásico básico conformado por transistores, los mismos que nos proporcionan una señal de conmutación cuadrada a la salida para una carga resistiva y el circuito fue también simulado en el PSIM, observando que se tiene una señal de salida que no es la onda senoidal, en virtud a que el objetivo principal de un inversor es el de proporcionar una onda senoidal pura sin distorsión armónica 2en la señal de salida que alimentara cualquier sistema eléctrico y electrónico.

**SEGUNDO:** Se confirma que la modulación sinusoidal por anchura de pulsos es una técnica muy eficiente aplicada a los inversores monofásicos y que elimina la distorsión armónica que pudiera originar efectos en los sistemas eléctricos.

**TERCERO:** El modelamiento por simulación es una herramienta efectiva para el análisis y la comprensión del funcionamiento de un inversor monofásico en un módulo fotovoltaico útil y poder realizar la investigación para diferentes tipos de técnicas de modulación.

**CUARTO:** De acuerdo con los datos de las señales a la salida del inversor se puede apreciar una onda sinusoidal pura que se obtiene del inversor monofásico y que es el objetivo de estudio como medida de la eficiencia energética para cualquier sistema eléctrico.

## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Existen diversas técnicas de control por modulación por anchura de pulsos aplicados a inversores monofásicos y posteriormente a inversores trifásicos, los que permitirían seguir mejorando aún más de acuerdo al tipo de aplicación que se tenga

**SEGUNDO:** Las herramientas de simulación desempeñan un papel importante durante el diseño óptimo y una gestión inteligente, siendo necesario realizar el modelamiento para entender su funcionamiento, el funcionamiento de los dispositivos que lo conforman y sobre todo que nos permitan un diseño adecuado a la aplicación.

**TERCERO:** En los modernos inversores de mayor potencia se aplican nuevas técnicas o incluso se pudieran combinar técnicas de modulación por anchura de pulsos y aplicar a inversores multietapas.

## VII. REFERENCIAS

- A, M. R. (2004). *Photovoltaic Systems Engineering*. Florida - USA: Press LLC.
- Alonzo, C. L. (2002). *Modelling Photovoltaic Systemm Using PSpice*. Barceloa: Spain- John.
- Álvarez J., C. (1998). *Acumuladores*. Barcelona.
- Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. españa : Traducido de la octava edición en inglés de la obra SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESING, by Richard.
- C, C. J. (2011). *Physics of Solar Energy*. USA: JHOW INC.
- CASAL, C. C. (2012). *INVERSORES EN APLICACIONES FOTOVOLTAICAS*. Mexico: McG Hill.
- Chapman, S. J. (2012). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN*. Impreso en México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- CONSTRUYASUVIDEOROCKOLA. (2011). *INVERSOR DE VOLTAJE DC AC 150W*. COLOMBIA: COLOMBIA.
- Cordano, L. V. (2017). *La Industria de la Energía Renovable en el Peru*. LIMA: OSINERGMIN.
- D, H. (2001). *ELECTRONICA DE POTENNCIA* . Madrid: Person Education S.A.
- David H, M. (2012). *maquinas y mecanismos* . mexico: pearson educacion , mexicana 2012.

Davila, F. A. (2004). *Diseño de Elementos de Maquinas II.* . Lima: . Lima:  
Concejo.

Diaz, M. d. (2016). *Fondo Regional de Eficiencia Energetica para los  
Paises Miembros del SICA.* PERU: OLADE.

Dilan, J. (2016). *Smart Power Systems and Renewable Energy System  
Integration.* New York: Routledge.

E, M. M. (2015). *Solar Energy An Introduction.* New York: Oxford  
University Press.

E, M. M. (2015). *Solar Energy An Introduction .* USA: Oxford University  
Press.

Ernest, D. R. (2012). *Optimization od Photovoltaic Power Systems.*  
London British: Springer.

F, T. P. (2017). *La Industria de la Energia Renovable en el Peru : 10 Años  
de Contribuciones a la Mitigacion del Cambio Climatico .* Lima:  
Osinergmin.

FERNANDEZ, E. A. (2006). *DISEÑO DE UN INVERSOR MULTIMEDIA  
EN CASCADA MONOFASICO DE BAJO CONTENIDO ARMONICO  
PARA CARGAS RESISTIVAS.* LIMA: UNIVERSIDAD CATOLICA DEL  
PERU.

Fitzgerald. A.E. y C. Kingsley, J. (1952). *Electric Machinery.* Nueva York:  
McGraw-Hill.

GARAVITO, N. G. (2009). *lubricacion industrial .* COLOMBIA:  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

Generation, S. (2011). *Solar Photovoltaic Electricity Empowering The  
World Grrenpaace.* España: Marcombo.

Giovanni, F. N. (2013). *Power Electronics and Techniques*. Francia: Grou.

Giovanni, F. N. (2013). *Power Electronics and Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems*. USA: Elsevier Inc.

GONZALES-LONGATT, F. M. (2006). *GENERALIDADES DE LA MODULACION DE ANCHO DE PULSO*. VENEZUELA: UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.

Horikoshi, I. (2009). *Analisis de las componentes armonicas de los inversores fotovoltaicos de conexion a red*. Madrid: Universidad Carlos III .

Humberto, A. R. (2012). *Metodologia de la Investigacion Cientifica Aplicado a la Ingenieria*. Lima - Peru: FIEE/UNAC.

Isabella, K. J. (2014). *Solar Energy Fundamentals Technology and Systems*. USA: Prentice Hall.

Iturriagagoitia, A. A. (2012). *Teoria de Maquinas*. españa : Tecnun Universidad de Navarra.

Jefferson. (1996). *A Flywheel Variator Energy Storage System*. Conversion and Management.

Jose, R. V. (2008). *Fuentes de Energia*. Madrid España: Marcombo.

maps, g. (s.f.). Obtenido de

<https://www.google.com.pe/maps/place/llave/@-16.1496359,->

69.5687343,14z/data=!4m5!3m4!1s0x915da7d7e918eccd:0x549cc3b5a96624ed!8m2!3d-16.0825395!4d-69.6384724

Maria, M. M. (2011). *Energia Solar Fotovoltaica*. Madrid- España: Marcombo.

MARTIN DELGADO RAUL, L. B. (2012). *DISEÑO E IMPLEMENTACION EXPERIMENTAL DE UN INVERSOR MONOFASICO OPERANDO EN MODO ISLA*. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

Minas, M. d. (2013). *Política del Estado Peruano sobre la Eficiencia Energetica*. Lima: MINEM.

Mora, J. F. (2003). *MAQUINAS ELECTRICAS. Quinta edición*. madrid : McGRAW-HILLINTERAMERICANA DE ESPANA, S. A. U.

mott, r. l. (1995). *diseño elemento de maquinas* . juares - mexico : porentice hall hispanoamericana s.a.

Oscar, P. L. (2015). *Energia Solar Fotovoltaica* . Madrid España: Creative Commons.

PALOMARES QUIROZ MIGUEL, E. E. (2010). *CIRCUITO INVERSOR 12V CC - 110-220V AC-20-40W*. LIMA: SIDERPERU.

Pellegrini, V. S. (2012). *Analisis de los indices de THD de Inversor Solar Sunny Boy SB-1200 en Inyeccion a la red con baja irradiancia solar*. Santiago - Chile: Ed. Fac de Ingenieria .

Quijorna, A. J. (2007). *Elementos de Maquinas*. España: editorial planeta .

RASHID, M. H. (1993). *ELECTRONICA DE POTENCIA*. MEXICO: PRENTICE HALL .

raymond a. serway, j. w. ( 2005). *fisica para ciencias e ingenieria*. mexico: THOMSON.

Roberto, T. P. (2011). *Potencial de las Energias Renovables en el Peru*. Lima: MINEM.

Ruiz, M. A. (2008). *Reductor de Velocidad*. Mexico D.F: Esime.



- WILDI, T. (2007). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y SISTEMAS DE POTENCIA SEXTA EDICIÓN*. MEXICO : PEARSON EDUCACIÓN, México, 2007.
- A, M. R. (2004). *Photovoltaic Systems Engineering*. Florida - USA: Press LLC.
- Alonzo, C. L. (2002). *Modelling Photovoltaic Systemm Using PSpice*. Barceloa: Spain- John.
- Álvarez J., C. (1998). *Acumuladores*. Barcelona.
- Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. españa : Traducido de la octava edición en inglés de la obra SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESING, by Richard.
- C, C. J. (2011). *Physics of Solar Energy*. USA: JHOW INC.
- CASAL, C. C. (2012). *INVERSORES EN APLICACIONES FOTOVOLTAICAS*. Mexico: McG Hill.
- Chapman, S. J. (2012). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN*. Impreso en México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- CONSTRUYASUVIDEOROCKOLA. (2011). *INVERSOR DE VOLTAJE DC AC 150W*. COLOMBIA: COLOMBIA.
- Cordano, L. V. (2017). *La Industria de la Energia Renovable en el Peru*. LIMA: OSINERGMIN.
- D, H. (2001). *ELECTRONICA DE POTENNCIA* . Madrid: Person Education S.A.
- David H, M. (2012). *maquinas y mecanismos* . mexico: pearson educacion , mexicana 2012.

- Davila, F. A. (2004). *Diseño de Elementos de Maquinas II.* . Lima: . Lima: Concejo.
- Diaz, M. d. (2016). *Fondo Regional de Eficiencia Energetica para los Paises Miembros del SICA.* PERU: OLADE.
- Dilan, J. (2016). *Smart Power Systems and Renewable Energy System Integration.* New York: Routledge.
- E, M. M. (2015). *Solar Energy An Introduction.* New York: Oxford University Press.
- E, M. M. (2015). *Solar Energy An Introduction .* USA: Oxford University Press.
- Ernest, D. R. (2012). *Optimization od Photovoltaic Power Systems.* London British: Springer.
- F, T. P. (2017). *La Industria de la Energia Renovable en el Peru : 10 Años de Contribuciones a la Mitigacion del Cambio Climatico .* Lima: Osinergmin.
- FERNANDEZ, E. A. (2006). *DISEÑO DE UN INVERSOR MULTIMEDIA EN CASCADA MONOFASICO DE BAJO CONTENIDO ARMONICO PARA CARGAS RESISTIVAS.* LIMA: UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.
- Fitzgerald. A.E. y C. Kingsley, J. (1952). *Electric Machinery.* Nueva York: McGraw-Hill.
- GARAVITO, N. G. (2009). *lubricacion industrial .* COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Generation, S. (2011). *Solar Photovoltaic Electricity Empowering The World Grrenpaace.* España: Marcombo.

Giovanni, F. N. (2013). *Power Electronics and Techniques*. Francia: Grou.

Giovanni, F. N. (2013). *Power Electronics and Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems*. USA: Elsevier Inc.

GONZALES-LONGATT, F. M. (2006). *GENERALIDADES DE LA MODULACION DE ANCHO DE PULSO*. VENEZUELA: UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.

Horikoshi, I. (2009). *Analisis de las componentes armonicas de los inversores fotovoltaicos de conexion a red*. Madrid: Universidad Carlos III .

Humberto, A. R. (2012). *Metodologia de la Investigacion Cientifica Aplicado a la Ingenieria*. Lima - Peru: FIEE/UNAC.

Isabella, K. J. (2014). *Solar Energy Fundamentals Technology and Systems*. USA: Prentice Hall.

Iturriagagoitia, A. A. (2012). *Teoria de Maquinas*. españa : Tecnun Universidad de Navarra.

Jefferson. (1996). *A Flywheel Variator Energy Storage System. Conversion and Management*.

Jose, R. V. (2008). *Fuentes de Energia*. Madrid España: Marcombo.

maps, g. (s.f.). Obtenido de

<https://www.google.com.pe/maps/place/llave/@-16.1496359,->

69.5687343,14z/data=!4m5!3m4!1s0x915da7d7e918eccd:0x549cc3b5a96624ed!8m2!3d-16.0825395!4d-69.6384724

Maria, M. M. (2011). *Energia Solar Fotovoltaica*. Madrid- España: Marcombo.

MARTIN DELGADO RAUL, L. B. (2012). *DISEÑO E IMPLEMENTACION EXPERIMENTAL DE UN INVERSOR MONOFASICO OPERANDO EN MODO ISLA*. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

Minas, M. d. (2013). *Política del Estado Peruano sobre la Eficiencia Energetica*. Lima: MINEM.

Mora, J. F. (2003). *MAQUINAS ELECTRICAS. Quinta edición*. madrid : McGRAW-HILLINTERAMERICANA DE ESPANA, S. A. U.

mott, r. l. (1995). *diseño elemento de maquinas* . juares - mexico : porentice hall hispanoamericana s.a.

Oscar, P. L. (2015). *Energia Solar Fotovoltaica* . Madrid España: Creative Commons.

PALOMARES QUIROZ MIGUEL, E. E. (2010). *CIRCUITO INVERSOR 12V CC - 110-220V AC-20-40W*. LIMA: SIDERPERU.

Pellegrini, V. S. (2012). *Analisis de los indices de THD de Inversor Solar Sunny Boy SB-1200 en Inyeccion a la red con baja irradiancia solar*. Santiago - Chile: Ed. Fac de Ingenieria .

Quijorna, A. J. (2007). *Elementos de Maquinas*. España: editorial planeta .

RASHID, M. H. (1993). *ELECTRONICA DE POTENCIA*. MEXICO: PRENTICE HALL .

raymond a. serway, j. w. ( 2005). *fisica para ciencias e ingenieria*. mexico: THOMSON.

Roberto, T. P. (2011). *Potencial de las Energias Renovables en el Peru*. Lima: MINEM.

Ruiz, M. A. (2008). *Reductor de Velocidad*. Mexico D.F: Esime.

WILDI, T. (2007). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y SISTEMAS DE POTENCIA SEXTA EDICIÓN*. MEXICO : PEARSON EDUCACIÓN, México, 2007.



## ANEXOS

## Anexo 1: Inversores Phoenix

**victron energy**  
BLUE POWER

### Inversores Phoenix

180VA – 1200 VA    230V/50Hz y 110V/60Hz

www.victronenergy.com



**Phoenix Inverter 12/180**

#### SinusMax – Diseño superior

Desarrollado para uso profesional, la gama de inversores Phoenix es ideal para innumerables aplicaciones. El criterio utilizado en su diseño fue el de producir un verdadero inversor sinusoidal con una eficiencia optimizada pero sin comprometer su rendimiento. Al utilizar tecnología híbrida de alta frecuencia, obtenemos como resultado un producto de la máxima calidad, de dimensiones compactas, ligero y capaz de suministrar potencia, sin problemas, a cualquier carga.

#### Potencia de arranque adicional

Una de las características singulares de la tecnología SinusMax consiste en su muy alta potencia de arranque. La tecnología de alta frecuencia convencional no ofrece un rendimiento tan extraordinario. Los inversores Phoenix, sin embargo, están bien dotados para alimentar cargas difíciles, como ordenadores o herramientas eléctricas de baja potencia.



**Phoenix Inverter 12/800 with Schuko socket**

#### Transferencia de la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Para los modelos de menor potencia recomendamos el uso de nuestro conmutador de transferencia automático "Filax". El tiempo de conmutación del "Filax" es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.

#### Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

#### Interruptor on/off remoto

Conector para interruptor remoto on/off disponible en todos los modelos.

#### Conmutadores DIP para seleccionar 50 ó 60 Hz (sólo en el modelo 48/350)

#### Disponibles con tomas de corriente distintas

Ver las imágenes más abajo.



**Phoenix Inverter 12/350 with IEC-320 sockets**



**Phoenix Inverter 12/180 with Schuko socket**



**Phoenix Inverter 12/180 with Nema 5-15R sockets**



**Phoenix Inverter 12/800 with IEC-320 socket**



**Phoenix Inverter 12/800 with Schuko socket**



**Phoenix Inverter 12/800 with BS 1363 socket**



**Phoenix Inverter 12/800 with AN/NZS 3112 socket**



**Phoenix Inverter 12/800 with Nema 5-15R socket**

Anexo 2: Características del Inversor

Inversor Phoenix	12 Volt 24 Volt 48 Volt	12/180 24/180	12/350 24/350 48/350	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia CA cont. de salida a 25 °C (VA) (3)		180	350	800	1200
Potencia cont. a 25 °C / 40 °C (W)		175 / 150	300 / 250	700 / 650	1000 / 900
Pico de potencia (W)		350	700	1600	2400
Tensión / frecuencia CA de salida (4)	110VAC o 230VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada (V DC)	10,5 - 15,5 / 21,0 - 31,0 / 42,0 - 62,0 9,2 - 17,3 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 68,0				
Alarma de batería baja (V DC)	11,0 / 22 / 44 10,9 / 21,8 / 43,6				
Apagado por batería baja (V DC)	10,5 / 21 / 42 9,2 / 18,4 / 36,8				
Autorrecuperación de batería baja (V DC)	12,5 / 25 / 50 12,5 / 25 / 50				
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)	87 / 88 89 / 89 / 90 91 / 93 / 94 92 / 94 / 94				
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	2,6 / 3,8 3,1 / 5,0 / 6,0 6 / 6 / 6 8 / 9 / 8				
Consumo en vacío en modo de ahorro	n. a. n. a. 2 2				
Protección (2)	a - e				
Temperatura de funcionamiento	-40 to +50°C (refrigerado por ventilador)				
Humedad (sin condensación)	max 95%				
CARCASA					
Material y color	aluminio (azul RAL 5012)				
Conexiones de la batería	1) 1) 1) 1)				
Tomas de corriente CA estándar	230V: IEC-320 (IEC-320 enchufe incluido ), CEE 7/4 (Schuko) 120V: Nema 5-15R				
Otros enchufes (bajo pedido)	BS 1363 ( Reino Unido ) AN/NZS 3112 ( Australia/Nueva Zelanda )				
Tipo de protección	IP 20				
Peso en (kg / lbs)	2,7 / 5,4 3,5 / 7,7 6,5 / 14.3 8,5 / 18.7				
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p en pulgadas)	72x132x200 72x155x237 104 x 194 x 305 104 x 194 x 305 2.8x5.2x7.9 2.8x6.1x9.3 4.1 x 7.6 x 12.0 4.1 x 7.6 x 12.0				
ACCESORIOS					
Interruptor on/off remoto	Conector bifásico				
Conmutador de transferencia automático	Filax				
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Normativas	EN55014-1 / EN 55014-2/ EN 61000-6-2 / EN 61000-6-3				
1) Cables de batería de 1,5 metros (12/180 con encendedor de cigarrillos) 2) Protección a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta 3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 4) La frecuencia puede ajustarse por medio del conmutador DIP (sólo en modelos 750VA)					
d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta					



**Alarma de la batería**

Indica que la tensión está demasiado alta o baja por medio de una alarma visual y sonora, y señalización remota.



**Monitor de baterías BMV-700**

El monitor de baterías BMV-700 dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de medición de alta resolución de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV-700 muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o tiempo restante de carga de la batería, El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.