REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRONICA

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERSOR MONOFÁSICO MODULADO POR ANCHO DE PULSOS MÚLTIPLES PWM DE ONDA COMPLETA CON SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE"

Tesis presentado por el bachiller:
HUICHO MENDIGURE, Alfz.
Para optar el título profesional de:
Ingeniero Electrónico.

Arequipa – Perú.

2015.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA.

A Dios todo poderoso que me ilumina y guía en todo mi vivir, a mis padres Aniceto Huicho y Sabina Mendigure que con su sacrificio y comprensión me instruyeron y orientaron el camino a seguir hasta sus últimos días que en paz descansen, a mis hermanos, Victoria, Nely, Edy, Betty, Freddy y Ross Mery Huicho Mendigure que me apoyan y animan incondicionalmente dándome el ejemplo a seguir, a mis hijos S. Harol, K. Lisbet y J. Steven, quienes son mi inspiración y motivo para seguir adelante.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a todo los docentes del programa profesional de Ingeniería Electrónica por sus consejos y aportes con conocimientos y sus experiencias lo que lograron complementar mi formación en lo social y académico.

En especial a los ingenieros.

Raúl Sulla, Cesar Málaga y Juan Carlos Copa por su tiempo y aportes científicos en revisión corrección de mi tesis que enriquecieron el presente trabajo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN.

La industria actual y futura, depende y dependerá de la energía eléctrica mientras no se encuentre otro mecanismo de propulsión para las máquinas y equipos tanto en aplicaciones industriales y domésticas, por lo tanto la conversión de energía de cc a alterna e viceversa es una necesidad continua tanto en formas de generar, transportar, almacenar, convertir de CC a AC y AC a CC. Y en el proceso de conversión de CC a AC existen los llamados inversores.

Pueden existir diversas técnicas de conversión de CC a AC pero necesariamente deben de existir algunos requerimientos mínimos exigibles que deben de cumplir de acuerdo a cada aplicación.

En esta tesis se desarrollará una técnica de control parecida a PWM senoidal Modificada de altas prestaciones en el control del inversor para el puente H, con la diferencia e introducción de generación exclusivamente por software, lo que reduce costos y apto para el control no solo de inversores, sino también de variadores de velocidad y UPS.

Adicionalmente se plantea el diseño de instrumentos de bajo costo como voltímetros, amperímetro, detector de polaridad inversa y temperatura capaces de supervisar las condiciones de funcionamiento del Inversor e incrementar el rendimiento en el tiempo disponible para aplicaciones domesticas e industriales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La tesis en mención: **Diseño e implementación de un inversor monofásico modulado por ancho de pulsos múltiples PWM de onda completa con sistemas de protección de corriente y voltaje**, se divide en cuatro capítulos, cuyos títulos son los siguientes:

Capítulo I: Planteamiento del proyecto de investigación.

Capítulo II: Marco teórico.

Capítulo III: Desarrollo de bloque que forma el inversor tanto el hardware como software.

Capítulo IV: Planteamiento operacional.

En el capítulo I se planteará el problema y se justifica el motivo de estudio y desarrollo de la presente tesis. En el capítulo II se realizará el estudio de los inversores y los microcontroladores. En el capítulo III se desarrollará el diseño propiamente del inversor y el control así como de los elementos de protección para el inversor. En el capítulo IV se describe el funcionamiento propio del equipo como: consideraciones de funcionamiento, operación, mantenimiento así como cuantificación del costo y comparación del inversor implementado respecto a otros equipos en el mercado.

Al final se aprecia las conclusiones, recomendaciones, anexos y la respectiva bibliografía que ha sido tomada en cuenta para el desarrollo de la presente tesis.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Resumen.

En el presente trabajo de tesis se presenta el diseño, simulación e implementación de un inversor monofásico, mediante el control de modulación de ancho de pulsos múltiples basado en microcontrolador, apto para cualquier tipo de carga, siendo equipo complementario para aplicaciones en sistemas aislados de generación energética fotovoltaica con altas prestaciones por combinar hardware y software asociado a un adecuado diseño e integración.

La necesidad de contar con equipos complementario a lugares donde no existe energía eléctrica del sistema interconectado, carencia de tecnología en la implementación de inversores en los industriales dedicados al ensamble de inversores en el Perú y el dominio de empresas extranjeras reconocidas con elevados costos han motivado para presentar una solución e innovación en el sistema de control de los inversores introduciendo el microcontrolador como elemento principal de control y monitoreo de variables eléctricas en inversores, haciendo que se incremente sus prestaciones a bajo costo dando solución no solo a personas que viven alejadas, sino a todo aquel quien desea utilizar energía fotovoltaica como solución a su carencia energética siendo la producción en DC y la mayoría de los equipos funcionan con AC.

En el presente trabajo se encuentra el diseño completo de hardware y software que básicamente consta de un puente H monofásico con 4 transistores, transformador elevador para la etapa de potencia, en la etapa de control el elemento principal es el microcontrolador 16F877A asociado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

por componentes electrónicos - eléctricos que acondicionan para que la excitación a la etapa de potencia sea efectiva y la etapa de protección consta de instrumentos como voltímetro y amperímetro diseñado e implementado por componentes activos y pasivos comprendiendo la conversión análoga-digital y controlado por un segundo microcontrolador de la misma familia de con sistema de visualización mediante LCD y fusibles convenientemente seleccionados.

La parte de software se implementó en lenguaje de alto nivel C, que genera una señal de modulación de ancho de pulsos múltiple PWM de dos canales para el control en los 2 cuadrantes del puente H para que la salida sea aproximadamente a una señal senoidal pura.

En la parte final de la presente tesis se exhibe las conclusiones, recomendaciones y anexos que aportan información relevante a los diseñadores y ensambladores en el Perú que por el momento solo lo realizan mediante hardware.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ABSTRAC

In this thesis presents the design, simulation and implementation of a phase inverter, through the control of pulse width modulation multiple based on microcontroller, suitable for any type of load, being complementary equipment for applications in isolated systems of photovoltaic energy generation with high performance by combining hardware and software associated with a suitable design and integration.

The need for supplementary equipment to places where there is no electrical power to the grid, lack of technology in the implementation of investors in the industry dedicated to the ensemble of investors in Peru and the domain of foreign firms recognized with high costs have been motivated to submit a solution and innovation in the control system of the investors by entering microcontroller as the main element of control, and monitoring of electrical variables in investors doing that will increase its benefits to low-cost solution giving not only to people who live far away, but to anyone who need to use of photovoltaic energy as a solution to your energy deficiency being the production in dc And the majority of machines run on AC.

In the present work is the design of complete hardware and software that basically consists of a H-bridge single phase with 4 transistors, step-up transformer for the power stage, in the stage of control the main element is the microcontroller 16F877A associated by electronic components - electric that conditioned to that the excitement to the stage of power becomes effective and the stage of protection consists of instruments, such as voltmeter and ammeter designed and implemented by active and passive

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

components comprising the conversion analog-digital and controlled by a second microcontroller of the same family of system with LCD display and using fuse conveniently selected.

The part of software was implemented in high-level language C, which generates a signal pulse width modulation multiple two PWM channels for the control in the 2 quadrants of the H-bridge to the exit is approximately to a pure sine waveform signal.

Additionally, it includes findings and recommendations appreciated during the development of the present thesis providing relevant information to designers and assemblers in Peru which, for the moment, only it is done by hardware.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE GENERAL

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO.

Introducción 4

Resumen 6

Abstract 8

Índice de figuras XVIII

Índice de tablas XXI

CAPITULO I

Marco metodológico

1.1. Título 22

1.2. Introducción 22

1.3. Planteamiento metodológico 24

1.3.1. Descripción del problema 24

1.4. Objetivos 27

1.4.1. Objetivo general 27

1.4.2. Objetivos específicos. 27

1.5. Hipótesis 28

1.5.1. Hipótesis principal 28

1.5.2. Hipótesis secundarias 28

1.6. Variables 28

1.6.1. Variable dependiente 28

1.6.2. Variable independiente 28

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.7. Indicadores 28

1.8. Antecedentes de la investigación 29

1.8.1. Proyectos y/o investigaciones similares encontradas a nivel nacional. 29

1.8.2. Proyectos y/o investigaciones similares encontrados a nivel internacional. 29

CAPITULO II

Marco teórico

2.1 Los inversores. 32

2.1.1 Introducción. 32

2.1.2 Definición del inversor. 33

2.1.3. Estructura básica de un inversor. 34

2.1.4. Principio de funcionamiento. 34

2.1.5. Clasificación. 36

a. Señal de entrada. 36

b. Señal de salida. 37

c. Etapa de potencia. 37

d. Por el tipo de control. 39

2.2. Inversores modulados por ancho de pulso PWM. 39

2.2.1. Modulación de PWM múltiple por hardware. 40

2.2.2. Modulación de PWM múltiple por software. 42

2.3. Aplicación de los inversores. 43

2.3.1. En variadores de velocidad. 43

2.3.2. Sistemas de alimentación ininterrumpida UPS. 44

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4. Los microcontroladores. 44

2.4.1. Introducción. 44

2.4.2. Definición 45

2.4.3. Campos de aplicación. 45

2.4.4. Ventajas e inconvenientes. 46

a. Ventajas. 46

b. Inconvenientes y/o desventajas. 47

2.4.5. Estructura de los PICs. 47

2.4.6. Arquitectura básica de los microcontroladores. 47

a. Sección de entrada. 48

b. Unidad Central de proceso (CPU). 48

c. Sección de salida 49

d. La unidad de alimentación. 49

e. La unidad de programación. 49

2.4.7. Programación. 49

2.4.8. Equipo periférico. 50

2.4.9. Métodos de entrada y salida 50

a. Bloqueo del proceso: 50

b. Consulta periódica (polling): 51

c. Interrupción: irq 51

2.4.10. Interfaces. 51

2.4.11. Memoria de programa 51

a. EPROM. 52

b. EEPROM. 52

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. FLASH. 52

2.4.12. Memoria de datos 52

2.5. Capacidad de Microcontroladores 52

2.5.1. Gama baja 53

2.5.2. Gama media 54

2.5.3. Gama alta 55

2.6. Microcontroladores de microchip 55

2.6.1. Microcontroladores comerciales de michochip. 56

2.6.2. Gama baja o básica: pic16c5x 56

2.6.3. Gama media: pic16cxxx 57

2.6.4. Gama alta: pic17cxxx 58

2.6.5. Gama mejorada: pic18c(f)xxx 59

2.6.6. El PIC 16f877. 60

2.7. Sensores 61

2.7.1. Clasificación de los sensores. 61

a. sensores de magnitudes de dimensión. 61

b. sensores de magnitudes de fuerza. 61

c. sensores de magnitudes de cantidad de material. 61

d. Sensores de temperatura. 61

e. Sensores de magnitud electromagnéticas. 61

2.7.2. Sensor de voltaje. 62

2.7.3. Sensor de corriente. 62

a. El transformador de corriente ct. 62

b. Sensores de efecto hall. 62

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.8. Sistemas de protección eléctricos 63

2.8.1. Protecciones mecánicas. 63

2.8.2. Protección lógica o programada. 64

CAPITULO III

3. Diseño del equipo. 65

3.1. Especificaciones técnicas 66

3.1.1. especificaciones eléctricas 66

3.1.2. Especificaciones de funcionamiento. 66

3.2. Diagrama de bloques del equipo. 67

3.3. Diagrama de bloques desarrollado. 67

3.4. Desarrollo por bloques. 68

3.4.1. Diseño de fuente de alimentación. 68

a. Criterios de diseño e implementación. 68

b. Diagrama de bloques del fuente de alimentación. 69

c. Especificaciones técnicas eléctricas. 69

d. Circuito. 70

e. Cálculos 70

f. Implementación. 72

g. Pruebas. 72

3.4.2. Sensor de voltaje. 73

a. Criterios de diseño e implementación. 73

b. Especificaciones técnicas. 74

c. Circuito. 74

d. Cálculos. 74

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e. Implementación. 75

f. Pruebas. 76

3.4.3. Sensor de corriente. 77

a. Criterios de diseño e implementación. 77

b. Diagrama de bloques del sensor de temperatura. 77

c. Especificaciones técnicas eléctricas. 78

d. Circuito. 78

e. Cálculos 78

f. Implementación. 81

g. Pruebas. 81

3.4.4. Sensor de temperatura. 82

a. Criterios de diseño e implementación. 82

b. Diagrama de bloques del sensor de temperatura. 83

c. Especificaciones técnicas eléctricas. 83

d. Circuito. 84

e. Cálculos 84

f. Implementación. 87

g. Pruebas. 88

3.4.5. Sensor de inversión de polaridad. 88

a. Criterios de diseño e implementación. 88

b. Diagrama de bloques. 88

c. Especificaciones técnicas eléctricas. 89

d. Circuito. 89

e. Cálculos 89

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f. Implementación. 91

g. Pruebas. 91

3.4.6. Etapa de control de disparo. 91

a. Circuito. 91

b. Algoritmo de software para generar modulación de ancho de pulsos múltiple de dos canales para el control de puente h (PWMs). 92

c. Implementación. 94

d. Pruebas. 94

3.4.7. Etapa de potencia. 95

a. Criterios de diseño e implementación. 95

b. Diagrama de bloques. 96

c. Especificaciones técnicas. 96

d. Circuito. 96

e. Cálculos 97

f. Implementación. 98

g. Pruebas. 98

3.5. Diseño de software. 98

3.5.1. Cantidad de entradas y salidas 99

3.5.2. Diagrama de flujo del programa. 100

3.5.3. Sub rutinas. 102

a. Subrutina del sensor de corriente. 102

b. Subrutina del sensor de voltaje. 103

c. Subrutina de sensor de temperatura. 103

d. Subrutina de visualización. 104

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e. Subrutina de tratamiento de alarmas. 104

CAPITULO IV

Planteamiento Operacional.

4.1. Esquema conceptual 106

4.2. Descripción del equipo. 107

4.3. Análisis de costos. 108

4.3.1. Costo de producción del inversor diseñado y ensamblado en Perú. 108

4.3.2. Cuadro comparativo del inversor UCSM-001 respecto a otras marcas reconocidas. 111

4.4. Mantenimiento. 112

4.5. Resultados experimentales. 112

4.5.1**.** Prueba N1.- Inversor con la etapa elevadora conectada sin Carga. 113

4.5.2. Prueba N2.- Inversor con carga Electrónico (Lámpara fluorescente ahorrador 25 W). 115

4.5.3. Prueba N3.- Inversor con Carga Resistivo (Lámpara incandescente de 100W). 116

4.5.4. Prueba N4. Sistema de Control y monitoreo de variables. 116

4.5.6. Prueba N5.- Sistema de protección. 117

Conclusiones. 119

Recomendaciones. 121

BIBLIOGRAFIA 122

Anexos. 123

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPITULO II

Figura 2.1: Representación básica en Bloques del Inversor. 34

Figura 2.2: Esquema básico de un inversor 35

Figura 2.3: clasificación de los inversores 36

Figura 2.4: Diferencia entre un inversor monofásico y trifásico. 37

Figura 2.5: Configuración medio puente. 38

Figura 2.6: Configuración Puente H completo. 38

Figura 2.7: Configuración push pull. 38

Figura 2.8: Forma de onda modulación ancho de pulsos senoidal modificada SPWM con circuitos activos y pasivos. 41

Figura 2.9: Modulación de ancho de pulsos múltiples senoidal modificado. 41

Figura 2.10: Señal de control con modulación de ancho de pulsos múltiples generado con PIC 16f877A todo mediante software. 42

Figura 2.11: Arquitectura de PIC 48

Figura 2.12: Interfaces de un PIC 51

CAPITULO III

Figura 3.1: Diagrama de bloques del inversor. 67

Figura 3.2: Diagrama de bloques desarrollado del inversor. 68

Figura 3.3: Diagrama de bloques fuente DC para las tarjetas del inversor. 69

Figura 3.4: Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación. 70

Figura 3.5: PCB de la fuente de alimentación. 72

Figura 3.6: Diagrama eléctrico del sensor de voltaje. 74

Figura 3.7: PCB del sensor de voltaje. 75

Figura 3.8: Grafico de respuesta del sensor de voltaje. 76

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 3.9: diagrama de bloques del sensor de corriente. 78

Figura 3.10: Diagrama eléctrico del sensor de corriente y acondicionamiento. 78

Figura 3.11: Respuesta y salidas deseadas del sensor de corriente. 79

Figura 3.12: grafico de puntos de respuesta del sensor. 79

Figura 3.13: PCB del sensor de Corriente. 81

Figura 3.14: Respuesta del sensor de corriente. 82

Figura 3.15 Diagrama de bloques del sensor de temperatura. 83

Figura 3.16: Esquema eléctrico del sensor de Temperatura y acondicionamiento de señal. 84

Figura 3.17: Respuesta y salida deseada del sensor de temperatura. 85

Figura 3.18: Grafica de la pendiente a partir de puntos de operación. 85

Figura 3.19: PCB del sensor de temperatura. 88

Figura 3.20: diagrama de bloques del sensor de polaridad inversa. 89

Figura 3.21: Diagrama eléctrico de Protección de Polaridad. 89

Figura 3.22: PCB del sensor de polaridad inversa. 91

Figura 3.23: Diagrama eléctrico del generador PWM. 92

Figura 3.24: Patrón de ondas del PWM múltiple generadas por matlab. 92

Figura 3.25: Diagrama de flujo del generador PWM 2 canales. 93

Figura 3.26: PCB de control de disparo. 93

Figura 3.27: Señal PWM múltiple de dos canales generado por PIC. 94

Figura 3.28: Señal ampliada de modulación de ancho de pulsos múltiples PWM generado por PIC. 94

Figura 3.29: Diagrama de bloques de la etapa de potencia. 95

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 3.30: etapa de potencia en configuración H del inversor. 96

Figura 3.31: PCB del Puente H del inversor. 98

Figura 3.32: Diagrama de flujo del software del inversor. 101

Figura 3.33: Diagrama de flujo de subrutina de corriente. 102

Figura 3.34: Diagrama de flujo de subrutina de sensor de voltaje. 103

Figura 3.35: Diagrama de flujo de subrutina sensor de Temperatura. 103

Figura 3.36: Diagrama de flujos de tratamiento de alarmas. 105

CAPITULO IV

Figura 4.1: Respuesta de etapa de potencia del inversor. 113

Figura 4.2: Respuesta de etapa de potencia del inversor ampliada. 114

Figura 4.3 Respuesta del inversor con transformador de mayor tamaño. 114

Figura 4.4: Respuesta de TFF del inversor. 115

Figura 4.5: Respuesta del inversor conectado a fluorescente. 115

Figura 4.6: Respuesta del inversor conectado a carga resistiva. 116

Figura 4.7: Panel principal del inversor con mensaje de inicialización. 117

Figura 4.8: Panel de control del inversor midiendo voltaje y corriente. 117

Figura 4.9: Respuesta de etapa de potencia del inversor. 118

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características de modelos de la gama básica. *57*

Tabla 2.Características de PIC16X8X de la gama media. *58*

Tabla.3 Características de algunos modelos PIC17CXXX. *59*

Tabla 4. Características de algunos modelos PIC18C (F)XXX. *60*

Tabla 5. Características Funcionales del inversor. *66*

Tabla 6: Prueba de resultados de la fuente de alimentación. 72

Tabla 7: Respuestas del sensor de voltaje. 76

Tabla 8: PCB del sensor de temperatura. 82

Tabla 9: tabla de estados del puente H del inversor. 96

Tabla 10: Resumen de entradas digitales y análogas del inversor. 99

Tabla 11: Etapa de potencia en configuración H del inversor. 99

Tabla 12: Resumen de costos de materiales del inversor. 109

Tabla 13: Resumen de costos del producto terminado expresado en soles de acuerdo al mercado local. 110

Tabla 14: Cuadro comparativo de precios de inversores de Procedencia diversa. 111

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. TÍTULO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERSOR MONOFÁSICO MODULADO POR ANCHO DE PULSOS MÚLTIPLES PWM DE ONDA COMPLETA CON SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE”.

1.2. INTRODUCCIÓN

Históricamente el uso de los inversores ha tenido inconvenientes para los diseñadores e industriales, pero su uso es cada vez más masivo en todos los sectores desde las personas que viven en zonas aisladas hasta las grandes industrias que requieren minimizar los costes por concepto de energía en sus instalaciones con difícil acceso, o por cuestiones ambientales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Pero en el mercado, se encuentran disponibles diversos tipos de inversores por marcas, potencias, eficiencias y calidad con precios variables en función a sus prestaciones de las mismas.

El coste está directamente relacionado con la eficiencia de las mismas, por su electrónica elaborada requieren de componentes electrónicos costosos en su construcción, haciendo que se segmente el uso conforme a su disponibilidad económica de los usuarios finales, siendo los industriales con ventajas en su uso.

Pero existe otro grupo de consumidores que están en lugares alejadas de la red eléctrica, que usualmente se abastecen de la energía por sistemas fotovoltaicos u otros alternos que requieren inversores elaborados para su exigentes cargas como celulares, laptop, computadora personal, videojuegos, televisores digitales, sistemas de iluminación, motores, sistemas de bombeo, etc. Pero el costo es limitante o se malogran sus equipos en menor tiempo de su vida útil por utilizar inversores con salida cuadrada o alternos que su economía les permite adquirir por su coste.

Dentro del grupo de inversores más allá de su costo, existen una clasificación por la forma de la señal de salida que tienen, la cual está relacionada con el rendimiento y eficiencia siendo estas: cuadrada, cuasi cuadrada y senoidal. Los inversores senoidales son aptos para cualquier tipo de carga, mas no así las anteriores.

Hasta el momento el ensamble de inversores en su mayoría son puro hardware por lo que requiere dispositivos semiconductores varios, reflejando en el costo final de los equipos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la presente tesis se combinar hardware y software para mejorar el algoritmo de control basado en microcontrolador el mismo que reduce costos ya que por software se realizan múltiples tareas que por hardware requiere de muchos dispositivos eléctricos.

Y con el presente diseño se aporta al desarrollo de tecnología nacional por nuevas alternativas de solución con componentes y dispositivos disponibles en el mercado como es el caso de los microcontroladores combinados por dispositivos activos y pasivos.

1.9. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.9.1. Descripción del Problema

A pesar del interés del estado en electrificar masivamente a los ciudadanos en todo el Perú, esta no se concretiza por factores diversos como: gestión, zona geográfica y su coste en la implementación de las líneas de transmisión.

Otra política fue optada por la implementación de sistemas fotovoltaicos básicos que como política nacional viene siendo implementado a través de la Pontificia Universidad Católica del Perú, al cual tiene dificultades en su implementación.

Los gobiernos locales vienen implementando sistemas fotovoltaicos que solo consta de: panel solar, regulador de carga y batería; no siendo completa para su uso en sus diferentes artefactos que el poblador requiere y generándose necesidad de tener inversores para la mayoría de sus equipos: (TV, receptor de radio, celulares, DVDs, motores, maquinas, bombas de agua, etc).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A pesar que muchas familias tienen sistemas fotovoltaicos en sus casas, todavía tienen que ir a capital del distrito o provincia para cargar sus celulares, linternas recargables, etc.

La migración del campo hacia capitales de distritos, provincias o ciudades entre otros factores la que más resalta es la carencia de energía eléctrica que según los migrantes, la falta de energía eléctrica limita su desarrollo.

En el sector rural el uso de mecheros y velas, más allá de su alto costo también el riesgo de ocasionarse incendio es el problema fundamental que sobre todo es utilizado por los estudiantes de primaria y secundaria las que están expuestos a tales consecuencias.

En el sector industrial es de necesidad urgente por exigencias ambientales del estado el monitoreo de calidad de agua, aire y suelo en diversos puntos establecidos, que su implementación es muy costosa por el tendido de red primaria y secundaria del sistema interconectado por la empresa, ya que dichos puntos de monitoreo son distancias considerables en el orden de kilómetros desde el punto de operación de dichas empresas, lo que con sistemas fotovoltaicos y un inversor de altas prestaciones a bajo costo se solucionaría el problema.

En el Perú existen personas naturales y pequeñas empresas que se dedican a ensamblar inversores la mayoría ensambla inversores con salida de onda cuadrada que a la larga en vez de solucionar el problema de energía eléctrica, genera más problemas, ocasionando fallas hasta el destrozo de sus equipos, ya que la mayoría de los equipos están diseñadas para entradas de onda senoidal pura o cuasi senoidal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los inversores ensamblados en Perú la mayoría son con tecnología rezagada siendo menos eficiente con bajas prestaciones ya que la mayoría son de media onda si son de onda completa son de 2 y 3 niveles siendo estas cuadradas la mayoría.

Otro de las dificultades es que los inversores hechos en Perú más allá de su calidad, no cuentan con un sistema de protección adecuado, y si las tiene solo es protegida por sistema de fusibles, que los usuarios por desconocimiento una vez quemado, las reemplazan por otro de alto valor o por conductor eliminando de este modo su sistema de protección del inversor, trayendo como consecuencia sobrecalentamiento o destrucción del equipo.

Es por estas consideraciones que se ha propuesto **diseñar e implementar un inversor monofásico por modulación por ancho de pulsos múltiples PWM de onda completa con sistemas de protección de corriente y voltaje**, aportando tecnología y mayores prestaciones en rendimiento de inversores de bajo costo asociados a seguridad y garantía de inversión para los usuarios.

El sistema de control PWM será implementado mediante microcontrolador, también el sistema de protección es por el mismo sistema haciendo que el costo sea menor e incrementar las prestaciones del inversor ya que está basado en software lo que complementa y eleva la calidad del equipo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.10. Objetivos

1.10.1. Objetivo General.

El objetivo general de este trabajo de tesis es el diseño e implementación de un inversor PWM con salida cuasi senoidal embebido con sistema de protección de corriente y voltaje basado en microcontrolador PIC 16F877A de onda completa, cumpliendo especificaciones de diseño establecidas.

1.10.2. Objetivos Específicos.

- Introducir el uso de microcontroladores como elemento de control en inversores por medio de software como elemento principal.
- Disponer de inversores combinados de hardware y software de altas prestaciones a bajo costo.
- Promover la protección del medioambiente, utilizando energías fotovoltaicas como alternativa de generación de energía eléctrica.
- Aportar a la tecnología nacional con el uso de la inversión de CC a AC no solo para inversores sino para los UPs y variadores de velocidad para impulsar la industria nacional.
- Evaluar la mejor alternativa de control mediante software y hardware para el control de los inversores.
- Aportar conocimientos a diseñadores y ensambladores peruanos, en diseño y aporte tecnológico para diferentes necesidades colectivas de la sociedad así como para las industrias.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.11. Hipótesis

1.11.1. Hipótesis Principal

¿Es posible diseñar e implementar inversores de onda completa con modulación por ancho de pulsos múltiples y sistema de protección de corriente y voltaje basado en microcontroladores?.

1.11.2. Hipótesis Secundarias

Debido al poco desarrollo de nuestro país, en cuanto a industria electrónica, este diseño logrará mejorar la calidad de inversores con salida cuasi senoidal, sistema utilizado en variadores de velocidad con altas prestaciones para cargas inductivas, siendo un inversor, adecuado para todo tipo de cargas incluidas las inductivas.

1.12. Variables

1.12.1. Variable Dependiente

Se controlara el voltaje de entrada por medio de modulación de ancho de pulsos múltiples PWM para tener salida en voltaje y corriente constante con una onda senoidal.

1.12.2. Variable Independiente

La frecuencia de salida y la corriente senoidal que no deberían de variar a pesar de fluctuaciones en entrada y someter a diversas cargas como resistivas, inductivas o combinadas.

1.13. Indicadores

1. Forma de onda en la salida del inversor.
2. Voltaje AC.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. Frecuencia de salida del inversor que debe ser + - 5% del sistema eléctrico nacional.

Dichos indicadores podrán ser verificados por instrumentos de medición como el multímetro y osciloscopio.

1.14. Antecedentes de la Investigación

1.14.1. Proyectos y/o investigaciones similares encontradas a nivel nacional.

- Proyecto, Central Eléctrica Fotovoltaica Majes, que aporta 20MW al sistema interconectado, desarrollado e implementado por grupo Español T-Solar.

  La diferencia radica, que por ser empresa extranjera su sistema de conversión es senoidal pura lo que permite proveer energía eléctrica al sistema interconectado del Perú, con nuestra propuesta se impulsaría la investigación y análisis de nuevas alternativas para llegar a tal fin.

1.14.2. Proyectos y/o investigaciones similares encontrados a nivel internacional.

- La empresa Solener, ha diseñado inversores específicamente para energía solar, en su modelo S-500 y S-3500, utiliza PWM con puente completo, además, está protegido contra cortocircuito, sobrecarga, calentamiento excesivo, sobretensión e inversión de polaridad.

  La diferencia con la presente tesis radica en que Solener está basado en microprocesador lo que eleva su costo e incrementa sus prestaciones; en cambio se propone con microcontrolador reduciendo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

costo y con prestaciones parecidas, lo que ningún equipo ensamblado en el Perú cumple dichos requerimientos.

- José Daniel Rodríguez Flores en su artículo publicado “INVERSOR MONOFASICO SPWM BASADO EN dsPIC 30F4011” Venezuela – 2010, propone el control PWM con el uso de un dsPIC para el control de un inversor monofásico, pero aun genera dos señales una de dente de sierra y la compara con entrada senoidal proveniente de otra fuente para luego comparar y obtener PWM, que para fines didácticos pudiera ser aceptable mas no como equipo.

  La diferencia con la tesis propuesta es que por algoritmos complejos se obtiene dos señales PWM sin necesidad de otras fuentes externas, siendo autónomo e implementado mas no propuesto, pudiendo inclusive destinarse para fines comerciales a mayor escala de producción.
- El Centro de Investigación en Energías, UNAM de la Universidad Autónoma de México, realizo la investigación acerca de “sistemas fotovoltaicos interconectados a la red” en la que resalta el rol de los INVERSORES para tal fin, concluyendo que los inversores basados en microprocesador con PWM y una electrónica elaborada se logra, inversores con salida senoidal pura cumpliendo las estándares exigidos con especificaciones de protección EMI y FRI lo que con la implementación por microcontrolador hace las veces del microprocesador como se propone en el presente tesis.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Empresas reconocidas como EATON, SIEMENS, ROCKWELL AUTOMATION, SCHNEYDER ELECTRIC, TOSHIBA, ABB, etc. En su línea de soluciones para la industria disponen de equipos como: variadores de velocidad, UPS e inversores, en alguna etapa de sus equipos siempre existe la etapa inversora. Aunque se desconoce el esquema eléctrico, pero en sus especificaciones de sus equipos hacen mención de inversión multinivel de hasta 24 niveles, control vectorial y PWM todas basadas en microprocesador, incluidas con protocolos de comunicación pero muy costosas que solo las empresas industriales acceden.

  La diferencia que se propone es dar soluciones con microcontrolador de PWM múltiple, para que el control propuesto no sea solo en los inversores, sino en variadores de velocidad y UPSs, aceptables en la industria minera petrolera, pesquera que requieren altas exigencias y robustez, dejando además abierta la posibilidad de seguir investigando en protocolos de comunicación que puedan incluir en dichos equipos que los microcontroladores disponen en la actualidad como es el Ethernet.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Los inversores.

2.1.1 Introducción.

La mayoría de los equipos eléctricos y electrónicos funcionan con corriente alterna por razones prácticos y sobre todo la facilidad de transporte y menor perdidas de energía, pero en sistemas aislados o donde la carencia de fuente alterna es evidente, por razones de distancia y costo, en estas condiciones las necesidades de energía siempre está presente y en algunos casos por su naturaleza de la carga no puede ser reemplazado por fuentes de corriente continua.

Bajo estos requerimientos surge la necesidad de convertir la corriente continua en alterna, para de ese modo solucionar todas las necesidades y exigencias de carga.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De allí surgen diversos propuestas de conversión de corriente continua en alterna bajo sistemas de control por diversas tecnologías desde control por corriente y voltaje, en la presente tesis se avoca estrictamente a inversores controlados por voltaje dejando de lado el control por corriente debido a que son más adecuados para controlar variadores de velocidad por que compensan la variación de la velocidad en función a la frecuencia/voltaje y por ende por corriente.

Dentro del grupo de los inversores controlados por voltaje hay dos clasificación principales de monofásico y trifásico, dentro de ellas existe otras clasificaciones por la forma de onda de salida resumiendo que los que más eficientes son de onda senoidal que es el adecuado para todo tipo de carga el cual se logra por técnicas avanzadas de PWM todos con control análogo, pero se en la presente investigación se propone control PWM múltiple por medio de software con el uso de microcontrolador.

2.1.2 Definición del inversor.

Los inversores son equipos electrónicos que tienen la función de cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje de corriente alterna simétrica, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Un inversor ideal, se asume que la onda de salida es senoidal pura con frecuencia fija, libre de armónicos y ruido; capaz de alimentar cualquier tipo de carga, pero en la práctica esta consideración no es posible por la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

utilización de los semiconductores y el swicheo de la etapa de potencia, existirá ruidos y armónicos que reduce el rendimiento del inversor.

Pero con técnicas de modulación por ancho de pulsos sinusoidal y sinusoidal modificado, tal como afirma Rashid en su libro "Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones" 3 Edid-México 2004; así como wikepedia en su portal afirma que los inversores con modulación de ancho de pulsos se puede aproximar a un a senoidal pura, haciendo que la sinusoide fundamental sea más grande respecto a los armónicos superiores.

2.1.3. Estructura básica de un inversor.

Los inversores siendo simples o complejas consta necesariamente de un oscilador y etapa elevadora de voltaje y corriente.

El oscilador es el encargado de realizar el control de swicheo a los transistores, Mosfet, IGBTs, GTOs, etc, para luego por medio de un transformador suavizar la forma de salida de la onda y a su vez elevar el voltaje de entrada a otra deseada.

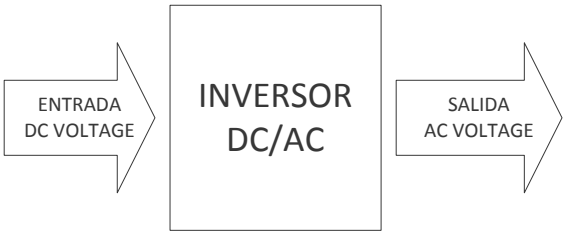


Figura 2.1: Representación básica en Bloques del Inversor

Fuente 1: [elaboración propia]

2.1.4. Principio de funcionamiento.

El voltaje de DC es conmutado por medio de un sistema de control llamado también circuito de disparo, que gobiernan la apertura y cierre a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

los dispositivos de potencia, siendo Transistor, Mosfet, IGBT u otros que se comportan como switch para dejar de pasar corriente en intervalos de tiempo definidos hacia la carga considerando con una carga resistiva como se aprecia en la figura.

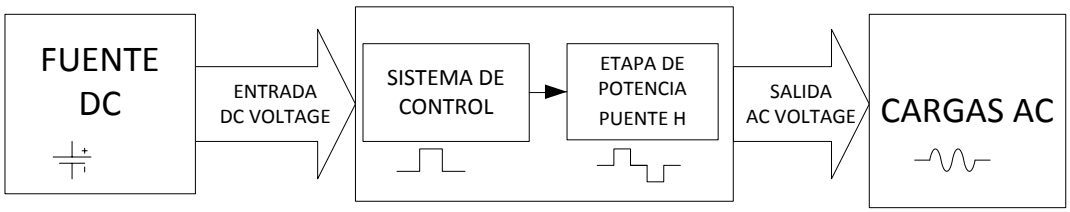


Figura 2.2: Esquema básico de un inversor

Fuente 2: [Fuente elaboración Propia]

Cuando Q1 se enciende durante un tiempo —, el voltaje instantáneo v_o a través de la carga es —, en cambio cuando se Q_2 es encendida durante el siguiente —, el voltaje instantáneo parece –— a través de la carga.

En consecuencia el voltaje de salida expresado en raíz cuadrático medio RMS se puede calcular con la formula siguiente.

— — — — (2.1)

El voltaje de salida se expresa con la siguiente ecuación.

— (2.2)

– — — — (2.3)

2.1.5. Clasificación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Existe diversas clasificaciones atendiendo desde diversos puntos de vista, como por el control de parámetros siendo por tensión y corriente, por la señal de salida, etapa de potencia y el tipo de control, aunque en algunos casos son vinculantes una respecto a otra, pero se hará mención los más relevantes relacionados con el presente investigación las que corresponde por el tipo de control y etapa de potencia.

En la gráfica siguiente se muestra la clasificación posible de los inversores

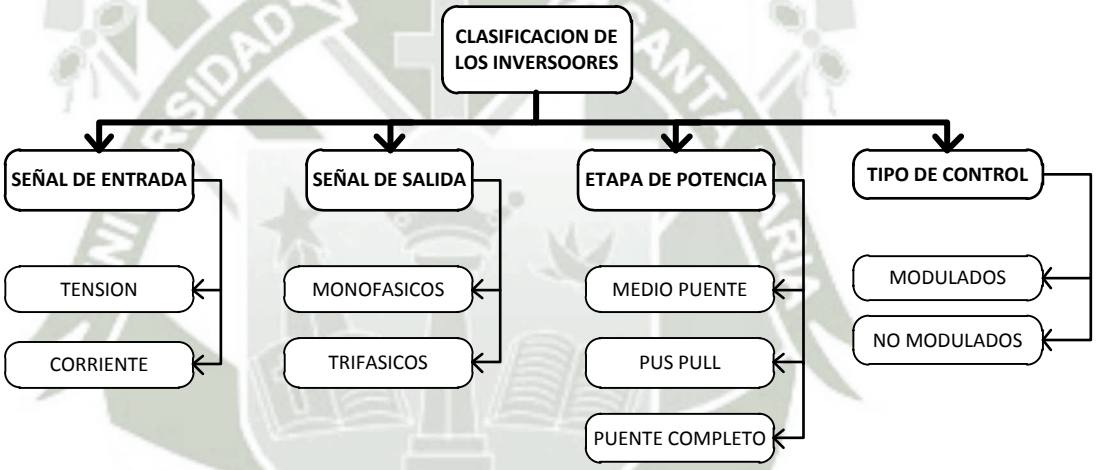


Figura 2.3: Clasificación de los inversores

Fuente 3: [Fuente elaboración Propia]

a. Señal de entrada.

En esta clasificación comprende por el control de parámetro, resaltando los inversores controlados por voltaje y corriente; de acuerdo a la aplicación se puede precisar que los inversores controlados por voltaje es de propósito general, en cambio los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

inversores controlados por corriente tiene aplicación en variadores de velocidad que con la variación de corriente se logra compensar la relación de Voltio/Frecuencia de cambio para diversas velocidades.

b. Señal de salida.

Se podría mencionar de forma general que los inversores sean monofásicos y trifásicos, la diferencia radica que el trifásico son 3 inversores monofásicos. De hecho el control a realizar tiene variaciones del monofásico para tener en consideración los desfases de 120° de una fase respecto a la otra como se requiere por norma.

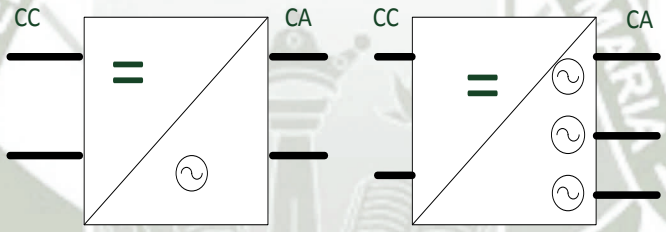


Figura 2.4: Diferencia entre un inversor monofásico y trifásico.

Fuente 4: [Fuente elaboración propia]

c. Etapa de Potencia.

Aquí existe tres configuraciones elementales, de medio puente, push pull y puente completo como se aprecia en las siguientes figuras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

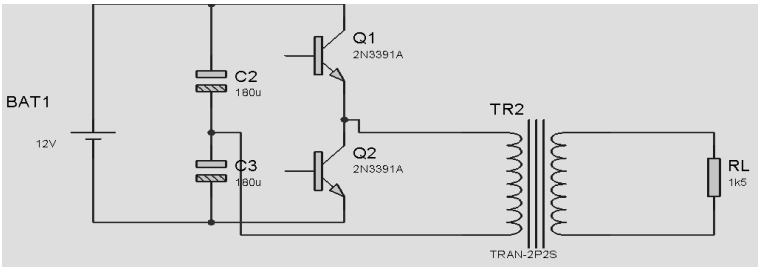


Figura 2.5: Configuración medio puente.

Fuente 5: [Elaboración propia]

La figura 2.6. Representa a una configuración puente completo llamado también puente H con cuatro transistores u otro en la etapa de potencia.

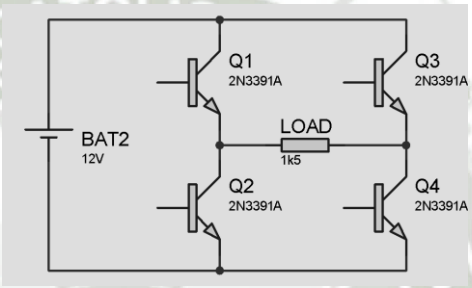


Figura 2.6: Configuración Puente H completo.

Fuente 6: [Elaboración propia]

La figura 2.7, representa la configuración push pull con dos transistores en la etapa de potencia asociado a un transformador elevador con derivación central.

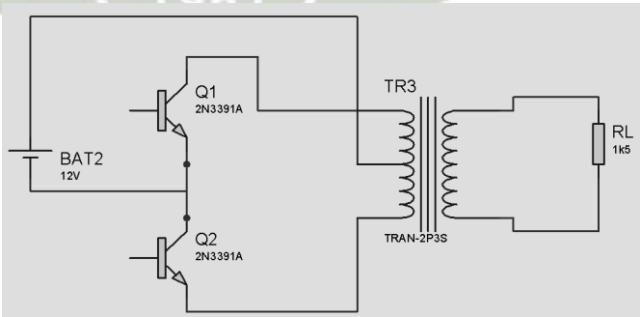


Figura 2.7: Configuración push pull.

Fuente 7: [Elaboración propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La diferencia uno respecto al otro radica en la transferencia de energía a la carga siendo el de medio puente menos eficiente respecto a los demás y el más eficiente es el de puente completo siempre que la etapa de control sea el adecuado como por ejemplo modulación de ancho se pulso senoidal modificada y modulación de ancho de pulsos múltiples complementa en cuanto a rendimiento con puente H completo.

d. Por el tipo de control.

Por esta clasificación resaltan los modulados y no modulados, la diferencia radica en que los modulados son de mayor utilidad actualmente por que ofrece mayor ventaja en calidad y rendimiento, evidentemente las técnicas de modulación es diversa y de acuerdo a cada requerimiento se utilizara uno en particular.

Se dará énfasis en esta técnica de modulación ya que nuestra propuesta radica en ella control por voltaje y puente completo para reducir el costo del equipo terminado.

2.2. Inversores modulados por ancho de Pulso PWM.

Rashid, Wikipedia, Benavente y otros autores concluyen que para obtener cercano o igual a una salida de senoidal pura, conviene utilizar inversores modulados con salida puente completo u otras técnicas como el de vector espacial o multinivel.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para tal fin hace necesario controlar las variaciones de voltaje de entrada continua, regular el voltaje y mantener constante el voltaje y frecuencia.

Para lograr dichos requerimientos existen muchas técnicas para logar citaremos algunos.

- Modulación por ancho de un solo pulso.
- Modulación por ancho de pulsos múltiples.
- Modulación por ancho de pulso sinusoidal.
- Modulación por ancho de pulso sinusoidal modificado.
- Modulación por desplazamiento de fase.
- Modulación por vector espacial

La modulación de un solo pulso no se recomienda por ser menos eficiente, en cambio la de pulsos múltiples si tiene mejor rendimiento.

2.2.1. Modulación de PWM múltiple por hardware.

Consiste en generar dos señales una moduladora y otra como portadora o referencia para luego comparar y obtener los pulsos variantes múltiples en intervalos de y , de hecho la amplitud de los pulsos son uniformes por lo que recibe el nombre de modulación de ancho de pulsos uniforme.

Para otras modulaciones como es el de trapezoidal, modulación por acho de pulsos múltiples, y modulación de ancho de pulsos senoidal y senoidal modificada, si bien por métodos computacionales los calculan los intervalos de sus ventanas, pues la generación de las señales de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

portadora y referencia son generados por circuitos integrados asociados con elementos activos y pasivos. Solo la secuencia de disparo la controlan con el microprocesador o microcontrolador traduciéndose en costo del equipo.

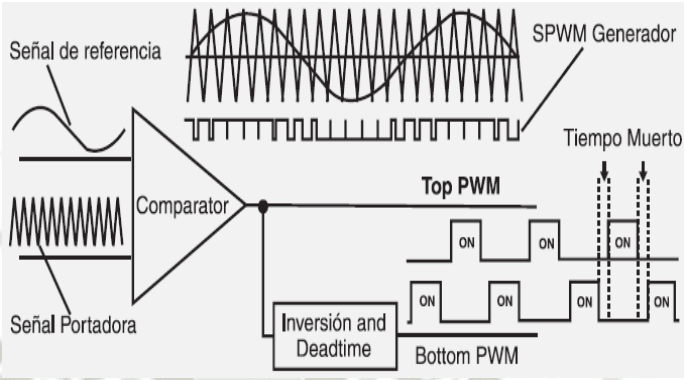


Figura 2.8: Forma de onda modulación ancho de pulsos senoidal modificada SPWM con circuitos activos y pasivos.

Fuente 8: [Referencia electrónica]

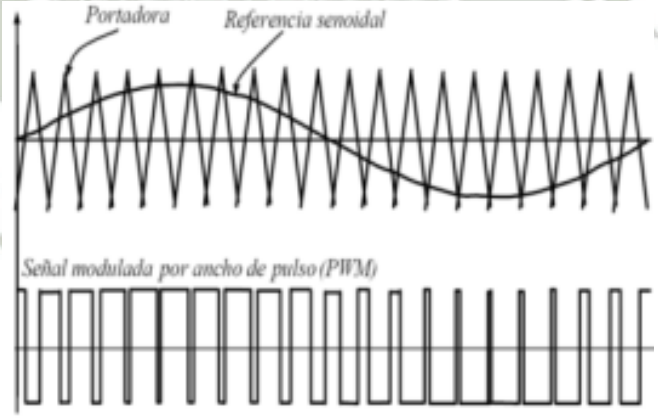


Figura 2.9: Modulación de ancho de pulsos múltiples senoidal modificado.

Fuente 9: [Referencia electrónica]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.2. Modulación de PWM múltiple por software.

En este tipo de modulación se explota las instrucciones y funcionalidades de los microcontroladores de gama media o alta, para obtener la señal PWM múltiple por algoritmos e instrucciones.

La salida de la señal es equivalente a las técnicas avanzadas de modulación antes citadas que se aprecia en la figura 2.8 y 2.9, que en la práctica reduce costos y tiempo de producción ya que el software se programa una vez y luego se copia en tantos controladores posibles como se aprecia en la figura 2.10.

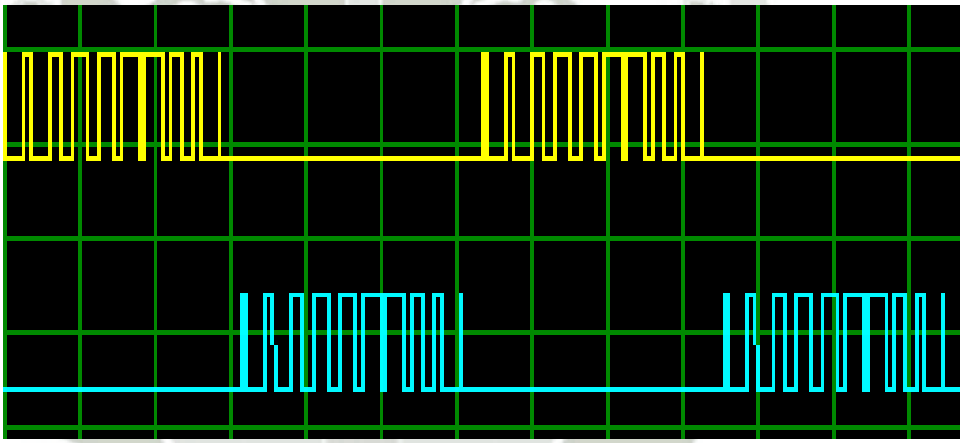


Figura 2.10: Señal de control con modulación de ancho de pulsos múltiples generado con PIC 16f877A todo mediante software.

Fuente 10: [Fuente elaboración Propia]

Aquí se plantea otra solución mediante software con el PIC 16f877 que la salida es equivalente a las de senoidal modificada y trapezoidal, los detalles se aprecia en el capítulo 3.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.3. Aplicación de los Inversores.

Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde aplicaciones domésticas, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia.

La aplicación más usual se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc., en corriente alterna para utilizar de forma aislada Stand alone o interconectada para ser inyectados en la red eléctrica, para cada caso la exigencia de calidad en armónicos varia de la exigencias normativas en cada país mas no así en instalaciones eléctricas aisladas.

Pero la calidad de onda de salida para solucionar cualquier requerimiento de energía debe ser aceptable y optima de manera que se adapte a cualquier carga a alimentar.

2.3.1. En variadores de velocidad.

Una de las etapas del variador de velocidad consta de inversor, ya que el motor está diseñado para 50 o 60 Hz; la industria requiere de velocidades diferentes en cada aplicación y esto se consigue variando la relación de Voltaje entre frecuencia sin que el torque se vea afectado. Y de hecho el variador consta de rectificador, control, inversor y filtrado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.2. Sistemas de alimentación ininterrumpida UPS.

Muchas aplicaciones como data centers, sala quirúrgico y otras que requieren energía constante, utiliza un banco de baterías como elemento de almacenaje en DC y problema radica que los equipos funcionan con AC, en la que los inversores salvan dicho requerimiento.

2.4. Los Microcontroladores.

2.4.1. Introducción.

Desde que los transistores han sido inventados, surgieron los circuitos integrados, y el desarrollo constante de la microelectrónica ha dado lugar a los microprocesadores y los microcontroladores.

Con la presente tesis se pretende dar alcance de los microcontroladores su fundamento, arquitectura, interfaces con periféricos de entrada - salida y que el lector obtenga los conocimientos necesarios para el diseño de sistemas digitales y/o analógicos basados en microcontroladores.

Existen diversos empresas que fabrican y desarrollan en el mercado internacional, como Motorola, GSI, INTEL, Michochip, etc, pero nos centraremos en los PICs de Michochip y estrictamente al PIC 16F77A que por su disponibilidad en el mercado y versalitidad se ha elegido, de hecho con cualquier tipo de microcontrolador se puede realizar cualquier aplicación deseada, la teoría y funcionamiento es la misma, solo que varía en las instrucciones y el entorno de desarrollo de hardware y software de cada fabricante.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.2. **Definición**

EL PIC es un circuito integrado programable que acepta un listado de instrucciones y contiene todos los componentes de un computador embebido en un solo empaquetado. Se utilizan para realizar determinadas tareas o para gobernar dispositivos y/o equipos, debido a su reducido tamaño.

La elección del microcontrolador adecuado dependerá del elemento o sistema que deseemos controlar, supervisar o gobernar; no obstante en el ámbito local nos vemos limitados dada la poca cantidad de dispositivos comercializados; por el momento.

2.4.3. Campos de aplicación.

El PIC por sus características especiales de diseño tiene un campo de aplicación muy extensa y la constante evolución del hardware y software, amplia continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades de diseñadores de soluciones y equipamiento.

Su utilización se da fundamentalmente en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc. Por lo tanto, su aplicación puede estar en:

- Robótica. Para control y supervisión de eslabones.
- Domótica, en la supervisión y gobierno de sensores y actuadores.
- Equipamiento: en televisores y radio realizan funciones específicas de control de canales, etc.
- Investigación. Como data logger para almacenar información en lugares remotos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Diseño de equipos pequeños, como juguetes, encendedores de luz, etc.
- Automatización. Realizar tareas pequeñas y específicas como ejemplo control de llenado de tanque, apertura y cierre de puertas levantadizas, etc.

Por el costo hace que una solución sea adecuado respecto a otras, basado fundamentalmente en procesos en la que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinarias de procesos variables.

2.4.4. Ventajas e inconvenientes.

Son muchas las ventajas que resultan a simple vista de los PICs para controlar y automatizar pequeñas soluciones, desde aplicaciones básicas hasta sistemas muy complejos. Sin embargo, a continuación se enumera cada una de estas.

a. **Ventajas.**

- menor costo en materiales, mano de obra y mantenimiento.
- Menor espacio requerido.
- Versatilidad, para realizar cambio en aplicación solo modificando el programa o escalarse.
- Fácil de instalación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Integración en redes industriales por protocolos de comunicación como: Ethernet, zeeg bee, CAN, I2C.
- Menor consumo de energía.

b**. Inconvenientes y/o desventajas.**

- Es un sistema cerrado tiene pocos y limitadas componentes respecto al computador.
- El acondicionamiento de interfaces de entrada y salida resultan laboriosos.
- El voltaje de alimentación es en DC y no acepta tensión alterna.
- No es robusto en ambientes agrestes como se exige en minería y otros ambientes industriales, su acondicionamiento eleva costos de diseño e implementación.

2.4.5. Estructura de los PICs.

El término se refiere a la parte externa o aspecto físico del PIC que es de estructura compacta y no hay PIC de estructura modular.

2.4.6. Arquitectura básica de los microcontroladores.

Los microcontroladores poseen la estructura Harvard, y esta organizados por puertos que se pueden configurar como entradas y salidas para acoplar con los periféricos que se encargar de interactuar con las entradas de instrucción como pulsadores, switch, entrada de datos y comunicación así como las salidas son acoplados a elementos que se desea controlar cono, LED, LCD, relés, dispositivos ópticos, etc.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Excepcionalmente algunos pines del PIC son estrictamente de entrada o de salida y otros de doble vía como sus puertos de programación y comunicación, la entrada del oscilador es entrada.

La unidad de central de procesos posee registros, memorias del tipo ROM, EEPROM y RAM que le permiten el procesamiento de datos e instrucciones, control desde y hacia los periféricos, como se aprecia en la siguiente figura.

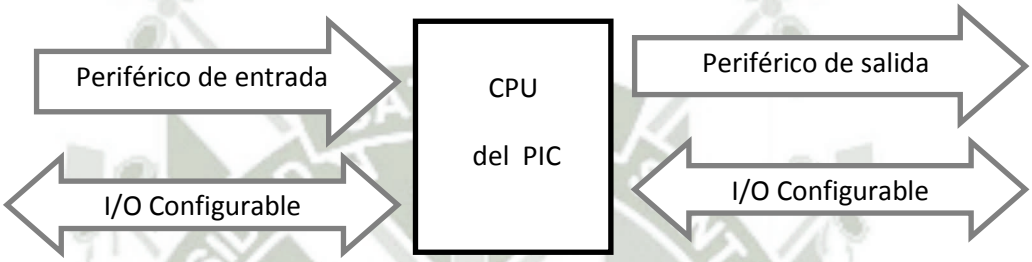


Figura 2.11: Arquitectura de PIC

Fuente 11: [Elaboración Propia]

a. Sección de entrada.

Mediante el interfaz, se adapta y codifica de forma comprensible por la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores, estos, son: pulsadores, switch de finales de carrera, sensores, etc, también tiene una misión de protección interna del PIC, realizando una separación eléctrica entre estos y los captadores.

b. Unidad Central de proceso (CPU).

Es por decirlo así, la inteligencia del sistema, ya que mediante la interpretación de las instrucciones del programa de usuario y en función de los valores de las entradas, activa las salidas deseadas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Sección de salida

Mediante la interfaz, trabaja de forma inversa a la de entradas, es decir decodifica las señales procedentes de la CPU, la amplifica y manda con ellas a los dispositivos de salida o actuadores, como lámparas, relés, transistores, fototransistores, etc.

d. La unidad de alimentación.

La unidad de alimentación acepta únicamente fuentes de tensión continua de 5 voltios, a menos que el fabricante especifique lo contrario.

e. La unidad de programación.

El PIC dispone un par de pines para descargar desde el computador hacia el PIC las instrucciones del programa de usuario en formato .HEX y se conecta mediante un cable y un conector.

2.4.7. Programación.

Los microcontroladores básicamente se programan mediante lenguaje de bajo nivel o ASEMBLER en códigos del propio fabricante ya que no existe estandarización en ello.

También se programan en alto nivel en C o basic, opcionalmente otras compañías diferentes de los fabricantes has desarrollado algoritmos como LADDER como es el caso de LD MICRO, sin importar de cómo se desarrolló en algunas aplicaciones suelen ser unas con mejor respuesta respecto a la otra, esto debido cada ciclo de instrucción está asociado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

por un tiempo de ejecución en nS[1] y espacio que ocupa o requiere en memoria como efecto siendo lento o más rápido en la respuesta del equipo terminado.

Para ello cada fabricante ofrece compiladores de forma gratuita que permiten convertir los nemónicos en código máquina .HEX binario ejecutable en el microcontrolador.

Adicionalmente se requiere equipos programadores que permitan transferir los códigos binario HEX, desde la computadora hacia el microcontrolador, michochip dispone de PICKIT2 y PICKIT3 y empresas terceras también disponen de uso libre en el mercado de calidad aceptable como el caso de Micro Engineering Lab.

2.4.8. Equipo periférico.

Son aquellos elementos auxiliadores, físicamente independientes del PIC, que se unen al mismo para realizar su función específica y que amplían su campo de aplicación o facilitan su uso. Como tales no intervienen directamente ni en elaboración ni en la ejecución del programa.

2.4.9. Métodos de entrada y salida

A) **Bloqueo del Proceso**: el Microprocesador espera a que el periférico conectado a la unidad de Entrada/Salida le responda

[1] nS: equivalencia a $1 * 10^{-9}$de acuerdo al Sistema Internacional de unidades. Nano segundo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B) **Consulta Periódica** (Polling): el Microprocesador consulta de manera periódica el estado del periférico

C) **Interrupción**: **IRQ** el Microprocesador responde al periférico cuando éste le interrumpe

2.4.10. **Interfaces.**

Son aquellos dispositivos electrónicos que permiten la conexión del PIC con los elementos periféricos.

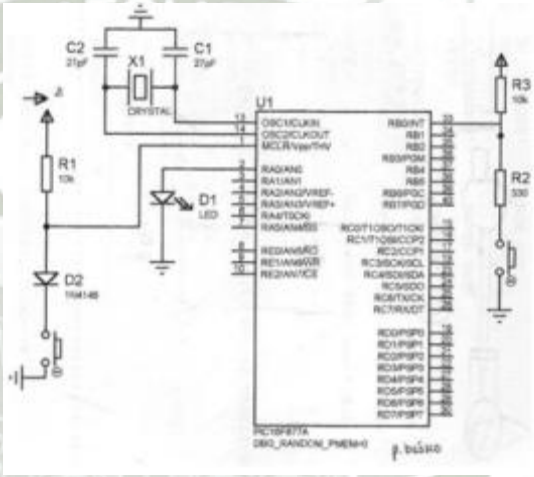


Figura 2.12: Interfaces de un PIC

Fuente 12: [Elaboración Propia]

2.4.11. Memoria de Programa

El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa sean almacenadas las instrucciones de programa. No existe posibilidad alguna de utilizar memorias externas para su ampliación. Algunas de los tipos de memoria que poseen son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a. **EPROM**.

La grabación de este dispositivo se lleva a cabo de desde un computador, mediante un grabador. En la superficie de este tipo de microcontroladores hallaremos una ventana de cristal por la cual el integrado se somete a radiación ultravioleta con la finalidad de borrar su contenido.

b. **EEPROM**.

La operación de escritura y borrado son más sencillas que una EPROM, debido a que son operaciones que se llevan a cabo eléctricamente. Garantizan 1000000 ciclos de escritura/borrado.

c. **FLASH**.

Se trata de una memoria ROM, de bajo consumo, se pueden escribir y borrar de manera similar que en las EEPROM, pero las memorias tipo FLASH suelen disponer de mayor capacidad.

2.4.12. Memoria de Datos.

La información que es manejada por los programas varían constantemente, por lo que el tipo de memoria a utilizar debe ser de lectura y escritura. La memoria RAM estática (SRAM) resulta adecuada para éste propósito, no obstante siendo volátil.

Existen versiones de microcontroladores que también incluyen una memoria para datos del tipo no volátil (generalmente EEPROM).

2.5. Capacidad de Microcontroladores.

Los fabricantes de microcontroladores disponen de 3 gamas de PICs, para resolver aplicaciones sencillas se precisan pocos recursos; en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cambio, las aplicaciones grandes requieren numerosos y potentes recursos, por lo que está relacionado con el costo. Los PICs sencillos son baratos para atender las aplicaciones simples y otros complejos y más costosos para aplicaciones complejas.

2.5.1. Gama Baja.

La gama baja de los PIC disponen de características reducidas como:

La memoria de programa puede contener 512, 1 k. y 2 k palabras de 12 bits, y ser de tipo ROM, EPROM. También hay modelos con memoria OTP, que sólo puede ser grabada una vez por el usuario. La memoria de datos puede tener una capacidad comprendida entre 25 y 73 bytes. Sólo disponen de un temporizador (TMR0), un repertorio reducido de instrucciones y un número de patitas para soportar las E/S comprendido entre 8 y 20. El voltaje de alimentación admite un valor muy flexible comprendido entre 2 y 6,25 V, lo cual posibilita el funcionamiento mediante pilas corrientes teniendo en cuenta su bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V y 4 MHz).

Existe un temporizador que produce un reset automáticamente si no es recargado antes que pase un tiempo prefijado. Así se evita que e! sistema quede "colgado" dado en esa situación el programa no recarga dicho temporizador y se genera un reset.

Cuando se procede a realizar la grabación del programa, puede protegerse para evitar su lectura. También disponen, los PIC de posiciones reservadas para registrar números de serie, códigos de identificación, prueba, etc.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Las líneas de E/S de los PIC pueden proporcionar o absorber una corriente de salida comprendida entre 20 y 25 mA, capaz de excitar directamente ciertos periféricos.

Para terminar el comentario introductorio sobre los componentes de la gama baja conviene nombrar dos restricciones importantes.

1ª) La pila o "stack" sólo dispone de dos niveles lo que supone no poder encadenar más de dos subrutinas.

2ª) Los microcontroladores de la gama baja no admiten interrupciones.

2.5.2. Gama Media

En esta gama sus componentes añaden nuevas prestaciones a las que poseían los de la gama baja, haciéndoles más adecuados en las aplicaciones complejas. Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertos serie y diversos temporizadores.

Algunos modelos disponen de una memoria de instrucciones del tipo OTP ("One Time Programmable"), que sólo la puede grabar una vez el usuario y que resulta mucho más económica en la implementación de prototipos y pequeñas series.

El temporizador TMR1 que hay en esta gama tiene un circuito oscilador que puede trabajar asíncronamente y que puede incrementarse aunque el microcontrolador se halle en el modo de reposo ("sleep"), posibilitando la implementación de un reloj en tiempo real.

Las líneas de E/S del puerto B presentan una carga "pull-up" activada por software.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.3. Gama Alta.

En la actualidad, esta gama dispone de más recursos que las anteriores y algunos tienden a ser de arquitectura abierta pudiendo expandirse en el exterior al poder sacar los buses de datos, direcciones y control. Así se pueden configurar sistemas similares a los que utilizan los microprocesadores convencionales, siendo capaces de ampliar la configuración interna del PIC añadiendo nuevos dispositivos de memoria y de E/S externas. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de patitas comprendido entre 40 y 44. Admiten interrupciones, poseen puerto serie, varios temporizadores y mayores capacidades de memoria, que alcanza los 8 k palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos.

2.6. Microcontroladores de Microchip.

Microchip fabricante de dispositivos electrónicos, en su línea de soluciones de microcontroladores dispone una serie de soluciones distribuidas en, series de 10,12,16 y la reciente serie 18; adicionalmente sus PICs esta segmentado por bits de resolución de 8,10 y 16 bits. Por su presencia a nivel internacional y su masificación de sus distribuidores hacen disponibles en el mercado electrónico de cualquier país o cuidad.

Algunas de las características que deseadas en los microcontroladores de Microchip son:

- Sencillez en el manejo
- Buena Información
- Costo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Buen promedio de parámetros: Velocidad, consumo, tamaño
- Compatibilidad de software en todos los modelos de la misma gama
- Herramientas de desarrollo disponibles en la website del fabricante.
- Juego reducido de instrucciones; 35 en la gama media.

Muchas de las herramientas como: hoja de datos, brochure, aplicaciones, códigos fuentes y software pueden descargarse libremente desde la website de Microchip.

2.6.1. MIcrocontroladores Comerciales de Michochip.

Microchip comercializa una amplia variedad de modelos agrupados en familias de la siguiente manera:

- PIC10
- PIC12
- PIC14
- PIC16
- PIC17
- PIC18

Otra manera de clasificarlos sería:

2.6.2. Gama Baja o Básica: PIC16C5X

Se trata de una serie de PIC de recursos limitados, no obstante una de las mejores relaciones *costo / prestación*. Sus Versiones, vienen en encapsulados de 18 y 28 pines y pueden ser alimentados a partir de una tensión de 2.5V, lo cual resulta ideal para aplicaciones que funcionan con pilas. Poseen un repertorio de 33 instrucciones con formato de 12

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

bits. No disponen de ningún tipo de interrupción y tienen una pila de sólo 2 niveles.

MODELO	MEMORIA DE PROGRAMA EEPRON ROM	MEMORIA DE DATOS	FRECUENCIA MAXIMA	LINEAS DE E/S	TEMPORIZADORES	PINES
PIC16C52	384	25	4 MHz	4	TMR0 + WDT	18
PIC16C54	512	25	20 MHz	12	TMR0 + WDT	18
PIC16C54A	512	25	20 MHz	12	TMR0 + WDT	18
PIC16CR54A	512	25	20 MHz	12	TMR0 + WDT	18
PIC16C55	512	24	20 MHz	20	TMR0 + WDT	28
PIC16C56	1 K	25	20 MHz	12	TMR0 + WDT	18
PIC16C57	2 K	72	20 MHz	20	TMR0 + WDT	28
PIC16C57B	2 K	72	20 MHz	20	TMR0 + WDT	28
PIC16C5A	2 K	73	20 MHz	12	TMR0 + WDT	18
PIC16CR58A	2 K	73	20 MHz	12	TMR0 + WDT	18

Tabla 1. Principales características de modelos de la gama básica.

Fuente 13: [www.michochip.com]

2.6.3. Gama Media: PIC16CXXX

Es la gama más variada y completa de los PIC. Abarca modelos con encapsulados desde 18 a 68 pines. Dentro de esta gama reside el **PIC16F84.**

Traen un repertorio de instrucciones de 35 a 14 bits, disponen de una pila de 8 niveles, interrupciones y permiten el anidamiento de subrutinas.

La gama media puede sub clasificarse en:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Gama media estándar (PIC16C55X)
- Gama media con comparador analógico (PIC16C62X/64X/66X)
- Gama media con módulo de captura (CCP), modulación de anchura de pulsos (PWM), puerto serie (PIC16C6X)
- Gama media con CAD de 8 bits (PIC16C7X)
- Gama media con memoria Flash y EEPROM (PIC16F87X y PIC16X8X)
- Gama media con driver LCD (PIC16C92X)

MODELO	MEMORIA DE PROGRAMA	MEMORIA DE DATOS		REGISTROS ESPECIFICOS	LINEAS DE E/S	TEMPORIZADORES	INTERRUPCIONES	PINES
	EEPRON ROM	RAM	ROM					
PIC16C84	1K EEPROM	36	64	11	13	TMR0 + WDT	4	18
PIC16F84	1K FLASH	68	64	11	13	TMR0 + WDT	4	18
PIC16F83	512 FLASH	36	64	11	13	TMR0 + WDT	4	18
PIC16CR84	1K ROM	68	64	11	13	TMR0 + WDT	4	18
PIC16CR83	512 ROM	36	64	11	13	TMR0 + WDT	4	28

Tabla 2.Características de PIC16X8X de la gama media

Fuente 14: [www.michochip.com]

2.6.4. Gama alta: PIC17CXXX.

Incluyen un repertorio de 58 instrucciones de 16 bits, disponen de un sistema de gestión de interrupciones vectorizado. También, variados controladores de periféricos, puertas de comunicación serie, paralelo con elementos externos.

Su característica más destacable es su *arquitectura abierta*, que posibilita la ampliación del microcontrolador con elementos externos. Para este fin

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

los pines sacan al exterior las líneas de los buses de datos, direcciones y control, a las que se conectarán memorias o controladores de periféricos.

MODELO	MEMORIA PROGRAMA	MEMORIA DATOS RAM	REGISTROS ESPECÍFICOS	TEMPORIZADORES	CAP	PWM	CAD 10 BIT	INTERRUPCIONES	E/S	MULTIPLICADOR HARDWARE	PINES
PIC17C42A	2K	232	48	4 + WDT	2	2		4	33	8x8	40/44
PIC17C43	4K	454	48	4 + WDT	2	2		4	33	8x8	40/44
PIC17C44	8K	454	48	4 + WDT	2	2		4	33	8x8	40/44
PIC17C752	8K	454	76	4 + WDT	4	3	12	4	50	8x8	64/68
PIC17C756	16K	902	76	4 + WDT	4	3	12	4	50	8x8	64/68

Tabla.3 Características de algunos modelos de la serie PIC17CXXX.

Fuente 15: [www.michochip.com]

2.6.5. Gama mejorada: PIC18C(F)XXX

Dentro de su línea de gama alta con el afán de incrementar nuevas soluciones a necesidades diferentes y cada vez más exigentes Microchip dispone la gama mejorada de los microcontroladores con la finalidad de soportar las aplicaciones avanzadas en las áreas de automoción, comunicaciones, ofimática y control industrial.

Entre las aportaciones más destacadas de esta serie tenemos:

- Un espacio de direccionamiento para la memoria de programa que permite alcanzar los 2MB y 4KB para la memoria de datos.
- Inclusión de la tecnología Flash para la memoria de código.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Juego de 77 instrucciones de 16 bits. Permiten realizar una multiplicación de 8 x 8 en un ciclo de instrucción, mover información entre las memorias y modificar el valor de un bit en un registro o una línea E/S.
- Orientación a la programación en lenguaje C con incorporación de compiladores muy eficientes para dicho lenguaje.

MODELO	MEMORIA PROGRAMA (Bytes)	MEMORIA DATOS		TEMPORIZADORES	INTERRUPCIONES	E/S	ADC CANALES	FREC. MÁXIMA (MHz)	PINES
		RAM	EEPROM						
PIC18C242	16K EEPROM	512	--	4	16	23	5	40	28
PIC18F252	32K FLASH	1.536	256	4	16	23	5	40	28
PIC18F442	16K FLASH	768	256	4	16	34	8	40	40
PIC18F452	32K FLASH	1.536	256	4	16	34	8	40	40
PIC18F6620	64K FLASH	3.840	1.024	4	16	52	12	25	64
PIC18F8720	128K FLASH	3.840	1.024	4	16	68	16	25	80

Tabla 4. Características de algunos modelos PIC18C (F)XXX

Fuente 16: [www.michochip.com]

2.6.6. EL PIC 16f877.

Es un microcontrolador que se encuentra dentro del grupo de gama media, por lo que se utiliza para implementar la investigación desarrollado que básicamente tiene la capacidad de generar dos PWM a la vez, cuatro bancos configurables de entrada y salida, conversión análogo digital suficientemente adecuado para nuestro requerimiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

DEFINICION DE CONCEPTOS GENETRALES.

2.7. Sensores

El sensor es definido como convertidor, el cual convierte un valor físico tal como: la temperatura, voltaje, corriente, distancia o presión en un valor diferente, el cual es fácil de evaluar.

Esta es usualmente utilizado para registrar o tener control sobre un sistema sabiendo las magnitudes específicas.

Para la presente tesis, solo se utilizara dos sensores uno de voltaje y corriente para controlar los voltajes y corrientes de exceso o defecto que afecten a nuestro diseño.

2.7.1. Clasificación de los sensores.

a. Sensores de magnitudes de dimensión.

Adquieren datos de posición, distancia, longitud, carrera, velocidad, extensión.

b. Sensores de magnitudes de fuerza.

Adquieren datos de fuerza, presión, torque, peso.

c. Sensores de magnitudes de cantidad de material.

Adquieren datos de flujo y nivel de llenado de gases, líquidos y sólidos.

d. Sensores de temperatura.

Adquieren datos de acuerdo a la cantidad de calor que existe en un medio o cuerpo.

e. Sensores de magnitudes electromagnéticas.

Generalmente reconocen magnitudes eléctricas fundamentales tales como: la corriente, tensión, resistencia y la potencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Y estas son las que se utilizaran para la protección del equipo y se diseñaran bajo especificaciones.

2.7.2. sensor de voltaje.

El sensor de voltaje son las que captan el voltaje o variación de ella, existe una gran variedad de voltímetros de empresas reconocidas, el tamaño y costo para pequeñas aplicaciones limita su utilización.

Pero se diseñara una red de resistencias configurados como divisor de voltaje, manteniendo la resistencia contante y la corriente fácilmente se tendrá el valor de la variación del voltaje, basados en la ley de OHM se puede calcular fácilmente la variación de voltaje para luego registrar, acondicionar y finalmente convertir en voltajes normalizados para su posterior manipulación en cualquier aplicación.

2.7.3. sensor de corriente.

Son dispositivos que permiten registrar valores de flujo de corriente en un circuito.

Existen diversos métodos de registro de medición.

a. El Transformador de corriente CT.

Llamados transformadores de corriente suele utilizar en corriente alterna, pero la empresa ABB dispone de CT para corriente continua a nivel industrial, la desventaja radica registra solamente corrientes en el orden de amperios y kiloamperios.

b. Sensores de efecto Hall.

Para tal propósito la empresa Allegro Micro System dispone una serie de soluciones, y en su modelo ACSXXX sensor de corriente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de efecto HALL puede medir la corriente en continua y en alterna, su alimentación es de 5 V o 3.3 V DC y su salida es de 0 a 3.3 o en su defecto de 0 a 5, en algunos casos requiere acondicionar para tener salidas normalizadas aptos para uC y PLC.

2.8. Sistemas de Protección eléctricos.

La protección eléctrica es amplia desde diversos puntos de vista, la finalidad es proteger al equipo y a las personas que manipulan durante su operación y mantenimiento.

Además de ello en cierta medida dan fiabilidad al sistema, inversión y demás factores como el error humano, etc.

Un equipo cuanto más protecciones dispongan será mejor porque garantiza su funcionamiento en las condiciones establecidas por el fabricante sin presentar fallos.

Existen diversos métodos de protección que se describe a continuación.

2.8.1. Protecciones mecánicas.

Esta protección se logra de manera física o mecánica, para tal efecto existe, fusibles de diversos tiempos de apertura, Termomagnéticos, Relés, zener, Varistores, termistores, etc.

La finalidad es evitar es desastres por exceso o defecto de variables eléctricas y sus efectos como: exceso o defecto corriente, voltaje, sobrecalentamiento, inversión de polaridad, cortocircuito, etc.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Cabe precisar la adecuada selección de elementos de protección garantizara el buen funcionamiento, de lo contrario implicaría como no tuviese su sistema de protección.

2.8.2. Protección lógica o programada.

La protección programada esta siempre asociada a actuadores que realizaran la acción de alertar sonoramente, mensajes, luces de estado, etc., O de sacar fuera de servicio parte o grupo de partes mediante elementos como relés, contactores u otro alterno.

Para lograr dicha función se realiza algoritmos lógicos que en condiciones establecidas realicen una acción definida, para luego ser cargadas en uC, PLC, DCS, PC. Que gobiernan un equipo o sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPITULO III

3. Diseño del equipo.

Para el diseño del equipo se parte de los requerimientos que debe cumplir el equipo, y a su vez deberá de plasmarse como debería estar dispuesto cada parte para que como un todo pueda satisfacer los requerimientos y exigencias del mercado, cliente, en este caso el objetivo de la tesis.

Para lograr los objetivos planteados se seguirá un riguroso procedimiento de diseño e implementación electrónico, con una técnica de desarrollo por partes o bloques para reducir posibles errores y tiempo muerto en detección y corrección de fallas, partiendo de las especificaciones técnicas, luego plasmando en diagramas de bloques, implementación por partes o bloques tanto de hardware y software, pruebas e integración de todo el equipo.

Aunque para el desarrollo se está separando el hardware con el software, en las partes donde ambas son necesarias probar se tendrá que necesariamente combinar ya que es dependiente uno respecto al otro.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1. Especificaciones técnicas

3.1.1. Especificaciones eléctricas

- Tensión de entrada : 12 Vdc/24 opcional
- Tensión circuitos electrónicos : 5Vdc
- Tensión de Salida : 220 V AC RMS +-10%
- Frecuencia de salida : 60Hz. +-5%
- Sensor de corriente : Tipo toroide/ Hall.
- Sensor de tensión : Transformador de potencial.
- Circuito de Procesamiento : Basado en microcontrolador
- Visualización : Display LCD y Led de colores

3.1.2. Especificaciones de Funcionamiento.

N°	DESCRIPCIÓN	VARIABLE/ DESCRIPCION	CONDICIÓN
1	**Fuente de alimentación**		
	Entrada	12/24 VDC(opcional).	
	Salida	220 AC **+-10%**	
2	**Autonomía**	Depende de fuente de entrada.	
3	**tecnología de IC**	PIC 16f877A	
4	**Sistema de protección**		
	Voltaje	interrumpido por bajo voltaje	interrumpe carga
	Corriente	Interrumpido por alta corriente.	interrumpe carga
	Temperatura	interrumpido por alta temperatura de la parte de potencia	interrumpe carga
	Inversión de polaridad.	indicador lumínico	Indicación
5	**temperatura de operación**	0 a 80 °C	
6	**Interfaces**	Ninguno	
7	Protocolos de comunicación	Ninguno	
8	**visualización**		
	LCD	Si	Indicación
	Indicadores luminosos	mediante LED	Indicación

Tabla 5. Características Funcionales del inversor.

Fuente 17: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.2. Diagrama de bloques del equipo.

Aquí se presenta el diagrama general del equipo, más adelante se detallara cada una de sus partes y la función que cumplen, de manera tal que se pueda entender el procedimiento de la implementación y/o modificación dependiendo de que amerite.

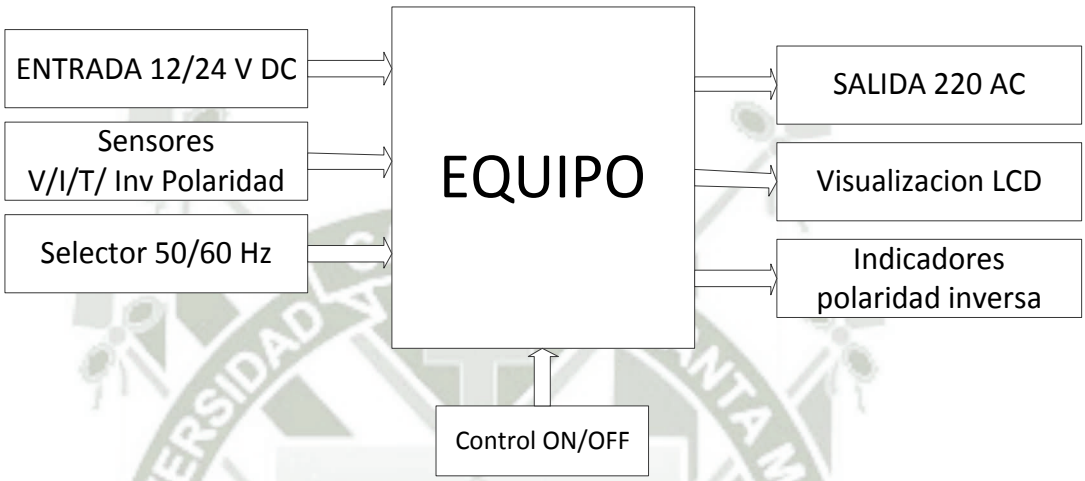


Figura 3.1: Diagrama de bloques del inversor

Fuente 18: [Elaboración Propia]

3.3. Diagrama de bloques desarrollado.

En el presente diagrama se aprecia la estructura básica del inversor con modulación de PWM múltiple y sus respectivos elementos de control visualización y protección planteados, se apreciar claramente que la única entrada es voltaje en corriente continua que alimenta tanto a la etapa de potencia como control y periféricos, de allí se logra la salida de una tensión en corriente alterna, listo para alimentar cualquier carga; de hecho el equipo para tener una fiabilidad en su operación consta de elementos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de protección que en el capítulo 4 se detalla su funcionamiento , proveniente la cantidad de variables a controlar.

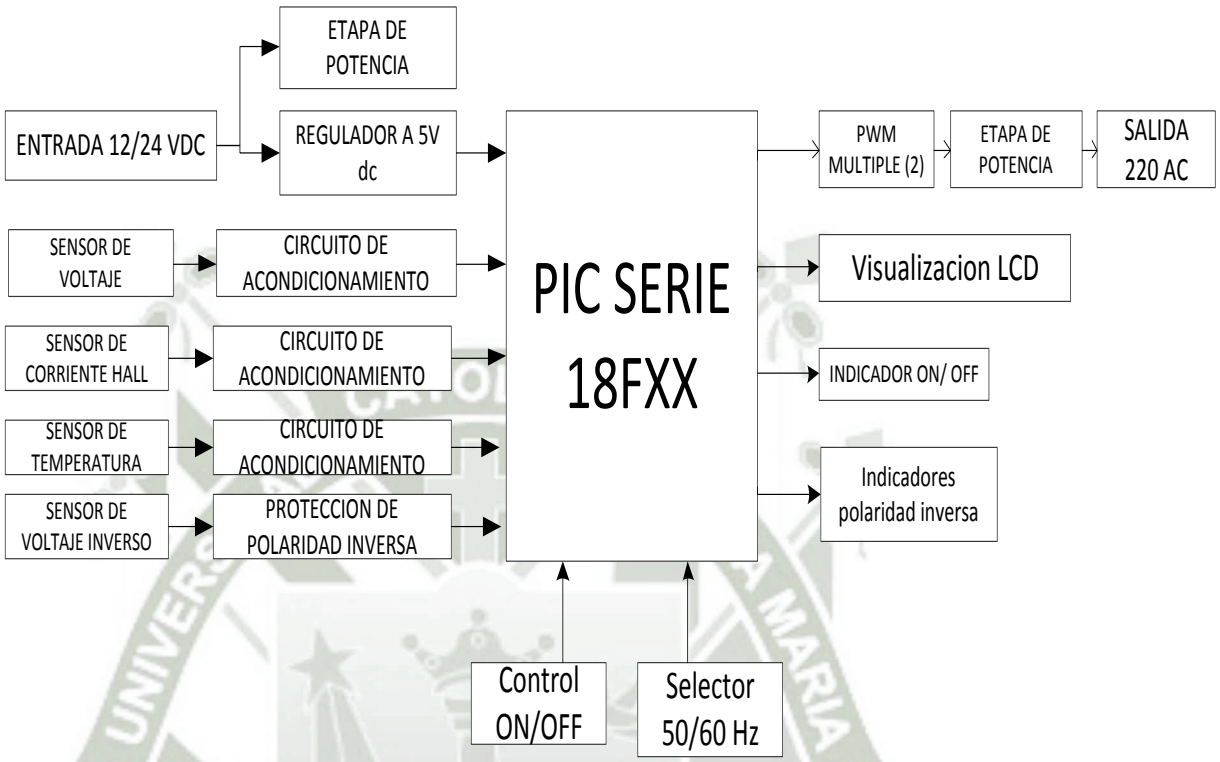


Figura 3.2: Diagrama de bloques desarrollado del inversor.

Fuente 19: [Elaboración Propia]

3.4. Desarrollo por bloques.

3.4.1. Diseño de fuente de alimentación.

La fuente de alimentación es la que suministra energía tanto para la etapa de potencia así como para las tarjetas de potencia con los niveles de tensión adecuados para cada caso, siendo de 5 y 12 VDC.

a. Criterios de diseño e implementación.

Deberá de considerarse lo siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Debe tener adecuados niveles de voltaje y corriente para tarjetas de datos y etapa de potencia de ser necesario con aislamiento galvánico.
- Deberá ser autónomo sin que requiera fuentes externos, lo que hace adecuado para sistemas aislados.
- Ante cualquier fallo no deberá afectar a otras etapas.
- Se elige como elemento principal el regulador de 7805c, para salida de 5v y LM7812 para salida de 12 V.

b. Diagrama de bloques del fuente de alimentación.

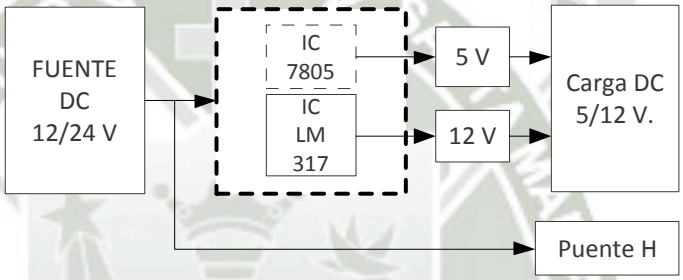


Figura 3.3: Diagrama de bloques fuente DC para las tarjetas del inversor

Fuente 20: [Elaboración Propia]

c. Especificaciones técnicas eléctricas.

- Voltaje de salida : 5,12 V DC fija
- Voltaje de alimentación : 12/24 VDC.
- Corriente máxima : 3A
- Temperatura de operación : 0 a 80° C
- Sistema de protección : Fusible, varistor, zener.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d. **Circuito**.

El diagrama del circuito adicionalmente comparte la etapa de protección de polaridad inversa, ya que la entrada de la fuente debe tener la protección necesaria, sin que ello afecte ante un posible error o fallo de polaridad.

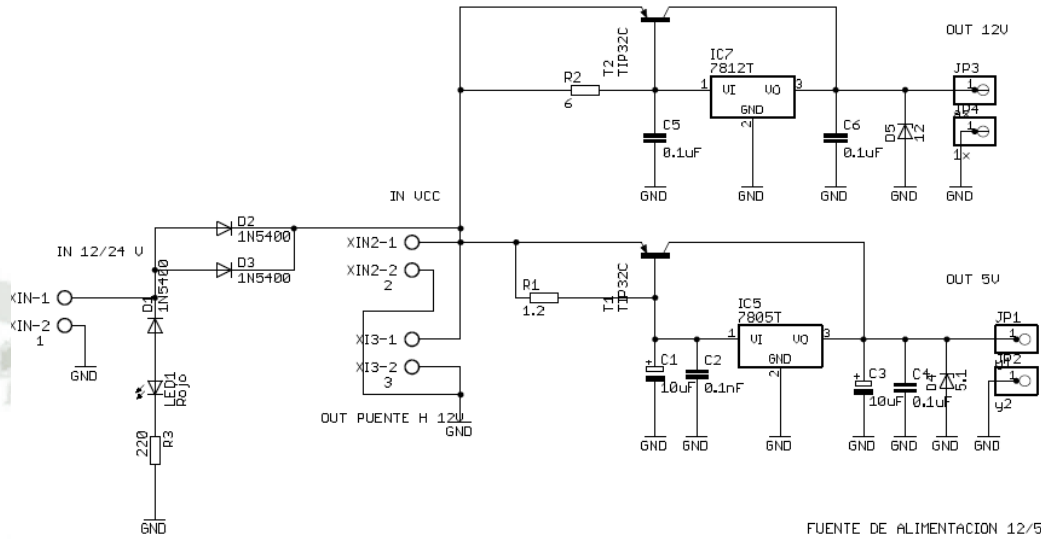


Figura 3.4: Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación.

Fuente 21: [Elaboración Propia]

e. Cálculos

Se diseña para teniendo las características siguientes de hoja de datos.

Elemento de regulación 7805C.

- Vo=5
- Potencia máxima= 15 Watt típico 10W.
- I funcionamiento de 0.5 a 1 A.
- Vi de 7 a 25 VDC.

Se considera en un funcionamiento de 60 %.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La fuente proporciona 12 VDC.

(3.1)

(3.2)

Como en la salida requiero 3 A de corriente se usara un transistor que me proporcione la corriente superior requerida a este y calculamos el valor de la resistencia a partir donde el transistor entra en funcionamiento para llegar a los 3A requeridos.

Como la corriente de salida es;

Para excitar al transistor se tiene la ecuación de base.

(3.3)

Valor estándar 1Ω.

Para calcular la potencia del resistor se tiene;

(3.4)

Seleccionamos un resistor de 1 watt por seguridad.

El disipador será convenientemente grande, pero solo el regulador está trabajando en 60 % lo demás lo suministra el transistor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f. Implementación.

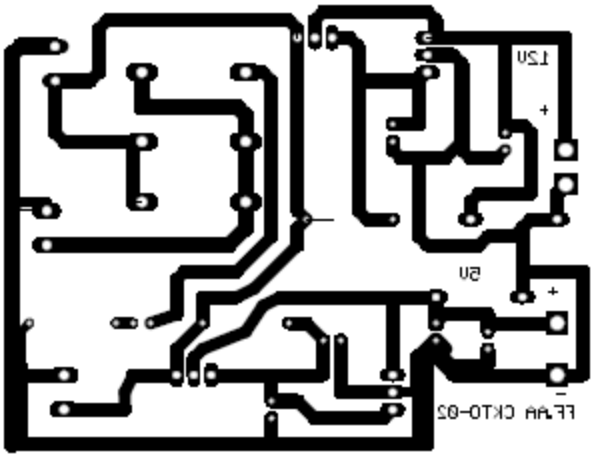


Figura 3.5: PCB de la fuente de alimentación.

Fuente 22: [Elaboración Propia]

g. Pruebas.

Se realizan mediciones de parámetros, para determinar su funcionamiento con voltímetro y se obtiene el siguiente resultado.

Criterio	Input	Vout 5 v	Vout 12 V	V puente H
Por diseño	12 V	5 V	12 V	12 V
Medido	12 V	5.2 V	12 V	12 V
Por diseño	24 V	5 V	12 V	24 V
Medido	24 V	5.2 V	12.1 V	24 V

Tabla 6: Prueba de resultados de la fuente de alimentación.

Fuente 23: [Elaboración Propia]

De la tabla 6 se puede concluir que el diseño de la fuente cumple las especificaciones dadas, ya que los valores deseados y las medidas tiene una variación mínima de 0.2 voltios en la etapa de Vout 5V en los demás igual.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para la etapa de potencia, el voltaje será el mismo que la entrada sin que se modifique por cuestiones técnicas.

3.4.2. Sensor de voltaje.

El sensor de voltaje en nuestro equipo cumplirá la función de monitorear el exceso y defecto de entrada de la fuente de alimentación en DC, siendo estrictos a la descarga de la batería dentro de un rango prefijado. La finalidad es evitar sobrecalentamiento de la etapa de potencia o sobre corrientes innecesarios que a un defecto o exceso de voltaje podría ocurrir.

Tendrá la capacidad de alertar cuando se acerca a rangos establecidos y aperturar la carga del inversor cuando se encuentre o exceda los límites para evitar consecuencias fatales.

a. Criterios de diseño e implementación.

El sensor de voltaje se implementara de aplicación multipropósito para monitorear en tiempo real la entrada DC hacia el inversor. Se utilizara el principio de divisor de voltaje colocando red de resistores y OPAM en configuración seguidor de voltaje para que tenga alta impedancia en DC y acoplar al uC.

- Podrá ser utilizado para una fuente de corriente alternar donde para reducir el voltaje se utilizara transformador con núcleo ferromagnético o de ser en DC podría obviarse esta etapa.
- Se acondiciona de acuerdo al requerimiento del uC.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b. Especificaciones técnicas.

- Rango de medición : 0 -24 V DC típico 12 V
- Tipo de salida : análogo
- Temperatura de operación: 0 a 50°C
- Factor de escala : lineal 8.33mV/1V(prueba en campo)

c. **Circuito**.

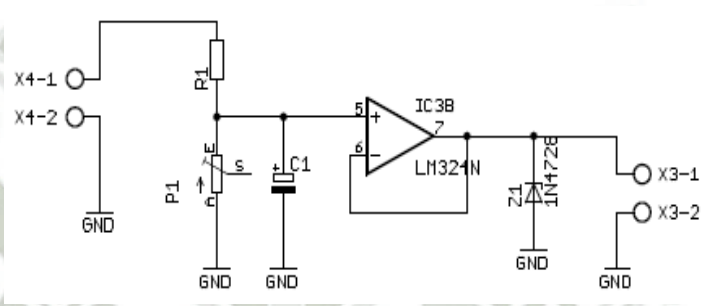


Figura 3.6: Diagrama eléctrico del sensor de voltaje.

Fuente 24: [Elaboración Propia]

d. Cálculos.

Para detectar variaciones pequeñas y la sensibilidad del sensor sea aceptable, se considera el tiempo asumiendo el funcionamiento a 60 Hz.

Tiempo

— (3.5)

Nuestro τ deberá ser menor a 8.33 mS para obtener suficiente información que será determinado por P1 y C1, la capacidad de C1 debe ser pequeña, eligiendo capacitor de 4.7uF valor estándar.

Calculando la resistencia.

(3.6)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para evitar el corto circuito se colocara una resistencia adicional de bajo valor que evitara el cero ohm, pero técnicamente con resistores de valor estándar de 20Ω Y P1 deberá de configurarse a 1.5k y el potenciómetro deberá ser de 5K ya que usaremos divisor de voltaje para asegurar la caída en un punto Ver diagrama.

Por divisor de voltaje se tiene.

——— (3.7)

Cuando se varía voltaje de entrada, también se refleja en la variación de Vr2, por lo que se aprovecha dicha relación para capturar y medir la variación de voltaje.

e. Implementación.

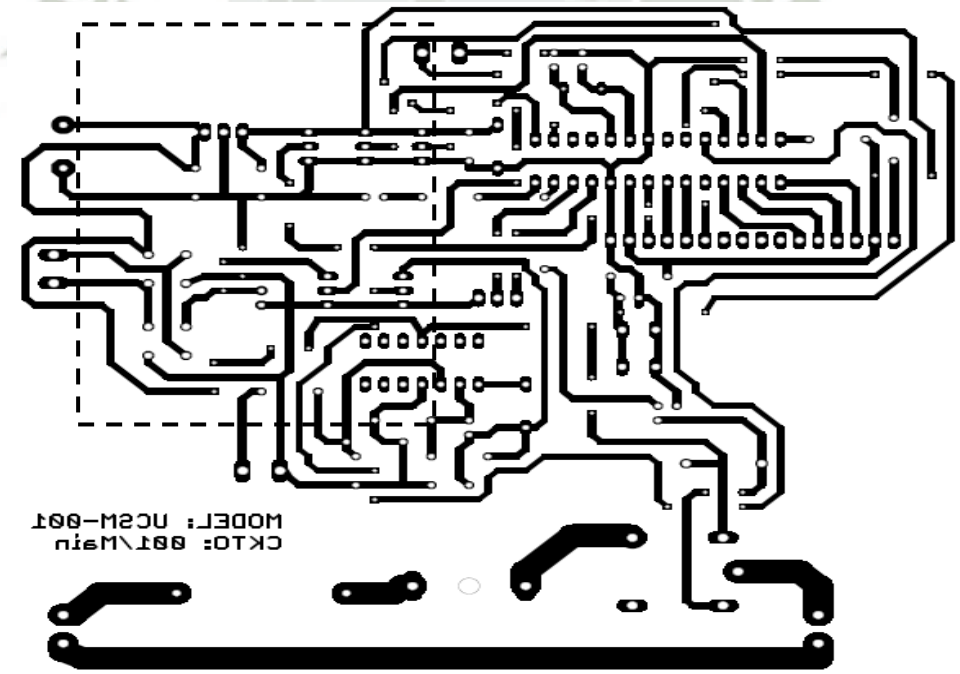


Figura 3.7: PCB del sensor de voltaje.

Fuente 25: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f. **Pruebas**.

Los datos son adquiridos aleatoriamente con un voltímetro Modelo PR-301 marca PRASEK de origen Japonés (baja calidad) en horarios diferentes.

SALIDA VOLTAJE

MUESTREO	TRAFO	SENSOR
217	12.67	4.59
219	13.27	4.76
219.5	13.44	4.87
220	13.19	4.76
220	13.48	4.85
220	13.81	4.96
221	13.53	4.90

Tabla 7: Respuestas del sensor de voltaje.

Fuente 26: [Elaboración Propia]

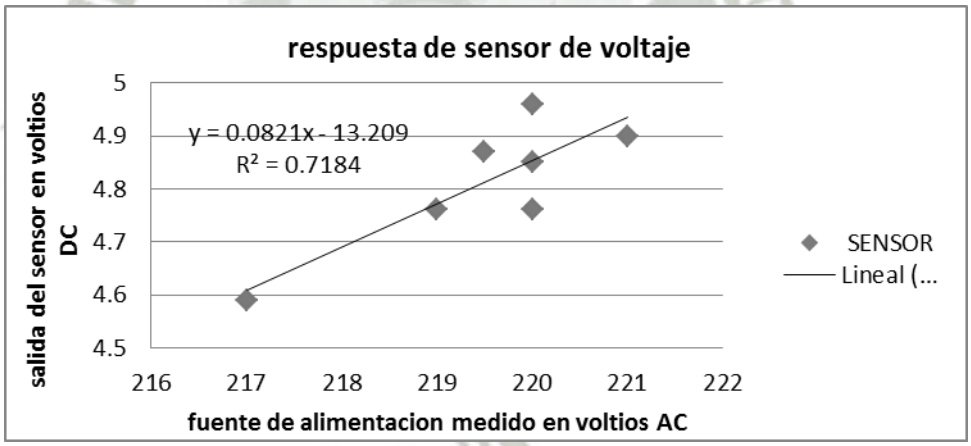


Figura 3.8: Grafico de respuesta del sensor de voltaje.

Fuente 27: [Elaboración Propia]

Interpretación.

La salida del sensor de voltaje es lineal con error de 0.71 esta es la general incluido error de medición de instrumento más el error y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

perdidas propias del instrumento, describiendo la ecuación como se aprecia en la figura 3.8.

3.4.3. Sensor de corriente.

El sensor de corriente se implementara para monitorear la corriente que produce la carga, deberá ser montado directamente al cable del circuito de fuerza del inversor, El sensor a implementar será tipo toroide, el primario serán los cables de fuerza y del secundario se obtendrá tensión diferencial en función de la corriente que consuma la carga.

a. Criterios de diseño e implementación.

- Se elige el transformador tipo toroide por ser fácil construcción y/o conseguir a costo relativamente bajo comparado con los demás tipos de sensores de corriente, además no requiere linealizar solo acondicionar y normalizar.
- Se pasara de la corriente a tensión ya que es fácil de manipular por medio de divisor de resistencia debidamente calculados por los tiempos de muestreo.

b. Diagrama de bloques del sensor de corriente.

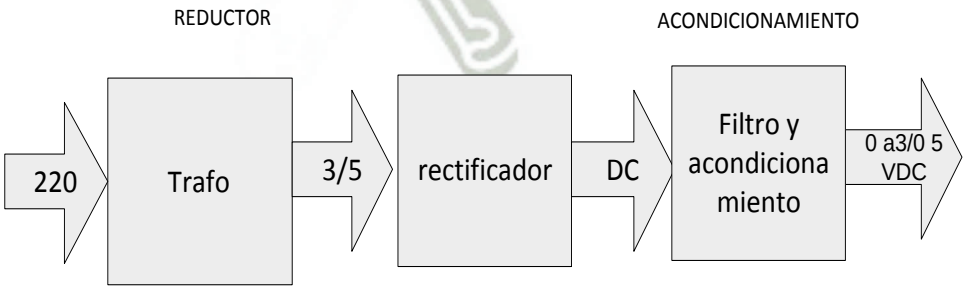


Figura 3.9: diagrama de bloques del sensor de corriente.

Fuente 28: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Especificaciones técnicas eléctricas.

- Rango de medición : 0.136 a 20 Amp. RMS
- Voltaje de alimentación : 5 VDC.
- Sensibilidad : +- 5 %.
- Tipo de salida : 0 a 5 VDC normalizado.
- Temperatura de operación: 0 a 80º C.

d. **Circuito**.

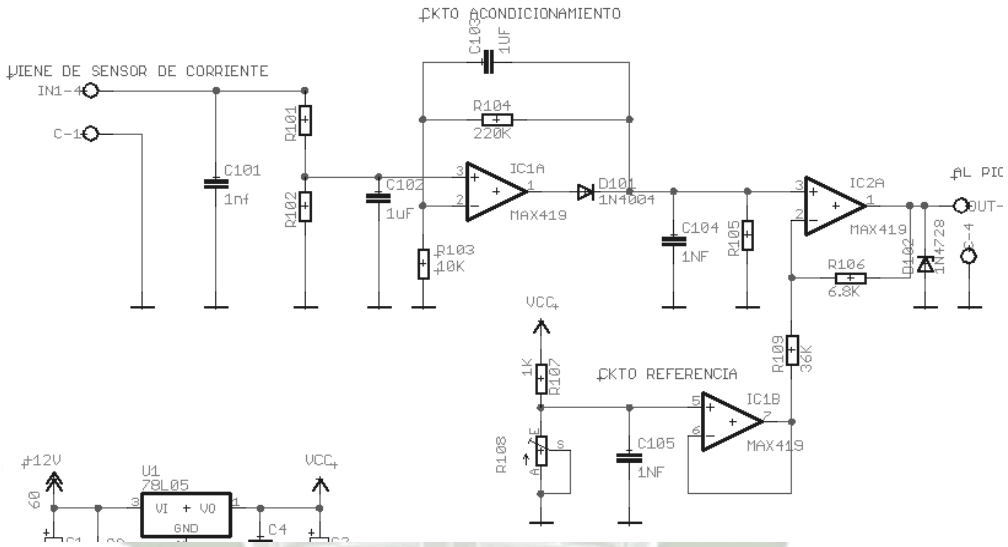


Figura 3.10: Diagrama eléctrico del sensor de corriente y acondicionamiento.

Fuente 29: [Elaboración Propia]

e. Cálculos

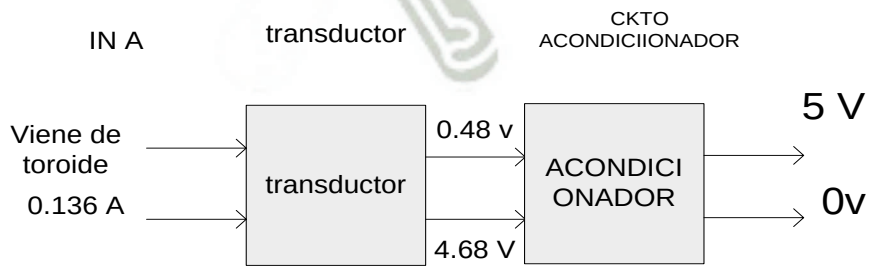


Figura 3.11: Respuesta y salidas deseadas del sensor de corriente.

Fuente 30: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De la respuesta del grafico ubicamos los puntos donde se intersecan para luego halar la pendiente y valores de los componentes, en este caso el primer punto seria (0.25,0) y el segundo (1.5,5) de allí la gráfica siguiente.

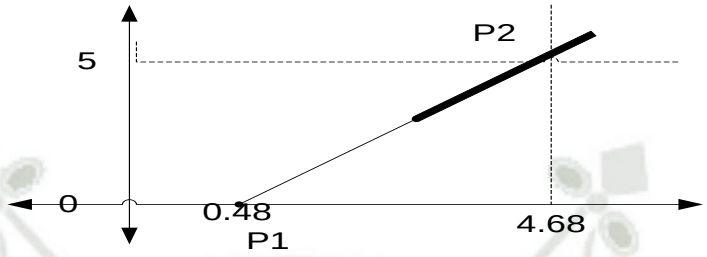


Figura 3.12: grafico de puntos de respuesta del sensor.

Fuente 31: [Elaboración Propia]

Ecuaciones.

Ecuación de la recta.

(3.8)

Igualando las salidas se 0 y 5v deseados con la ecuación (3.8) se tiene,

1 (3.9)

) (3.10)

Resolviendo las de ecuaciones. Multiplicamos por (-1) a la primera ecuación (1).

(3.11)

Resolviendo obtenemos.

(3.12)

Despejamos m (pendiente) — ,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Calculamos la constante b.

(3.13)

$$5 = 4.68 * 1.19 + b$$

Ecuación general

(3.14)

Ecuación del acondicionador de voltaje.

— — (3.15)

Para calcular el valor de los resistores se iguala la ecuación (3.14) y (3,15).

Calculo de R1.

— (3.16)

— Elegimos RF= 47k

Entonces

——

Elegimos resistencia valor estándar. De 243k y 249K al 1% de tolerancia, pero se elige al 249K por ser más cercano y mayor ganancia.

Calculando voltaje de referencia.

— (3.17)

Calculo de divisor de voltaje

Se usa resistor de 1K y potenciómetro de 5K multivuelta.

—— (3.18)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El potenciómetro deberá de ajustarse a 3.6 K.

f. Implementación.

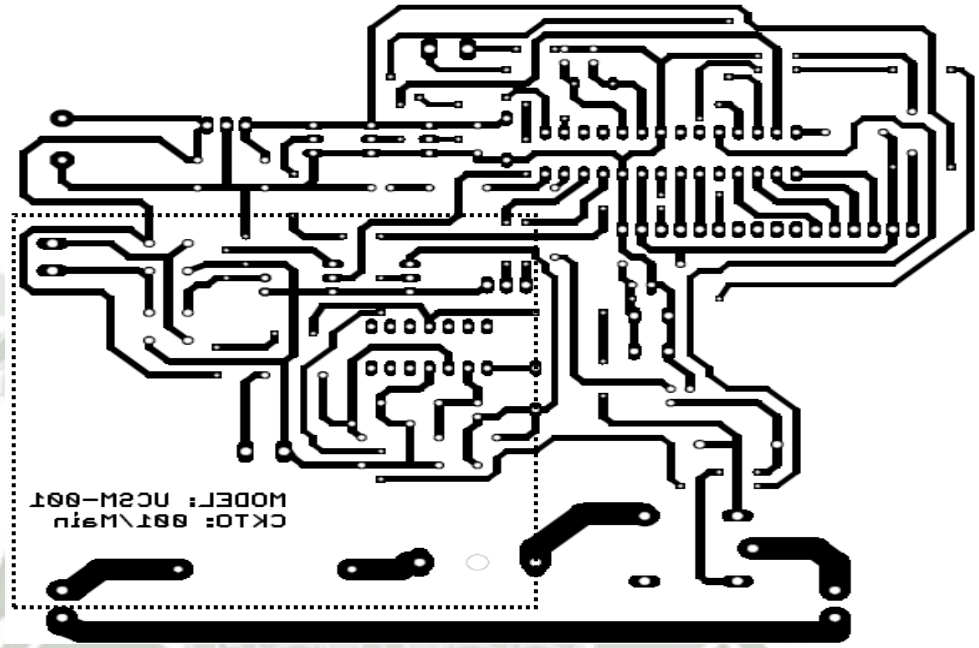


Figura 3.13: PCB del sensor de Corriente.

Fuente 32: [Elaboración Propia]

g. Pruebas.

NOMBRE CARGA RESISTIVO	FF AA	POT CARGA	CORRIENTE CARGA	SALIDA OPAN V
PLANCHA DE 1600W	220	1600	7.272	4.07
OLLA AROCERA 600w	220	600	2.727	2.3
CUATIN 70W	220	70	0.318	1.23
CUATIN 30W	220	30	0.136	0.5

Tabla 8: PCB del sensor de temperatura.

Fuente 33: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

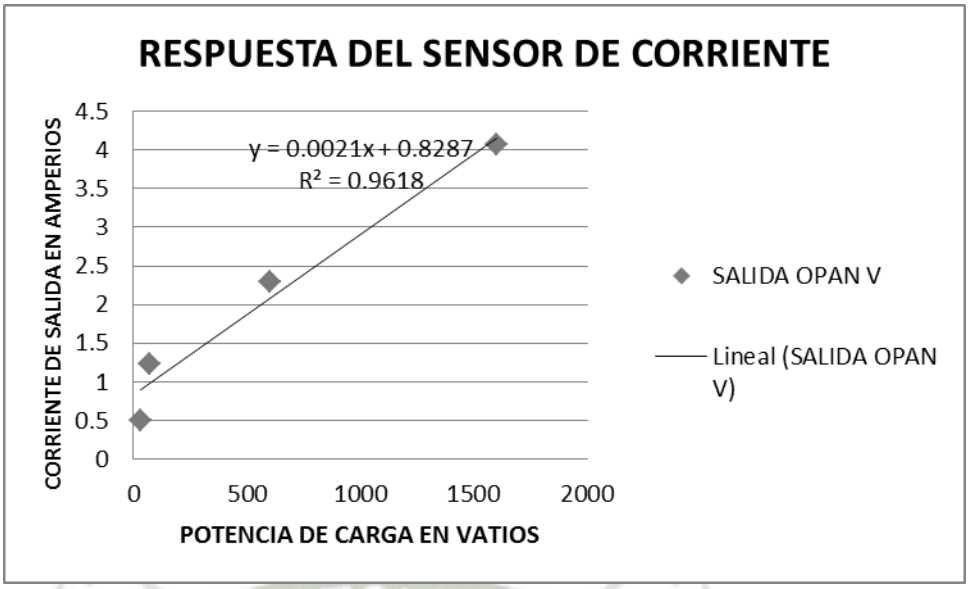


Figura 3.14: Respuesta del sensor de corriente.

Fuente 34: [Elaboración Propia]

Interpretación.

De la figura 3.14, se puede afirmar que la salida es lineal con un error de 0.96, con ecuación que describe a la salida del sensor y=0.0021x + 0.83 aceptable para monitoreo de bajo costo.

3.4.4. Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura en nuestro diseño cumplirá el rol de monitorear la temperatura de la etapa de potencia, estrictamente a los 4 transistores que forman el puente H, tendrá la capacidad de abrir la carga del inversor ante un exceso de temperatura, especificada por el fabricante de los transistores.

a. **Criterios de diseño e implementación.**

El sensor de temperatura se implementará en base al LM35, por linealidad y bajo costo comparado a otro tipo de sensores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Sera montado directamente sobre el disipador de calor de los dispositivos de potencia con los aspectos de seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento.
- Se considera el funcionamiento a temperatura ambiente y considerando las especificaciones del fabricante de los transistores.
- Se acondiciona de acuerdo al requerimiento del uC.

b. Diagrama de bloques del sensor de temperatura.

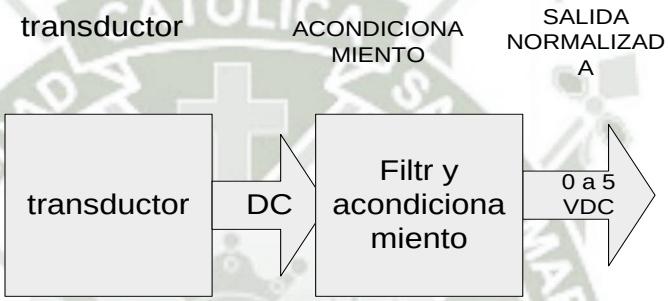


Figura 3.15 Diagrama de bloques del sensor de temperatura.

Fuente 35: [Elaboración Propia]

c. Especificaciones técnicas eléctricas.

- Rango de medición : 0 a 150 °C (data sheet)
- Voltaje de alimentación : 5 VDC.
- Tipo de salida : 0 a 5 VDC normalizado
- Temperatura de operación : 0 a 100°C
- Factor de escala : lineal 8.33mV/ °C (prueba en campo)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

d. **Circuito**.

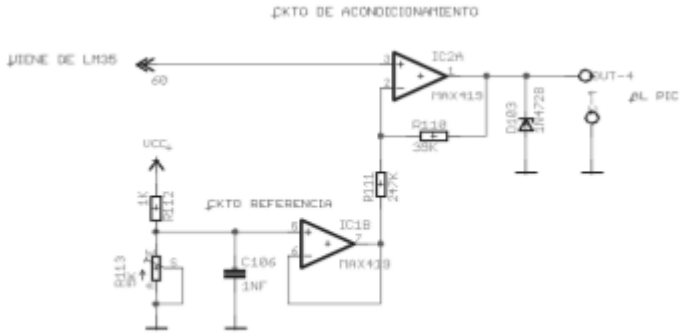


Figura 3.16: Esquema eléctrico del sensor de Temperatura y acondicionamiento de señal.

Fuente 36: [Elaboración Propia]

e. Cálculos.

Se tendrá que partir del diagrama de respuestas del LM35 que se muestra en la siguiente figura de allí se encuentra la ecuación que describe a la respuesta del LM35 y se acondiciona conforme al requerimiento convirtiéndola como un sensor análogo con salida normalizada de 0 a 5 V DC.

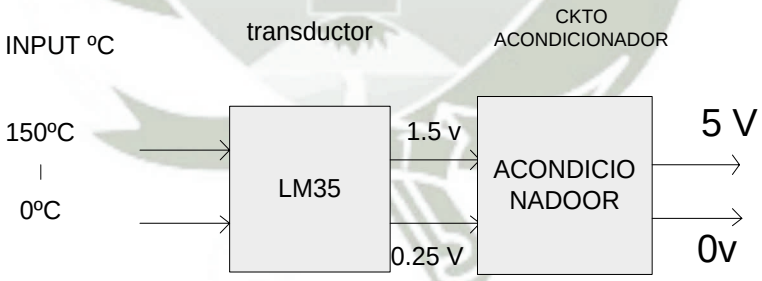


Figura 3.17: Respuesta y salida deseada del sensor de temperatura.

Fuente 37: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De la respuesta del grafico ubicamos los puntos donde se intersecan para luego halar la pendiente y valores de los componentes, en este caso el primer punto seria (0.25,0) y el segundo (1.5,5) de allí la gráfica siguiente.

Grafica para acondicionar

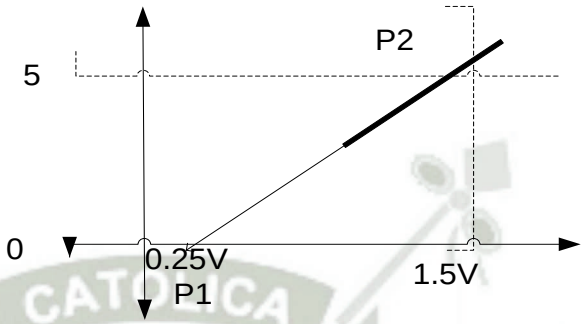


Figura 3.18: Grafica de la pendiente a partir de puntos de operación.

Fuente 38: [Elaboración Propia]

Calculo de la pendiente

La respuesta del circuito no inversor con los operacionales describe que

Vo=Vsm+b

Y esta también representa a la ecuación de la recta, se elige dicho circuito en virtud a que representa la ecuación de la recta, por lo que nuestro requerimiento es de un voltaje normalizado de fácil manejo a que el voltaje en rango desconocido.

Donde:

(3.20)

Para la salida de cero voltios, voltaje mínimo la salida será.

(3.21)

Para la salida de cinco voltios, voltaje máximo de salida será.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

(3.22)

Resolviendo el sistema de ecuaciones. Multiplicamos por (-1) a la primera ecuación.

(3.23)

Resolviendo obtenemos.

(3.24)

Calculando la constante b.

Ecuación general.

(3.25)

Ecuación del acondicionador de voltaje.

— — (3.26)

Calculo de R1.

— (3.27)

— Elegimos Rf= 39k

Entonces

—

Ambos son de valor estándar en 5% de resistencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Calculando voltaje de referencia.

— (3.28)

Calculo de voltaje de diferencia mediante divisor de voltaje.

Se usa resistor de 1K y potenciómetro de 5K multivuelta por su característica de relación vuelta/ohm muy pequeño.

—— (3.29)

——

——

El potenciómetro deberá de ajustarse a .

f. **Implementación**.

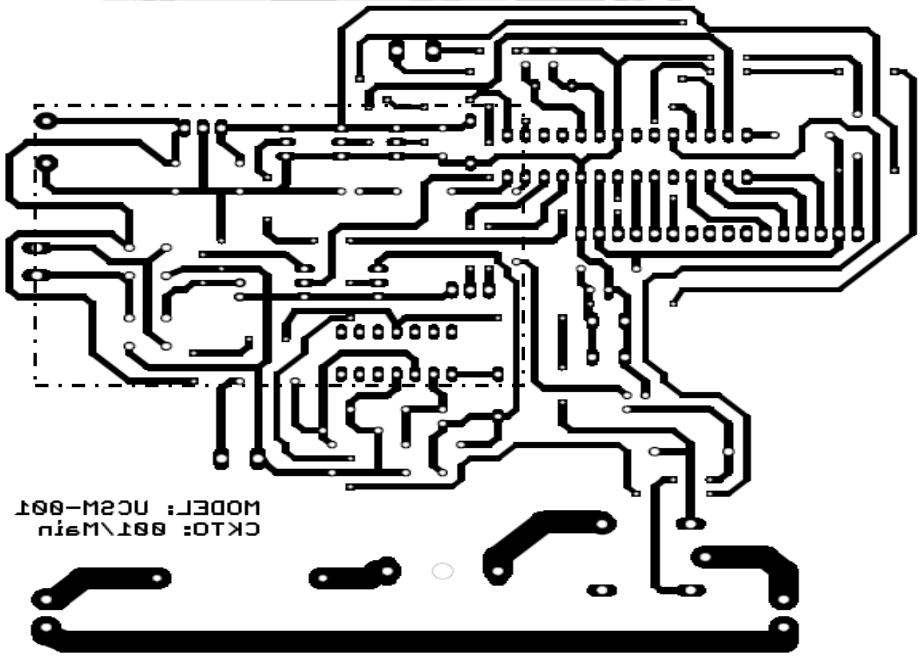


Figura 3.19: PCB del sensor de temperatura.

Fuente 39: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

g. Pruebas.

Se realizaran las pruebas junto al equipo terminado ya que la parte de potencia debe estar en constante.

3.4.5. Sensor de inversión de polaridad.

La finalidad de este sensor en nuestro equipo será de alertar al usuario mediante un indicador LED que permita alertar que debe de corregir la conexión eléctrica del equipo.

a. Criterios de diseño e implementación.

- Se aprovechara la conducción unidireccional de los diodos rectificadores.
- Deberá de instalarse en la entrada de alimentación del equipo para evitar daños a los demás etapas del inversor.
- No requiere de acondicionamiento ni procesamiento por ser elemento primario de control discreto de alimentación para todo el inversor.

b. Diagrama de bloques.

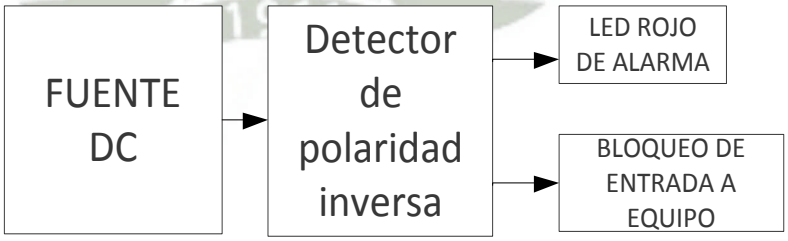


Figura 3.20: diagrama de bloques del sensor de polaridad inversa

Fuente 40: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Especificaciones técnicas eléctricas.

- Voltaje de alimentación : no especificado.
- Tipo de operación :discreta
- Temperatura de operación : 0 a 80°.
- Indicador : LED ROJO

d. **Circuito**.

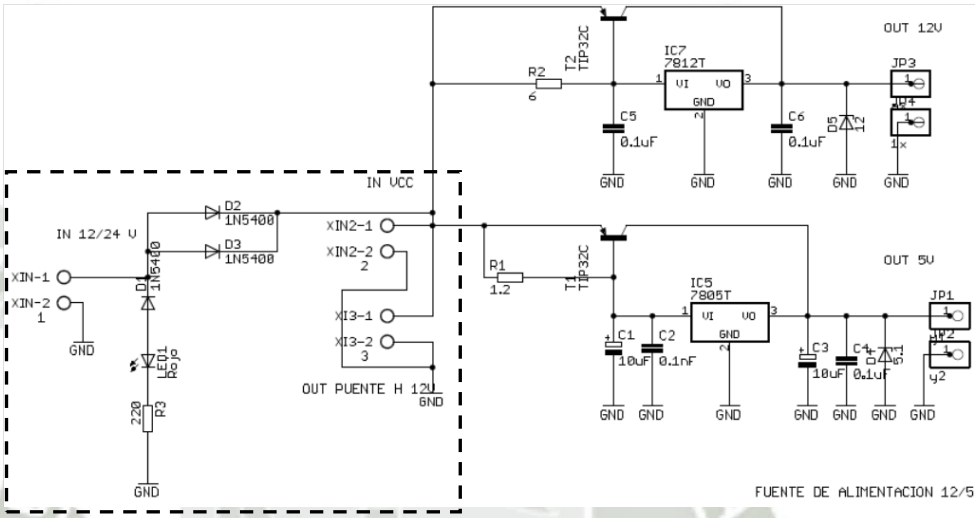


Figura 3.21: Diagrama eléctrico de Protección de Polaridad.

Fuente 41: [Elaboración Propia]

e. Cálculos

Para los cálculos se considera la ley de conservación de energía, y el comportamiento de diodo de silicio que conduce en una sola dirección o polarización directa o inversa en cada caso.

Cuando la entrada de DC tiene polaridad correcta:

(3.30)

(3.31)

Como el voltaje el D1 no conduce, entonces no existe corriente por lo tanto el LED no se ilumina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cuando la polaridad es entrada DC es invertida:

, como los diodos de bloqueo están polarizados inversamente no conducen por lo tanto no existe voltaje alguno en el inversor.

(3.32)

En este caso D1 se polariza directamente y deja el paso de la corriente haciendo que el LED rojo se encienda.

Será necesario realizar el cálculo de R1 para que el LED rojo trabaje adecuadamente.

(3.33)

Por ley de Ohm.

(3.34)

Despejando R1

(3.35)

De las hojas de datos del LED se tiene; VLED 1.2 V, corriente máxima 20mA se elige 15mA.

Del hoja de datos de diodos 1N4008 se tiene conducción=0.7V

Entonces

Se elige resistencia de 670Ω como valor estándar al 5%.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

f. Implementación.

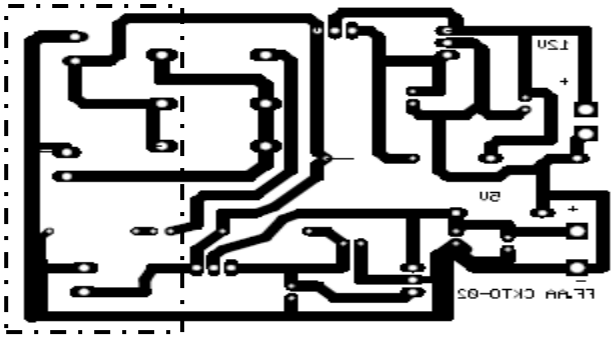


Figura 3.22: PCB del sensor de polaridad inversa.

Fuente 42: [Elaboración Propia]

g. Pruebas.

Las pruebas no tienen mucha relevancia en virtud de ser discreto.

3.4.6. Etapa de control de Disparo.

Aquí se debe tener en consideración la generación de señal modulada con ancho de pulsos múltiples, equivalente a otras técnicas de modulación por ancho de pulsos múltiples; desarrollados con la diferencia se implementara mediante software exclusivamente.

a. Circuito.

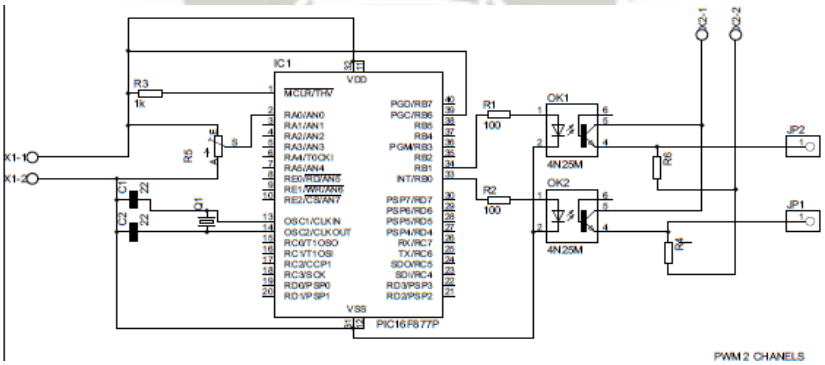


Figura 3.23: Diagrama eléctrico del generador PWM.

Fuente 43: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b. Algoritmo de Software para generar modulación de ancho de pulsos múltiple de dos canales para el control de puente H (PWMs).

La finalidad es generar aprovechando los módulos de timers, CPP1 y CPP2 con las instrucciones necesarias para generar 2 señales de PWM en los canales CPP del PIC para generar las salidas de modulación de ancho de pulsos múltiples para el control de disparo de la etapa de potencia.

En el figura 3.24 se establece un patrón en matlab, donde se genera la onda diente de sierra, acompañado de onda senoidal y seno desfasada, comparando las últimas con la diente de sierra se obtiene PWM negativo y positivo, para luego comparar y obtener la señal deseada y con el mismo algoritmo se determina la frecuencia del inversor.

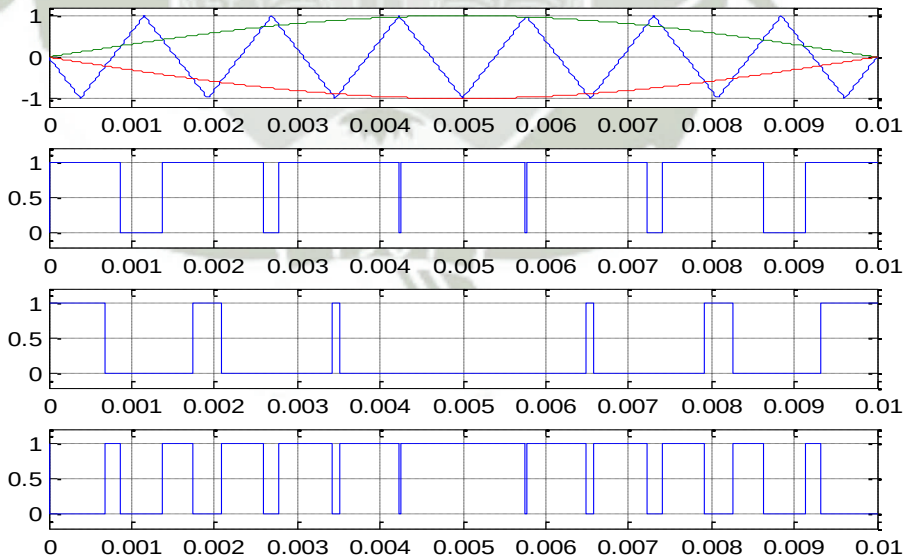


Figura 3.24: Patrón de ondas del PWM múltiple generadas por matlab.

Fuente 44: [Matlab ver.7.8, Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El diagrama de flujos ilustra la lógica de funcionamiento y las secuencias que suceden para realizar de forma lógica la equivalencia de señal modulación por ancho de pulso sinusoidal y sinusoidal modificado, que se presenta el flujograma en la figura 3.24.

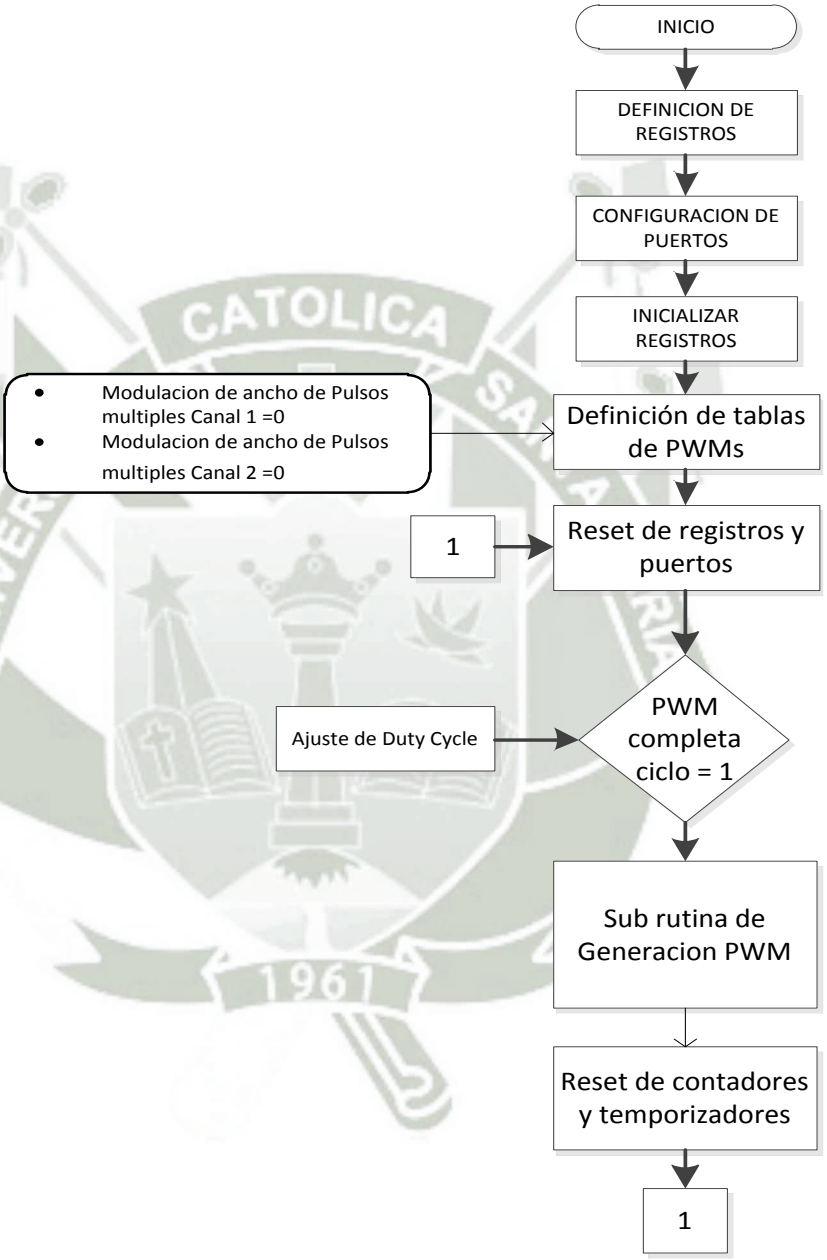


Figura 3.25: Diagrama de flujo del generador PWM 2 canales.

Fuente 45: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c. Implementación.

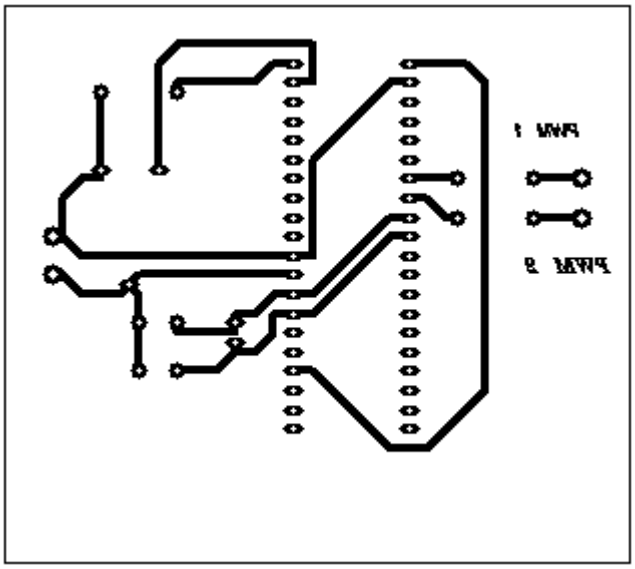


Figura 3.26: PCB de control de disparo.

Fuente 46: [Elaboración Propia]

d. Pruebas.

Para observar el resultado experimental, se verifica por medio de un osciloscopio TDS1200 marca tektronic, teniendo los resultados siguientes.

La fig. 3.25 muestra la señal de modulación por ancho de pulsos múltiples PWM de dos canales vista general.

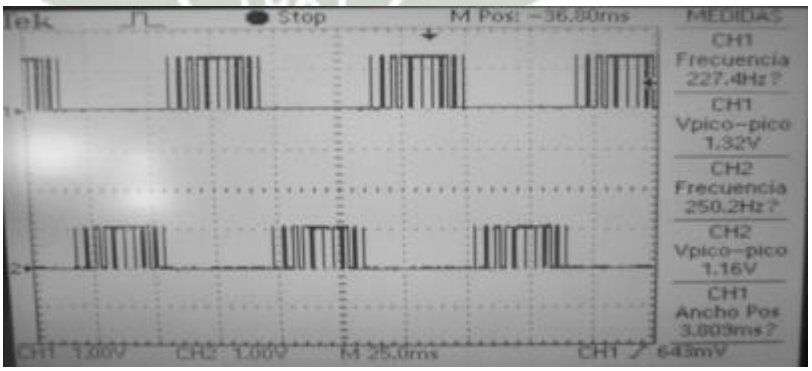


Figura 3.27: Señal PWM múltiple de dos canales generado por PIC.

Fuente 47: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La figura 3.26 se aprecia la misma señal pero ampliada para aclarar la forma real de los pulsos de la etapa de potencia en sus dos canales.

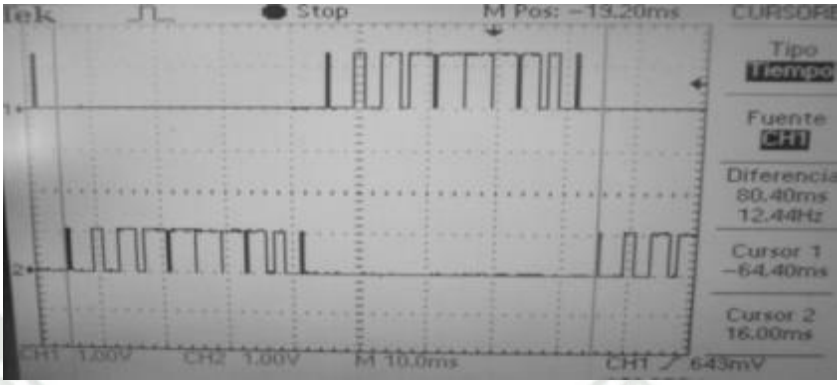


Figura 3.28: Señal ampliada de modulación de ancho de pulsos múltiples PWM generado por PIC.

Fuente 48: [Elaboración Propia]

3.4.7. Etapa de potencia.

Esta etapa es la que proporciona la energía necesaria en función a la excitación que los circuitos disparadores lo hagan gobernados por un PIC, con salida de PWM múltiple, dicho efecto deberá de repetirse también en la salida.

a. Criterios de diseño e implementación.

Aquí no se diseña la parte de potencia en virtud que hay mucha información en los libros e internet solo se mencionara algunas consideraciones de elección.

- Debe proporcionar máxima energía y se elige puente H completo.
- El dispositivo de potencia puede ser con transistor, mosfet, SCR, GTO e IGBT, recomendándose el uso de IGBT para altas potencias por su rapidez en conmutación y manejo de altas corrientes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Deberá de consignar las redes snubber para cargas inductivas.
- Tendrá que tener el circuito de disparo adecuado de modo que no exista traslape de señal.

b. Diagrama de bloques.

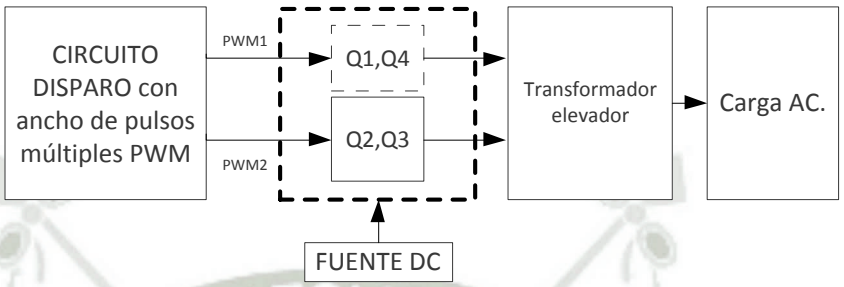


Figura 3.29: Diagrama de bloques de la etapa de potencia.

Fuente 49: [Elaboración Propia]

c. Especificaciones técnicas.

- Voltaje de alimentación : 12/24 VDC.
- Tipo de salida : PWM
- Temperatura de operación : 0 a 80° C
- Refrigeración : Disipador de aluminio

d. **Circuito**.

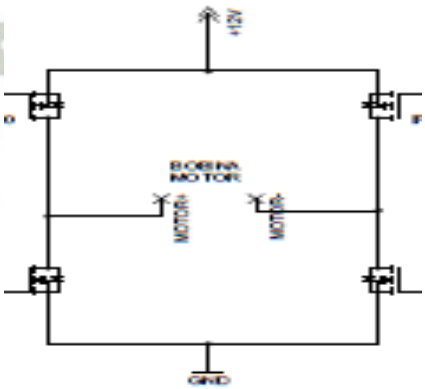


Figura 3.30: etapa de potencia en configuración H del inversor.

Fuente 50: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

e. Cálculos

Aquí se describe las condiciones de conducción y no conducción que obedecen a las señales de control y se abrirán o cerraran como se aprecia en la tabla siguiente.

CONDICION	ENTRADA		SALIDA RL
1	Q1 Y Q4	ON	+ VCC
	Q2 Y Q3	OFF	
2	Q1 Y Q4	OFF	- VCC
	Q2 Y Q3	ON	
3	OTROS		Cero

Tabla 9: tabla de estados del puente H del inversor.

Fuente 51: [Elaboración Propia]

La ecuación de la salida seria representado por la sumatoria de partes de onda que describe la función.

— (3.36)

— (3.37)

Donde:

M= Índice de modulación

Ar = amplitud pico de señal de portadora.

Ac = Amplitud pico de señal de referencia

Vo= Voltaje de salida rms

Vs= Voltaje pico

El coeficiente de Fourier de salida, se representa por la ecuación siguiente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

— — — ; Para

n=1,3,5 (3.38)

De hecho es complejo su cálculo por ser señales muy pequeñas y la función en intervalos de tiempo diferentes son en el orden de nano segundos.

No es necesario calcular, bastara que se implemente y que la salida se pueda revisar con el osciloscopio.

f. Implementación.

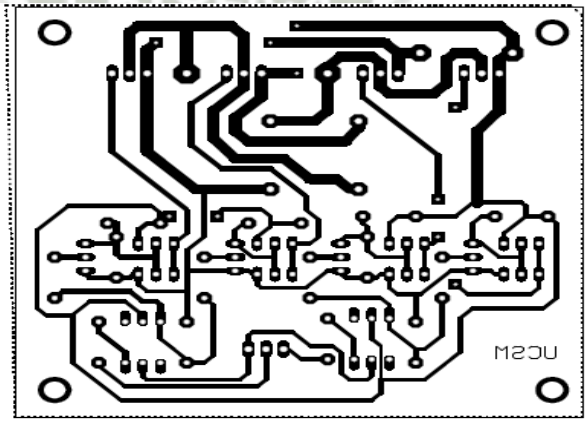


Figura 3.31: PCB del Puente H del inversor.

Fuente 52: [Elaboración Propia]

g. Pruebas.

Los resultados se aprecian en el capítulo siguiente donde se precisa los resultados experimentales, ya que necesariamente tiene combinar son el software, elaborado en la parte de diseño de PWMs.

3.5. Diseño de software.

El software será implementado para el gobierno de todo los elementos de control en vista que las variables monitorear deberán de realizar alguna acción

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

en función de la variación de los parámetros fundamentales como: ingreso de bajo de voltaje, exceso de corriente de consumo, alta temperatura en la etapa de potencia.

Opcionalmente, gobierna a otros elementos subyacentes que permitirán el adecuado funcionamiento del inversor añadiendo elementos de visualización por medio de mensajes y elementos luminosos como LEDs que indican cada estado.

3.5.1. Cantidad de entradas y salidas

Con la información de las entradas y salidas, se determinara las acciones que realiza el control en función de los estados de entrada para obtener una salida deseada, a continuación se muestra las entradas que posee el equipo.

N°	DESCRIPCION	ENTRADAS		CANTIDAD
		DIGITALES	ANALOGICAS	
1	sensor temperatura		Si	2
2	sensor corriente		Si	1
3	sensor de voltaje		Si	1
4	sensor polaridad inversa	Si		1
5	SW ON / OFF	Si		1
6	Botón reset	Si		1
TOTAL DIGITALES				**3**
TOTAL ANALOGICOS				**4**

Tabla 10: Resumen de entradas digitales y análogas del inversor.

Fuente 53: [Elaboración Propia]

En la tabla siguiente se muestra el listado de las salidas tanto análogas como digitales del equipo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N°	DESCRIPCION	SALIDAS		CANTIDAD
		DIGITALES	ANALOGICAS	
1	relé sobre corriente	Si		1
2	relé de baja voltaje	No		
3	LED ON	Si		1
4	LED Off	Si		1
5	Paro emergencia	Si		1
6	salida LCD	Si		1
7	LED inversión de polaridad	Si		1
8	PWM para Puente H		No	2
TOTAL DIGITALES				**7**
TOTAL ANALOGICOS				**2**

Tabla 11: Etapa de potencia en configuración H del inversor.

Fuente 54: [Elaboración Propia]

3.5.2. Diagrama de flujo del programa.

Aquí se presenta la lógica que controla los parámetros que hacen necesarios el buen funcionamiento del inversor.

Debe actuar las salidas en las condiciones siguientes.

Si a voltaje de entrada es 12 VDC y en algún momento es de 11 voltios, en la salida nos avisara mensaje de alarma por bajo voltaje de mantener y/o bajar a 9 voltios, el relé de bajo voltaje se activara.

Si la corriente en la salida es mayor a 4 A durante más de 2 mS, el relé de sobrecarga se abrirá y si está cerca nos mostrara un mensaje de alarma de exceso de corriente.

Si la temperatura en la etapa de potencia excede los límites de fabricación de los dispositivos de potencia, también mostrara alarma y de persistir se cortara la carga del inversor.

Los demás elementos son de visualización secundaria asociado que con la siguiente lógica se implementa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Vale precisar que la lógica que involucra el programa principal, asi como las subrutinas del equipo se adjuntan en el apéndice, que por ser extensa no se considera dentro del desarrollo.

Pero si se aprecia los diagramas de flujos para entender de la lógica desarrollada para conseguir nuestro objetivo en el control del inversor que se muestra en el grafico siguiente.

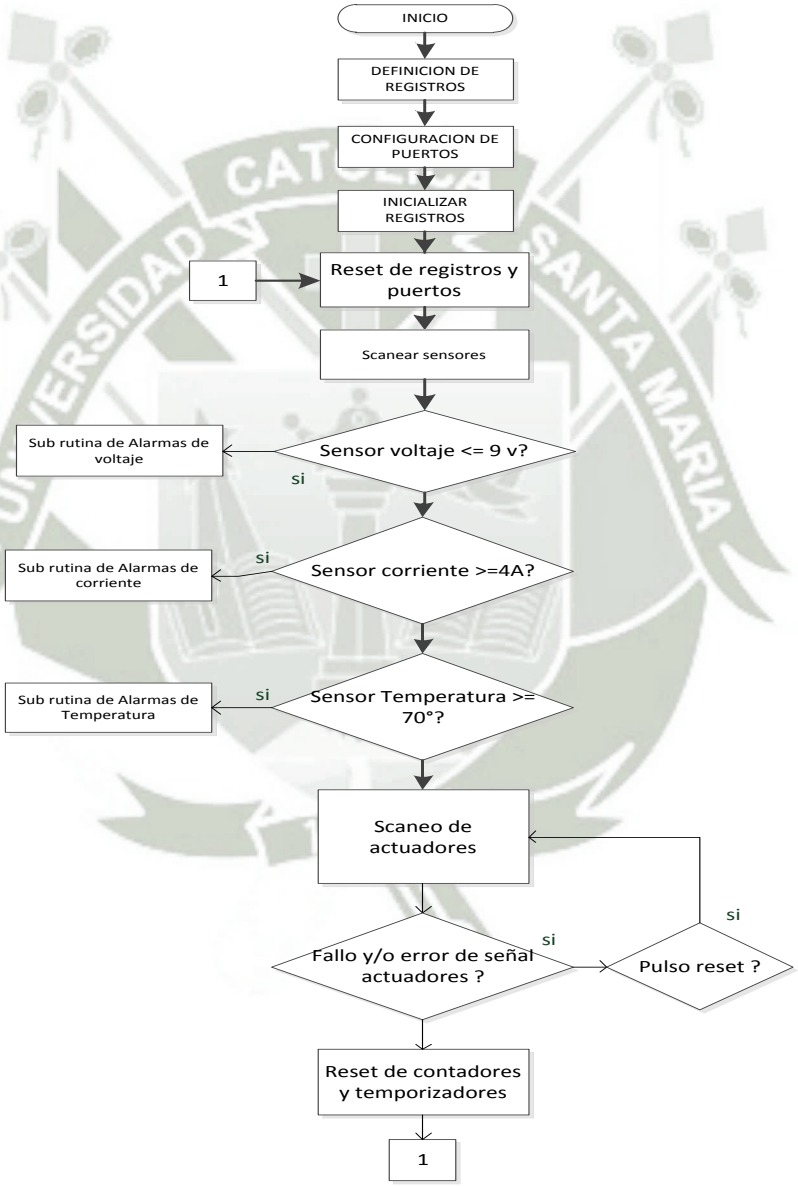


Figura 3.32: Diagrama de flujo del software del inversor.

Fuente 55: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.5.3. Sub rutinas.

Se opta por sub rutinas que permitan el control de lógica específico para que la corrección de errores y detección de fallas sea rápida teniendo los siguientes.

f. Subrutina del sensor de corriente.

La presente subrutina, maneja exclusivamente el tratamiento de variable de corriente para luego enviar en status y señales de disparo para apertura de la carga del equipo que a continuación se presenta en el diagrama siguiente.

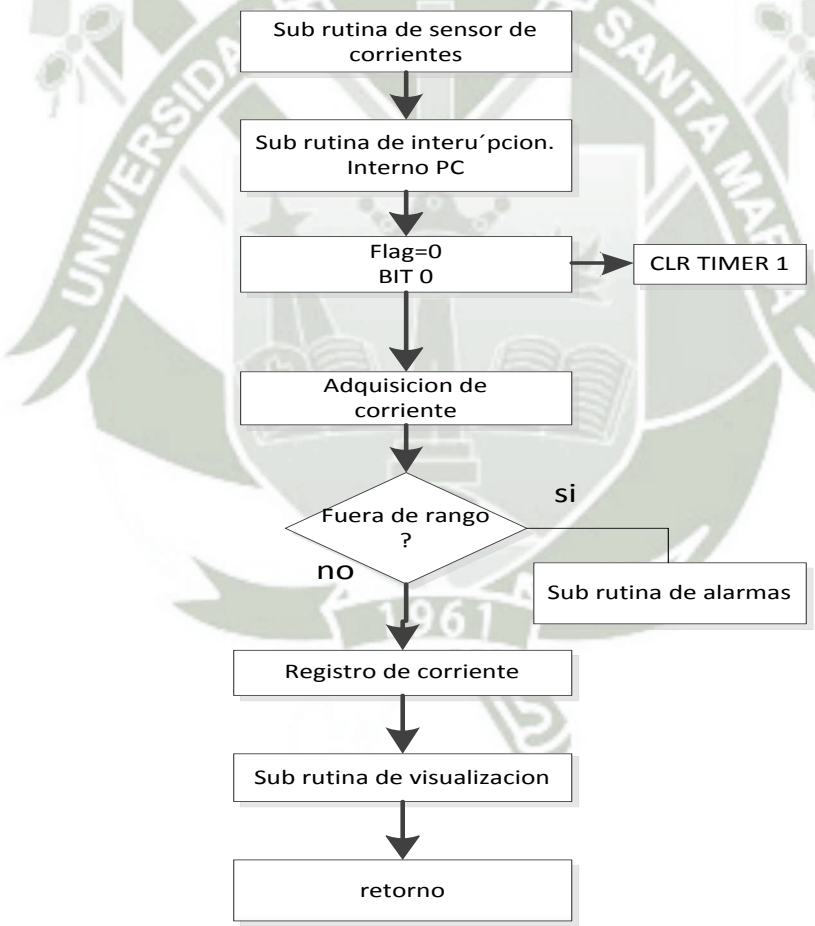


Figura 3.33: Diagrama de flujo de subrutina de corriente.

Fuente 56: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

g. Subrutina del sensor de voltaje

La presente subrutina, maneja exclusivamente el tratamiento de variable de voltaje que activa por defecto de bajo voltaje de alimentación luego enviar en status y señales de disparo para apertura de la carga del equipo que a continuación se presenta en el diagrama siguiente.

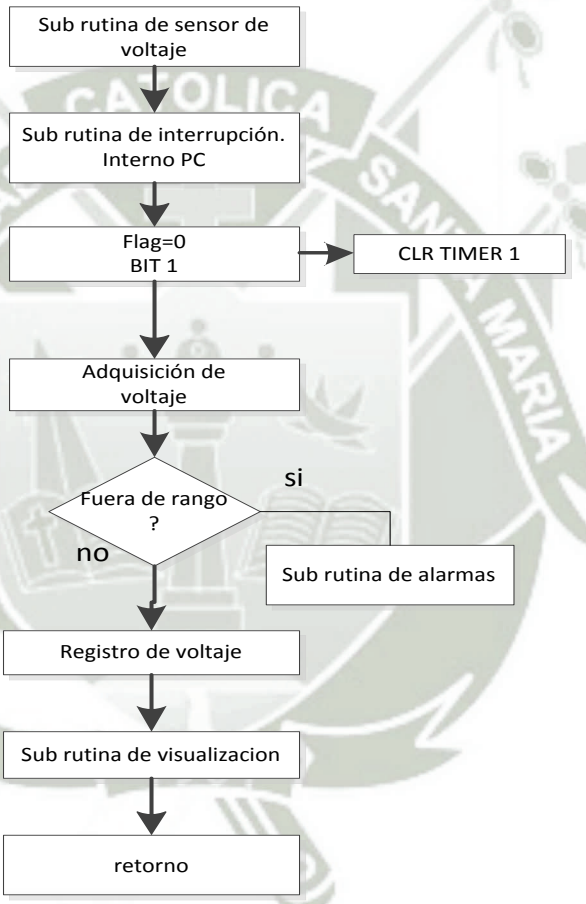


Figura 3.34: Diagrama de flujo de subrutina de sensor de voltaje.

Fuente 57: [Elaboración Propia]

h. Subrutina de sensor de temperatura.

La presente subrutina, maneja la temperatura exceso del inversor que puedan afectar directamente a los semiconductores de potencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

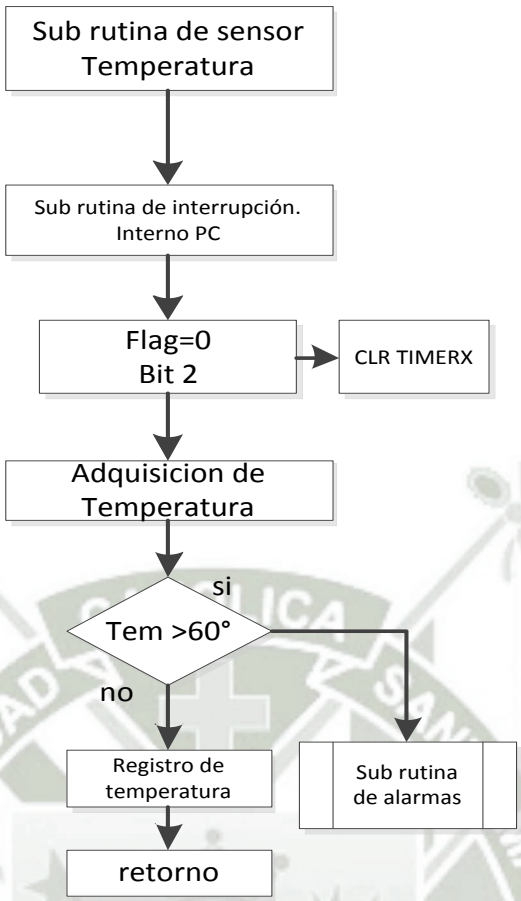


Figura 3.35: Diagrama de flujo de subrutina sensor de Temperatura.

Fuente 58: [Elaboración Propia]

i. Subrutina de visualización.

La presente subrutina, maneja los estados de todos los instrumentos o variables controlados como alarma, en estado normal del inversor; está asociado por los instrumentos y los set asignados como lógica con el display de visualización.

j. Subrutina de tratamiento de alarmas.

La presente subrutina, maneja todas las alarmas desde su activación y su desactivación o reset que en un evento de presencia o ausencia pueda reinicializar las condiciones de funcionamiento del inversor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

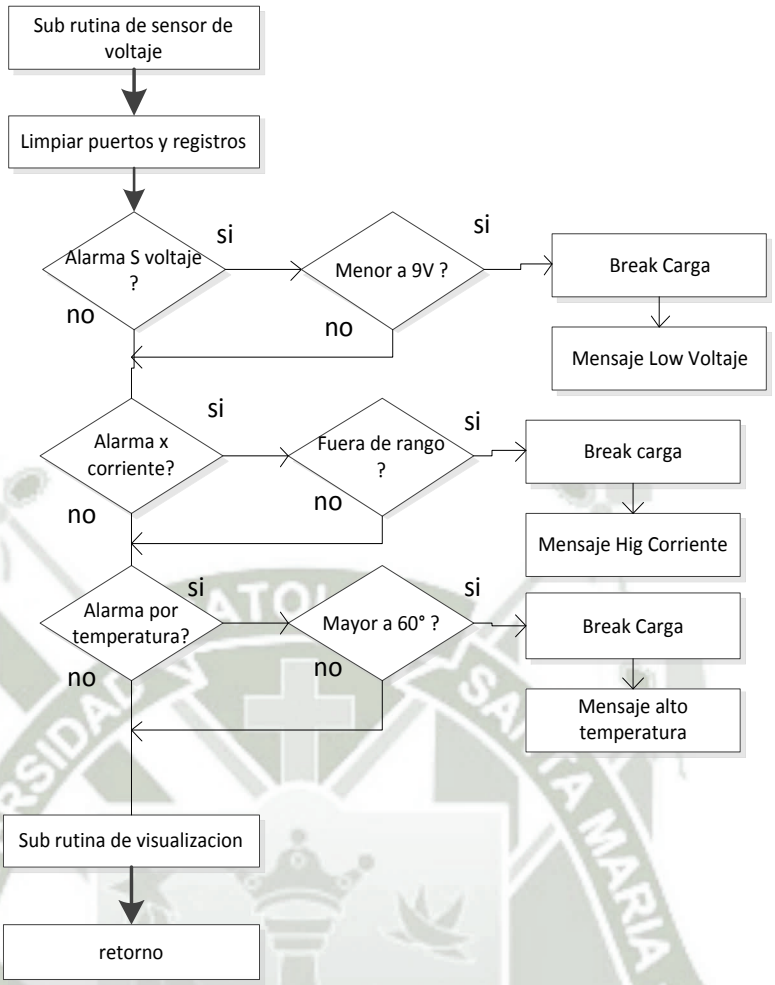


Figura 3.36: Diagrama de flujos de tratamiento de alarmas.

Fuente 59: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPITULO IV

Planteamiento operacional.

4.1. Esquema conceptual

El inversor consiste de un equipo que genera corriente alterna a partir de corriente continua, la conversión lo hace un módulo de 4 transistores en configuración H que permite la apertura y cierre dentro de los intervalos definidos por la etapa de disparo, asociado a un transformador elevador que desde 12 voltios eleva a 220 AC.

El principal elemento para la etapa de control del puente H está formado un microcontrolador de michochip que genera dos señales de modulación de ancho de pulsos múltiples (PWM múltiple), para controlar la secuencia de disparo del módulo H, esta es generado estrictamente por un microcontrolador PIC16F877.

Adicionalmente se ha implementado instrumentos para monitorear variables que por su exceso o defecto pudieran afectar el correcto funcionamiento del equipo; siendo los sensores de voltaje y corriente análogos y por medio de un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

comparador se envían señales discretas para que el siguiente microcontrolador determine los estados de funcionamiento.

El sensor de inversión de polaridad es discreta, quiere decir que deja o no deja de pasar la corriente eléctrica, se ha implementado aprovechando del comportamiento del diodo que es unidireccional y envía alerta por medio de un LED rojo.

El segundo microcontrolador se encarga de monitorear los estados de los instrumentos además la de controlar los interfaces de visualización por medio del LCD.

El sistema por ser compacto pude ser trasladado de un lugar a otro con facilidad por lo que está diseñado con que cumpla aislamiento IP 25, no está protegida para gotas ni chorros de agua por lo que se recomienda tener alejados de dichas fuentes ya que puede producir shock eléctrico o incendios.

4.2. Descripción del equipo.

El sistema funciona de la siguiente manera.

- Se supone al principio, la alimentación de energía es ausente entonces el inversor está apagado y no hay manera de que encienda ya que comparte la misma fuente.
- Se debe de alimentar con batería de 12 0 24 V u otra fuente de corriente continua como se especifica en el esquema eléctrico, ya que si se invierte de polaridad puede destruirse el equipo en total o parte, de ocurrir la inversión de polaridad el LED de indicación de inversión de polaridad estará encendido.
- Cuando el LED verde este encendida y el LED rojo este apagada, el equipo estará listo para encender con los swich de ON/OFF.
- Cuando se encienda y se verifique que no hay ninguna alarma en la pantalla de visualización, podrías ir conectando las cargas sin que ello exceda la capacidad máxima del inversor que se especifica en su hoja de datos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- El sistema tiene enclavamientos por ejemplo cuando existe alarma por bajo voltaje no existirá voltaje en la carga, cuando exista exceso de corriente de consumo tampoco habrá voltaje de salida, y cuando al conectar se invierta de polaridad el equipo ni encenderá.
- Cuando entre en fallo por alarma de voltaje o corriente, esta por comando de un reset podrá ser reiniciada, dando pase para encendido, si la condición de alarma haya desaparecido, de mantener la condición seguirá aperturando por alarma sin dar pase, en estas condiciones verificar y resolver la alarma que ocasiona.
- La parte esencial de software es básicamente, el programa implementado en el PIC, que gobierna a todo el equipo dependiendo de la condición de los instrumentos y demás entradas y salidas. se ha desarrollado de manera siguiente.
- Las condiciones de operación pueden ser configurados manualmente, así como los niveles mínimos y máximos de las alarmas de voltaje, corriente y polaridad inversa.

4.3. Análisis de costos.

El equipo diseñado deberá de cumplir ciertos requisitos que sean aceptables dentro de la sociedad o mercado que son: calidad, precio bajo y diseño ergonómico las cuales, deberán ser competitivos con equipos de otras fabricaciones reconocidas y de ensamble local.

4.3.1. Costo del inversor diseñado y ensamblado en Perú.

La estimación deberá ser el costo de parte de todos los dispositivos y componentes utilizados, así como la mano de obra requerida para la implementación y diseño hasta la obtención de equipo terminado.

El costo de los dispositivos y material haciende a 505.51 nuevos soles con 00/100, verificándose al detalle en la tabla 12.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. SOLES	PARCIAL
1	Bornera	8	S/.3.00	S/.24.00
2	cable varios	6	S/.3.00	S/.18.00
3	Caja metálica	1	S/.40.00	S/.40.00
4	Capacitores varios	20	S/.0.10	S/.2.00
5	cristal 4 MHz	1	S/.2.00	S/.2.00
6	cristal 20MHz	1	S/.2.00	S/.2.00
7	diodo rectificador 4N5	3	S/.2.50	S/.7.50
8	disipador de calor	2	S/.8.00	S/.16.00
9	estaño	8	S/.1.00	S/.8.00
10	Fusibles	4	S/.3.00	S/.12.00
11	LCD	1	S/.20.00	S/.20.00
12	LED de indicación colores	4	S/.1.00	S/.4.00
13	LM 324OPAN	6	S/.2.50	S/.15.00
14	opto acoplador 4n22	2	S/.3.00	S/.6.00
15	pasta de soldar	2	S/.1.00	S/.2.00
16	PIC 16F77	2	S/.15.00	S/.30.00
17	Placa para PCB	1	S/.25.50	S/.25.50
18	Potenciómetro 5K	10	S/.3.00	S/.30.00
19	Puente rectificador	2	S/.2.50	S/.5.00
20	Pulsador mini	1	S/.0.50	S/.0.50
22	Regulador 7805	4	S/.2.00	S/.8.00
23	Regulador 7812	1	S/.3.00	S/.3.00
24	relé 12 VDC	2	S/.5.00	S/.10.00
25	resistencias varios	60	S/.0.03	S/.2.01
26	sensor de voltaje	1	S/.10.00	S/.10.00
27	sensor de corriente ACS/712	1	S/.22.00	S/.22.00
28	sensor de temperatura	1	S/.40.00	S/.40.00
29	soquete para PIC DIP40	2	S/.2.00	S/.4.00
30	SW ON/OFF	2	S/.4.00	S/.8.00
31	SW selector	1	S/.2.00	S/.2.00
32	Transformador elevador	1	S/.45.00	S/.45.00
33	transistor BD135	2	S/.1.00	S/.2.00
34	transistor de potencia NPN	2	S/.3.00	S/.6.00
35	transistor de potencia PNP	2	S/.3.00	S/.6.00
36	transistor tip 125	2	S/.2.00	S/.4.00
37	transistor tip121	2	S/.2.00	S/.4.00
38	xerografiado	2	S/.5.00	S/.10.00
39	Imprevistos	1	S/.50.00	S/.50.00
40	Total			S/.505.51

Tabla 12: Resumen de costos de materiales del inversor.

Fuente 60: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Dentro del costo de herramientas fue solo considerado el quemador del PIC PICKIT-2 y el mano de obra en el diseño de hardware-software, están considerados horas/hombre por un salario de 50 con 00/100 soles diarios, considerando que en el desarrollo de hardware se demore 5 y 4 días en el diseño de software.

En la tabla siguiente se muestra el costo estimado del diseño y construcción del equipo terminado de manera resumido.

ITEM	DESCRIPCCION	CANTIDAD	PRECIO EN S/.	PARCIAL S/.
1	costo materiales	1	S/.505.51	S/.505.51
2	costo herramientas	1	S/.90.00	S/.90.00
3	mano de obra diseño software	1	S/.200.00	S/.200.00
4	mano de obra diseño hardware	1	S/.250.00	S/.250.00
total				**S/.1,045.51**

Tabla 13: Resumen de costos del producto terminado expresado en soles de acuerdo al mercado local.

Fuente 61: [Elaboración Propia]

De la tabla 12 se puede apreciar que los costos no son tan atractivos, pero podría reducirse ítems al realizar producción en serie o cantidad en diseño de software ya que se programa una sola vez y luego se reproduce, en las herramientas que se compran una sola vez: sumando dichos costos 200+90 haciende a 290; calculando en regla de tres simple resulta un ahorro de 27.73% a un precio de 756 soles.

A esta posibilidad de ahorro se añade el descuento que se puede obtener al realizar compras al por mayor que el porcentaje se infiere de un 5% a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

15 % no se puede precisar ya que la posibilidad de obtener dicho descuento dependerá de muchos factores en el mercado local o exterior (importación).

4.3.2. Cuadro comparativo de precios del inversor diseñado respecto a otras marcas reconocidas.

En el cuadro siguiente se aprecia el precio de diversos equipos que la procedencia es extranjera que requiere costo de importación a excepción de inversor hecho en Perú no lo requiere por estar dentro del territorio peruano.

MARCA	MODELO	POTENCIA	COSTO USD	COSTO SOLES	COSTO W USD	ORIGEN
SMA	SI 6.0H-11	4600	$1,091.60	S/.3,252.97	$4.21	Europeo
SOLARMAX		1200	$975.32	S/.2,906.45	$1.23	Europeo
KOSTAL	XTS 1200 - 24 V	1200	$939.60	S/.2,800.00	$1.28	Europeo
INVERSOR PERU	UCSM-001	150	$331.75	S/.1,045.00	$0.45	Perú
otros	xxxx	2000	$738.26	S/.2,200.00	$2.71	EE.UU

Tabla 14: Cuadro comparativo de precios de inversores de procedencia diversa.

Fuente 62: [Elaboración Propia]

Si se viera desde el punto mercantil las utilidades podrían incrementarse por la entrega y tiempos de demora en importación con equipo de prestaciones equivalentes a los importados desde el exterior.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.4. Mantenimiento.

Para el mantenimiento del equipo, se recomienda realizar el preventivo y correctivo, siendo el preventivo para el usuario final consistente en ajuste de bornes sueltos, reemplazo de fusibles y mantener libre de humedad, polvo y elementos explosivos.

Para el mantenimiento correctivo debe intervenir un profesional con amplios conocimientos de electrónica, para identificar el fallo oportunamente y corregir sin generar daños ajenos de las que existe.

Las fallas comunes, se encontrara en la etapa de potencia, debiendo revisarse los transistores de potencia, los instrumentos de voltaje y corriente que pudieran estar dando lecturas erróneas.

Como último recurso se puede revisar la etapa de control revisando las fuente de alimentación y si genera las señales de control necesarias para la etapa de potencia.

4.5. Resultados experimentales.

En el capítulo III se realizan las pruebas por partes o sub bloques a cada elemento que formara el inversor por la estrategia de diseño adoptado, sin embargo conviene realizar la prueba del equipo integrado.

Se realizan pruebas de laboratorio con y sin carga para evidenciar los resultados que se aprecian en las pruebas siguientes y diferentes cargas sometidas al inversor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.5.1. Prueba N1.- Inversor con la etapa elevadora conectada sin Carga.

En la figura 4.1 se aprecia al inversor con la etapa inversor implementado, de modo que el canal 1 corresponde al secundario del transformador registrando 174V pico-pico, y el canal 2 corresponde al primario del transformador con los resultado siguientes 34.4V pico-pico con una frecuencia de 240Hz.

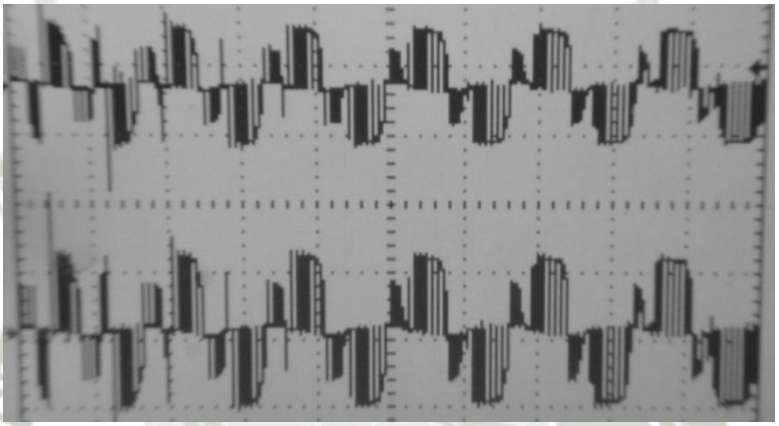


Figura 4.1: Respuesta de etapa de potencia del inversor.

Fuente 63: [Elaboración Propia]

Con estas lecturas aparentemente estaría fuera de rango de las especificaciones técnicas, pero el osciloscopio registra el pico más alto y la cantidad de cambios en un intervalo de tiempo.

En la figura 4.2 se muestra la imagen 4.1 ampliada para ver la verdadera frecuencia de trabajo del inversor con los cursores como se aprecia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

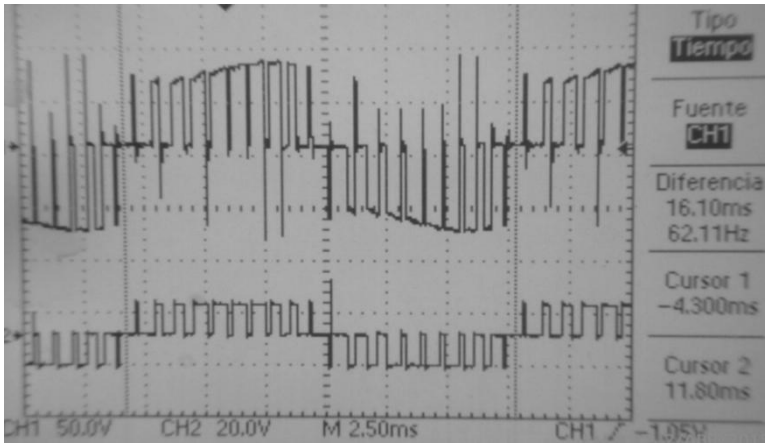


Figura 4.2: Respuesta de etapa de potencia del inversor ampliada.

Fuente 64: [Elaboración Propia]

Al inversor se ha conecto a un transformador de mayor tamaño, el resultado es que la salida se asemeja mas a una salida senoidal.

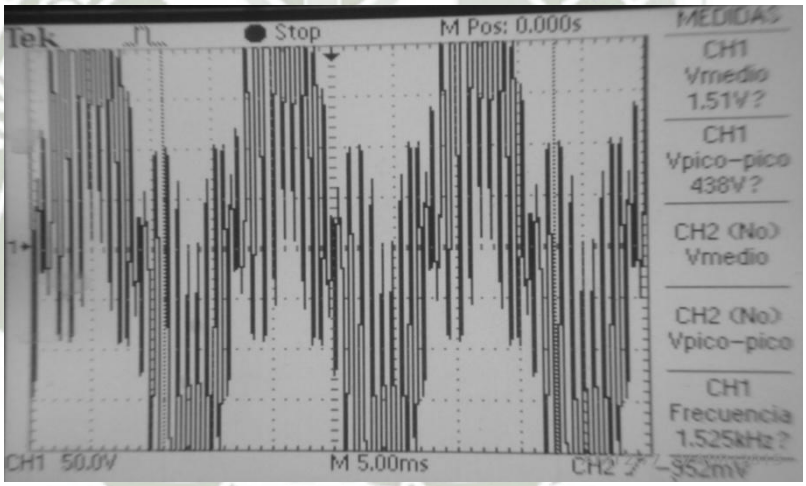


Figura 4.3 Respuesta del inversor con transformador de mayor tamaño.

Fuente 65: [Elaboración Propia]

En la figura 4.4 se aprecia la FFT de inversor sin la carga hasta la novena armónica. La primera armónica posee una amplitud de 37.6 dB, la segunda armónica con 20 dB y la novena armónica tiene 6.4 dB.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

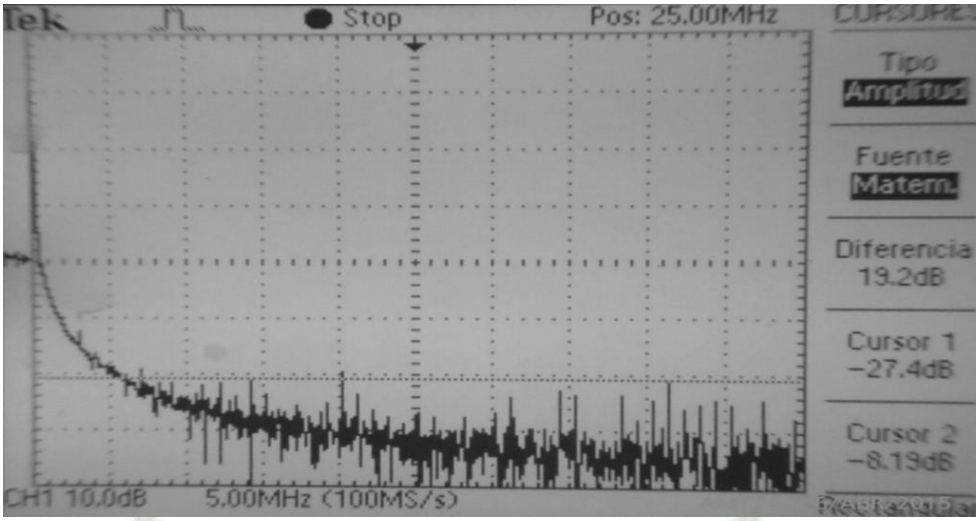


Figura 4.4: Respuesta de TFF del inversor.

Fuente 66: [Elaboración Propia]

4.5.2. Prueba N2.- Inversor con carga Electrónico (lámpara fluorescente ahorrador 25 W).

Al conectar carga electrónica de lámpara fluorescente, la señal en la salida se ve afectada, esto debido a las armónicas propias de la carga y se refleja en menor proporción en el primario del transformador.

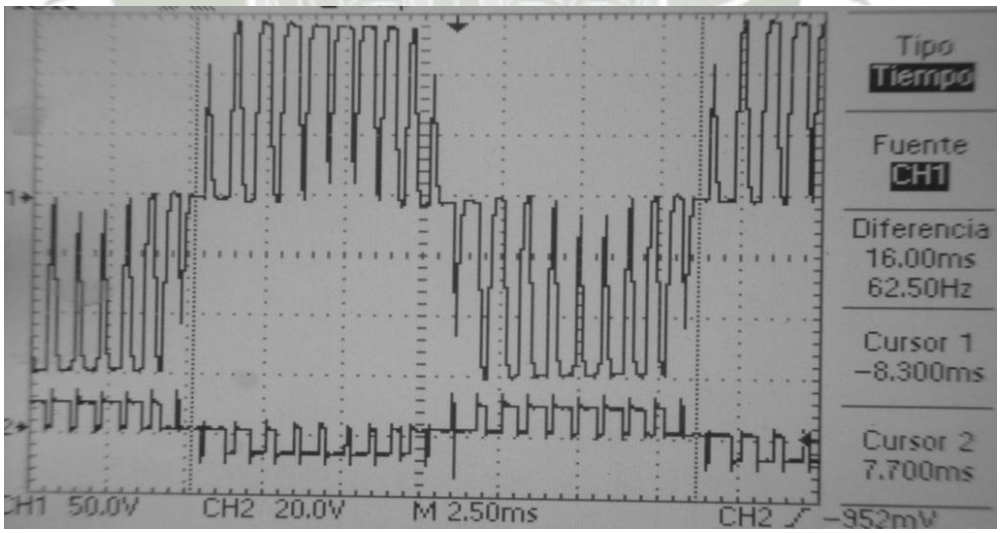


Figura 4.5: Respuesta del inversor conectado a fluorescente.

Fuente 67: [Elaboración Propia]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.5.3. Prueba N3.- Inversor con Carga Resistivo (lámpara incandescente de 100W).

La prueba con una carga resistiva de 100W, se evidencio que el transformador utilizado no era suficiente ya que comenzó a recalentar la etapa de potencia, pero la forma de onda no se ve alterado en el primario como secundario del transformador, la frecuencia de trabajando es de 62.5 Hz, la onda del primario y secundario están invertidas propias del funcionamiento del transformador.

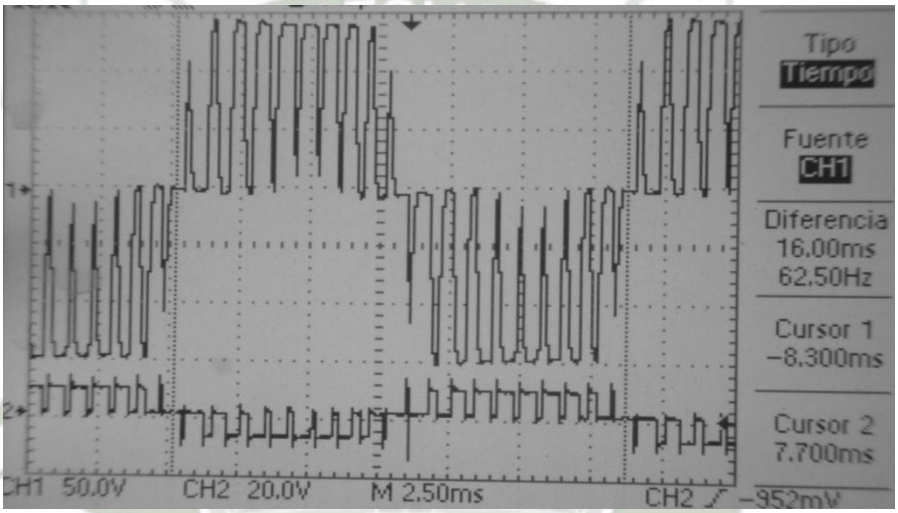


Figura 4.6: Respuesta del inversor conectado a carga resistiva.

Fuente 68: [Elaboración Propia]

4.5.4. Prueba N4. Sistema de Control y monitoreo de variables.

La prueba del sistema en condiciones de funcionamiento, requiere el monitoreo constante del voltaje de entrada de la batería y la corriente de consumo que provoca la carga.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La primera muestra es que el sistema al encender muestra el mensaje de bienvenida en el LCD y al ser inicializada muestra los valores de las variables medidas como se pueden apreciar en las imágenes siguientes.

Figura 4.7: Panel principal del inversor con mensaje de inicialización.

Fuente 69: [Elaboración Propia]

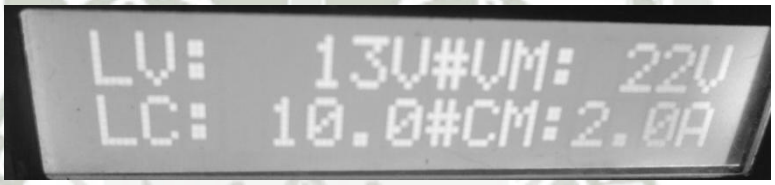


Figura 4.8: Panel de control del inversor midiendo voltaje y corriente.

Fuente 70: [Elaboración Propia]

4.5.6. Prueba N5.- Sistema de protección.

La etapa de protección requiere dos condiciones para actuar, una en el caso que la fuente de alimentación este por debajo del nivel establecido este requerimiento se ha probado con una fuente de alimentación en condiciones que el inversor este sin carga, obteniendo el siguiente resultado.

La prueba del sensor de corriente se ha hecho con batería de 12V 7/H, y una carga de lámpara de 100W, la corriente de referencia para que active fue de 0.45 A.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

De las Figuras 4.7 y Figura 4.8 se deduce que el diseño cumple el requerimiento, de hecho eran los esperados ya que en las especificaciones se han planteado el funcionamiento en tales condiciones.

Figura 4.9: Respuesta de etapa de potencia del inversor.

Fuente 71: [Elaboración Propia]

La prueba realizada con límite de corriente es el mismo el mensaje, con la diferencia que muestra ***SOBRE CORRIENTE***.

La acción principal separado de los mensajes es que deshabilita la carga por medio del relé impidiendo el funcionamiento del inversor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES.

1. Se logra el objetivo de diseño de un inversor con control de modulación de ancho de pulsos múltiples, con sistemas de protección de corriente y voltaje reduciendo costos de implementación ya que el PWMs de los dos canales de control se logra mediante software sin necesidad de generar y comparar señales para el control del inversor ahorrando espacio en instalación y costo.
2. Con la tesis desarrollada, se dispone inversor de alto rendimiento que combina hardware y software como elemento de control haciendo robusto, muy aceptable en las diversas aplicaciones donde se requiere la conversión de una señal continua en alterna.
3. Se complementa al equipo con sistemas de protección que permiten monitorear en tiempo real los eventos que ocurren con el inversor en pleno funcionamiento, su sistema de protección del inversor es asequible en costos y aceptable en la medición de las variables implementados tomando en consideración los principios básicos de funcionamiento de circuitos electrónicos como: divisor de voltaje, comparadores, etc. y dispositivos electrónicos como conducción y no conducción del diodo, apertura y cierre del relé, etc.
4. Se deja abierta la aplicación de control a otros equipos como: variadores de velocidad y UPSs aptos en aplicaciones industriales, mejorando la disponibilidad de equipamiento para pequeños industriales que no pueden acceder a equipos de marcas reconocidas y mejorar la competitividad a nivel de producción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5. La contaminación del medioambiente puede mitigarse, ya que el inversor implementado acepta la mayoría de las cargas existentes adicionando la generación fotovoltaica complementa el sistema, considerando que la generación de energía eléctrica en el Perú en su mayoría es por centrales térmicas que utilizan derivados de petróleo para sus calderos.
6. Como el control de PWM múltiple implementado funciona y su aplicación puede extenderse en los UPSs y variadores de velocidad, con el uso de la misma se puede impulsar a la industria nacional y por ende la economía de manera indirecta.
7. Con el presente tesis se concluye que la mejor alternativa de control para los inversores son: EL vector espacial, multinivel y PWM senoidal Modificada, para el presente caso se implemento el PWM multiple combinado por hardware y software que en la práctica es equivalente al senoidal modificado.
8. Al lector se da facilidades y sobre todo a los integradores y ensambladores de equipos, con la lógica de control disponible pueden incrementar la calidad de sus equipos y costes de fabricación de este modo aportamos tecnología nacional.
9. Con el desarrollo de esta tesis se deja abierta la posibilidad de seguir investigando sobre protocolos de comunicación con microcontroladores para añadir prestaciones y competitividad en diseño de inversores, variadores de velocidad y UPS aceptables con la exigencia de la industria.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda seguir la línea de investigación en protocolos de comunicación con microcontroladores para integrar al equipo, de tal manera añadir valor agregado al equipo, no solo al inversor sino a cualquier equipo diseñado en Perú.
2. Se sugiere a la Universidad dotar de instrumentación de análisis como osciloscopio, analizador de redes y datalogger que permitan obtener y analizar los datos adquiridos en la etapa diseño ya que en el desarrollo de la presente tesis se tuvo dificultades en la obtención de datos.
3. Realizar estudio de pérdidas del equipo en la conmutación o switcheo, efecto de tiempos muertos en la respuesta de señal y diseño de filtros de potencia que no se tocó en el presente estudio.
4. Realizar estudio de inyección a la red interconectado, tomando en consideración la sincronización como referencia y conocer el comportamiento diseñado del inversor fotovoltaico, conociendo sus parámetros de eficiencia, rango de voltajes, corrientes y potencias de acuerdo al código nacional de electricidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

BIBLIOGRAFIA

■ **Referencia bibliográfica:**

[1] Muhammad H. Rashid, “Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones” 3Edid Pearson Education, México 2004.

[2] Jose M. Benavente, “Electrónica de Potencia: Teoría y Aplicaciones” Edit Univ., Valencia 1999.

[3] Richard C. Dorf, James A. Soboda, “Circuitos Eléctricos” 6Edid Alfaomega, México 2006.

[4] Hart, W. Daniel, “Electrónica de Potencia” 1 Edit. Pretice Hall, Madrid, 2001.

[5] K. Thorborg y A Nystrom. “Straicase PWM: an uncomplicated and efficient modulation tecnique for ac Motor Drives” IEEE Transaction on Power Electronics, Vol PE3 No. 4, 1998.

[6] Garcia B, Eduardo, “Compilador C CSS y simulador Proteus para microcontrolador PIC.” 1ra Edid Alfa Omega grupo editor, México 2008.

■ **Referencia electrónica:**

[1] http://www.solostocks.com/venta-productos/inversor-onda-senoidal-pura-12v_b.

[2] http://www.microchip.com

[3] http://ab.rockwellautomation.com/drives/powerflex-700s.

[4] http://www.variadorestoshiba.com/.

[5] http://www.solener.com/serie_s.pdf.

[6] http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_%28electr%C3%B3nica%29.

[7] www.microvirtual.org/images/Congreso/Ponencias.../IND212_P.pdf.

[8]http://proyectodeenergiarenovable.com/Descargas/Manuales/Curso_Interconeccion_a_red/Inversores.pdf.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LOGICA DE PROGRAMA EN C DE:

- **GENERADOR DE PATRON DE SEÑAL EN MATLAB.**
- **PROGRAMA C DE GENERACION DE PWM PARA PIC 16F877A.**
- **PROGRAMA C DE CONTROL DEL INVERSOR PARA PIC 16F877A/16F873A.**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

GENERADOR DE PATRÓN EN MATLAB.

```
clear all
VDC=24;
%frecuencia de la onda en Hertz
f=50;
%picos de la onda triangular
pot=13;
sampling_freq=10000000;
t=0:1/sampling_freq:1/(2*f);
temp=1*sawtooth(pot*f*2*pi*t+3*pi/2,0.5);
%onda senoidal
seno1=sin(2*pi*f*t);
%onda senoidal desfasada
seno2=sin(2*pi*f*t+pi);
subplot(4,1,1)
plot(t,temp,t,seno1,t,seno2);
ylim([-1.2 1.2])
long=size(t);
for j=1:long(2),
if(seno1(1,j)>temp(1,j))
pulso1(1,j)=1;
else
pulso1(1,j)=0;
end
subplot(4,1,2)
plot(t,pulso1);
ylim([-0.2 1.2])
for j=1:long(2),
if(seno2(1,j)>temp(1,j))
pulso2(1,j)=1;
else
pulso2(1,j)=0;
end
end
subplot(4,1,3)
plot(t,pulso2);
ylim([-0.2 1.2])
for j=1:long(2),
if(pulso1(1,j)==pulso2(1,j))
pulso3(1,j)=0;
else
pulso3(1,j)=1;
end
end
subplot(4,1,4)
plot(t,pulso3);
ylim([-0.2 1.2])
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

PROGRAMA QUE GENERA LOS PWM MÚLTIPLE DE DOS CANALES.

```
#include <16F877A.h>
#device adc=8
#FUSES NOWDT                    //No Watch Dog Timer
#FUSES HS                       //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES PUT                      //Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT                //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG                  //No Debug mode for ICD
#FUSES NOBROWNOUT               //No brownout reset
#FUSES NOLVP                    //No low voltage prog, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD                    //No EE protection
#FUSES NOWRT                    //Program memory not write protected
#use delay(clock=20000000)
#priority RB, TIMER2
#byte PORTB=0x06
#byte PORTC=0x07
#byte PORTD=0x08
#byte TMR2=0x11
Byte Freq, FreqS, Index, Leds;
Boolean Calc, Cicle, CON, Pulsos, Pulon;
float const C1=0.6109, C2=1.7730, C3=2.7615, C4=3.4798, C5=3.8573, D=7.2;
unsigned int16 PWM_Val[10];
unsigned int16 PWM_Cal[5];
signed int16 SFreqS, SFreq;
#int_RB
RB_int()  // Rutina de Interrupcion, para poner a cero salidas PWM
{if( !input_state(PIN_B7) ){
PORTB=0;
set_pwm1_duty(PWM_Val[Index]);}
#asm movf PORTB #endasm  //Actualiza el nuevo valor del PORTB
}
#int_TIMER2
TMR2_int()  // Rutina de Interrupcion, cuando TMR2=PR2
{ if (CON=True)
{if (Cicle==True)
{PORTB=1;}
else
{PORTB=2;}}
Index=Index+1;
if (Index>9)
{
Index=0;
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
// Se actualizan anchos de pulso del PWM
if (Calc==True)
{
PWM_Val[0]=PWM_Cal[0];
PWM_Val[1]=PWM_Cal[1];
PWM_Val[2]=PWM_Cal[2];
PWM_Val[3]=PWM_Cal[3];
PWM_Val[4]=PWM_Cal[4];
PWM_Val[5]=PWM_Val[4];
PWM_Val[6]=PWM_Val[3];
PWM_Val[7]=PWM_Val[2];
PWM_Val[8]=PWM_Val[1];
PWM_Val[9]=PWM_Val[0];
}
if (Cicle==True)
{Cicle=False;}
else
Cicle=True;
}}
void main()
{set_tris_a(0x01); // Entrada Analogica de control en Canal 1
set_tris_b(0xF0); // Salidas PWM
set_tris_c(0x00); // Salida Maestra PWM
Index=0;
Cicle=True;
setup_adc_ports( AN0 ); // Entrada de referencia en AN0 con Vdd y Vss de referencia
setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
enable_interrupts(INT_RB);
enable_interrupts(INT_TIMER2);
set_adc_channel(0);
Freq = read_adc();
delay_us(150);
PWM_Val[0]=Freq*C1;
PWM_Val[1]=Freq*C2;
PWM_Val[2]=Freq*C3;
PWM_Val[3]=Freq*C4;
PWM_Val[4]=Freq*C5;
PWM_Val[5]=PWM_Val[4];
PWM_Val[6]=PWM_Val[3];
PWM_Val[7]=PWM_Val[2];
PWM_Val[8]=PWM_Val[1];
PWM_Val[9]=PWM_Val[0];
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
set_pwm1_duty(PWM_Val[Index]);
enable_interrupts(GLOBAL);
setup_ccp1(CCP_PWM);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 249, 1); // Determina la frecuencia del PWM
Index=1;
while(true)
{Freq = read_adc();
delay_us(150);
if (Freq>35)
{if (Pulon==False)
if (abs(FreqS-Freq)>2)
{Calc=False;
FreqS=Freq;
PWM_Cal[0]=Freq*C1;
PWM_Cal[1]=Freq*C2;
        PWM_Cal[2]=Freq*C3;
        PWM_Cal[3]=Freq*C4;
        PWM_Cal[4]=Freq*C5;
        Calc=True;}
        if (Pulon==True)
        {enable_interrupts(INT_RB);
        enable_interrupts(INT_TIMER2);
        Pulon=False;
        Index=0;
        set_pwm1_duty(PWM_Val[Index]);
        Index=1;
        enable_interrupts(GLOBAL);
        setup_ccp1(CCP_PWM);
        setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 249, 1); // Determina la frecuencia del PWM
        CON=True;
        set_pwm1_duty(PWM_Val[Index]);
        Index=1;
        }}
        else
        {PORTB=0;
        setup_timer_2(T2_DISABLED,0xFF ,1);
        PORTC=0;
        Calc=False;
        CON=False;
        Pulon=True;
        FreqS=Freq;
        Leds=0;}
        } }
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

PROGRAMA PRINCIPAL DEL INVERSOR.

```
#include "16f873a.h"
#device adc=10
//CONFIGURANDO FUSES
#FUSES NOWDT                    //No Watch Dog Timer
#FUSES HS                       //High speed Osc (> 4mhz) 20MHz
#FUSES NOPUT                    //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT                //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG                  //No Debug mode for ICD
#FUSES NOBROWNOUT               //No Reset when brownout detected
#FUSES NOLVP                    //No low voltage prog, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOWRT                    //Program memory not write protected
#use delay(clock=20000000)
#include "LCD.C"//libreria del LCD
long limite_voltaje,voltaje,x,value_adc,t;
float limite_corriente,corriente,promedio,temp;
//PROGRAMA
void main()
{
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);//Puerto A trabajando como entradas analogicas
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);//Divisor del timer para 20MHz
setup_spi(FALSE);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
//inicio de codigo!!
set_tris_a(0b11111111);//Puerto A trabajando como entradas
set_tris_c(0b10000111);//RC0,RC1 y RC2 entradas digitales, los demas salidas
set_tris_b(0b00000000);//PORTB salida LCD
output_low(PIN_C4);//asegurandonos q el led este apagado
output_low(PIN_C5);//asegurandonos q el transistor este en corte
output_c(0b00000000);//limpiando PORTC
output_b(0b00000000);//limpiando PORTB
lcd_init();//Iniciando rutina del LCD
inicio1:
lcd_gotoxy(1,1);//ir ala posicion incial del LCD
lcd_putc("INVERSOR UCSM-01");//imprimir mensaje
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
37. lcd_gotoxy(1,2);//ir a la segunda linea del LCD
38. lcd_putc("CON PROTEC  V  I");//imprimir mensaje
39. delay_ms(1000);
40. if(input_state(pin_C2)==0)//preguntando si el inicio ha sido pulsado
41. {     goto inicio;   }
42. else
43. {     goto inicio1;   }
44. inicio:
45. //rutina del LCD
46. lcd_gotoxy(1,1);//LCD'S FIRST LINE
47. lcd_putc("#LV:   V#VM:   V");
48. lcd_gotoxy(1,2);//LCD'S SECOND LINE
49. lcd_putc("#LC:   A#CM:   A");
50. set_adc_channel(0);//leer RA0
51. delay_us(20);//retardo para la carga del capacitor interno
52. value_adc=read_adc();//arreglo lineal
53. limite_voltaje=value_adc/4+10;//arreglo lineal
54. set_adc_channel(1);//leer RA1
55. delay_us(20);//retardo para la carga del capacitor interno
56. value_adc=read_adc()/4;//arreglo lineal
57. limite_corriente=value_adc*0.04;//arreglo lineal
58. //leer_voltaje;
59. promedio=0;
60. for(x=1;x<=200;x++)
61. {     set_adc_channel(2);//leer RA2
62. delay_us(20);
63. value_adc=read_adc()/200;
64. promedio=promedio+value_adc;   }
65. voltaje=(promedio/4)*2.21;
66. //leer_corriente
67. promedio=0;
68. for(x=1;x<=200;x++)
69. {  set_adc_channel(3);//leer RA3
70. delay_us(20);
71. value_adc=read_adc()/200;
72. promedio=promedio+value_adc;
73. }
74. corriente=promedio*0.003191;
75. lcd_gotoxy(5,1);//mostrar limite voltaje
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
76. printf(lcd_putc,"%3Lu",limite_voltaje);
77. lcd_gotoxy(5,2);//mostrar limite d corriente
78. printf(lcd_putc,"%1.1g",limite_corriente);
79. lcd_gotoxy(13,1);//mostrar medicion de voltaje
80. printf(lcd_putc,"%3Lu",voltaje);
81. lcd_gotoxy(13,2);//mostrar medicion de corriente
82. printf(lcd_putc,"%1.1g",corriente);
83. delay_ms(500);
84. if(voltaje>limite_voltaje)//verificanco si hay sobrevoltaje
85. {
86. lcd_gotoxy(1,1);//ir ala posicion incial del LCD
87. lcd_putc("    PELIGRO     ");//imprimir mensaje
88. lcd_gotoxy(1,2);//ir a la segunda linea del LCD
89. lcd_putc("  VOLTAJE BAJO  ");//imprimir mensaje
90. goto parada;
91. if(corriente>limite_corriente)//verificanod si hay sobrecorriente
92. {       lcd_gotoxy(1,1);//ir ala posicion incial del LCD
93. lcd_putc("    PELIGRO     ");//imprimir mensaje
94. lcd_gotoxy(1,2);//ir a la segunda linea del LCD
95. lcd_putc(" SOBRECORRIENTE ");//imprimir mensaje
96. goto parada;     }
97. else
98. {   output_high(PIN_C4);//asegurandonos q el led este encendido
99. output_high(PIN_C5);//asegurandonos q el transistor este en saturacion
100.        goto inicio;     }
101.        }
102.        parada:
103.        output_low(PIN_C4);//asegurandonos q el led este apagado
104.        output_low(PIN_C5);//asegurandonos q el transistor este en corte
105.        if(input_state(pin_C2)==0)//preguntando si el reset ha sido pulsado
106.        {     goto inicio1;   }
107.        else
108.        {     goto parada;   }
109.        }
```

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

HOJA DE DATOS DE LOS PRINCIPALES DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO COMO:

- **REGULADOR DE VOLTAJE 7805, LM12.**
- **AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM324.**
- **FET DE POTENCIA IRF540, IRF9540.**
- **PIC 16F877A**
- **PIC 16F8773**
- **OPTOACOPLADOR 4N35.**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

FAIRCHILD

September 2014

LM78XX / LM78XXA
3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

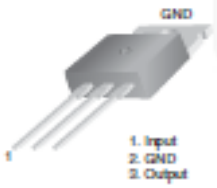
Features

- Output Current up to 1 A
- Output Voltages: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24 V
- Thermal Overload Protection
- Short-Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The LM78XX series of three-terminal positive regulators is available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down, and safe operating area protection. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components for adjustable voltages and currents.

TO-220 (Single Gauge)



Ordering Information[1]

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature	Packing Method
LM7805CT	±4%	TO-220 (Single Gauge)	-40°C to +125°C	Rail
LM7806CT				
LM7808CT				
LM7809CT				
LM7810CT				
LM7812CT				
LM7815CT				
LM7818CT				
LM7824CT				
LM7805ACT	±2%		0°C to +125°C	
LM7809ACT				
LM7810ACT				
LM7812ACT				
LM7815ACT				

Note:

1. Above output voltage tolerance is available at 25°C.

© 2006 Fairchild Semiconductor Corporation

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Block Diagram

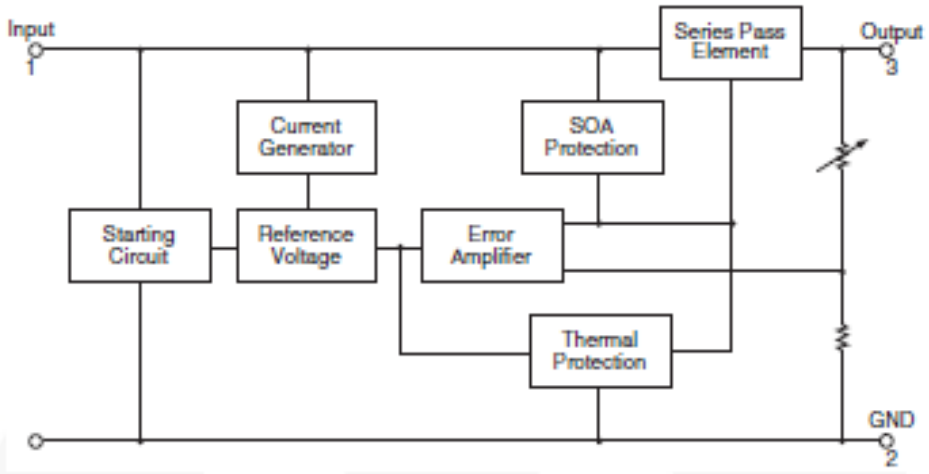


Figure 1. Block Diagram

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at T_A = 25°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage	V_O = 5 V to 18 V	35	V
		V_O = 24 V	40	
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-Case (TO-220)		5	°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-Air (TO-220)		65	°C/W
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	°C
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range		- 65 to +150	°C

© 2006 Fairchild Semiconductor Corporation

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuit, -40°C < T_J < 125°C, I_O = 500 mA, V_I = 10 V, C_I = 0.1 µF, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	T_J = +25°C		4.80	5.00	5.20	V
		I_O = 5 mA to 1 A, $P_O \leq$ 15 W, V_I = 7 V to 20 V		4.75	5.00	5.25	
Regline	Line Regulation[2]	T_J = +25°C	V_I = 7 V to 25 V		4.0	100.0	mV
			V_I = 8 V to 12 V		1.6	50.0	
Regload	Load Regulation[2]	T_J = +25°C	I_O = 5 mA to 1.5 A		9.0	100.0	mV
			I_O = 250 mA to 750 mA		4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	T_J = +25°C			5	8	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	I_O = 5 mA to 1 A			0.03	0.50	mA
		V_I = 7 V to 25 V			0.30	1.30	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift[3]	I_O = 5 mA			-0.8		mV/°C
V_N	Output Noise Voltage	f = 10 Hz to 100 kHz, T_A = +25°C			42		µV
RR	Ripple Rejection[3]	f = 120 Hz, V_I = 8 V to 18 V		62	73		dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	T_J = +25°C, I_O = 1 A			2		V
R_O	Output Resistance[3]	f = 1 kHz			15		mΩ
I_{SC}	Short-Circuit Current	T_J = +25°C, V_I = 35 V			230		mA
I_{PK}	Peak Current[3]	T_J = +25°C			2.2		A

Notes:

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
3. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

LM2902,LM324/LM324A,LM224/LM224A

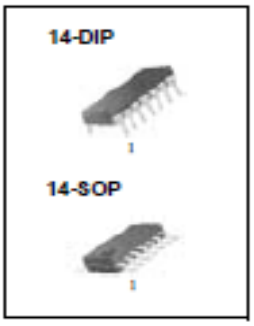
Quad Operational Amplifier

Features

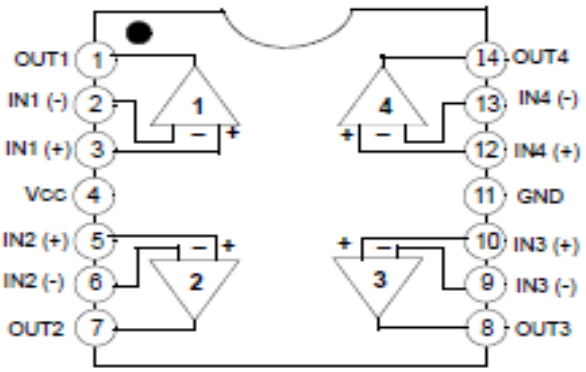
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
  LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or ±1.5 ~ 15V)
  LM2902: 3V~26V (or ±1.5V ~ 13V)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V to Vcc -1.5V
- Power Drain Suitable for Battery Operation

Description

The LM324/LM324A,LM2902,LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. Operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

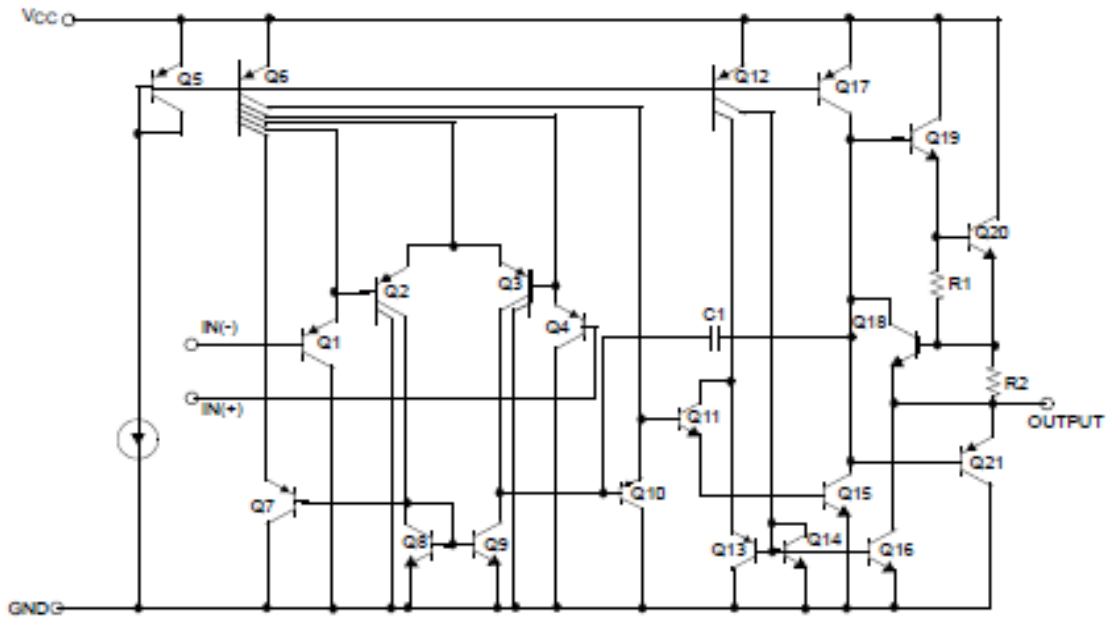
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	32	32	26	V
Input Voltage	V_I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V_{CC}≤15V, T_A=25°C(one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation, T_A=25°C 14-DIP 14-SOP	P_D	 1310 640	 1310 640	 1310 640	mW
Operating Temperature Range	T_{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Thermal Data

Parameter	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance Junction-Ambient Max. 14-DIP 14-SOP	Rθja	 95 195	°C/W

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		LM224			LM324			LM2902			Unit
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω		-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-		-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-		-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA
Common-Mode Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1		0	-	V_{CC} -1.5	0	V_{CC} -1.5	-	0	-	V_{CC} -1.5	V
Supply Current	I_{CC}	R_L = ∞, V_{CC} = 30V (all Amps)		-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA
		R_L = ∞, V_{CC} = 5V (all Amps) (V_{CC} = 26V for LM2902)		-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L≥2KΩ $V_{O(P)}$ = 1V to 11V		50	100	-	25	100	-	-	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	R_L = 2KΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			R_L = 10KΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L≥10KΩ		-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-		70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-		65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1KHz to 20KHz		-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-		-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V		20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V		10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA
		$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V, $V_{O(R)}$ = 200mV		12	45	-	12	45	-	-	-	-	µA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-		-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Note :
1. V_{CC}=30V for LM224 and LM324 , V_{CC} = 26V for LM2902

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics (Continued)

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ + 85°C for the LM224; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM324 ; and the - 40°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM2902

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{ICM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	100	-	-	150	-	-	200	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	300	-	-	500	-	-	500	nA
Common-Mode Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	V_{CC} -2.0	0	-	V_{CC} -2.0	0	-	V_{CC} -2.0	V
Large Signal Voltage Gain	GV	V_{CC} = 15V, R_L ≥ 2.0KΩ $V_{O(P)}$ = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1, R_L = 2KΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		Note1, R_L = 10KΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L≥10KΩ		5	20	-	5	20	-	5	100	mV
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	13	-	5	8	-	5	8	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Note:
1. V_{CC}=30V for LM224 and LM324 , V_{CC} = 26V for LM2902

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics (Continued)

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0 Ω	-	1.0	3.0	-	1.5	3.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	2	15	-	3.0	30	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	80	-	40	100	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	V_{CC} = 30V	0	-	V_{CC} -1.5	0	-	V_{CC} -1.5	V
Supply Current (All Amps)	I_{CC}	V_{CC} = 30V	-	1.5	3	-	1.5	3	mA
		V_{CC} = 5V	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L≥ 2 KΩ $V_{O(P)}$ = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1, R_L = 2 KΩ	26	-	-	26	-	-	V
		R_L = 10 KΩ	27	28	-	27	28	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L≥ 10 KΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1KHz to 20KHz	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	ISC	-	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V	20	40	-	20	40	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
		$V_{I(+)}$ = 0v, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 200mV	12	50	-	12	50	-	µA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Note:

1. V_{CC}=30V for LM224A, LM324A

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics (Continued)

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ + 85°C for the LM224A; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM324A

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω	-	-	4.0	-	-	5.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	7.0	20	-	7.0	30	µV/°C
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	30	-	-	75	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	200	-	10	300	pA/°C
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA
Common-Mode Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	V_{CC} = 30V	0	-	V_{CC} -2.0	0	-	V_{CC} -2.0	V
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L≥ 2.0KΩ	25	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	V_{CC} = 30V, R_L = 2KΩ	26	-	-	26	-	-	V
		V_{CC} = 30V, R_L = 10KΩ	27	28	-	27	28	-	
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, RL≥ 10KΩ	-	5	20	-	5	20	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V	10	20	-	10	20	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V	5	8	-	5	8	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Typical Performance Characteristics

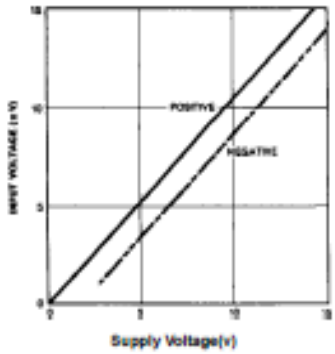


Figure 1. Input Voltage Range vs Supply Voltage

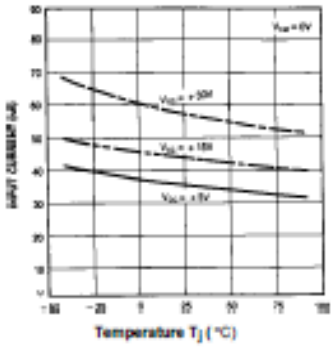


Figure 2. Input Current vs Temperature

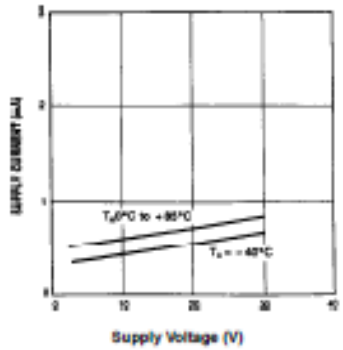


Figure 3. Supply Current vs Supply Voltage

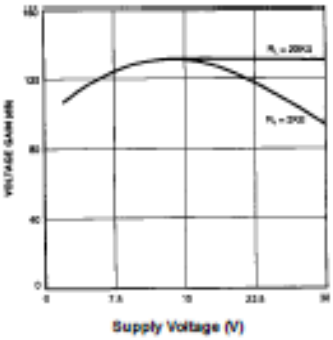


Figure 4. Voltage Gain vs Supply Voltage

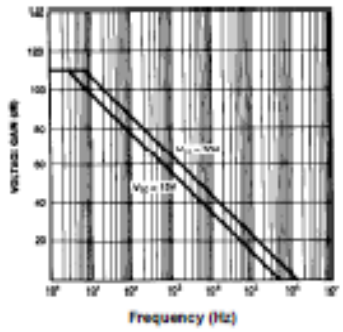


Figure 5. Open Loop Frequency Response

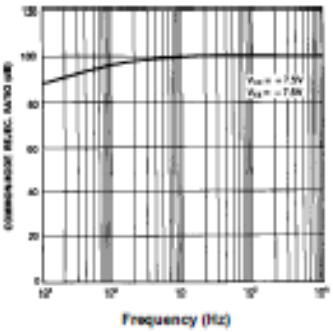


Figure 6. Common mode Rejection Ratio

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

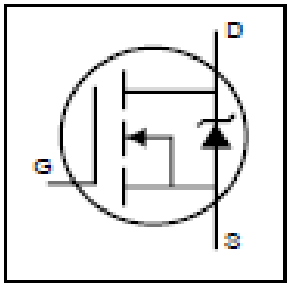
PD - 91341B

International
IOR Rectifier

IRF540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = 100V

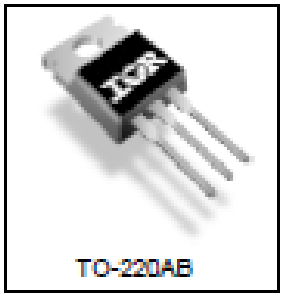
$R_{DS(on)}$ = 44mΩ

I_D = 33A

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	33	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	23	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	110	
P_D @T_C = 25°C	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current①	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

03/13/01

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250µA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	mΩ	V_{GS} = 10V, I_D = 16A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250µA
g_{fs}	Forward Transconductance	21	—	—	S	V_{DS} = 50V, I_D = 16A④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	µA	V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V
		—	—	250		V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	71	nC	I_D = 16A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14		V_{DS} = 80V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21		V_{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	V_{DD} = 50V
t_r	Rise Time	—	35	—		I_D = 16A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—		R_G = 5.1Ω
t_f	Fall Time	—	35	—		V_{GS} = 10V, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1960	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	250	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	700⑤	185⑤	mJ	I_{AS} = 16A, L = 1.5mH

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	33	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	110		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	T_J = 25°C, I_S = 16A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	115	170	ns	T_J = 25°C, I_F = 16A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	505	760	nC	di/dt = 100A/µs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L = 1.5mH
R_G = 25Ω, I_{AS} = 16A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ 16A, di/dt ≤ 340A/µs, V_{DD} ≤ $V_{(BR)DSS}$,
T_J ≤ 175°C

④ Pulse width ≤ 400µs; duty cycle ≤ 2%.

⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑥ This is a calculated value limited to T_J = 175°C .

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

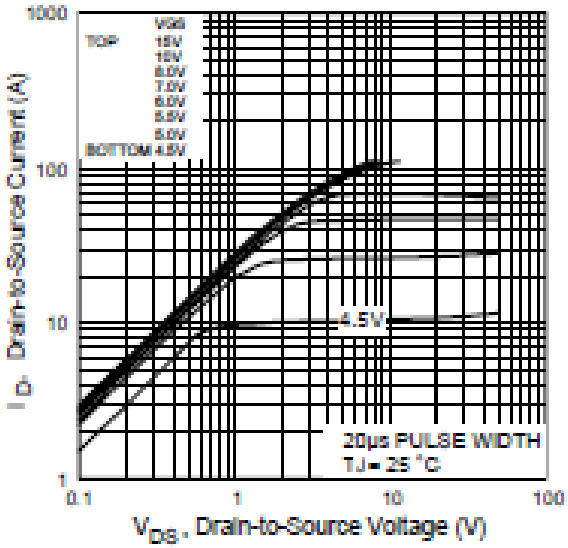


Fig 1. Typical Output Characteristics

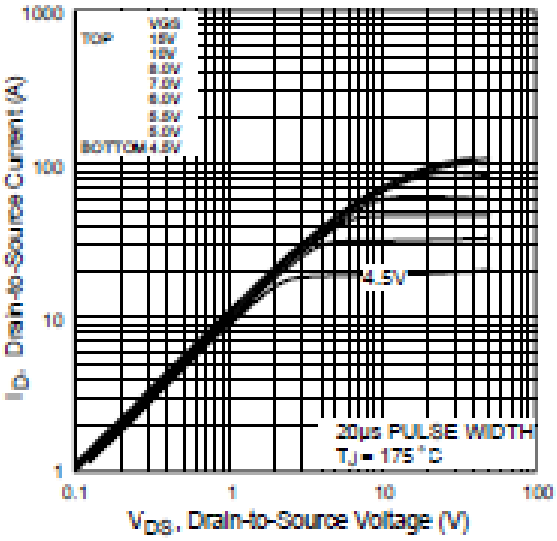


Fig 2. Typical Output Characteristics

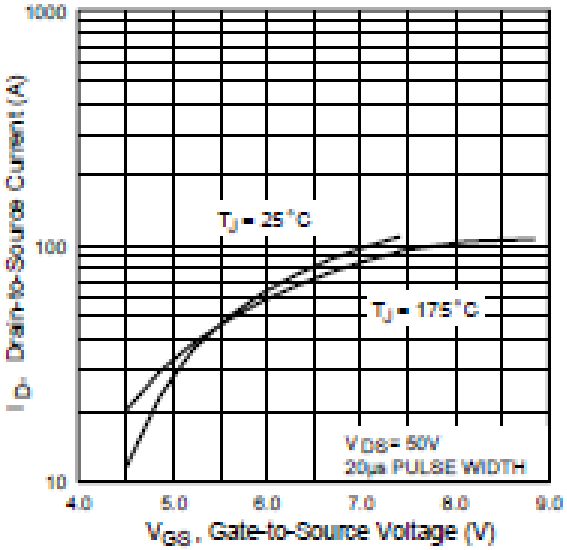


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

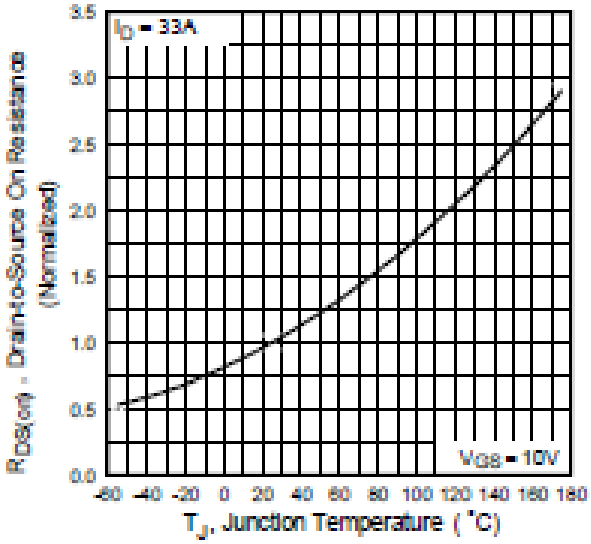


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

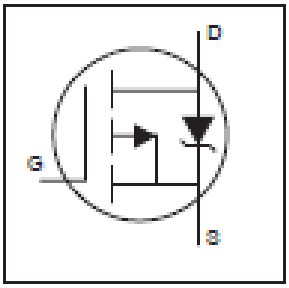
International
IOR Rectifier

PD - 91437B

IRF9540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = -100V

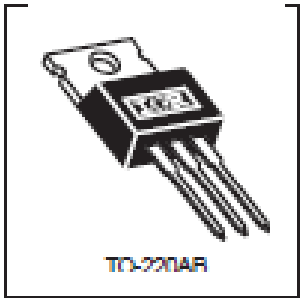
$R_{DS(on)}$ = 0.117Ω

I_D = -23A

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ -10V	-23	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ -10V	-16	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	-76	
P_D @T_C = 25°C	Power Dissipation	140	W
	Linear Derating Factor	0.91	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	430	mJ
I_{AR}	Avalanche Current①	-11	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	14	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	-5.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

5/13/98

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-100	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = -250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = -1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.117	Ω	V_{GS} = -10V, I_D = -11A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	-2.0	—	-4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = -250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	5.3	—	—	S	V_{DS} = -50V, I_D = -11A
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-25	μA	V_{DS} = -100V, V_{GS} = 0V
		—	—	-250		V_{DS} = -80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	97	nC	I_D = -11A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	15		V_{DS} = -80V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	51		V_{GS} = -10V, See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	15	—	ns	V_{DD} = -50V
t_r	Rise Time	—	67	—		I_D = -11A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	51	—		R_G = 5.1Ω
t_f	Fall Time	—	51	—		R_D = 4.2Ω, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.)
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		from package and center of die contact
C_{iss}	Input Capacitance	—	1300	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	400	—		V_{DS} = -25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	240	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-23	A	MOSFET symbol showing the
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-76		integral reverse p-n junction diode.
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	-1.6	V	T_J = 25°C, I_S = -11A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	150	220	ns	T_J = 25°C, I_F = -11A
Q_{rr}	Reverse RecoveryCharge	—	830	1200	nC	di/dt = -100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L = 7.1mH
R_G = 25Ω, I_{AS} = -11A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ -11A, di/dt ≤ -470A/μs, V_{DD} ≤ $V_{(BR)DSS}$,
T_J ≤ 175°C

④ Pulse width ≤ 300μs; duty cycle ≤ 2%.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

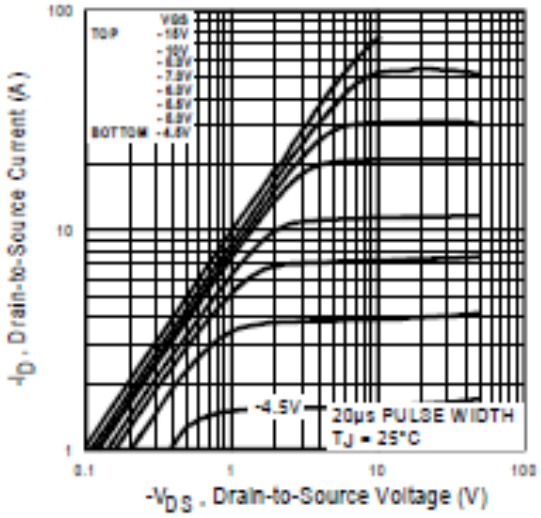


Fig 1. Typical Output Characteristics

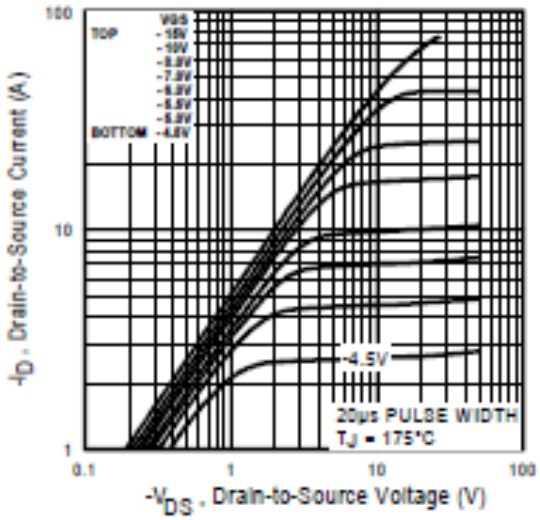


Fig 2. Typical Output Characteristics

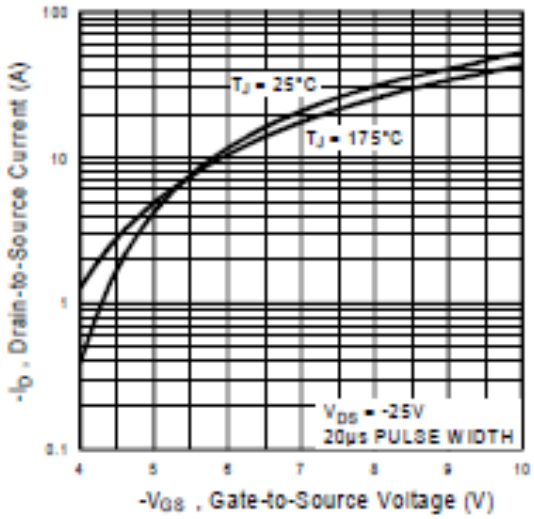


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

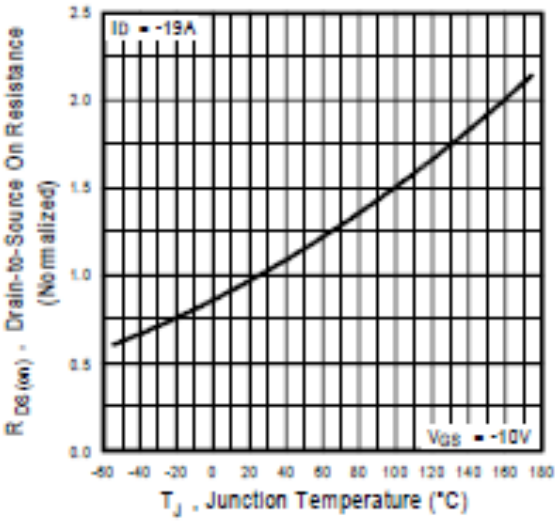


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Características generales del PIC 16F877

	Descripción	Características
Procesador	Núcleo	RISC, Arq. Harvard, 20 MHz. 5 MIPS
	Interrupciones	14 fuentes posibles de interrupción
	Reloj	0-20 MHz.
	Reset	Master Clear, Brown Out, Watchdog, Power On
	Instrucciones	35 instrucciones de 14 bits
Memoria	M. de programa	8 K palabras de 14 bits
	M. de datos RAM	368 registros de 8 bits
	M. de datos EEPROM	256 registros de 8 bits
	Pila	8 palabras de 13 bits
	M. de datos ext. EEPROM	Hasta 256 KBytes
Periféricos	Puertos programables de E/S	Hasta 33 bits, pueden ser usados por otros periféricos
	Timers/Counters	Dos de 8 bits y uno de 16 bits
	Puertos de captura/comparación de datos	Dos de 8 bits
	Moduladores de ancho de pulso (PWM)	Dos de 8 bits
	Conversor Analógico/Digital de 10 bits	Con un MPX de 8 canales para 8 entradas diferentes
	Puerto serie síncrono	Configurable en modo SPI e I^2C
	USART	Para conexiones RS 232
	Parallel Slave Port	8 bits + 3 bits de control

Tabla 1 Características generales del PIC 16F877

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Diagrama de bloques del PIC 16F877

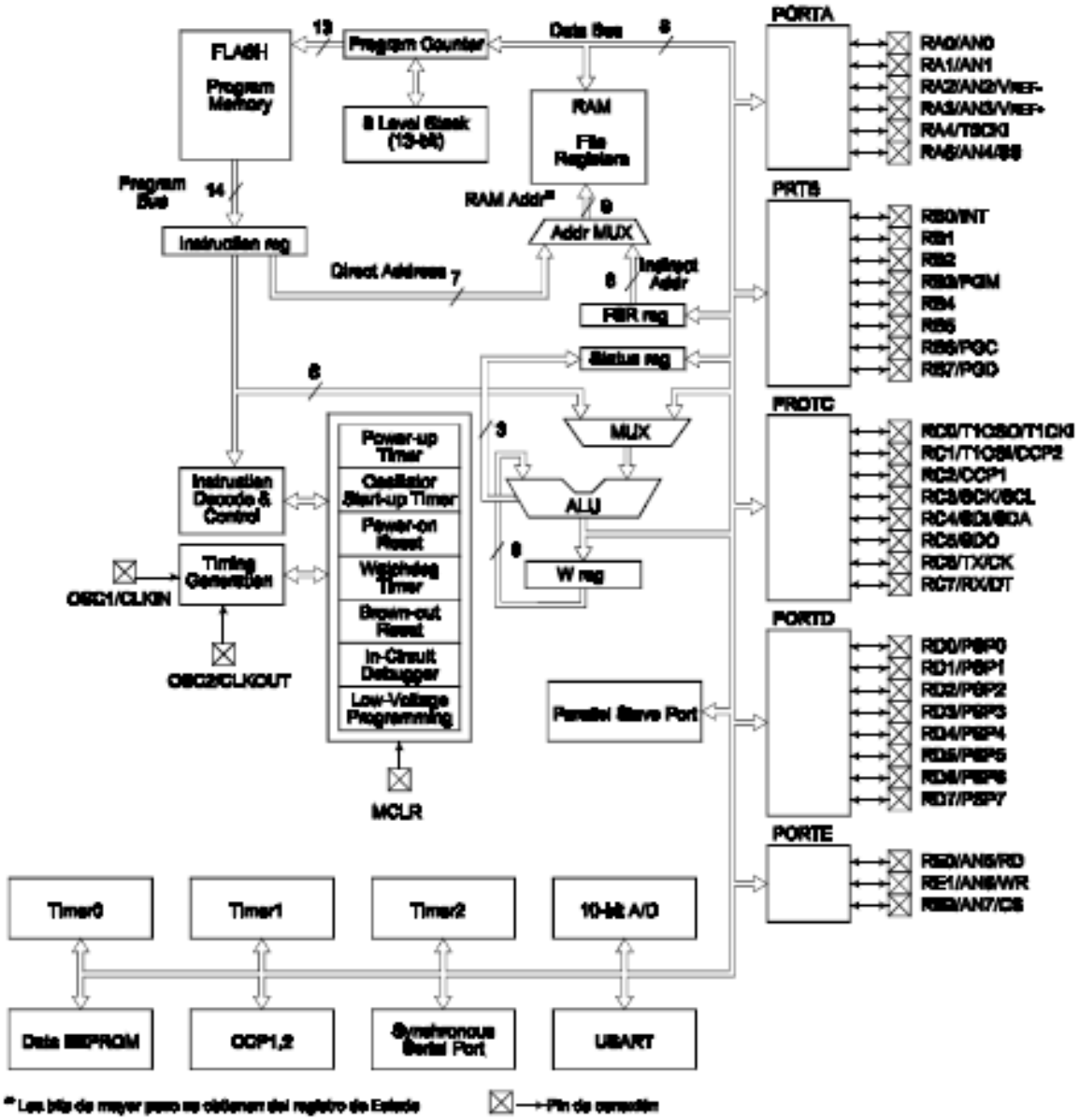


Figura 1 Diagrama de bloques del PIC 16F877

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Organización de la memoria RAM

Registro	Dir.	Registro	Dir.	Registro	Dir.	Registro	Dir.
Indirect. addr.(*)	00H	Indirect. addr.(*)	80H	Indirect. addr.(*)	100H	Indirect. addr.(*)	180H
TMR0	01H	OPTION_REG	81H	TMR0	101H	OPTION_REG	181H
PCL	02H	PCL	82H	PCL	102H	PCL	182H
STATUS	03H	STATUS	83H	STATUS	103H	STATUS	183H
FSR	04H	FSR	84H	FSR	104H	FSR	184H
PORTA	05H	TRISA	85H		105H		185H
PORTB	06H	TRISB	86H	PORTB	106H	TRISB	186H
PORTC	07H	TRISC	87H		107H		187H
PORTD	08H	TRISD	88H		108H		188H
PORTE	09H	TRISE	89H		109H		189H
PCLATH	0AH	PCLATH	8AH	PCLATH	10AH	PCLATH	18AH
INTCON	0BH	INTCON	8BH	INTCON	10BH	INTCON	18BH
PIR1	0CH	PIE1	8CH	EEDATA	10CH	EECON1	18CH
PIR2	0DH	PIE2	8DH	EEADR	10DH	EECON2	18DH
TMR1L	0EH	PCON	8EH	EEDATH	10EH		18EH
TMR1H	0FH		8FH	EEADRH	10FH		18FH
T1CON	10H		90H		110H		190H
TMR2	11H	SSPCON2	91H		111H		191H
T2CON	12H	PR2	92H		112H		192H
SSPBUF	13H	SSPADD	93H		113H		193H
SSPCON	14H	SSPSTAT	94H		114H		194H
CCPR1L	15H		95H		115H		195H
CCPR1H	16H		96H		116H		196H
CCP1CON	17H		97H		117H		197H
RCSTA	18H	TXSTA	98H		118H		198H
TXREG	19H	SPBRG	99H		119H		199H
RCREG	1AH		9AH	Registros de propósito general 96 bytes	11AH	Registros de propósito general 96 bytes	19AH
CCPR2L	1BH		9BH		11BH		19BH
CCPR2H	1CH		9CH		11CH		19CH
CCP2CON	1DH		9DH		11DH		19DH
ADRESH	1EH	ADRESL	9EH		11EH		19EH
ADCON0	1FH	ADCON1	9FH		11FH		19FH
	20H		A0H		120H		1A0H
Registros de propósito general 96 bytes		Registros de propósito general 80 bytes					
			EFH		16FH		1EFH
		Acceso a 70H-7FH	F0H	Acceso a 70H-7FH	170H	Acceso a 70H-7FH	1F0H
	7FH		FFH		17FH		1FFH
Banco 0		Banco 1		Banco 2		Banco 3	

(*) No es un registro físico, sino el indicador de acceso indirecto a memoria

Tabla 2 Organización de la memoria RAM

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tipos de direccionamiento de la RAM

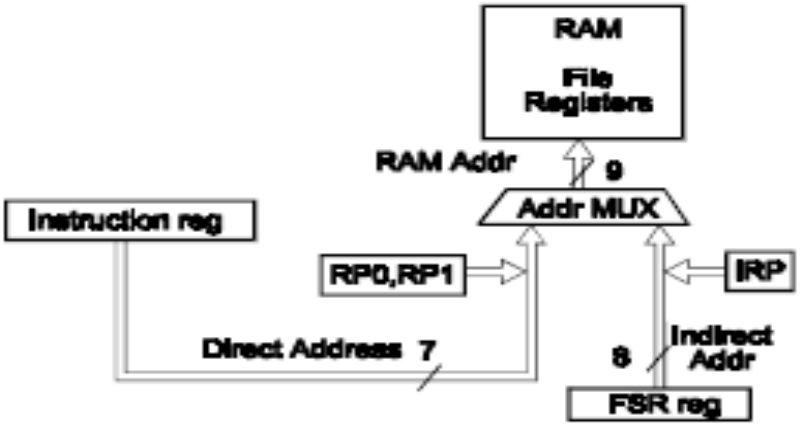


Figura 2 Tipos de direccionamiento para apuntar a los registros de la RAM

Formas de modificar el Contador de Programa

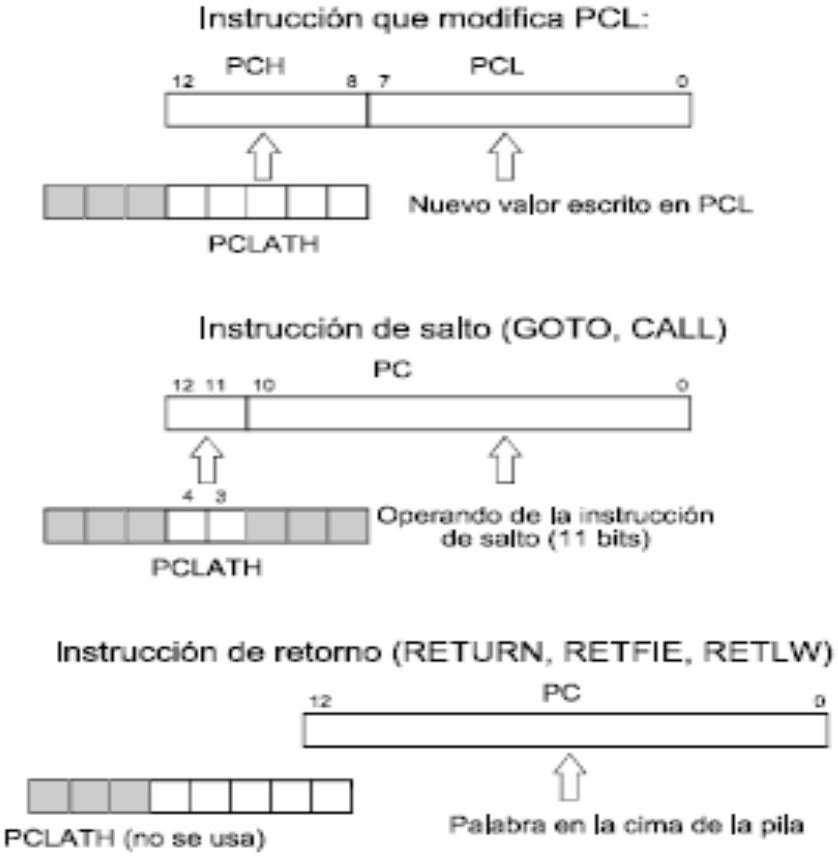


Figura 3 Formas de modificar el Contador de Programa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Registro de estado

Registro de estado

7							0
IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C
Direccionamiento			Reset		Flags ALU		

Tabla.3 Bits del registro de estado.

DC= Flag de acarreo intermedio, indica en las sumas y restas desbordamiento entre los bits tres y cuatro.
C= Flag de Carry. Si vale 1 después de una suma indica desbordamiento, Si vale 1 después de una resta indica que NO ha habido desbordamiento.

ALU

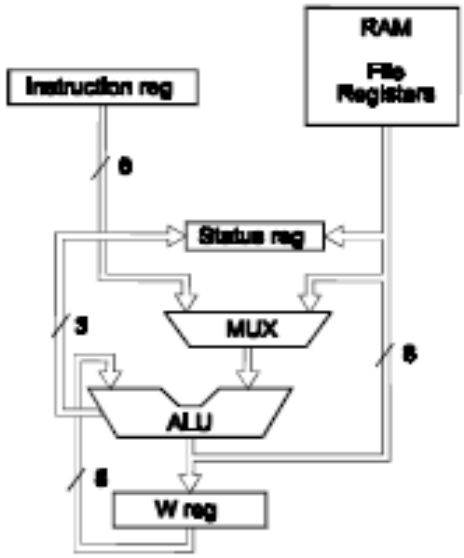


Figura.4 ALU y elementos directamente conectados a ella.

Set de instrucciones.

Formato de una instrucción:
[etiqueta] mnemónico [operando1[, operando2]] [; comentario]

Tipos de operandos en una instrucción:

f: Indica un nº de registro dentro de un banco de la RAM. Es un valor de 7 bits.
d: Operando destino. Es un bit que si vale 0 indica que el resultado debe almacenarse en W y si vale 1 en el registro usado como primer operando.
b: Es usado en las instrucciones que afectan a un único bit, y apunta al bit destino de la instrucción.
k: Constante. Las instrucciones van a manejar dos tipos de constantes, si la instrucción es CALL o GOTO la constante es de 11 bits (k11) y hace referencia a la dirección a la que se va a saltar. En cualquier otro caso se trata de un valor de 8 bits (k8) que se usará como valor inmediato en una operación que siempre involucra a la ALU y al acumulador.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El PIC16F873 es un microcontrolador con memoria de programa tipo *FLASH*, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje ya que no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM sino, permite reprogramarlo nuevamente sin ser borrado con anterioridad.

El PIC16F873 es un microcontrolador de *Microchip Technology* fabricado en tecnología CMOS, su consumo de potencia es muy bajo y además es completamente estático, esto quiere decir que el reloj puede detenerse y los datos de la memoria no se pierden.

El encapsulado más común para este microcontrolador es el DIP (*Dual In-line Pin*) de 28 pines, propio para usarlo en experimentación. La referencia completa es 16F873-04 para el dispositivo que utiliza cristal oscilador de hasta 4 MHz, 16F873-20 para el dispositivo que utiliza cristal oscilador de hasta 20 MHz o 16F873A-I para el dispositivo tipo industrial que puede trabajar hasta a 20 MHz. Sin embargo, hay otros tipos de encapsulado que se pueden utilizar según el diseño y la aplicación que se quiere realizar. Por ejemplo, el encapsulado tipo *surface mount* (montaje superficial) tiene un reducido tamaño y bajo costo, que lo hace propio para producciones en serie o para utilizarlo en lugares de espacio muy reducido.

Configuración de pines

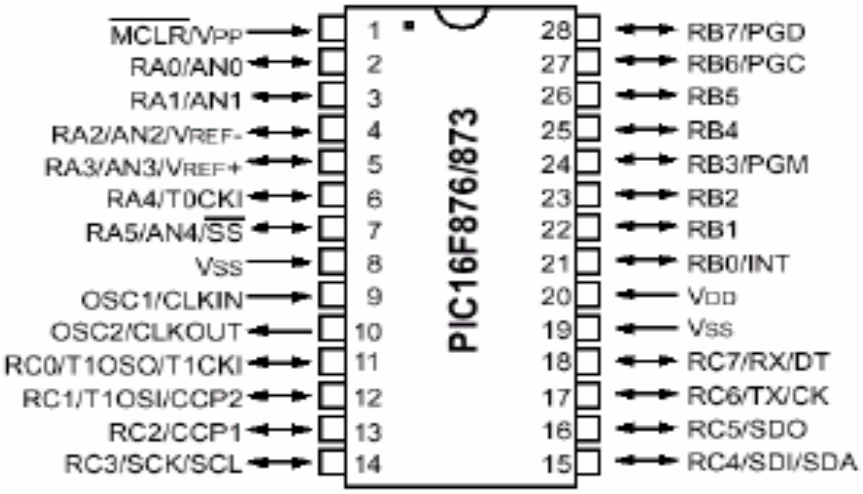


Figura 3.1. Distribución de pines del PIC16F873.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los pines de entrada/salida de este microcontrolador están organizados en tres puertos, el puerto A con 6 líneas, el puerto B con 8 líneas y el puerto C con 8 líneas. Cada pin de esos puertos se puede configurar como entrada o como salida independiente programando un par de registros diseñados para tal fin. En ese registro un bit en "0" configura el pin del puerto correspondiente como salida y un bit en "1" lo configura como entrada. Dichos pines del microcontrolador también pueden cumplir otras funciones especiales, siempre y cuando se configuren para ello, según se verá más adelante.

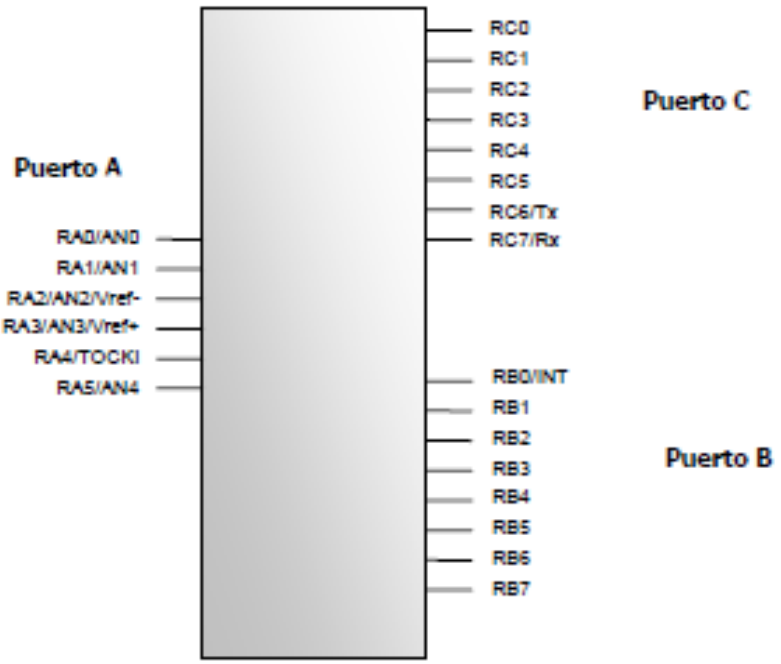


Figura 3.2. Distribución de los puertos del PIC16F873

Los pines del puerto A pueden trabajar como entradas para el convertidor Análogo a Digital interno, es decir, allí se podría conectar una señal proveniente de un sensor o de un circuito analógico para que el microcontrolador la convierta en su equivalente digital y pueda realizar algún proceso de control o de instrumentación digital. El pin RB0/INT se puede configurar por software para que funcione como interrupión externa, para configurarlo se utilizan unos bits de los registros que controlan las interrupciones.

El pin RA4/TOCKI del puerto A puede ser configurado como un pin de entrada/salida o como entrada del temporizador/contador. Cuando este pin se programa como entrada digital, funciona como un disparador de *Schmitt* (*Schmitt trigger*), puede reconocer señales un poco distorsionadas y llevarlas a niveles lógicos (cero y cinco voltios). Cuando se usa como salida

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

digital se comporta como colector abierto (*open collector*), por lo tanto, se debe poner una resistencia de *pull-up* (resistencia externa conectada a un nivel de cinco voltios). Como salida, la lógica es inversa: un "0" escrito al pin del puerto entrega en el pin un "1" lógico. Además, como salida no puede manejar cargas como fuente, sólo en el modo sumidero.

La máxima capacidad de corriente de cada uno de los pines de los puertos en modo sumidero (*sink*) o en modo fuente (*source*) es de 25 mA . La máxima capacidad de corriente total de los puertos es:

	PUERTO A	**PUERTO B**	**PUERTO C**
Modo sumidero	200 mA	200 mA	200 mA
Modo fuente	200 mA	200 mA	200mA

El consumo de corriente del microcontrolador para su funcionamiento depende del voltaje de operación, la frecuencia y de las cargas que tengan sus pines. Para un oscilador de 4 MHz el consumo es de aproximadamente 2 mA; aunque este se puede reducir a 40 microamperios cuando se está en el modo *sleep* (en este modo el micro se detiene y disminuye el consumo de potencia). Se sale de ese estado cuando se produce alguna condición especial que veremos más adelante.

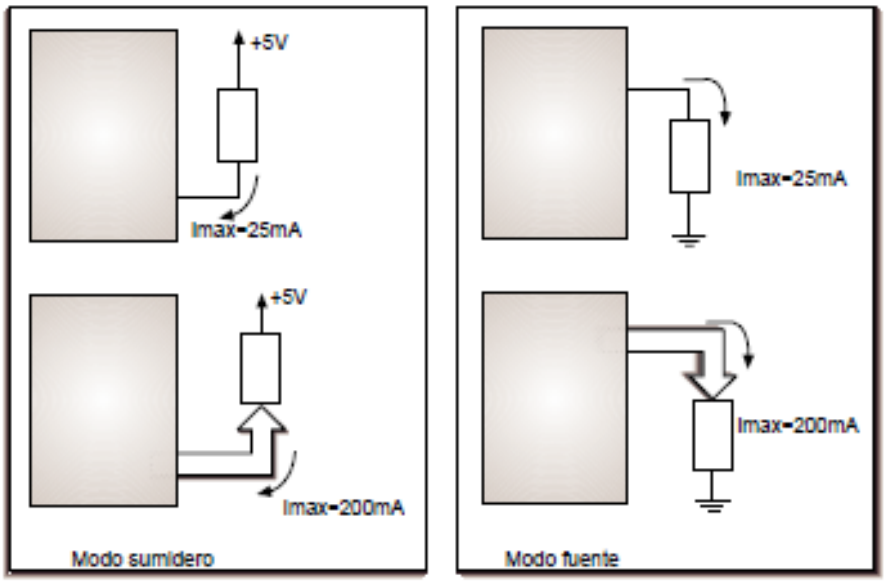


Figura 3.3. Capacidad de corriente de los pines y puertos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Descripción de los pines del microcontrolador

Nombre pin	Pin	Descripción
RA0/AN0	2	E/S Digital o Entrada análoga 0.
RA1/AN1	3	E/S Digital o Entrada análoga 1.
RA2/AN2 V_{ref} -	4	E/S Digital o Entrada análoga 2.
RA3/AN3/V_{ref} +	5	E/S Digital o Entrada análoga 3.
RA4/T0CKI	6	Bit 4 del puerto A (E/S bidireccional). También se usa como entrada de reloj al temporizador/contador TMR0. Salida de colector abierto.
RA5/SS/AN5	7	E/S Digital o Entrada análoga 4. También lo usa el puerto serial síncrono.
RB0/INT	21	Bit 0 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. También se usa como entrada de interrupción externa (INT).
RB1	22	Bit 1 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
RB2	23	Bit 2 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
RB3	24	Bit 3 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
RB4	25	Bit 4 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin.
RB5	26	Bit 5 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin.
RB6	27	Bit 6 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de reloj para programación serial.
RB7	28	Bit 7 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de datos para programación serial.
RC0/T1OSO/T1CKI	11	E/S Digital. Salida del oscilador Timer 1 o entrada de reloj Timer 1.
RC1/T1OSI/CCP2	12	E/S Digital. Entrada del oscilador Timer 1. Entrada Captura 2; Salida Compara 2; Salida PWM 2
RC2/CCP1	13	E/S Digital. Entrada Captura 1; Salida Compara 1; Salida PWM 1
RC3/SCK/SCL	14	E/S Digital. Línea de reloj serial asíncrono en el modo SPI y el modo I^2C
RC4/SDI/SDA	15	E/S Digital. Línea de datos en el modo SPI o en el modo I^2C
RC5/SDO	16	E/S Digital.
RC6/TX/CK	17	E/S Digital. Transmisión asíncrona (USART) o reloj síncrono (SSP).
RC7/RX/DT	18	E/S Digital. Recepción asíncrona (USART) o línea de datos (SSP).
V_{DD}	20	Voltaje de alimentación DC (+)
V_{SS}	8,19	Referencia de voltaje (GND).
MCLR	1	Entrada de RESET al microcontrolador. Voltaje de entrada durante la programación.
OSC1/CLKIN	9	Entrada oscilador cristal oscilador / Entrada fuente de reloj externa.
OSC2/CLKOUT	10	Salida oscilador cristal. Oscilador RC: Salida con un ¼ frecuencia OSC1

El oscilador externo

Todo microcontrolador requiere un circuito externo que le indique la velocidad a la que debe trabajar. Este circuito, que se conoce como oscilador o reloj, es muy simple pero de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema. El PIC16F873 puede utilizar cuatro tipos de oscilador diferentes. Estos tipos son:

- **RC.** Oscilador con resistencia y condensador.
- **XT.** Cristal.
- **HS.** Cristal de alta velocidad.
- **LP.** Cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage distance			≥ 7	mm
Clearance distance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	V_{IO} = 500 V, T_{amb} = 25 °C	R_{IO}	10^{12}	Ω
	V_{IO} = 500 V, T_{amb} = 100 °C	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	°C
Operating temperature		T_{amb}	- 55 to + 100	°C
Junction temperature		T_j	125	°C
Soldering temperature (2)	max.10 s dip soldering: distance to seating plane ≥ 1.5 mm	T_{sld}	260	°C

Notes

(1) T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified.
Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

(2) Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering condditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Forward voltage (2)	I_F = 50 mA		V_F		1.3	1.5	V
Reverse current (2)	V_R = 3 V		I_R		0.1	100	µA
Capacitance	V_R = 0 V		C_O		25		pF
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage (2)	I_C = 100 µA		BV_{CBO}	70			V
Collector emitter breakdown voltage (2)	I_C = 1 mA		BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage (2)	I_E = 100 µA		BV_{ECO}	7			V
I_{CEO}(dark) (2)	V_{CE} = 10 V, (base open)	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
I_{CBO}(dark) (2)	V_{CB} = 10 V, (emitter open)				2	20	nA
Collector emitter capacitance	V_{CE} = 0		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Isolation test voltage (2)	Peak, 60 Hz		V_{IO}	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	I_{CE} = 2 mA, I_F = 50 mA		$V_{CE(sat)}$			0.5	V
Resistance, input output (2)	V_{IO} = 500 V		R_{IO}	100			GΩ
Capacitance, input output	f = 1 MHz		C_{IO}		0.6		pF

Notes

(1) T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified.
Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

(2) JEDEC registered values are 2500 V, 1500 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CURRENT TRANSFER RATIO (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA	4N25	CTR_{DC}	20	50		%
		4N26	CTR_{DC}	20	50		%
		4N27	CTR_{DC}	10	30		%
		4N28	CTR_{DC}	10	30		%

Note
(1) Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Rise and fall times	V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA, R_L = 100 Ω	t_r, t_f		2		µs

TYPICAL CHARACTERISTICS

T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified

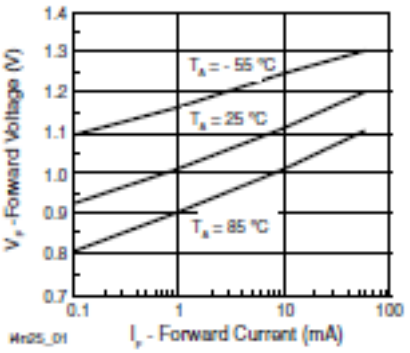


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

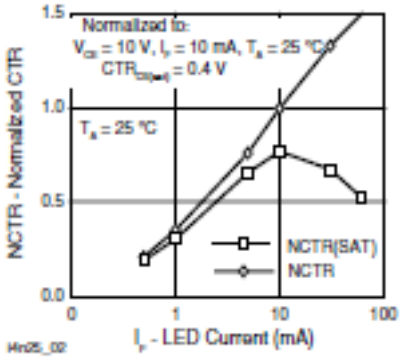


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

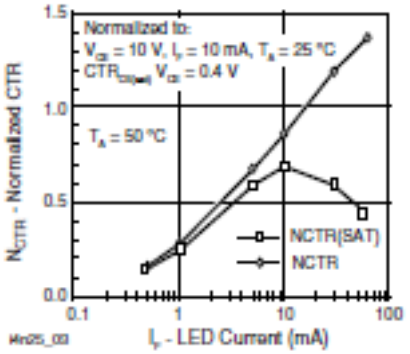


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

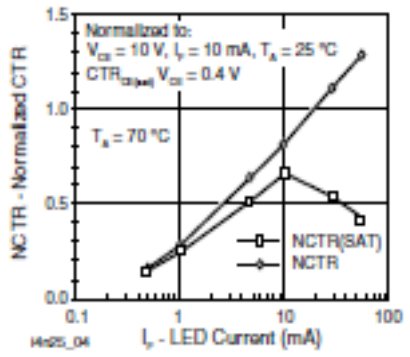


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CURRENT TRANSFER RATIO (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA	4N25	CTR_{DC}	20	50		%
		4N26	CTR_{DC}	20	50		%
		4N27	CTR_{DC}	10	30		%
		4N28	CTR_{DC}	10	30		%

Note
(1) Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Rise and fall times	V_{CE} = 10 V, I_F = 10 mA, R_L = 100 Ω	t_r, t_f		2		µs

TYPICAL CHARACTERISTICS

T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified

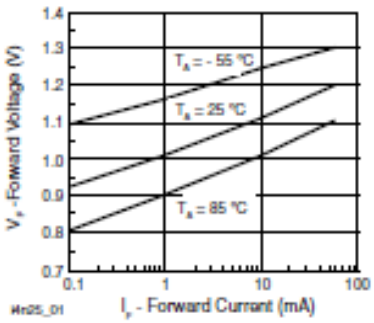


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

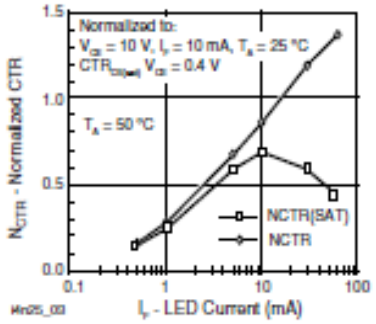


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

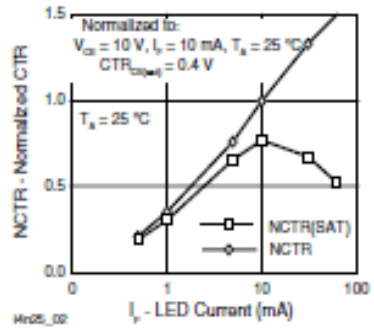


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

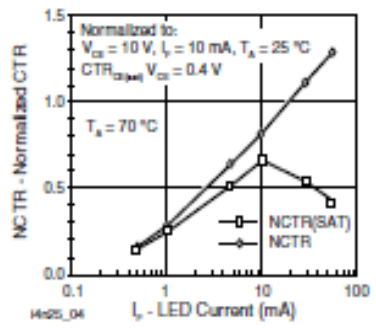


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

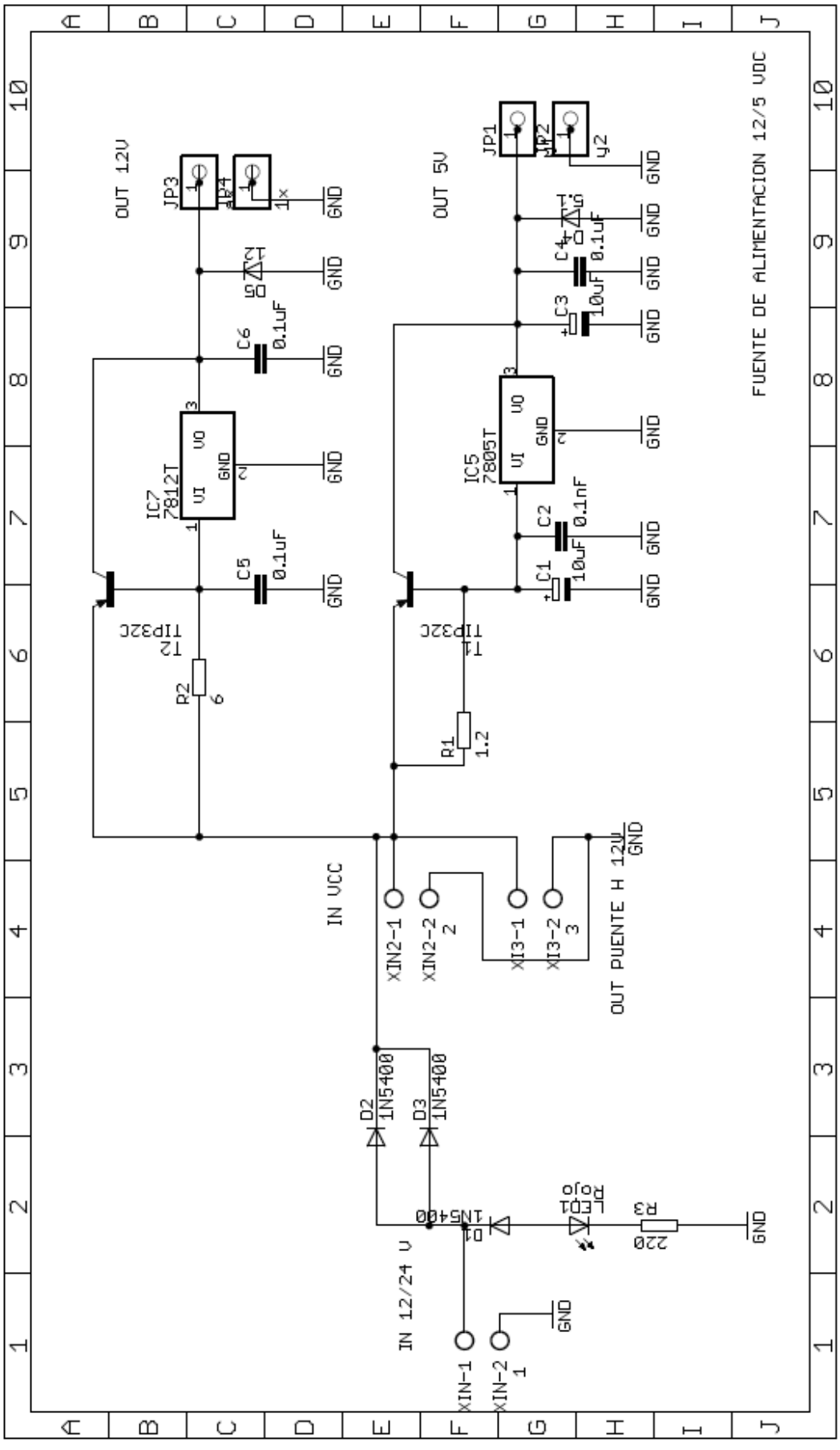
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

PLANOS ELECTRICOS DEL INVERSOR

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

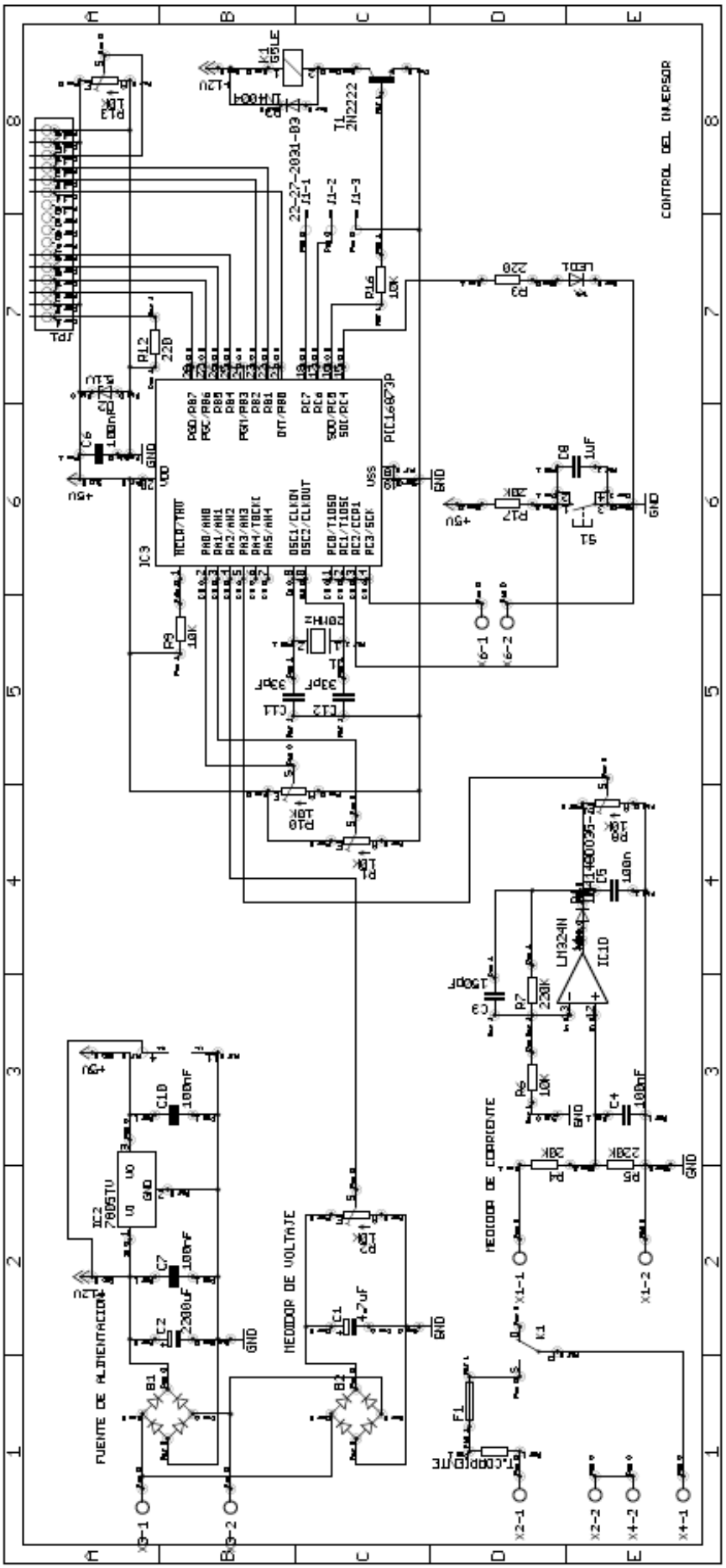
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

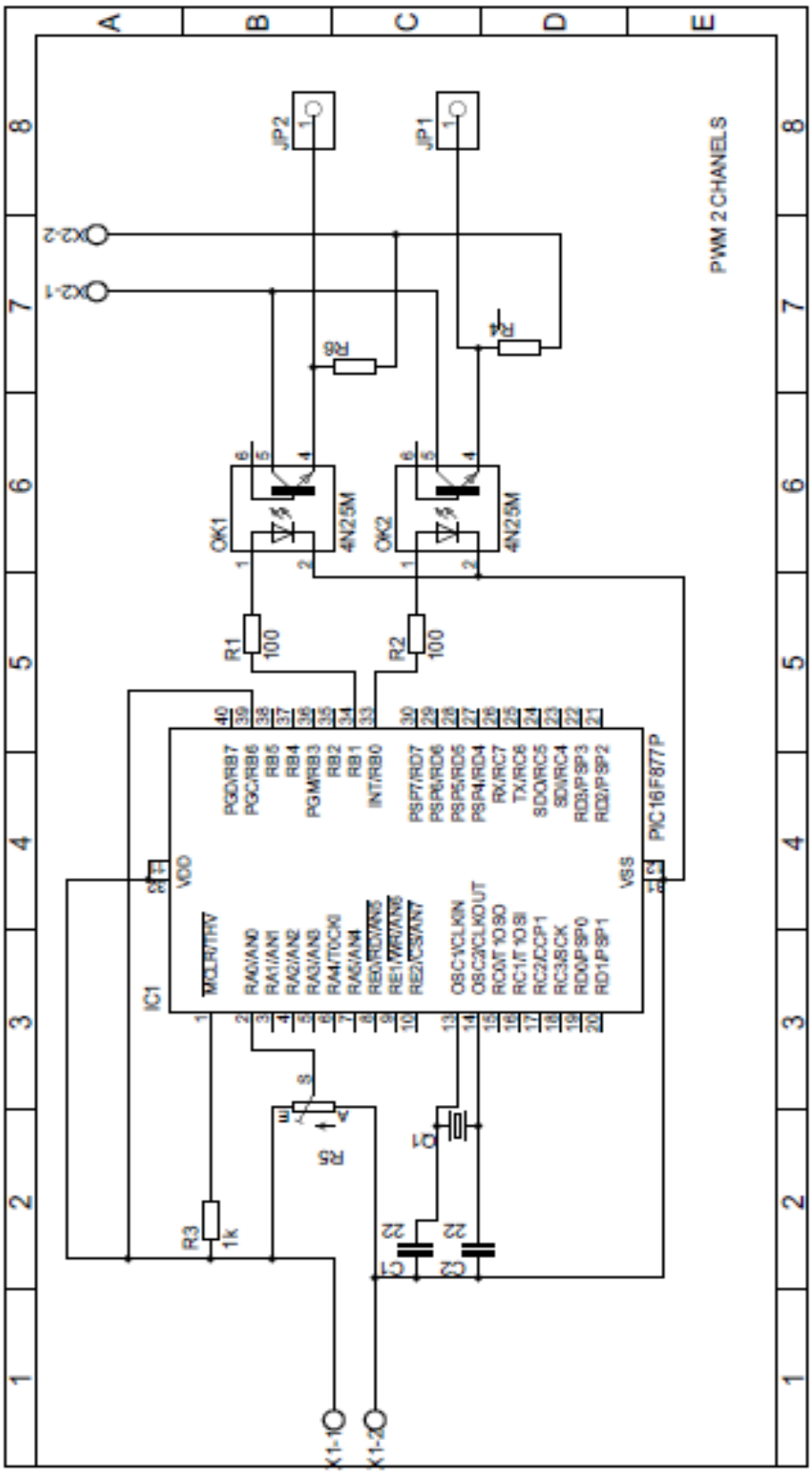
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Publicación autorizada con
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

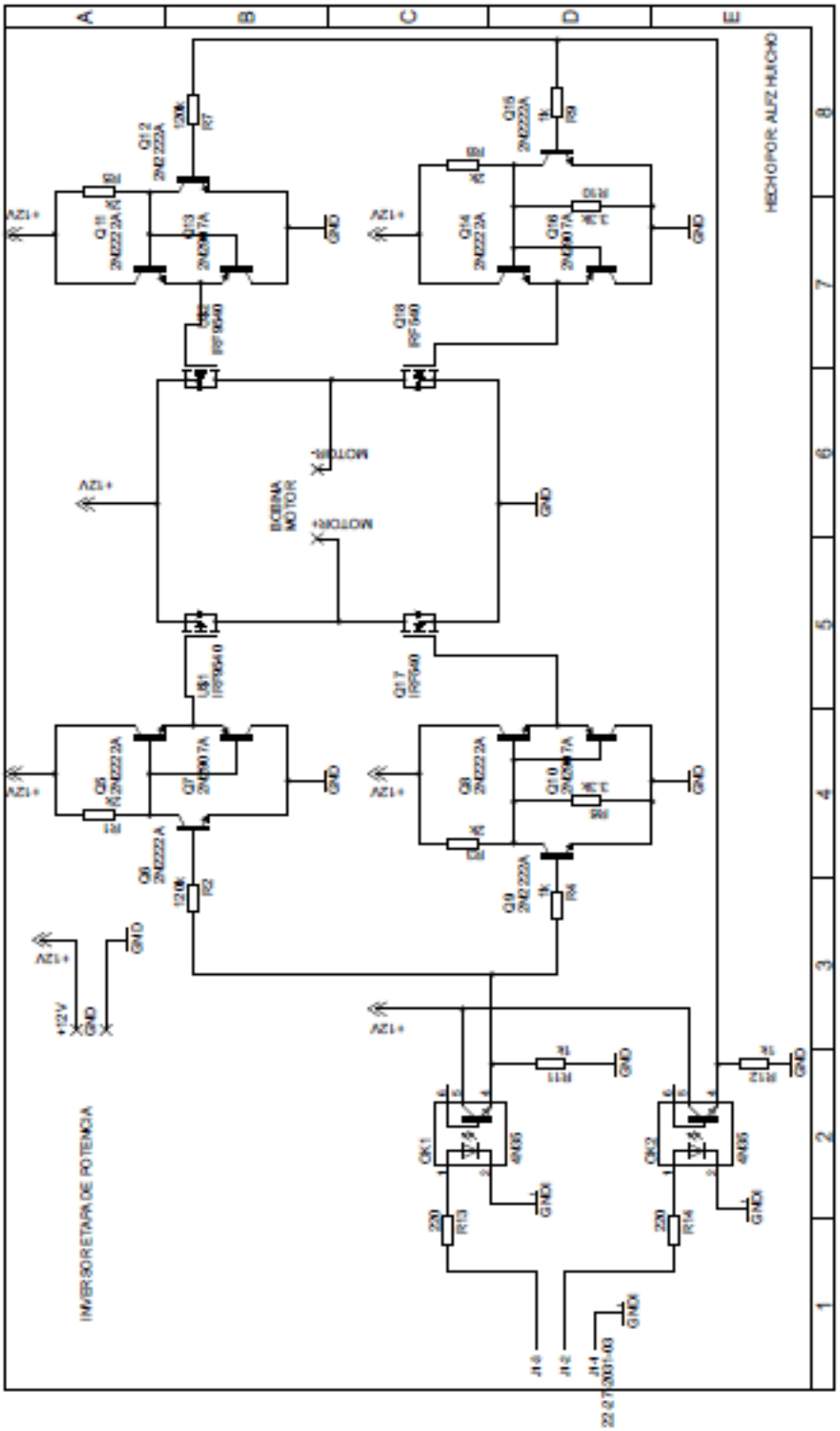


09/12/2014 08:44:02 p.m. f=1.40 J:\planos eagle\PWM ahminverte.sch (Sheet: 1/1)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

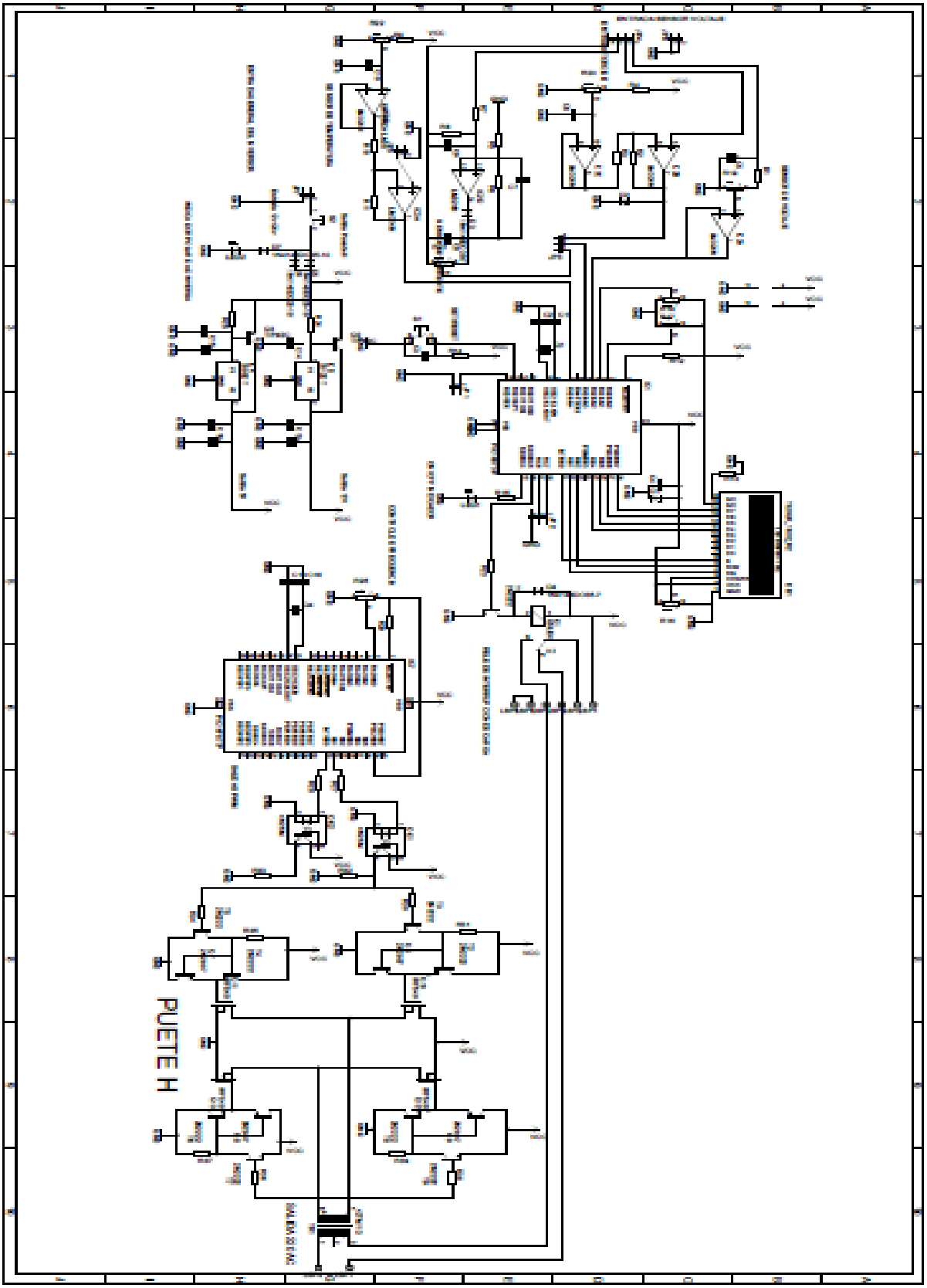


04/12/2014 10:22:14 p.m. J:\main\Tesis alfz\ckto potencia.sch (Sheet: 1/1)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



!5/05/2015 12:20:08 p.m. f=0.54 J:\tesis inverter\planos eagle\Ultimo circuito.sch (Sheet: 1/1)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis