

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CONSTRUCCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN  
PARA UNA ESTUFA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTA:**

**C. RICARCO CERINO ACEVEDO**

**DIRECTOR**

**DR. MARIO IBAÑEZ OLVERA**

Tianguistenco, Estado de México, Junio de 2024.

## **Agradecimientos**

Le doy gracias a toda mi familia, por todo el apoyo que me brindaron a lo largo de estos años para poder cumplir cada una de las metas que me he propuesto para poder llegar hasta este punto de mi vida académica.

Así mismo quiero expresar un especial agradecimiento al Dr. Mario Ibáñez Olvera por todas las veces que me brindo su apoyo y confianza, dándome la oportunidad de realizar mis residencias profesionales con él y poder desarrollar el proyecto de la mejor manera posible.

También quiero darles las gracias a todos mis docentes y compañeros que me acompañaron durante toda la carrera y que estuvieron ahí para ayudarme cuando tuve dificultades

Finalmente, también quiero agradecer a todas esas personas que indirecta o directamente me han ayudado con palabras de aliento, consejos y entre otras cosas ya que esto contribuyo a alcanzar todas mis metas.

## Resumen

En este trabajo se presenta la implementación de una fuente de alimentación para una estufa de inducción electromagnética, así como el control para su accionamiento.

Se realizó el análisis de los componentes utilizados en la implementación de la fuente con la finalidad de que el sistema posea las mejores características de funcionamiento en cuanto a la demanda de corriente y voltaje suministrados hacia la parte de potencia de la estufa de inducción.

Se utilizó el circuito integrado DK124 que es un generador de pulso capaz de controlar ciclo de trabajo a partir de una señal de retroalimentación de la etapa de potencia, con la finalidad de que el sistema trabaje dentro de un rango establecido de frecuencia.

Se llevó a cabo la construcción de la fuente, a partir de los componentes seleccionados con la finalidad de obtener las mejores características en cuanto a suministro de voltaje de la fuente hacia la etapa de potencia.

Se realizó la simulación para el control de accionamiento de la señal PWM, esto se pudo realizar gracias a que tanto el PIC como el controlador MOSFET aparecían en el programa de simulación a diferencia del circuito de la fuente.

Posteriormente de que se comprobó el funcionamiento mediante la simulación se llevó a cabo el montaje del circuito de accionamiento en una placa de pruebas.

Por último, se realizaron pruebas de funcionamiento, en el caso de la fuente se conectó un motor y posteriormente un ventilador a las 12V de la fuente, mientras que los 5V y 20V se conectaron al control que acciona la señal PWM. La fuente respondió bien al alimentar varios dispositivos al mismo tiempo ya que estos funcionaron de forma correcta, mientras que en el control de accionamiento se observó con el osciloscopio la señal PWM y se pudo apreciar que presentaba las características deseadas como la frecuencia y el voltaje.

## **Abstract**

This work presents the implementation of a power supply for an electromagnetic induction stove, as well as the control for its operation.

The analysis of the components used in the implementation of the source was carried out in order for the system to have the best operating characteristics in terms of the demand for current and voltage supplied to the power part of the induction stove.

The DK124 integrated circuit was used, which is a pulse generator capable of controlling the duty cycle from a feedback signal from the power stage, in order for the system to work within an established frequency range.

The construction of the source was carried out, starting from the selected components in order to obtain the best characteristics in terms of voltage supply from the source to the power stage.

The simulation was carried out for the drive control of the PWM signal, this could be done thanks to the fact that both the PIC and the MOSFET controller appeared in the simulation progrike the source circuit.

After the operation was verified through simulation, the drive circuit was assembled on a test board.

Finally, functional tests were carried out, in the case of the source, a motor and later a fan were connected to the 12V of the source, while the 5V and 20V were connected to the control that drives the PWM signal. The supply responded well to powering several devices at the same time since they worked correctly, while in the drive control the PWM signal was observed with the oscilloscope, and it could be seen that it had the desired characteristics such as frequency and voltage.

# Índice General

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                             | <b>2</b>  |
| <b>RESUMEN.....</b>                                                      | <b>3</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                    | <b>4</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                 | <b>12</b> |
| <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>                                   | <b>14</b> |
| <b>JUSTIFICACIÓN .....</b>                                               | <b>15</b> |
| <b>OBJETIVOS.....</b>                                                    | <b>16</b> |
| General.....                                                             | 16        |
| Específicos.....                                                         | 16        |
| <b>CAPITULO I. MARCO TEÓRICO.....</b>                                    | <b>17</b> |
| 1.1 Antecedentes.....                                                    | 17        |
| 1.2 Funcionamiento de una estufa de inducción.....                       | 20        |
| 1.3 Fuentes de alimentación .....                                        | 20        |
| 1.3.1 Fuentes lineales.....                                              | 21        |
| 1.3.1.1 Fuente de alimentación no estabilizada .....                     | 22        |
| 1.3.1.2 Fuente de alimentación simétrica sin estabilización.....         | 23        |
| 1.3.1.3 Fuente de alimentación estabilizada con regulador de tensión     | 24        |
| 1.3.1.4 Fuente de alimentación simétrica con estabilización .....        | 25        |
| 1.3.1.5 Fuente de alimentación con diferentes voltajes fijos a la salida | 25        |
| 1.3.1.6 Fuente de alimentación con salida variable .....                 | 27        |
| 1.3.2 Fuente conmutada .....                                             | 27        |
| 1.3.2.1 Rectificación y filtrado de entrada.....                         | 29        |
| 1.3.2.2 Circuito de conmutación y realimentación .....                   | 29        |
| 1.3.2.3 Transformador chopper .....                                      | 30        |
| 1.3.2.4 Rectificación y filtrado de salida .....                         | 30        |
| 1.4 Componentes básicos de las fuentes de alimentación .....             | 30        |

|         |                                                       |    |
|---------|-------------------------------------------------------|----|
| 1.4.1   | Semiconductores .....                                 | 31 |
| 1.4.2   | Unión PN .....                                        | 31 |
| 1.4.3   | ¿Qué es un diodo? .....                               | 31 |
| 1.4.3.1 | Principales características de un diodo .....         | 32 |
| 1.4.3.2 | Encapsulados de los diodos .....                      | 32 |
| 1.4.3.3 | Tipos de diodos .....                                 | 33 |
| 1.4.3.4 | Diodo rectificador .....                              | 33 |
| 1.4.3.5 | Diodo Zener .....                                     | 34 |
| 1.4.3.6 | Diodo LED .....                                       | 35 |
| 1.4.4   | Puente rectificador .....                             | 37 |
| 1.4.5   | Filtro .....                                          | 38 |
| 1.4.6   | Capacitores .....                                     | 39 |
| 1.4.6.1 | Capacitores electrolíticos .....                      | 39 |
| 1.4.6.2 | Capacitores cerámicos .....                           | 41 |
| 1.4.6.3 | Capacitores de Poliéster .....                        | 42 |
| 1.4.6.4 | Capacitores SMD .....                                 | 43 |
| 1.4.6.5 | Supercondensadores .....                              | 43 |
| 1.4.6.6 | Capacitores de tantalio .....                         | 43 |
| 1.4.6.7 | Capacitores ajustables .....                          | 44 |
| 1.4.7   | Inductores .....                                      | 45 |
| 1.4.7.1 | Tipos de inductores .....                             | 46 |
| 1.4.7.2 | Bobinas .....                                         | 46 |
| 1.4.7.3 | Inductor compacto o encapsulado .....                 | 48 |
| 1.4.7.4 | Inductores fijos y variables .....                    | 48 |
| 1.4.8   | Transformador .....                                   | 49 |
| 1.4.8.1 | Características principales de un transformador ..... | 51 |
| 1.4.8.2 | Devanados .....                                       | 52 |
| 1.4.8.3 | Aislamiento .....                                     | 52 |
| 1.4.8.4 | Núcleo .....                                          | 52 |

|                                       |                                                                                |            |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.4.8.5                               | Tipos de transformadores .....                                                 | 53         |
| 1.4.8.6                               | Según su función.....                                                          | 53         |
| 1.4.8.7                               | Según su construcción. ....                                                    | 53         |
| 1.4.8.8                               | Según su fase .....                                                            | 54         |
| 1.4.9                                 | Reguladores de voltaje.....                                                    | 54         |
| 1.4.9.1                               | Reguladores lineales .....                                                     | 55         |
| 1.4.9.2                               | Reguladores de conmutación.....                                                | 55         |
| 1.5                                   | Inversores resonantes.....                                                     | 56         |
| 1.5.1                                 | Inversor de medio puente.....                                                  | 57         |
| 1.5.2                                 | Inversor de puente completo.....                                               | 57         |
| 1.6                                   | Inversor cuasi resonante .....                                                 | 58         |
| 1.6.1                                 | Inversor cuasi resonante ZCS .....                                             | 58         |
| 1.6.2                                 | Inversor cuasi resonante ZVS .....                                             | 59         |
| 1.6.3                                 | Funcionamiento de un inversor cuasi resonante ZVS .....                        | 60         |
| 1.7                                   | Corrientes Parasitas .....                                                     | 60         |
| 1.8                                   | Efecto Joule .....                                                             | 61         |
| 1.9                                   | Histéresis .....                                                               | 61         |
| 1.10                                  | Ley de Faraday .....                                                           | 61         |
| <b>CAPITULO II. METODOLOGÍA .....</b> |                                                                                | <b>62</b>  |
| 2.1                                   | Análisis de sistemas electromagnéticos aplicados a estufas de inducción .....  | 62         |
| 2.2                                   | Análisis de placas de circuito impreso de estufas de inducción magnética. .... | 68         |
| 2.3                                   | Selección de los componentes para la construcción del circuito.....            | 72         |
| 2.4                                   | Diagrama del prototipo de la fuente .....                                      | 79         |
| 2.5                                   | Selección de los componentes para el control del accionamiento.....            | 83         |
| 2.6                                   | Diagrama del circuito de accionamiento .....                                   | 86         |
| 2.7                                   | Realización del programa y simulación del circuito de accionamiento .....      | 87         |
| 2.8                                   | Construcción de la fuente de alimentación.....                                 | 92         |
| 2.9                                   | Construcción del control de accionamiento.....                                 | 95         |
| <b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>  |                                                                                | <b>100</b> |

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1 Primera versión del circuito.....                                           | 100        |
| 3.2 Versión final del circuito .....                                            | 102        |
| 3.3 Prueba de encendió y apagado de la salida PWM del PIC .....                 | 105        |
| 3.4 Simulación final del control de accionamiento .....                         | 106        |
| 3.5 Circuito del control de accionamiento del PWM con driver MOSFET .....       | 107        |
| 3.6 Prueba con diferentes elementos conectados a la fuente simultáneamente..... | 109        |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                                     | <b>111</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                                                        | <b>113</b> |
| <b>GLOSARIO .....</b>                                                           | <b>115</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                             | <b>116</b> |

## Índice de figuras

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1, Diagrama de bloques de una fuente lineal. ....                     | 21 |
| Figura 2, Fuente de alimentación no estabilizada. ....                       | 23 |
| Figura 3, Fuente de alimentación simétrica sin estabilización. ....          | 24 |
| Figura 4, Fuente de alimentación estabilizada con regulador de tensión. .... | 24 |
| Figura 5, Fuente de alimentación simétrica con estabilización. ....          | 25 |
| Figura 6, Fuente de alimentación fija con rectificador separado. ....        | 26 |
| Figura 7, Fuente de alimentación fija con un solo rectificador. ....         | 26 |
| Figura 8, Fuente de alimentación con salida variable. ....                   | 27 |
| Figura 9, Diagrama de una fuente conmutada. ....                             | 28 |
| Figura 10, Tipos de encapsulados de los diodos. ....                         | 33 |
| Figura 11, Diodo rectificador. ....                                          | 33 |
| Figura 12, Símbolo del diodo rectificador. ....                              | 34 |
| Figura 13, Diodo Zener. ....                                                 | 34 |
| Figura 14, Símbolo del diodo Zener. ....                                     | 35 |
| Figura 15, Diodos LEDs. ....                                                 | 35 |
| Figura 16, Símbolo del diodo led. ....                                       | 36 |
| Figura 17, Diagrama de un puente de diodos. ....                             | 38 |
| Figura 18, Capacitores electrolíticos. ....                                  | 40 |
| Figura 19, Símbolo de los capacitores electrolíticos. ....                   | 40 |
| Figura 20, Tipos de capacitores electrolíticos. ....                         | 41 |
| Figura 21, Capacitores cerámicos. ....                                       | 41 |
| Figura 22, Símbolo del capacitor electrolítico. ....                         | 42 |
| Figura 23, Capacitores de poliéster. ....                                    | 42 |
| Figura 24, Supercondensador. ....                                            | 43 |
| Figura 25, Capacitor de tantalio. ....                                       | 44 |
| Figura 26, Capacitores ajustables. ....                                      | 44 |
| Figura 27, Símbolo del capacitor ajustable. ....                             | 45 |
| Figura 28, Bobina toroidal. ....                                             | 46 |
| Figura 29, Bobina cilíndrica. ....                                           | 47 |
| Figura 30, Símbolo del inductor. ....                                        | 47 |
| Figura 31, Símbolo de los inductores según su núcleo. ....                   | 47 |
| Figura 32, Inductor encapsulado. ....                                        | 48 |
| Figura 33, Inductores variables. ....                                        | 49 |
| Figura 34, Símbolos de los inductores variables. ....                        | 49 |
| Figura 35, Transformadores reductores. ....                                  | 50 |
| Figura 36, Símbolo del transformador simple. ....                            | 50 |
| Figura 37, Símbolo del transformador con una o más derivaciones. ....        | 51 |
| Figura 38, Símbolo de un transformador con dos devanados aislados. ....      | 51 |
| Figura 39, Topología de un inversor de medio puente. ....                    | 57 |
| Figura 40, Topología de un inversor de puente completo. ....                 | 58 |
| Figura 41, Inversor cuasi resonante ZCS. ....                                | 59 |
| Figura 42, Inversor cuasi resonante ZVS. ....                                | 59 |
| Figura 43, Funcionamiento de un inversor ZVS. ....                           | 60 |
| Figura 44, Fuente de alimentación tipo switch. ....                          | 62 |
| Figura 45, Circuito de potencia para la bobina. ....                         | 63 |
| Figura 46, Conexiones PIC16F1708. ....                                       | 64 |
| Figura 47, Circuito sensores de temperatura. ....                            | 64 |
| Figura 48, Circuito de control con PIC16F1939. ....                          | 65 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 49, Fuente de alimentación 2. ....                                                  | 65  |
| Figura 50, Etapa de potencia. ....                                                         | 66  |
| Figura 51, Control de conmutación para el IGBT. ....                                       | 66  |
| Figura 52, Circuito de sensores de temperatura 2. ....                                     | 67  |
| Figura 53, Circuito de sensores de temperatura 2. ....                                     | 67  |
| Figura 54, Placa de una estufa de inducción 1. ....                                        | 68  |
| Figura 55, Placa de una estufa de inducción 2. ....                                        | 69  |
| Figura 56, IGBT y Puente de diodos. ....                                                   | 69  |
| Figura 57, IGBT y Puente de diodos de la segunda placa. ....                               | 70  |
| Figura 58, Interfaces de usuario. ....                                                     | 70  |
| Figura 59, Microcontrolador de las placas. ....                                            | 71  |
| Figura 60, IGBT y Puente de diodos de la segunda placa. ....                               | 71  |
| Figura 61, Pruebas de funcionamiento de las placas. ....                                   | 72  |
| Figura 62, Fusible con portafusibles. ....                                                 | 74  |
| Figura 63, Diodos y capacitor para la fuente conmutada. ....                               | 74  |
| Figura 64, Transformador para altas frecuencias a utilizar. ....                           | 75  |
| Figura 65, Integrado DK124. ....                                                           | 76  |
| Figura 66, Optoacoplador PC817C. ....                                                      | 76  |
| Figura 67, Diodos de acción rápida BY288. ....                                             | 77  |
| Figura 68, Elementos para el filtro de salida. ....                                        | 77  |
| Figura 69, Regulador de voltaje L7805. ....                                                | 78  |
| Figura 70, Borneras. ....                                                                  | 78  |
| Figura 71, Diagrama de la fuente conmutada a construir. ....                               | 79  |
| Figura 72, Diagrama de la rectificación y filtro de entrada para la fuente conmutada. .... | 80  |
| Figura 73, Diagrama de conexiones del DK124 con el transformador. ....                     | 81  |
| Figura 74, Diagrama de conexiones a la salida del transformador. ....                      | 82  |
| Figura 75, Diagrama de la etapa final de la fuente. ....                                   | 83  |
| Figura 76, PIC16F628A. ....                                                                | 84  |
| Figura 77, Driver MOSFET IR2101. ....                                                      | 85  |
| Figura 78, Pulsadores. ....                                                                | 86  |
| Figura 79, Diagrama del circuito de accionamiento. ....                                    | 87  |
| Figura 80, PIC16F628A y osciloscopio en simulación. ....                                   | 89  |
| Figura 81, Señal PWM en prueba de simulación. ....                                         | 89  |
| Figura 82, Simulación con botones. ....                                                    | 91  |
| Figura 83, Señal PWM activada y desactivada con botones. ....                              | 91  |
| Figura 84, Diagrama de accionamiento en el software de simulación. ....                    | 92  |
| Figura 85, Montaje de la etapa 1 de la fuente. ....                                        | 93  |
| Figura 86, Montaje de la etapa 2 de la fuente. ....                                        | 93  |
| Figura 87, Montaje de la etapa 3. ....                                                     | 94  |
| Figura 88, Montaje de la etapa 4 de la fuente. ....                                        | 94  |
| Figura 89, Diagrama de conexiones del PICKit 3 con el PIC16F628A. ....                     | 95  |
| Figura 90, Conexiones del PICKit 3 al PIC en protoboard. ....                              | 95  |
| Figura 91, Interfaz del programa PICKit 3. ....                                            | 96  |
| Figura 92, Importar hexadecimal. ....                                                      | 97  |
| Figura 93, Archivo hexadecimal. ....                                                       | 97  |
| Figura 94, Cargar archivo al PIC. ....                                                     | 97  |
| Figura 95, Mensaje de carga satisfactoria. ....                                            | 98  |
| Figura 96, Conexión de fuente y botones con el PIC. ....                                   | 98  |
| Figura 97, Conexión del driver MOSFET con el PIC. ....                                     | 99  |
| Figura 98, Fuente conmutada con 3 salidas de voltaje fijo. ....                            | 100 |
| Figura 99, Fuente conmutada prueba con led. ....                                           | 100 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 100, Fuente conmutada medición de regulador. ....      | 101 |
| Figura 101, Conexión de led con regulador. ....               | 101 |
| Figura 102, Fuente conmutada final. ....                      | 102 |
| Figura 103, Medición de la salida de 5V. ....                 | 102 |
| Figura 104, Medición de la salida de 12V. ....                | 103 |
| Figura 105, Medición de la salida de 20V. ....                | 103 |
| Figura 106, Grafica de voltajes. ....                         | 104 |
| Figura 107, Prueba con motor. ....                            | 105 |
| Figura 108, Circuito de control de accionamiento. ....        | 105 |
| Figura 109, Encendido de salida PWM del PIC. ....             | 106 |
| Figura 110, Apagado de salida PWM del PIC. ....               | 106 |
| Figura 111, Simulación de salida PWM con driver MOSTFET. .... | 107 |
| Figura 112, Circuito de accionamiento con driver MOSFET. .... | 107 |
| Figura 113, Encendido y apagado de la señal PWM. ....         | 108 |
| Figura 114, Grafica de la señal PWM del PIC. ....             | 108 |
| Figura 115, Grafica de la señal PWM del driver MOSFET. ....   | 109 |
| Figura 116, Alimentación simultanea de componentes. ....      | 110 |

## Índice de tablas

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Voltaje y corriente de los LEDs según su color. .... | 37  |
| Tabla 2. Lista de componentes para la fuente conmutada. ....  | 73  |
| Tabla 3. Componentes del control de accionamiento. ....       | 83  |
| Tabla 4. Voltajes de salida según los componentes. ....       | 104 |

## Introducción

Las estufas han ido evolucionando con el paso del tiempo, implementado nuevas tecnologías con cada uno de los avances, pasando de usar carbón, gas que hoy en día todavía es muy utilizado para la preparación de alimentos, después con el uso de energía eléctrica con el uso de resistencias hasta llegar a la inducción electromagnética, todos estos cambios con el fin de volver la cocina más eficiente para benéfico de todas aquellas personas que gustan de cocinar o que en su defecto se ven en la necesidad de realizar dicha actividad.

Este tipo de cocinas basan su funcionamiento en el principio de inducción magnética descubierto por Michael Faraday quien pudo demostrar que se puede generar una fuerza electromotriz mediante un campo magnético, estas estufas tienen como elemento principal una bobina en forma de espiral por la cual se hace circular una corriente eléctrica la cual está a altas frecuencias, está llegando a niveles de kilo Hertz, por lo general en esta aplicación se usan rangos de entre 20 y 100kHz para el funcionamiento de estufas, esta corriente crea un campo magnético variable a la misma frecuencia que la corriente que se encuentra en la bobina y para que se pueda llevar acabo el calentamiento del recipiente este debe de estar hecho de algún material ferromagnético para que el campo magnético sea capaz de interactuar con el recipiente y de esta manera generar corrientes inducidas, además que al ser ferromagnético también se aprovecha la histéresis para generar el calentamiento.

Estas estufas las podemos dividir en tres partes importantes, la primera la fuente de alimentación que es una parte muy importante ya que es la que nos entregara los diferentes niveles de voltaje necesarios el correcto funcionamiento del sistema, en este caso las que se ocupa más comúnmente en las estufas comerciales son las fuentes de tipo conmutada, ya que estas no presentan sobrecalentamientos de forma que son más eficientes y sus componentes suelen ser más pequeños de forma que también ocupan menos espacio, estas fuentes trabajan por medio de un transformador a altas frecuencias y por un controlador que genera la señal PWM a la frecuencia requerida, su principal desventaja es que es más compleja de diseñar y de construir. Por otra parte, también se puede hacer uso de una fuente de alimentación de tipo lineal, estas fuentes son más sencillas de construir que las conmutadas, aunque suelen tener una menor eficiencia debido a que presentan calentamiento en sus componentes, además de

ocupar más espacio, pero otra de sus principales ventajas es que estos componentes son más sencillas de conseguir.

La segunda parte es la fase de potencia la cual está compuesta por un filtro capacitivo de entrada, un puente rectificador, un filtro LC para proteger de las altas frecuencias y por un circuito inversor cuasi resonante, cuya principal característica es que utiliza un solo conmutador, en este caso es muy común el uso de un IGBT, este inversor también se compone de un capacitor y de una bobina la cual lleva a cabo el calentamiento. Por último, se tiene la fase de control que es la interfaz de usuario que nos permite seleccionar diferentes modos que tienen las estufas comerciales que para este proyecto no se profundizara mucho en esta etapa.

## **Planteamiento del problema**

Las estufas de inducción son dispositivos que con el paso del tiempo han ido teniendo mayor presencia en el mercado, las estufas de inducción magnética pueden llegar a tener un precio bastante elevado de forma que para algunas personas este tipo de productos no sea del todo accesible y por lo tanto no puedan obtener los beneficios que las estufas de inducción brindan, como lo es la velocidad de calentamiento, y por consecuencia el ahorro de energía.

La fuente de alimentación que es la encargada de suministrar el voltaje y la corriente de cada uno de los componentes resulta que es una de las partes más costosas de fabricar debido a cada uno de los elementos electrónicos que la componen y por ende esto hace que la estufa de inducción suba de precio considerablemente.

En este proyecto se llevar a cabo la construcción de un prototipo inicial de una fuente de alimentación para una estufa de inducción con el fin de tratar de hacerla menos lo menos costosa posible.

## Justificación

Las estufas que funcionan mediante la inducción electromagnética pueden representar varias ventajas sobre otros tipos de estufas, como las que funcionan por medio del uso de gas, que se usan con mayor frecuencia en muchas partes del mundo, algunas de las ventajas que tienen las estufas por inducción son: mayor eficiencia energética, con un índice de aprovechamiento energético entre el 85% y 98%, que al ser comparadas con la eficiencia de una estufa de gas y las parrillas eléctricas las cuales están entre un 40% y 60%, se obtiene una diferencia aproximada de 30% o 50%, por lo que genera un menor consumo eléctrico y esto también se ve reflejado en un menor impacto ambiental [1], otra ventaja que tiene es que alcanzan temperaturas altas en un menor tiempo, de forma que se puede disminuir considerablemente el tiempo que se le dedica a cocinar [2], estas son algunas de las ventajas que estas estufas presentan, aunque por otro lado pueden llegar a ser muy caras.

Es por lo que, el presente trabajo tiene como objetivo la implementación de una fuente de alimentación con la finalidad de reducir la cantidad de los componentes eléctricos sin afectar la eficiencia del dispositivo. esto con el objetivo de beneficiar

con menos elementos o con componentes más baratos para reducir costos, esto sin afectar el buen funcionamiento del dispositivo, con la finalidad de que las personas que gusten de cocinar se vean beneficiados al tener una opción más accesible en este tipo de estufas, esto también puede beneficiar a toda persona que tenga la necesidad de cocinar.

# Objetivos

## General

Elaborar una fuente de alimentación para una estufa de inducción electromagnética y el control de accionamiento, con el fin de obtener una buena eficiencia y disminuir costos.

## Específicos

- Recopilar información relacionada con dispositivos o sistemas de inducción electromagnética.
- Establecer los componentes electrónicos adecuados para la construcción de esta fuente de alimentación y del control de accionamiento según las especificaciones requeridas.
- Diseñar el diagrama del circuito en base a los componentes que se han seleccionados.
- Construcción de la fuente de alimentación con los componentes electrónicos en una placa de pruebas.
- Realizar la programación de la etapa de control de accionamiento a partir de microcontrolador PIC16F628A.
- Interpretar de los resultados obtenidos para validar el funcionamiento del sistema.

# CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes

Con el paso de los años los seres humanos han realizado un gran número de avances en diversos aspectos, uno de estos es la forma en la cual se cocinan los alimentos, que para la realización de dicha actividad se hace uso de un artefacto conocido como estufa, que ha ido evolucionando con el descubrimiento de nuevas tecnologías, con el fin de hacerlas mucho más eficientes para facilitar el trabajo que representa el tener que cocinar.

Las estufas como las conocemos hoy en día han tenido que pasar por muchos cambios, las primeras estufas que se conocen usaban leña para poder generar el calor que se necesitaba para la cocción de los alimentos, una de estas estufas alimentadas por leña fue la estufa stew, la cual se desarrolló en el año 1735 por el diseñador de origen francés Francois Cuvilléis, mientras que con la llegada de la revolución industrial se comenzó a optar por la utilización del carbón para el funcionamiento de las estufas, esto debido a que el carbón puede arder a temperaturas mucho más altas que la madera. Conforme fue pasando el tiempo comenzó a surgir una preocupación por efectos negativos ocasionados por la quema del carbón y de madera, como deforestación por la tala de árboles, la contaminación del aire, como consecuencia el gas se volvería la fuente más usada para la producción de calor, de forma que en 1826 el inventor británico James Sharp presento la estufa a gas, mientras que en los años 1920 y 1930, los hornos que funcionaban por medio de electricidad comenzaron a competir con las estufas de gas, las cuales hasta hoy en día son utilizadas en muchas partes del mundo [3].

Con todo el avance tecnológico se comenzó a usar sistemas de calentamiento inductivo, esto al poner en práctica el descubrimiento que llevo a cabo Michael Faraday en el año 1831 ya que pudo comprobar que, al hacer pasar una corriente eléctrica por un bobina, se podía llegar a generar otra corriente de poca duración en una bobina cercana, a este fenómeno se le llamo inducción electromagnética, el cual es el principio que utilizan los sistemas de calentamiento por medio de inducción [4].

De esta manera con los descubrimientos realizados, se aplicaron a la creación de cocinas o estufas de inducción que son capaces de calentar recipientes por medio del

electromagnetismo, al comienzo no se presentó mucho interés por parte de las industrias, pero gracias a la empresa Westinghouse en los años 70 del siglo XX se comenzaron a hacer avances más significativos en este tipo de tecnología, como pueden ser la utilización de sensores, un mayor eficiencia energética y entre otras muchas cosas que hicieron de estas cocinas una herramienta muy útil y con varias ventajas respecto a otro tipo de estufas, aunque también cuenta con algunas desventajas estas se han abierto paso en la industria de forma que cada vez es más común encontramos con estas estufas [5].

Habiendo realizado este repaso por la historia de la evolución de las cocinas de inducción, pasamos a la revisión de tres trabajos, que sirven como antecedentes del presente proyecto y que no servirán como apoyo para la realización de este.

En el primer trabajo es una tesis la cual tiene como título “Diseño y construcción de una cocina de inducción electromagnética de una zona de calentamiento basado en un inversor monofásico de alta frecuencias y un microcontrolador” la cual fue desarrollada en marzo del 2015 por Francisco Antonio Aguirre Coello y Herman Diógenes Alarcón Llor en la Universidad Politécnica Salesiana en Ecuador, como en el nombre del trabajo lo especifica, llevaron a cabo el diseño de una estufa de inducción magnética para posteriormente llevar a cabo su construcción, en este trabajo lleva a cabo algunos cálculos para el diseño del dispositivo, como en el caso de la frecuencia de operación y la inductancia, en esta estufa emplea un inversor cuasi resonante que aunque no se especifica exactamente su topología se puede deducir porque esta utiliza un solo conmutador que es la principal característica de este tipo de inversores, en este caso como conmutador uso un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) IRG7PH46UDPBF por sus características que este tiene, además este hace uso de dos microcontroladores PIC el primero el PIC16F1708 que es el encargado de mandar una señal PWM al IGBT por medio de un driver MOSFET y de monitorear la temperatura tanto de la bobina como del IGBT por medio de un arreglo con termistores NTC (Coeficiente de temperatura negativo), este microcontrolador fue elegido debido a que posee un detector de cruce por cero integrado para el control que esta estufa ocupa, el otro PIC que utilizo fue el PIC16F1939, este microcontrolador se utilizó para el desarrollo de la interfaz de usuario para interactuar con el resto del sistema y llevar a cabo el control de este. En el caso de la fuente de alimentación es una de tipo switch en la que no se hizo uso de ningún transformador

si no que solo implemento el integrado LNK306, con una salida de 18V dc que servirán para el funcionamiento del ventilador y del IGBT, también esta fuente contiene un regulador LM1117 que a su salida entrega 5V dc, este voltaje es útil para alimentar el microcontrolador y la interfaz de usuario [6].

El segundo trabajo también corresponde la tesis “Diseño y construcción de un prototipo de una cocina de inducción electromagnética”, realizada en Noviembre del 2009 en la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica de la Escuela Politécnica Nacional en Quito, por Elías Antonio Cushicóndor Collaguazo y Diego Gonzalo Tito Saráuz, en este trabajo también se lleva a cabo el diseño y la construcción de una estufa de inducción, pero implementa diferentes cosas para su realización, en este proyecto se hace uso de un solo microcontrolador el cual es el PIC16F876A, que como este no posee OPAMs o detector por cruce por cero, este hace uso de comparadores externos, principalmente para la selección de potencia a la que se quiere que trabaje la estufa, como se mencionó solo hace uso de un microcontrolador de forma en este también se lleva a cabo la interfaz de usuario, como es común para el proyecto hizo uso de un inversor cuasi resonante, para el cual se realizan los cálculos de los valores de los capacitores e inductores del inversor si como el del filtro LC y para el monitoreo de temperaturas se recurre al uso de termistores NTC. Para su fuente de alimentación este utiliza una fuente de tipo lineal por medio de la cual se obtienen 3 niveles de voltaje uno de 22V dc para el IGBT que este utiliza, una de 12V dc para el ventilador y otra de 5V dc para la interfaz y el microcontrolador, esto mediante el uso de transformador reductor a 24V ac de derivación central para que por medio de un rectificador y filtros se obtenga el mismo voltaje pero en cd, mediante el devanado central se obtienen 12V dc y por medio de un regulador de voltaje se obtienen los 5V dc [7].

En una tercera investigación cuyo título es “Estudio del diseño de un inversor para cocinas de inducción utilizando un solo interruptor de GaN” que se llevó a cabo en junio de 2019 en la Universidad Politécnica de Cataluña, por Marco Fernando Bravo Guamán, en esta investigación se puede comprender de una mejor manera el funcionamiento de los inversores, principalmente del cuasi resonante que como se puede notar con los otros 3 antecedentes este es el que generalmente ocupan las estufas de inducción, una de las principales diferenciaciones de este proyecto es que se hace uso de un interruptor GaN (Nitruro de galio),

en lugar de un IGBT, el interruptor escogido fue el GS66508T. Para la obtención de los distintos niveles de tensión necesario se hizo uso de un convertidor de tensión TMR 9-1219WI el cual proporciona +6V y -3V más una referencia de 0V, que son requeridos para el controlador S18271AB-IS que se implementó para controlar el conmutador, también se utilizó un módulo convertidor de tensión de 9W DC-DC y un regulador de tensión TLV70133DBVT que este a su salida entrega 3.3V los cuales son suministrados al controlador S18271AB-IS [8].

## **1.2 Funcionamiento de una estufa de inducción**

En una estufa de inducción magnética se puede encontrar como elemento principal una bobina en forma de espiral hecha de cobre, por la cual se hará circular una corriente con una frecuencia que puede ir de los 20 a los 100kHz, esto a su vez va a crear un campo magnético que varía a la misma frecuencia que la corriente de la bobina, para que este campo magnético pueda interactuar con el recipiente este debe estar hecho por algún material metálico que posea una buena conductividad eléctrica para que a través de este puedan circular las corrientes inducidas, además de esto también es importante que el material sea ferromagnético con el fin de aprovechar la histéresis magnética, esta es una propiedad que tienen los materiales ferromagnético de oponerse a los cambios de la densidad del flujo magnético. El campo magnético generado atraviesa una cubierta de cerámica para posteriormente penetrara en la base del recipiente, generando una corriente en la base del mismo (Corrientes de Foucault), debido a la presencia de estas corrientes inducidas y a la frecuencia utilizada se comienza a disipar la energía en forma de calor por consecuencia del efecto Joule, a este principio se le conoce como inducción magnética, con el calor que se produce se comienza a calentar el recipiente y el contenido que este tenga [9].

## **1.3 Fuentes de alimentación**

Las fuentes de alimentación son dispositivos compuestos por distintos elementos electrónicos, estos dispositivos se encargan principalmente de adaptar el voltaje disponible

suministrado de la red eléctrica de  $V_{ca}$ , a un voltaje de corriente directa  $V_{cd}$ , esto con el fin de poder alimentar distintos dispositivos que requieren de este tipo de corriente, como son: televisiones, computadoras, reproductores de DVD, entre otros [10].

Los tipos de fuentes de alimentación más comunes que podemos encontrar son:

- Fuentes lineales.
- Fuentes conmutadas.

### 1.3.1 Fuentes lineales

En el caso de las fuentes lineales, su construcción puede resultar ser más fácil, pero a su vez estas mismas tienen a ocupar un espacio mayor debido a sus componentes, no tienen una eficiencia destaca y generan calor. En cuanto al funcionamiento, este consiste en la reducción de tensión por medio de un transformador, después a la salida del transformador tenemos una etapa de rectificación, posteriormente una etapa de filtrado y por último una de estabilización, estas etapas se pueden ver en la figura 1 que se muestra a continuación.

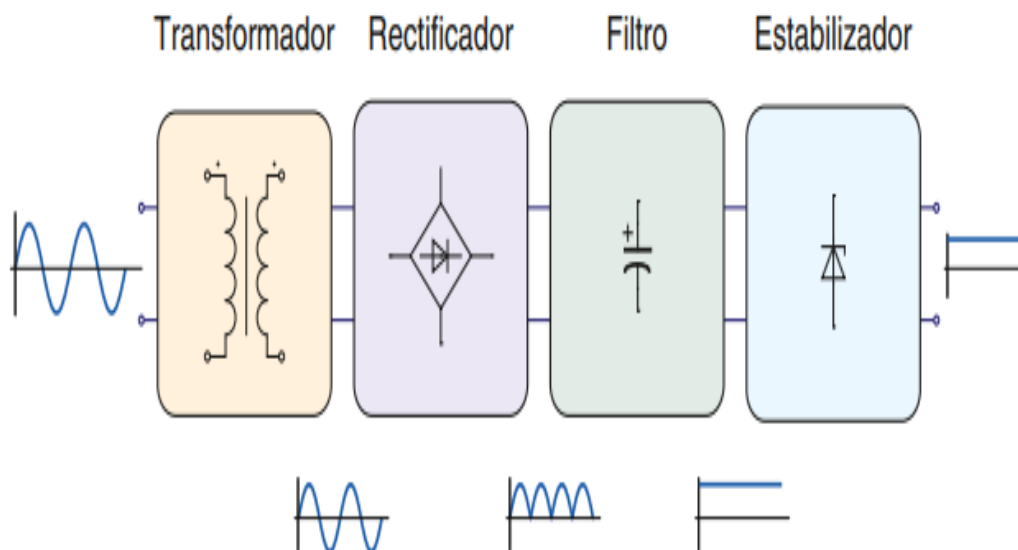


Figura 1, Diagrama de bloques de una fuente lineal.

Nota: Recuperado de [10].

**Transformador:** En una fuente de alimentación lineal el transformador por lo general tiene la tarea de reducir el nivel de voltaje de corriente alterna que haya en la entrada dependiendo de la región donde nos encontremos, aunque también hay transformadores para elevar el nivel de voltaje el más común en las fuentes es lo que reduce.

**Rectificador:** El rectificador es la etapa donde se va a convertir el voltaje de corriente alterna que proviene del transformador a un voltaje de corriente directa, para esto se hace uso de un puente de diodos el cual puede venir en diferentes presentaciones

**Filtrado:** Por lo general en esta etapa se hace uso de capacitores para eliminar el rizado en la señal de salida.

**Estabilizador:** Este es un circuito que se lleva a cabo en las fuentes lineales, ya que muchas veces estas presentan el problema de que al a ver variaciones en el voltaje que entra al transformador o al cambiar el valor de la resistencia en la carga, se puede ver afectado el voltaje de salida, de forma que con esto se consigue que el voltaje de salida se más estable. Esto se puede llevar a cabo con un diodo Zener o con un regulador de voltaje, que por lo general la segunda es la más utilizada [10].

Dentro de este tipo de fuentes de alimentación también podemos encontrar otros tipos los cuales se describen a continuación.

#### **1.3.1.1 Fuente de alimentación no estabilizada**

La estabilización de una fuente se realiza mediante diferentes métodos, ya sea con un diodo Zener, con un diodo Zener más un transistor o usando integrados de regulación de voltaje, en el caso de esta fuente como su nombre lo indica no cuenta con ninguno de estas formas de estabilización como se observa en la figura 2, así que en caso de que en la red eléctrica existan oscilaciones, estas oscilaciones se verán reflejadas a la salida de la fuente de alimentación, esto puede provocar que los aparatos conectados a estas fuentes no funcionen una forma adecuada e incluso podría ocasionar que se dañen dichos aparatos [10].

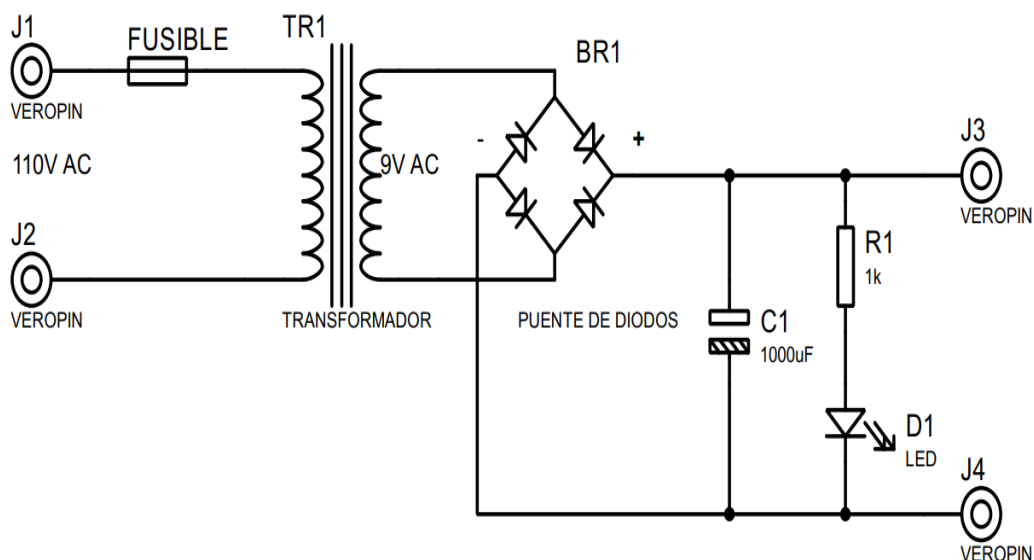


Figura 2, Fuente de alimentación no estabilizada.

Como se puede observar en el diagrama anterior esta fuente tiene los elementos básicos de las fuentes de alimentación lineales. Primero tenemos el transformador que se encarga de reducir el nivel de voltaje de la entrada que en este caso de 110V AC y a la salida se tienen 9V AC, este nivel de voltaje de salida depende del transformador que se esté utilizando, al bajar el nivel de voltaje se tiene un puente de diodos conectado a la salida del transformador que hará que el voltaje pase de ser corriente alterna a corriente directa, seguido de esto tenemos un capacitor que funciona como filtro y posteriormente un diodo indicador para saber que la fuente se encuentra en funcionamiento.

### 1.3.1.2 Fuente de alimentación simétrica sin estabilización

Una fuente simétrica es aquella que a su salida tiene niveles de voltaje negativos y positivos, que son usados en circuitos que requieren de estos mismos, para su construcción se usa transformadores que tienen devanados secundarios de forma intermedia, que por ejemplo tenga 12 volts positivos, 0 volts en el medio y 12 volts negativos al otro extremo, como se aprecia en la figura 3, esta al igual que la anterior no tiene una estabilización y por lo tanto en presencia de oscilaciones en la entrada estas se verán reflejadas en la salida de la fuente de alimentación [10].

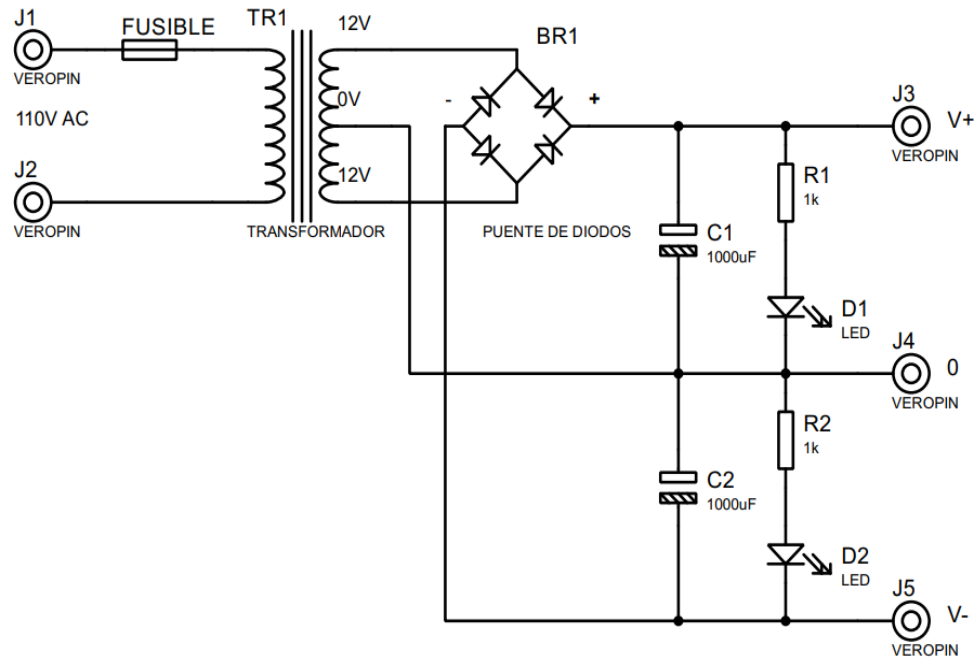


Figura 3, Fuente de alimentación simétrica sin estabilización.

### 1.3.1.3 Fuente de alimentación estabilizada con regulador de tensión

Como su nombre lo indica este tipo de fuente de alimentación ya integra un regulador de tensión acompañado de 2 capacitores para poder tener un funcionamiento estable a la salida eliminando las oscilaciones que puedan llegar a presentarse, en la figura 4 podemos ver un ejemplo de un diagrama de este tipo de fuente [10].

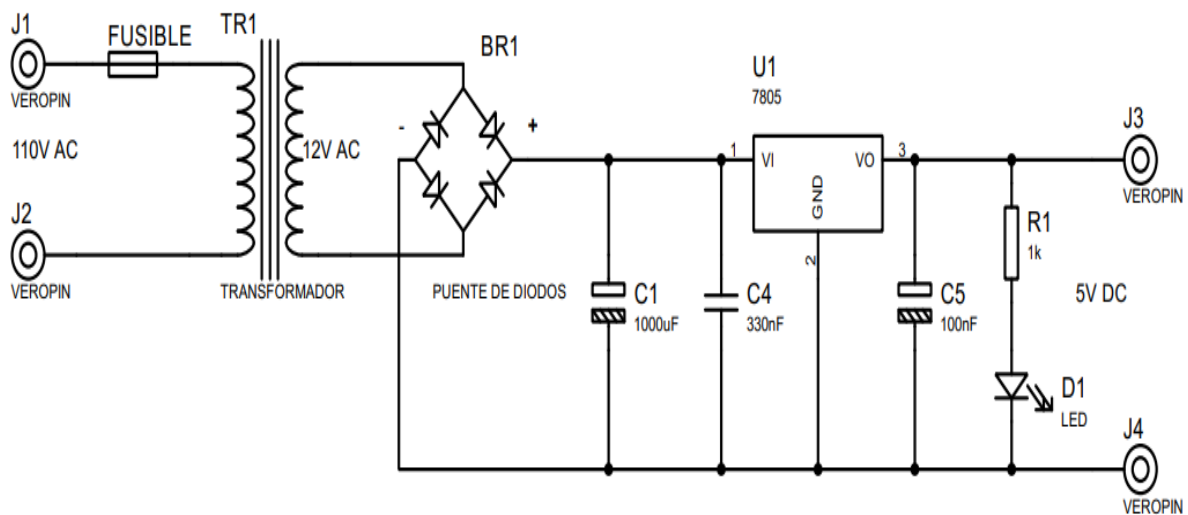


Figura 4, Fuente de alimentación estabilizada con regulador de tensión.

#### 1.3.1.4 Fuente de alimentación simétrica con estabilización

En esta fuente como su nombre lo indica, esta tiene un voltaje negativo y uno positivo y para cada uno se utiliza un regulador de tensión, esto lo podemos observar en la figura 5, como se mencionó en el tipo de fuente anterior con la misma finalidad eliminar posibles variaciones que afecten a los aparatos conectados o la misma fuente [10].

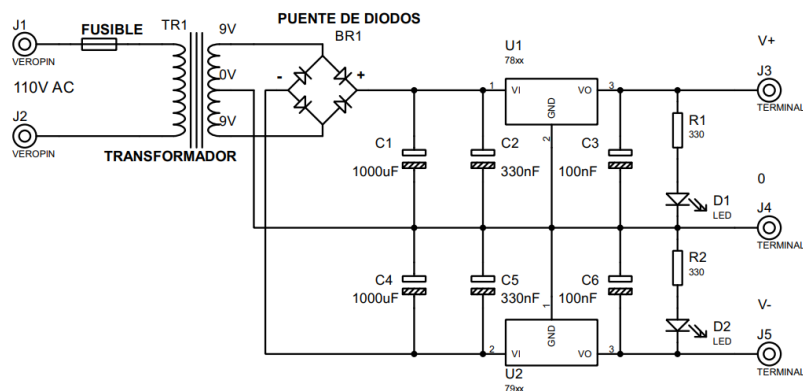


Figura 5, Fuente de alimentación simétrica con estabilización.

#### 1.3.1.5 Fuente de alimentación con diferentes voltajes fijos a la salida

Para estas fuentes las podemos encontrar de 2 configuraciones que se describen a continuación:

En la figura 6 se tiene la primera configuración donde se usa un mismo transformador, ya sea ocupando un mismo devanado o uno diferente para cada nivel de voltaje, después para cada nivel se diseña un rectificador, un filtro y estabilizador por separado.

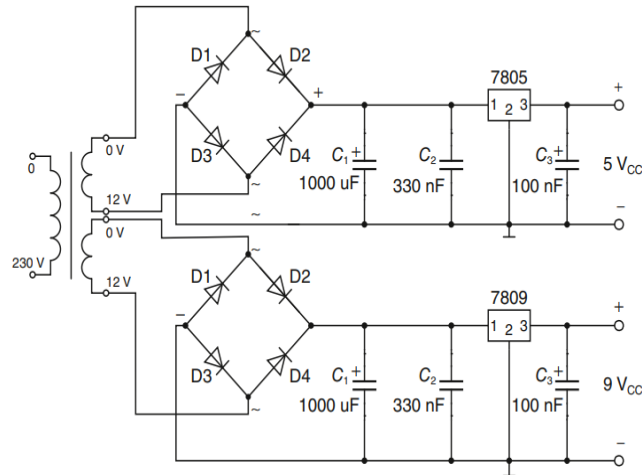


Figura 6, Fuente de alimentación fija con rectificador separado.  
Nota: Recuperado de [10].

En la segunda configuración como se observa en la figura 7, se utiliza el mismo transformador y rectificador para los diferentes niveles de voltaje, posteriormente se ramifican circuitos de manera independiente para cada nivel de tensión.

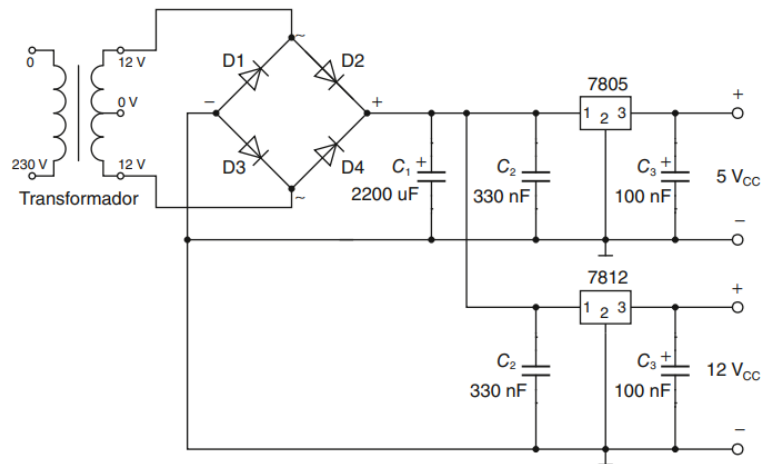


Figura 7, Fuente de alimentación fija con un solo rectificador.  
Nota: Recuperado de [10].

En ambas configuraciones se utilizan reguladores de voltaje de valor fijo para poder ajustar la tensión a los valores deseados [10].

### 1.3.1.6 Fuente de alimentación con salida variable

En el caso de este tipo de fuentes generalmente se hace uso de un regulador de tensión, como se observa en la figura 8, que en conjunto con un potenciómetro nos permita realizar la regulación del voltaje a los niveles que requieran según su aplicación.

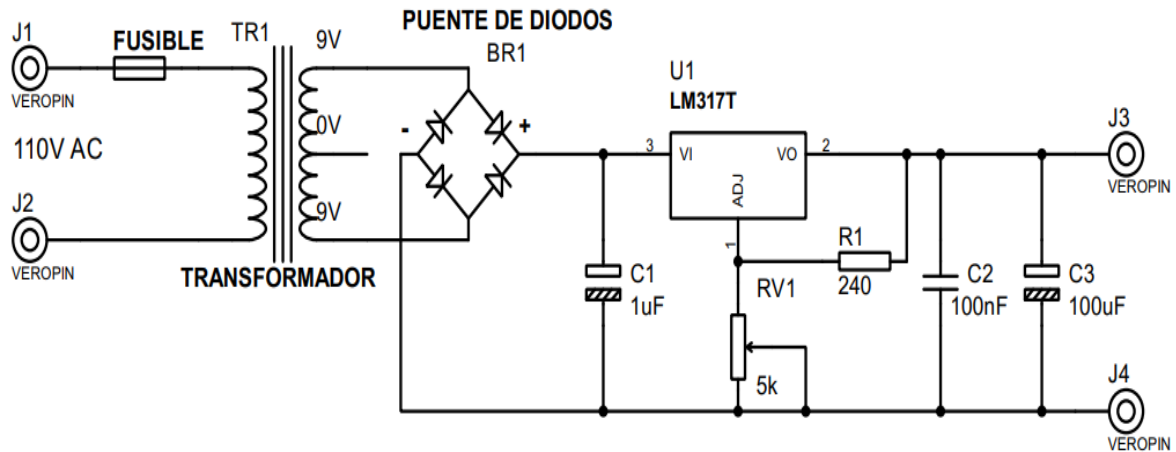


Figura 8, Fuente de alimentación con salida variable.

En la figura 8 se puede observar un ejemplo de una fuente con salida variable, como se mencionó anteriormente, el que su salida sea variable se logra por medio de un regulador de voltaje el cual en este caso es el LM317 y con un potenciómetro de 5kΩ, en cuanto a los otros elementos podemos ver que esta utiliza un transformador, que en la imagen es uno con derivación central, un puente de diodos y filtros con capacitores electrolíticos y un cerámico, además de contar con un fusible de protección [10].

### 1.3.2 Fuente conmutada

Al hablar de fuentes conmutadas se puede decir que estas representan una mayor eficiencia, pero a su vez suelen ser más complicadas de construir, estas fuentes tienen la misma finalidad que las fuentes lineales, pero el funcionamiento de estas cambia considerablemente, estas fuentes trabajan con frecuencias mucho más altas que de la red eléctrica (50Hz a 60Hz), estas pudiendo llegar a niveles de 100kHz, una de las diferencias más notables en este tipo de fuentes es el tamaño de transformador, ya que este en una fuente conmutada tiene un menor tamaño

y esto a su vez provoca que se reduzca el tamaño de la fuente en general además de reducir las pérdidas de energía, pero como ya se comentó el circuito electrónico tiene una mayor complejidad, esto debido su funcionamiento a altas frecuencias que puede afectar a la red eléctrica o a otros circuitos que se encuentren cerca. En el caso de estas fuentes sus etapas de funcionamiento serían: la etapa de rectificación y filtrado, etapa de conmutación, etapa del transformador, etapa rectificación y filtrado de salida, y por último la etapa de realimentación las cuales se pueden apreciar en la figura 9.

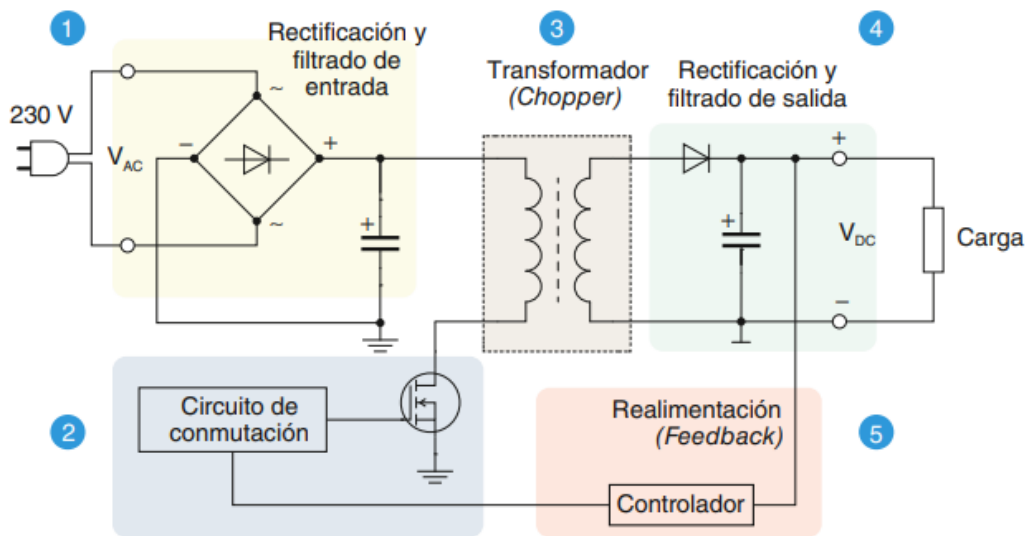


Figura 9, Diagrama de una fuente conmutada.  
Nota: Recuperado de [10].

Al revisar las etapas por las que está formada la fuente conmutada podemos darnos cuenta de que comparte algunas con la fuente lineal, sin embargo, para el caso de la fuente conmutada hay dos etapas importantes que no se encuentran presentes en la lineal, las cuales serían las etapas conmutación y la de realimentación, para entender en qué consisten estas etapas se describirá a continuación lo que hace cada una:

- **Estepa de conmutación:** En esta se convierte la corriente continua que sale de la etapa de rectificación en un voltaje en forma de onda cuadrada esto para que esta pueda entrar al transformador, por lo general la frecuencia con la que se genera esta onda está en kHz, esto permite que el transformador que se necesita sea de un tamaño más reducido que en el caso de una fuente lineal.

- Etapa de realimentación: En esta etapa se usa un controlador que se encarga de monitorear lo que está pasando en la salida de fuente para que de esta forma este pueda realizar ajustes en el circuito de conmutación.

Como pudimos darnos cuenta estas etapas son de vital importancia en este tipo de fuentes, de forma que debemos tener esto en cuenta si se quiere desarrollar llegar a desarrollar una, estas etapas pueden llevarse a cabo por un mismo circuito integrado esto también puede verse como una ventaja ya que ayuda a disminuir el tamaño del circuito [10].

Ahora en el caso de las partes como tal que la componen tenemos las siguientes.

#### **1.3.2.1 Rectificación y filtrado de entrada**

En esta tenemos un puente rectificador, este puede ser formado por cuatro diodos individuales o simplemente puede ser un circuito integrado, esto dependerá de la aplicación que se le esté dando o de las necesidades que se tenga para el desarrollo del circuito, la función que este puente de diodos cumple es la de cambiar la corriente alterna en corriente directa, en el caso de la imagen mostrada anteriormente se puede observar que el voltaje de corriente alterna que entra al puente de diodos es de 230V de corriente alterna pero esto cambia dependiendo del país o región en el que se encuentre, en el caso de México es que se utiliza comúnmente de 110V AC, en el caso filtrado de entrada es un capacitor cuyo valor depende de las especificaciones que se tengan en el circuito. Una diferencia importante en comparación con las fuentes lineales es que este no va después del transformador si no antes de él [10].

#### **1.3.2.2 Circuito de conmutación y realimentación**

En estas dos partes del circuito se pueden juntar en una sola ya que lo más común es que se ocupen algún circuito integrado capaz de realizar ambas funciones, aunque en caso de la retroalimentación es muy común apoyarse de un optoacoplador para mandar la señal al integrado y que este se encargue de generar una señal PWM a alta frecuencia, que vendría siendo la parte de la conmutación que como se puede ver en la imagen esta es representada

por un MOSFET, gracias a estos circuitos integrados es más fácil poder llevar a cabo el diseño y la construcción de una fuente de alimentación conmutada. El circuito integrado que se utilice para llevar a cabo estas dos funciones es fundamental ya que muchos de los otros componentes a utilizar dependerán de este según sus especificaciones, como capacitores, resistencias o el ya mencionado optoacoplador [10].

### **1.3.2.3 Transformador chopper**

Este es un tipo de transformador el cual está diseñado para trabajar a altas frecuencias, el cual como ya se ha visto no se conecta de la misma forma que como los que se usan en la fuente de tipo lineal, ya que este se conecta posteriormente del puente de diodos y el filtro de entrada, además de que necesita el controlador que genera la señal PWM para poder funcionar correctamente, de otro modo si no se conecta como se debe se puede dañar el transformador y como consecuencia este deja de funcionar. Estos transformadores suelen tener un tamaño más pequeño en comparación de otros tipos de transformadores, otra característica que estos tienen es el material del que está hecho su núcleo ya que en estos usualmente usan núcleos de ferrita debido a que se comporta mejor a altas frecuencias, a pesar de esto cumplen con una la misma función que los otros, ya sea subir o bajar el voltaje de entrada [10].

### **1.3.2.4 Rectificación y filtrado de salida**

Debido a que el transformador funciona con señales PWM a altas frecuencias, a la salida es necesario utilizar un diodo de acción rápida a la salida del transformador, además de tener un filtro para disminuir el rizado, que a pesar de que en la imagen solo se muestra un capacitor se pueden utilizar más de uno e incluso se hace uso de inductores, que por lo general se usan inductores en forma de I [10].

## **1.4 Componentes básicos de las fuentes de alimentación**

### **1.4.1 Semiconductores**

En la electrónica se utilizan varios tipos de materiales en sus componentes, los cuales se pueden clasificar en tres grupos principales que son:

Aislantes: estos son aquellos que impiden el paso a la corriente eléctrica a través de estos mismos, algunos ejemplos de estos pueden ser el plástico, la madera, el papel, la cerámica y entre muchos otros.

Conductores: los conductores son todo lo contrario a los aislantes ya que estos materiales permiten que la corriente circule a través de ellos mismos, algunos de estos materiales son el cobre, el aluminio, la plata e incluso el oro.

Semiconductores: los semiconductores tienen una característica en particular que los hacen muy útiles en la electrónica, esta característica es el poder comportarse tanto como aislante o como conductor esto dependiendo las condiciones físicas y eléctricas en las que se encuentre, los semiconductores más utilizados son el silicio y el germanio [10].

### **1.4.2 Unión PN**

Para poder hacer que el silicio se convierta en un material eléctricamente activo, se le añaden impurezas, a esto también se le conoce como dopar el material y se hace para que se tenga un exceso o una falta de electrones. Para aquellos materiales los cuales han sido dopados con un exceso de electrones entonces se les llamará materiales tipo N y en el caso de que el material tenga una falta de electrones será llamado material de tipo P. Ambos materiales de forma individual carecen de aplicaciones eléctricas, sin embargo, al momento de realizar una unión se puede llegar a obtener un comportamiento con una gran variedad de aplicaciones en la electrónica [10].

### **1.4.3 ¿Qué es un diodo?**

Un diodo es un semiconductor que está construido a base de la unión de un material tipo P y uno del tipo N, este dispositivo tiene como principal función el permitir que la corriente

circule en una sola dirección de forma que la corriente será bloqueada en la dirección contraria. Para comprender mejor lo anteriormente mencionado si se tiene un diodo en un circuito y en este se encuentra un diodo del cual su cátodo se encuentra conectado al negativo de una fuente de alimentación y el positivo al ánodo entonces se dice que el diodo se encuentra polarizado en forma directa, lo que significa que está permitiendo el paso de la corriente, en el caso contrario si el cátodo está conectado al positivo y el ánodo al negativo, se le conocerá como polarización de forma inversa y como consecuencia de esto el diodo bloqueará el paso de la corriente. Esta característica que los diodos poseen los hace muy útiles para la rectificación de la corriente alterna [10].

#### **1.4.3.1 Principales características de un diodo**

Al estar un diodo conectado de forma directa este comenzará a permitir el paso de corriente a través del mismo y cuando el voltaje aplicado supere a algo denominado voltaje de umbral, en el caso de los diodos de silicio el voltaje de umbral es de 0.7V mientras que para los de germanio suele ser de 0.3V, así que al ser alcanzado dicho voltaje el diodo comenzará a conducir la corriente.

Como ya se ha mencionado anteriormente cuando el diodo se encuentra polarizado de forma inversa, este se comporta de forma diferente a cuando está en directa, ya que este no permitirá el paso de la corriente, teniendo en cuenta lo anterior si el voltaje que se le aplica al diodo cuando se encuentra polarizado de forma inversa llegara a tener niveles de voltaje y de corriente muy elevados, entonces tendremos algo llamado voltaje de ruptura, cuando este sucede como su nombre lo dice el diodo se rompe de tal manera que ya no se puede volver a usar [10].

#### **1.4.3.2 Encapsulados de los diodos**

Existen diferentes formas en las que podemos encontrar los componentes electrónicos en el mercado las cuales se encuentran estandarizadas. De forma que al momento de la construcción se debe hacer en base a alguno de los tipos de encapsulado que existen, esto también permitirá que los dispositivos se adapten a una gran variedad de aplicaciones. En la siguiente imagen

se pueden observar algunas de los tipos de encapsulados en los que podemos encontrar los diodos y dependiendo de la aplicación y necesidades que se tengan como por ejemplo la potencia del circuito se escogerá alguno de ellos [10].



Figura 10, Tipos de encapsulados de los diodos.  
Nota: recuperada de [10].

### 1.4.3.3 Tipos de diodos

Existen diferentes tipos de diodos los cuales se eligen dependiendo la aplicación que se le quiera dar por esto es por lo que a continuación se mencionan algunos de los más utilizados.

### 1.4.3.4 Diodo rectificador

Este tipo de diodo se utiliza principalmente para rectificar la corriente alterna y así poder obtener una corriente continua, de forma que estos son los diodos que se usan principalmente en las fuentes de alimentación, estos diodos tienen como característica que pueden funcionar que con niveles de voltaje bastante elevados que incluso se pueden encontrar diodos capaces de manejar cargas de mucha potencia [10].

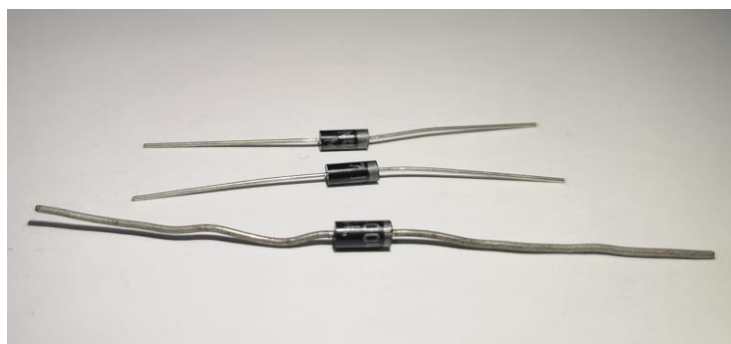


Figura 11, Diodo rectificador.

En la figura 11 podemos observar de manera físico un diodo rectificador, en esta podemos apreciar de mejor manera algunas de sus características físicas más importantes, como la banda plateada que nos indica que pin es el cátodo, además de tener la matricula impresa en el cuerpo del diodo.



Figura 12, Símbolo del diodo rectificador.

Mientras que en la figura 12 mostrada anterior mente podemos observar el símbolo que se utiliza con mucho mayor frecuencia para la representación del diodo en los diagramas de los circuitos electrónicos.

#### 1.4.3.5 Diodo Zener

Un diodo Zener es un diodo que tiene una forma de funcionamiento muy particular de trabajar, ya que este funciona polarizándolo de forma inversa, o sea que se encuentra dentro de la zona de ruptura, sin embargo a diferencia de los de más diodos este no se romperá, si no que en lugar de eso se llevara a cabo un fenómeno conocido como avalancha, lo que ocasionara que el diodo estabilice el voltaje qué se encuentra entre sus terminales, debido a esto el diodo Zener es aplicado en circuitos de regulación de voltaje, en la figura 13 se muestran unos ejemplos de los diodos Zener que se pueden llegar a encontrar [10].

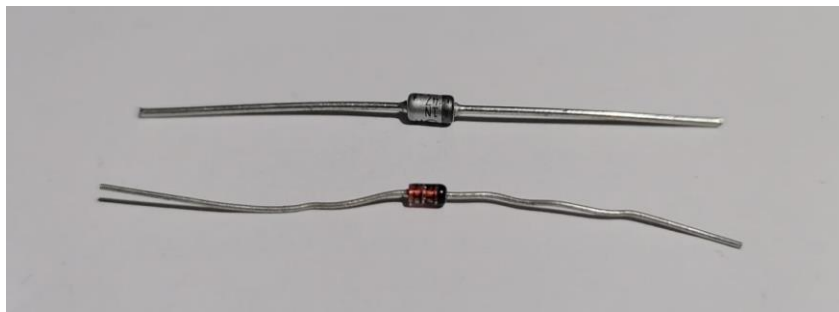


Figura 13, Diodo Zener.

En la figura 14 que se muestra a continuación se puede apreciar los diferentes símbolos con los que representan los diodos Zener en los diagramas de circuitos electrónicos.



Figura 14, Símbolo del dodo Zener.

#### 1.4.3.6 Diodo LED

Un diodo LED o diodo emisor de luz, tal como su nombre lo indica tiene como principal característica la capacidad de emitir una luz, estos siempre y cuando se encuentre polarizado de forma directa y permita el paso de la corriente a través de él. Al igual que los otros tipos de diodos este posee dos terminales, una de ellas es el ánodo y la otra el catodo, que para poder diferenciarlas por lo general la terminal del ánodo es más larga que la del cátodo, otra forma de diferenciarlos es observándolos a trasluz de forma que se puedan apreciar dos pequeñas placas dentro del diodo, en este caso la placa más grande será el cátodo y la más pequeña el ánodo.

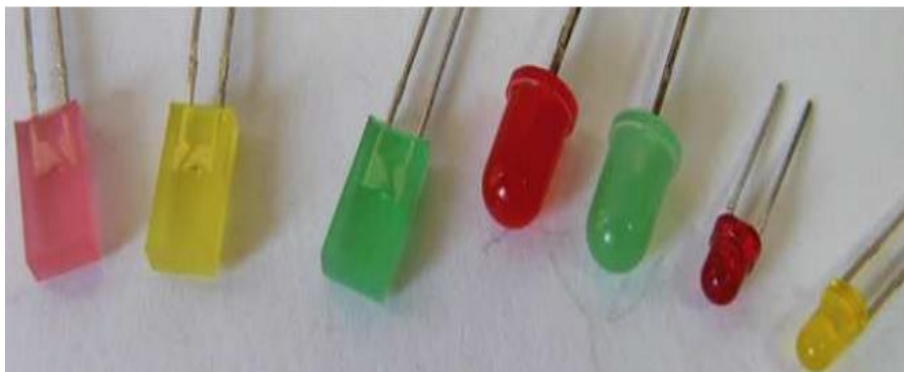


Figura 15, Diodos LEDs.  
Nota: Recuperado de [10].

En la figura 15 se puede dar una cuenta de que los diodos LED pueden llegar a tener diferentes formas e incluso un tamaño diferente, los mostrados en la imagen son solo ejemplos de alguno de los LEDs que se pueden llegar a encontrar.

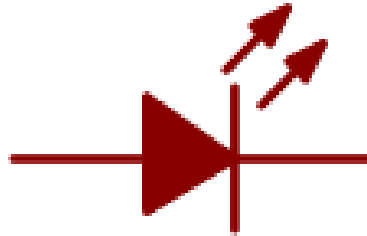


Figura 16, Símbolo del diodo led.

En cuanto a su símbolo este se puede observar en la figura 16, este símbolo es muy similar que el de uno led normal solo que este cuenta con unas flechas que salen del diodo.

Para hacer uso de este tipo de diodos debemos tener en cuenta dos características importantes, la primera el voltaje de umbral y la segunda la corriente máxima de paso.

Voltaje de umbral: este es el nivel máximo de voltaje que el LED puede llegar a soportar, de forma que el diodo no corra ningún riesgo, este voltaje depende del color que posea el LED.

Corriente máxima de paso: La corriente máxima de paso al igual que el voltaje de umbral no debe ser mayor que la recomendada por el fabricante ya que si no se respeta esto el LED podría verse afectado y dejar de funcionar, en el caso de los leds de alta luminosidad se recomienda una corriente de 20mA, mientras que para los otros una de 10 mA.

En la tabla que se muestra a continuación se tienen los voltajes y la corriente para los diodos leds según su color.

Tabla 1. Voltaje y corriente de los LEDs según su color.

| Color del led         | Voltaje   | Intensidad de corriente |
|-----------------------|-----------|-------------------------|
| Rojo                  | 1.7V      | 10 a 20mA               |
| Amarillo              | 2.1V      | 10 a 20mA               |
| Verde                 | 2.2V      | 10 a 20mA               |
| Azul                  | 3.2V      | 20 a 25mA               |
| Azul ultrabrillante   | 3.6V      | 20 a 25mA               |
| Blanco                | 3.6V      | 20 a 25mA               |
| Blanco ultrabrillante | 3.6 a 4.2 | 20 a 20mA               |
| Infrarrojo            | 1.5V      | 50mA                    |
| Naranja               | 2.1V      | 10 a 20mA               |

Para hacer uso de un diodo LED por lo general es necesario hacer uso de una resistencia para poder limitar el voltaje de la fuente de alimentación y obtener el voltaje de umbral para el funcionamiento del diodo. Para calcular el valor de la resistencia que se necesita se hace uso de la siguiente fórmula.

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}}$$

En el caso de que no se pueda conseguir una resistencia del valor obtenido por la ecuación se puede hacer uso de alguna resistencia que tenga un valor aproximado, aunque en algunos casos se pueden utilizar resistencias de valores que superen al obtenido esto puede afectar la luminosidad del LED haciendo que esta sea menor, y en el caso de usar un valor muy por debajo del valor ideal puede que no sea suficiente para proteger al LED de una ruptura debido a que el voltaje [10].

#### 1.4.4 Puente rectificador

El puente rectificador es un conjunto de diodos que nos ayudan a convertir la corriente alterna que proviene de la red eléctrica, a una corriente pulsante la cual no está filtrada, en la gran mayoría de fuentes se usa un rectificador de onda completa, ya sea con un transformador de derivación central y dos diodos, o con un puente de cuatro diodos que es la forma más común

que se utiliza, este puente como se mencionó anteriormente nos ayuda a que en lugar de tener semiciclos negativos y positivos propios de la corriente alterna, obtengamos únicamente semiciclos positivos, de forma que se obtiene una señal de corriente continua.

Para el rectificador podemos formarlo a través de la conexión de 4 diodos conectados entre sí o bien usando el llamado puente de diodos, este es un circuito integrado que en su interior contiene los cuatro diodos necesarios para la rectificación, esto se escoge dependiendo de las necesidades que se tengan para su implementación, el diagrama o símbolo del puente de diodos se observa a continuación en la figura 17 [10].

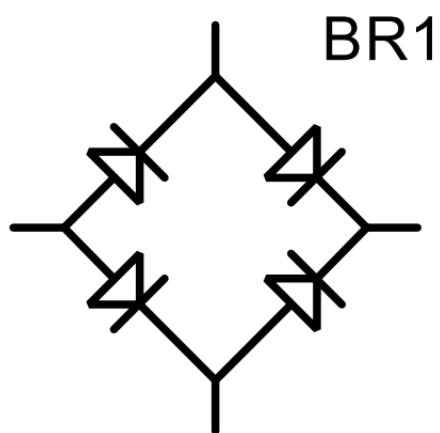


Figura 17, Diagrama de un puente de diodos.

#### 1.4.5 Filtro

El filtro en una fuente de alimentación es el encargado de eliminar el rizado del voltaje pulsante que se obtiene a la salida del rectificador, para esto se emplean los capacitores de tipo electrolítico, para esto entre más grande sea el valor del capacitor en faradios habrá un mayor tiempo de descarga y por consecuencia obtendremos una señal de salida con una forma más plana. En el caso de las fuentes conmutadas se cuenta con un filtro de entrada y salida, además de que en algunos casos estas fuentes hacen uso de inductores en la etapa de filtrado [10].

### **1.4.6 Capacitores**

Un capacitor es un componente electrónico pasivo el cual está constituido por dos placas conductoras que están separadas por un material aislante, este dispositivo tiene el objetivo de almacenar carga eléctrica al ser conectado a una fuente de tensión, a esta capacidad de almacenar carga eléctrica se le conoce como capacitancia y se mide en faradios, estos elementos los podemos encontrar muy comúnmente en los circuitos electrónicos, ya que estos pueden llegar a tener muchas aplicaciones, como en el caso de las fuentes de alimentación que suelen ser utilizados como filtros [11].

Hay distintos tipos de capacitores, cada uno con diferentes características y algunos de los capacitores más comunes que podemos llegar a encontrar son:

- Capacitores electrolíticos
- Capacitores cerámicos
- Capacitores de poliéster
- Capacitores SMD

#### **1.4.6.1 Capacitores electrolíticos**

Los capacitores electrolíticos son aquellos cuyas armaduras están construidas por dos placas de aluminio, entre estas placas podemos encontrar insertado un papel el cual se encuentra impregnado de un líquido electrolítico, una de las principales características de este tipo de capacitores es que cuentan con una polaridad definida, de forma que al momento de conectarlos se debe tener bastante cuidado ya que en algunos casos estos incluso pueden llegar a explotar, otra característica que tienen es su forma cilíndrica y que están diseñados para capacidades por encima de 1 $\mu$ F, en la figura 18 se muestran algunos capacitores de este tipo.



Figura 18, Capacitores electrolíticos.

En cuanto a su símbolo este tipo de capacitor se puede encontrar de diferentes maneras como se muestra en la figura 19 en el por lo general el lado positivo se indica con el signo +, mientras que el negativo puede ser solo una línea sin ningún símbolo, una línea curvada o en su defecto una línea más remarcada con se puede observar a continuación.



Figura 19, Símbolo de los capacitores electrolíticos.

Además, estos símbolos también los utilizan otros tipos de capacitores polarizados como algunos que se verán más adelante.

Estos capacitores se pueden llegar a encontrar dentro de dos tipos: el primero es del tipo axial, cuya principal característica con la que se puede diferenciar es que las dos terminales que este posee se encuentran ubicadas en una cara diferente del cuerpo del capacitor y para poder identificar la terminal positiva se tiene una muesca del lado donde se encuentra esta terminal. En el caso de los de tipo radial estos tienen ambas terminales en la misma cara del capacitor y para poder identificar las terminales de este se tiene una franja estampada en la

envoltura en el lado donde se encuentra el negativo, además de por lo general la terminal positiva suele ser más larga que la negativa [10].



Figura 20, Tipos de capacitores electrolíticos.  
Nota: Recuperado de [10].

#### 1.4.6.2 Capacitores cerámicos

Estos capacitores también conocidos como capacitores de lenteja, en algunos lugares son capacitores de un tamaño pequeño, como se observan en la figura 21, que como su nombre lo indica usan como dieléctrico un material de tipo cerámico, además de que a diferencia de los capacitores electrolíticos estos no tienen una polaridad definida, de forma que su conexión es más sencilla, otra característica importante es que estos tienen una capacidad muy baja, esta capacidad por general es menor a los 1000pF [10].



Figura 21, Capacitores cerámicos.

Ahora en cuanto al símbolo con el que se va a representar el capacitor cerámico, este se puede observar a continuación en la figura 22, el cual es similar a uno de los del capacitor electrolítico solo que este no presenta ningún indicador de polaridad, ya que como se comentó con anterioridad este tipo de capacitores no se encuentran polarizados, por lo cual este

símbolo es con él se va a encontrar el capacitor cerámico en un diagrama eléctrico, por esto mismo es importante saber identificarlo.



Figura 22, Símbolo del capacitor electrolítico.

Al igual que en el caso de los capacitores polarizados, este símbolo se usa también para representar otros capacitores solo que en este caso será para los no polarizados.

#### 1.4.6.3 Capacitores de Poliéster

Al igual que los capacitores cerámicos los de poliéster no tienen polaridad y reciben su nombre debido al material dieléctrico que se usa entre sus armaduras, estos capacitores pueden tener tanto una forma plana como una cilíndrica y en el caso de la capacidad que estos tienen suele estar por debajo de  $1\mu\text{F}$ , a pesar de esto también podemos encontrar algunos de un valor mucho más alto en algunas aplicaciones, como es el caso de los utilizados en los filtros de altavoces, en la figura 23 se pueden apreciar algunos de estos capacitores [10].

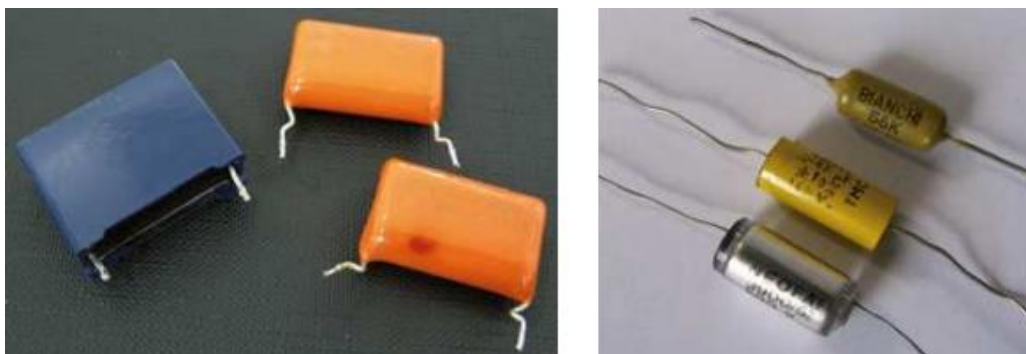


Figura 23, Capacitores de poliéster.  
Nota: Recuperado de [10].

#### 1.4.6.4 Capacitores SMD

Los capacitores SMD o de montaje superficial, que también son conocidos como condensadores multicapa o condensadores chip, estos tienen como principal característica su reducido tamaño, siendo incluso más pequeño que los capacitores cerámicos, además de que estos no poseen unas terminales como tal, sino que tienen unos cascos metálicos en sus extremos, con los cuales se puede soldar el componente de forma directa sobre las pistas de un circuito impreso [10].

#### 1.4.6.5 Supercondensadores

Estos son capacitores electroquímicos que de igual forma que los capacitores electrolíticos tienen una polaridad definida entre sus terminales, pero que como diferencia estos capacitores pueden llegar a tener valores bastante altos, ya que estos son incluso superiores al faradio y si lo comparamos con los de tipo electrolítico, los valores pueden ser cientos de veces más alto, pero a diferencia de lo que se puede llegar a pensar estos tienen un tamaño bastante reducido como se ve a continuación en la figura 24 [10].



Figura 24, Supercondensador.  
Nota: Recuperado de [10].

#### 1.4.6.6 Capacitores de tantalio

Son también llamados capacitores de gota, los cuales son una variante del capacitor de tipo electrolítico, pero que a diferencia de estos como el nombre lo sugiere, su armadura está

construida de tantalio y no de aluminio, mientras que la característica que si comparten con los electrolíticos es que estos también tienen polaridad, estos capacitores los podemos encontrar en un rango de valores que van desde 0.1 $\mu$ F a los 100 $\mu$ F, mientras que en la figura 25 se muestra la forma que estos tienen [10].



Figura 25, Capacitor de tantalio.  
Nota: Recuperado de [10].

#### 1.4.6.7 Capacitores ajustables

Estos capacitores se pueden observar en la figura 26, son capacitores los cuales nos van a permitir el variar su valor de forma manual, ya sea mediante un mando o haciendo uso de un ajuste basado en un tornillo o también conocido como tipo trimmer, además cabe mencionar que como otros capacitores ya antes mencionados estos no están polarizados.



Figura 26, Capacitores ajustables.  
Nota: Recuperado de [10].

El símbolo con el que podemos encontrar representados estos capacitores en un diagrama de algún circuito electrónico es con el que se muestra en la figura 27.



Figura 27, Símbolo del capacitor ajustable.

Que como se puede observar es parecido al de los capacitores no polarizados, lo cual es lógico ya que este es uno de ellos, mientras que la única diferencia es que este tiene una flecha la cual atraviesa el símbolo e indica que es un capacitor variable [10].

#### 1.4.7 Inductores

Los inductores al igual que los capacitores son componentes electrónicos pasivos, pero cuya diferencia es que estos son capaces de almacenar energía por medio de su campo magnético, a esto se le conoce como inductancia y esta medida en henrios, en general todos los elementos capaces de conducir corriente eléctrica tienen propiedades inductivas, ya que si se quiere aumentar el efecto se necesita hacer uso de una bobina que generalmente tienen una forma cilíndrica con varias vueltas de alambre, estos elementos también cuentan con un gran número de aplicaciones en el campo de la electrónica, ya que estos son usados en transformadores, radios, en sistemas de alimentación de potencia entre muchos otros [11].

En el caso de los inductores también podemos encontrar diferentes tipos, pero los más comunes son:

- Inductor de solenoide
- Inductor Toroidal
- Inductor compacto

#### 1.4.7.1 Tipos de inductores

Como ya se mencionó antes hay diferentes tipos de inductores los cuales se explicad de una mejor forma a continuación.

#### 1.4.7.2 Bobinas

Estas son hechas con un hilo esmaltado el cual comúnmente este hecho de cobre, estos boninas pueden poseer o no algún núcleo y en el caso de si posean uno este pude ser de hierro o bien de ferrita. Si el núcleo de la bobina es de forma circular entonces se le conoce como bobina toroidal o simplemente toroide, mientras que en una de tipo solenoide el núcleo tiene una forma cilíndrica, además de que para este tipo de bobinas también se puede usar un núcleo de platico o como se mencionó anteriormente de aire.

A continuación, en la figura 28, se tiene como un primer ejemplo un inductor o bobina de tipo toroidal.



Figura 28, Bobina toroidal.

Mientras que en la figura 29 que se muestra a continuación, se pude apreciar una bobina con un núcleo en forma cilíndrica, de esta manera se puede observar la clara diferencia entre estas bobinas las cuales es la forma que tiene cada una.



Figura 29, Bobina cilíndrica.  
Nota: Recuperado de [10].

A continuación, en la figura 30 se puede ver el símbolo utilizado para los inductores o bobinas en general en los diagramas electrónicos, estos pueden ser usados también en los inductores encapsulados.

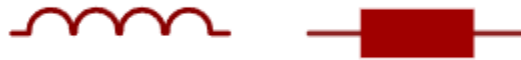


Figura 30, Símbolo del inductor.

Además de los símbolos mostrados anteriormente, también se pueden encontrar los siguientes que se muestran en la figura 31, los cuales son para diferenciar el tipo de núcleo, en el caso de los inductores con núcleo de ferrita se diferencia ya que en el símbolo se puede observar una línea punteada sobre la espiral, mientras que los que poseen un núcleo de hierro una línea continua, además de que el número de las espirales pueden variar [10].



Figura 31, Símbolo de los inductores según su núcleo.

#### 1.4.7.3 Inductor compacto o encapsulado

Los inductores compactos suelen ser muy similares a otros dispositivos electrónicos, teniendo un parecido en especial a la resistencia, como se aprecia en la figura 32, estos inductores pueden llegar a tener rotulado su valor en el cuerpo de dispositivo, con un código alfanumérico o al igual que las resistencias, mediante el uso de bandas de colores [12].

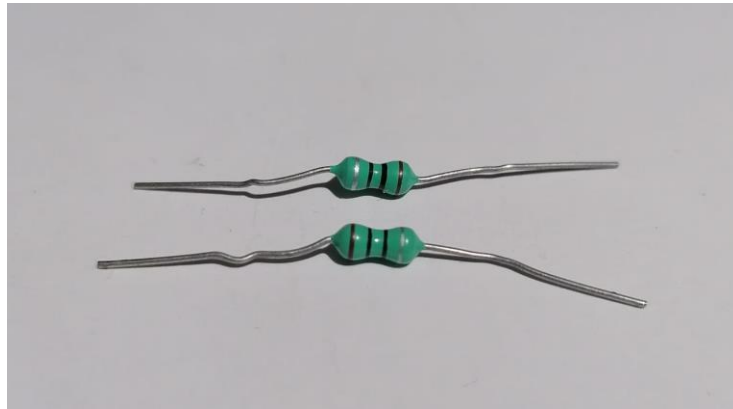


Figura 32, Inductor encapsulado.

Como ya se ha mencionado anteriormente en el caso de los símbolos que lo representa estos inductores, se hace uso del símbolo general.

#### 1.4.7.4 Inductores fijos y variables

Los inductores que se mencionaron anteriormente se pueden clasificarse en dos categorías principales: inductores fijos e inductores variables.

Mientras que estas dos categorías inductoras también se pueden clasificar según el tipo del núcleo que como ya se mencionó anteriormente estos pueden ser de hierro, de ferrita o en su defecto de aire, los cuales son los tipos y núcleos que podemos encontrar con una mayor frecuencia y cada uno de estos posee un símbolo distinto.

Para el caso de los inductores variables, mostrados en la figura 33, poseen un ajuste de tipo tornillo como los capacitores variables, la función que este ajuste realiza es mover el núcleo del inductor ya sea hacia arriba o hacia abajo y como consecuencia cambia el valor de la

inductancia. Los inductores fijos, como su nombre lo indica, estos cuentan un valor ya preestablecido, de forma que no poseen ningún tipo de ajuste para modificar el valor de la inductancia [12].

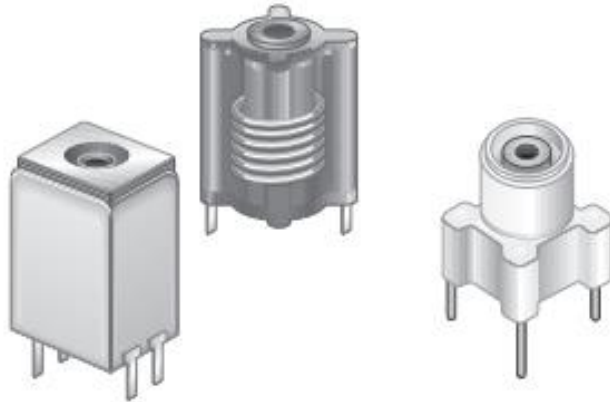


Figura 33, Inductores variables.  
Nota: Recuperado de [12].

En la figura 34 se puede observar que sus símbolos son muy similares a los anteriores solo que en este caso se diferencia ya que estos tienen una flecha en diagonal, además de que pueden ser representado con o sin el tipo de núcleo que tienen.

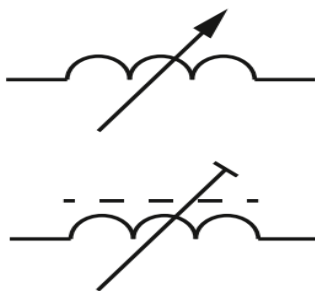


Figura 34, Símbolos de los inductores variables.

#### 1.4.8 Transformador

El transformador es una máquina eléctrica cuyo principal propósito es la de convertir la potencia alterna de un determinado nivel de voltaje en otra con un diferente nivel de voltaje,

pero conservando la misma frecuencia. Los transformadores también se pueden utilizar para fines distintos como por ejemplo para el muestreo de voltaje, corriente y potencia.

Como se mencionó anteriormente este dispositivo es utilizado por ambos tipos de fuentes de alimentación tanto lineales como conmutadas, y en ambas cumple el propósito de bajar el nivel de tensión dependiendo de lo que se vaya a alimentar. A pesar de ser usados para el mismo fin dentro de las fuentes de alimentación no se usan el mismo tipo de transformadores ya que mientras que en las fuentes lineales es muy común encontrar transformadores con núcleos de hierro, en las fuentes conmutadas se hace uso de transformadores con núcleo de ferrita, esto debido a que los de núcleo de hierro no se comportan de forma adecuada en la presencia de altas frecuencias [13].

En la figura 35, podemos ver unos ejemplos de transformadores, los cuales son frecuentemente utilizados en fuentes lineales e incluso en algunos cargadores.



Figura 35, Transformadores reductores.

En la figura 36 que se muestra a continuación se puede observar el símbolo del transformador simple con el que se representa en los diagramas de circuitos eléctricos, en este se puede ver representado por unas espirales los devanados tanto el secundario como el primario.

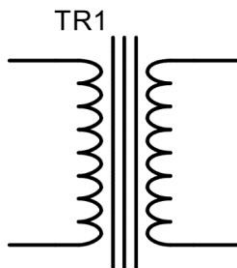


Figura 36, Símbolo del transformador simple.

Además del símbolo anterior, en el caso de los transformadores con derivación central o con más derivaciones se representan en la figura 37 que se ve a continuación.

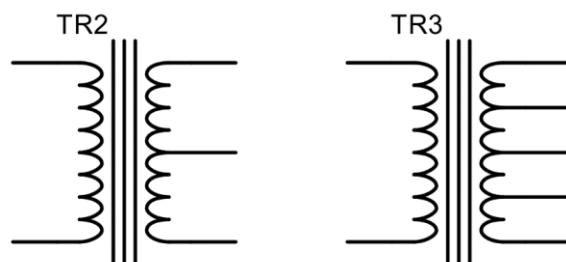


Figura 37, Símbolo del transformador con una o más derivaciones.

Entre otros símbolos también podemos encontrar el del transformador con dos devanados aislados, que como se observa en la figura 38 se encuentran separados a diferencia de los de derivación central.

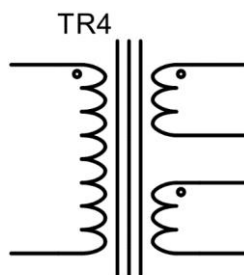


Figura 38, Símbolo de un transformador con dos devanados aislados.

#### 1.4.8.1 Características principales de un transformador

Como ya se ha mencionado anteriormente el transformador está conformado por un núcleo hecho de algún material ferromagnético, sobre este núcleo podemos encontrar devanados de material conductor, generalmente son de cobre o aluminio, además de estos elementos mencionados se usan algunos materiales aislantes para poder obtener un funcionamiento adecuado, a continuación, se describen estos elementos mencionados [14].

#### **1.4.8.2 Devanados.**

Los devanados o también llamados bobinas, están hechos de materiales conductores, estos pueden ser de tipo rectangular, circular o de láminas de fleje, esto dependiendo del diseño que se quiera llevar a cabo, como por el ejemplo en un transformador reductor de distribución se usan las láminas de fleje debido a que en la bobina de baja tensión hay un nivel más alto de corriente [14].

#### **1.4.8.3 Aislamiento**

El aislamiento en un transformador es de gran importancia principalmente para la vida útil del transformador, estos aislamientos pueden ser de papel Kraft o Pressboard, también se utiliza aceite ya sea sintético, mineral o vegetal e incluso se hace uso de materiales de tipo gaseoso como lo son el aire o el nitrógeno, cuya principal misión que tienen estos aislantes es disminuir el campo eléctrico y así evitar que se generen arcos eléctricos [14].

#### **1.4.8.4 Núcleo**

Para la construcción del núcleo como se dijo anteriormente se utilizan materiales ferromagnéticos, esto se debe principalmente a que se magnetizan una mayor facilidad a comparación de otros, entre estos materiales podemos encontrar al hierro, el cual es que más se utiliza en los transformadores debido a su buena permeabilidad y su bajo costo, además de que es el material que podemos encontrar en la mayoría de las aleaciones ferromagnéticas y entre esta la que más se destaca es la que está compuesta por acero, por esto es que los transformadores en su núcleo se componen principalmente de acero magnético, que por lo general es acero al silicio, aunque como se mencionó en un apartado anterior este núcleo a altas frecuencias puede que no funcione del todo bien de forma que se opta por usar un núcleo hecho de ferrita [14].

#### **1.4.8.5 Tipos de transformadores**

Podemos encontrar diferentes tipos de transformadores con diferentes aplicaciones cada uno, a continuación, se describirán algunos de los transformadores más comunes, los cuales están clasificados en diferentes apartados.

#### **1.4.8.6 Según su función**

En este apartado se encuentran dos transformadores según el cambio de nivel de tensión que estos efectúan.

- Transformador reductor de voltaje: En el caso del transformador reductor el voltaje que hay en el devanado secundario es menor al que hay en el devanado primario, debido a que el devanado secundario tiene un menor número de vueltas, por lo que se puede decir que este es un transformador que nos ayuda a disminuir el nivel de tensión, estos transformadores son empleados por fuentes de alimentación principalmente debido a que estas requieren niveles de voltaje más bajos que los que hay en la red eléctrica. Estos transformadores reductores son muy utilizados en sistemas de distribución (transformadores de potencia) y como ya se mencionó los podemos encontrar en circuitos electrónicos (transformadores electrónicos).
- Transformador elevador de voltaje: Este transformador es lo opuesto al reductor, en este el voltaje que hay en el devanado secundario será mayor que el que haya en el devanado primario, esto se obtiene al haber un mayor número de vueltas en el secundario que en el primario y como su nombre lo indica estos son utilizados para elevar el nivel de tensión. Son principalmente usados en sistemas de transmisión [15].

#### **1.4.8.7 Según su construcción.**

Este tipo de transformadores también se dividen en dos tipos, los cuales son transformador de tipo núcleo y transformador de tipo carcasa.

- Transformador de tipo núcleo: En estos transformadores, los devanados cubren una parte bastante considerable del núcleo, en este tipo de transformadores se pueden utilizar bobinas de tipo cilíndricas enrolladas las cuales pueden ser circulares, ovaladas y rectangulares.
- Transformador de tipo carcasa: Para el caso de los transformadores de tipo carcasa el núcleo es el que cubre en su mayoría al devanado o bobina, en estos transformadores se les llama bobinas de disco multicapa debido a su forma, las cuales están separadas por un papel [15].

#### **1.4.8.8 Según su fase**

Nuevamente en esta clasificación encontramos dos transformadores, el monofásico y el trifásico.

- Transformador monofásico: Como su nombre lo indica está diseñado para que funcione con una sola fase, este transformador cuenta con dos devanados para convertir el nivel de voltaje y estos en su mayoría son de tipo núcleo.
- Transformadores trifásicos: Estos a diferencia del anterior ya son capaces de trabajar con 3 fases para este se puede decir que se construye en base a tres transformadores monofásicos, de forma que estos transformadores cuentan con tres devanados [15].

#### **1.4.9 Reguladores de voltaje**

Un regulador de voltaje en una fuente de alimentación es el encargado de proporcionar una tensión de salida constante de corriente directa, la cual es independiente a la tensión de entrada. El voltaje de entrada de un regulador puede venir de la salida de un puente rectificador previamente filtrada o también por medio de una batería si es que se trata de un sistema portátil, estos reguladores se pueden dividir en dos categorías principales: reguladores lineales y de conmutación, dentro de los reguladores lineales tenemos dos tipos los cuales son los reguladores en serie y los reguladores en paralelo, mientras que en los reguladores de

conmutación disponemos de tres configuraciones las cuales son: Inversora, reductora e inversora.

Podemos encontrar diferentes tipos de reguladores de voltaje en forma de circuitos integrados, pero los que se utilizan de forma más frecuente son los reguladores de tensión fija y los reguladores de tensión variable de tres pines, una vez dicho esto se explicara de manera breve en que consiste cada uno de estos reguladores para poder comprender de una mejor manera en que consisten estos componentes [16].

#### **1.4.9.1 Reguladores lineales**

- Reguladores lineales en serie: Estos reguladores tienen como elemento de control un transistor de paso el cual tiene una carga entre la entrada y la salida, este tiene además un circuito de muestreo a la salida que está encargado de detectar el cambio que ocurre en el voltaje de salida, además de que posee un detector de error el cual realiza una comparación entre el voltaje de muestra y un voltaje de referencia, haciendo que el elemento de control (en este caso el transistor) compense y de esta manera haya un voltaje constante a la salida del regulador.
- Reguladores lineales en paralelo: En este regulador tenemos como elemento de control un transistor el cual se encuentra conectado en paralelo con la carga, mientras que también existe una resistencia, pero esta esta conecta en serie con la carga, en este regulador tenemos un funcionamiento bastante parecido solo que esta vez se realiza la regulación controlada la corriente por medio del transistor conectado en paralelo [16].

#### **1.4.9.2 Reguladores de conmutación**

- Configuración reductora: Esta primera configuración es usada principalmente para que cambien el voltaje que hay en la entrada o un ciclo de trabajo dependiendo de lo que requiera la carga conectada al regulador, este regulador se utiliza mayormente en aplicación en donde se requiera de una alta eficiencia o potencia, para

esto esta configuración hace uso de inductores, capacitores y un transistor que funciona como Conmutador.

- Configuración elevadora: Para esta configuración se hace uso de un transistor el cual va a actuar como un conmutador que se encuentra conectado a tierra, cuando el transistor se enciende se induce un voltaje a la entrada a través de un inductor, además de que también se cuenta con un capacitor el cual se descarga en la carga pero a una cantidad muy pequeña durante el encendido del transistor y al apagarse este se carga debido al inductor lo que ocasiona que el voltaje de salida sea mas grande que incluso el voltaje de entrada.
- Configuración inversora: En la configuración de inversor el regulador de conmutación genera un voltaje de salida de una polaridad contraria a la que se encuentre a la entrada en esta configuración al igual que las anteriores se hace uso de transistores, capacitores e inductores, pero en este caso el efecto que se consigue debido a las conexiones realizadas es que a la salida se pueda obtener un voltaje negativo [16].

## **1.5 Inversores resonantes**

En pocas palabras que pueden describir estos inversores como un dispositivo que a su salida genera una señal alterna o partir de una señal continua de entrada, para este tipo de inversores podemos encontrar dos distintas topologías: la de medio puente y puente completo, de estas topologías la más usada es la de puente completo y son alimentadas por una fuente de corriente directa ya sea de voltaje o de corriente, estos son un elemento muy importante en las estufas de inducción, en estos dispositivos el circuito resonante está compuesto por un capacitor y por un inductor, el cual es el inductor donde se llevara a cabo el calentamiento, el circuito formado por estos componentes también es conocido como circuito tanque, debido a que ambos almacenan energía, aunque en el caso del capacitor es en forma de campo eléctrico y en el inductor es en forma de campo magnético [17].

### 1.5.1 Inversor de medio puente

Como ya se mencionó anteriormente los inversores están encargados de generar señales de corriente alterna en su salida de forma que su magnitud y su frecuencia se puedan controlar, en el caso del inversor de medio puente este cuenta con dos capacitores que se encuentran conectados en serie por medio de una señal de corriente de corriente directa, de esta manera cada uno de los capacitores se carga a la mitad del valor del voltaje de entrada, además este inversor tiene dos transistores que se encuentran conectados en paralelo a los capacitores, estos transistores son los que llevaran a cabo la conmutación.

Esta topología la podemos observar de una mejor manera en la figura 39, donde podemos ver la forma en que están conectados los dos transistores que esta topología ocupa y los capacitores, además de que en el caso de este diagrama se puede ver como se encuentra conectado a este inversor una carga inductiva y resistiva [17].

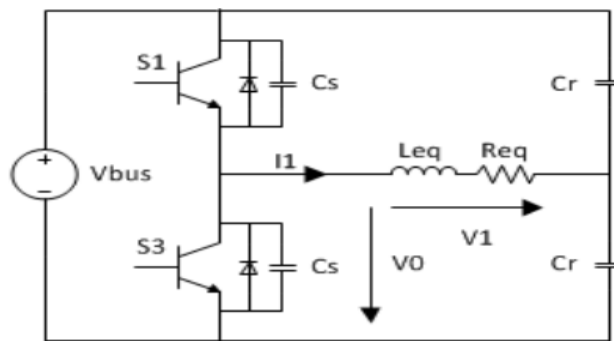


Figura 39, Topología de un inversor de medio puente.  
Nota: Recuperado de [18].

### 1.5.2 Inversor de puente completo

En la topología de este inversor está compuesta por cuatro transistores, como se observa en la figura 40, cuando el transistor  $S1$  y el transistor  $S4$  son activados al mismo tiempo el voltaje que se encuentra en la entrada aparecerá en la carga, mientras que si se activan los transistores  $S3$  y  $S2$  el voltaje que se encuentra a través de la carga será invertido de forma que tendremos un valor  $-V_s$ , en el de puente completo tendremos a la salida un voltaje con un valor máximo del doble que el del inversor de medio puente, esto también implica que para una misma

potencia, la corriente a la salida y la corriente de conmutación son la mitad que para las de un inversor de medio puente, esto representa una gran ventaja en el manejo de altas potencias, por esta razón es que este es el inversor que se usa con mayor frecuencia [17].

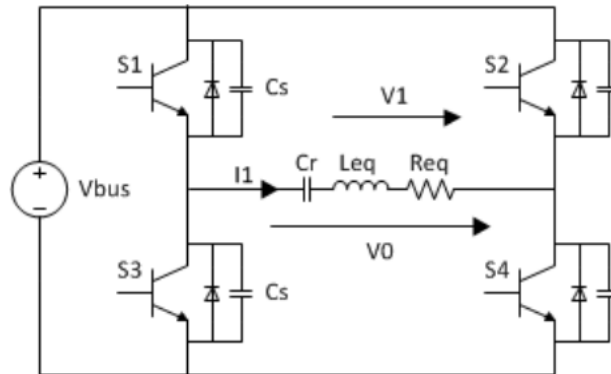


Figura 40, Topología de un inversor de puente completo.

Nota: Recuperado de [18].

## 1.6 Inversor cuasi resonante

Este inversor como ya se ha mencionado anteriormente tienen como principal característica que usa un IGBT el cual está compuesto por dos transistores, un MOSFET y un BJT, esto representa una ventaja sobre los otros inversores, que ocupa mucho menos espacio en la PCB donde ira montada este dispositivo, además de que es más fácil de enfriar por esta razón, a pesar de esto este inversor presenta la desventaja de que el voltaje del circuito resonante es más alto que el voltaje de suministro, lo que requiere de transistores de voltaje más alto, los cuales resultan ser más caros [8].

Este inversor lo podemos encontrar dividido en 2 subcategorías, una es la conmutación a corriente cero (ZCS) y la otra es conmutación a voltaje cero (ZVS).

### 1.6.1 Inversor cuasi resonante ZCS

La topología de conmutación a corriente 0 se muestra en la figura 41, esta cuenta con dos elementos de resonancia, los cuales son un inductor y un capacitor, para esta topología se hace uso de un inductor auxiliar que se encuentra conectado en serie al transistor de potencia

para que se pueda efectuar la conmutación de corriente cero y se pueda operar en la modalidad de media onda [8].

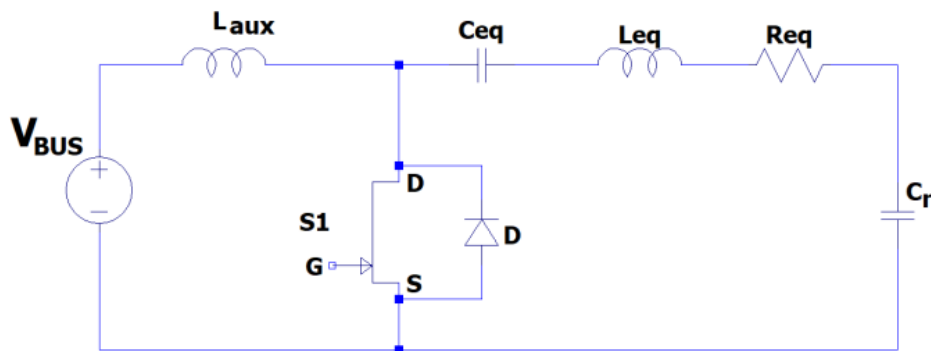


Figura 41, Inversor cuasi resonante ZCS.  
Nota: Recuperado de [8].

### 1.6.2 Inversor cuasi resonante ZVS

El inversor ZVS cuasi resonante es el que se utiliza con mucha mayor frecuencia en las estufas de inducción electromagnética, este tiene algunas similitudes con el anterior, pero en este caso no es necesario el inductor que se encuentra a la entrada del inversor ZCS. Al establecer la topología de conmutación cero se reducen las pérdidas por conmutación antes de que el circuito sea encendido, gracias a esto se generan menos interferencias electromagnéticas de alta frecuencia, esta topología que se puede observar en la figura 42, también es capaz de operar en modo de media onda [8].

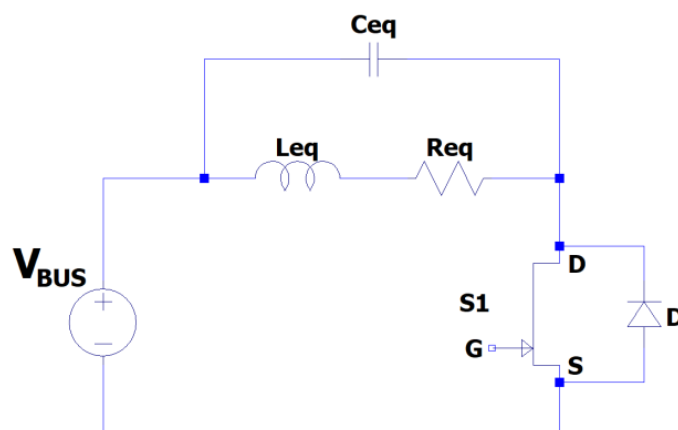


Figura 42, Inversor cuasi resonante ZVS.  
Nota: Recuperado de [8].

### 1.6.3 Funcionamiento de un inversor cuasi resonante ZVS

Un inversor de este tipo es alimentado por una fuente de corriente directa, estos tienen una resistencia y una inductancia que estarán representando el sistema de carga del inductor (recipiente), en el pin gate del transistor de potencia es en donde se aplicará una señal de control que estará a altas frecuencias, esta señal por lo general es una de tipo PWM (modulación por ancho de pulso) como se aprecia en la figura 43 [8].

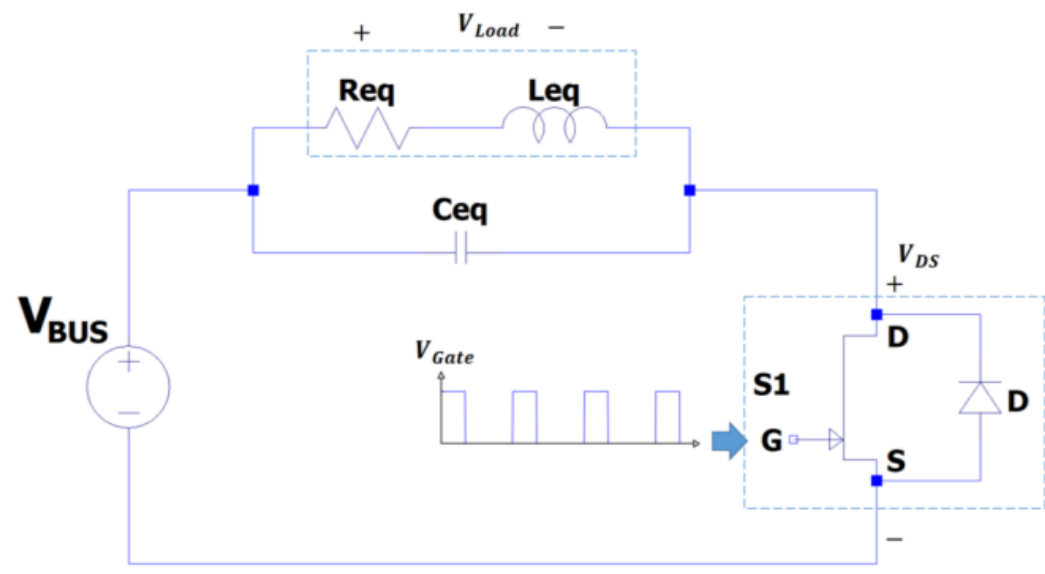


Figura 43, Funcionamiento de un inversor ZVS.  
Nota: Recuperado de [8].

### 1.7 Corrientes Parasitas

Cuando se tiene un conductor metálico y este se encuentra en presencia de un campo magnético variable, como consecuencia de esto se van a generar corrientes que circulan en bucle dentro de dicho conductor, estas son las denominadas corriente parasitas o corrientes de Foucault, las cuales debido a la resistencia del conductor producen calor, en una estufa de inducción la bobina de calentamiento genera el campo magnético que cambia con el tiempo y el recipiente es el conductor en donde se generan la corrientes parasitas [19].

## **1.8 Efecto Joule**

Este es un efecto en el que se genera calor en el recipiente, los recipientes que son utilizados que por lo general son de algún material ferromagnético tiene una mayor resistencia si lo comparamos con otros conductores como el cobre, debido a este aumento de resistencia se produce un calentamiento en el recipiente [6].

## **1.9 Histéresis**

Esta es una propiedad que tienen los materiales ferromagnéticos la cual se puede describir como la oposición al cambio de densidad de un flujo magnético, este proceso genera una fricción molecular, esto también provoca que se genera calor en el recipiente, de forma que es muy importante que se utilice recipientes hechos de estos materiales para aprovechar esta propiedad [6].

## **1.10 Ley de Faraday**

La ley de Faraday es muy importante en una estufa de inducción ya que prácticamente su funcionamiento se rige por medio de esta ley, para comprender de una mejor manera esta ley se considera un lazo cerrado por el cual se encuentra fluyendo una corriente, esta corriente crea un campo magnético el cual es proporcional a dicha corriente, mientras que si la corriente sufre algún cambio en la corriente en campo magnético generado también cambiara y por debido a la ley de Faraday hará que se induzca un voltaje en el lazo [6].

## CAPITULO II. METODOLOGÍA

### 2.1 Análisis de sistemas electromagnéticos aplicados a estufas de inducción

Revisando los antecedentes encontrados como apoyo, podemos encontrar que las estufas de inducción electromagnética se dividen en 3 partes principales que son:

- Fuente de alimentación.
- Circuito de potencia.
- Circuito de control.

Teniendo esto en cuenta se hizo un análisis de la forma en la se implementaron estas etapas en dos de los proyectos que como ya se mencionó forman parte de los antecedentes.

En la Figura 44 que se muestra a continuación podemos observar una fuente de alimentación de tipo switch, que se usó en el primera investigación revisada, en la cual no se observa un transformador, en este caso se utilizan reguladores de voltaje, uno el LNK306 que a su salida da 18V cd y el LM117 que a su salida da 5V cd, además en este circuito hay una ausencia de un puente rectificador ya que este usa el mismo puente de diodos que hay en el circuito de potencia, esta fuente resulta ser bastante compacta por los pocos materiales que ocupa, aunque algunos de estos materiales pueden llegar a ser bastante complicados de conseguir.

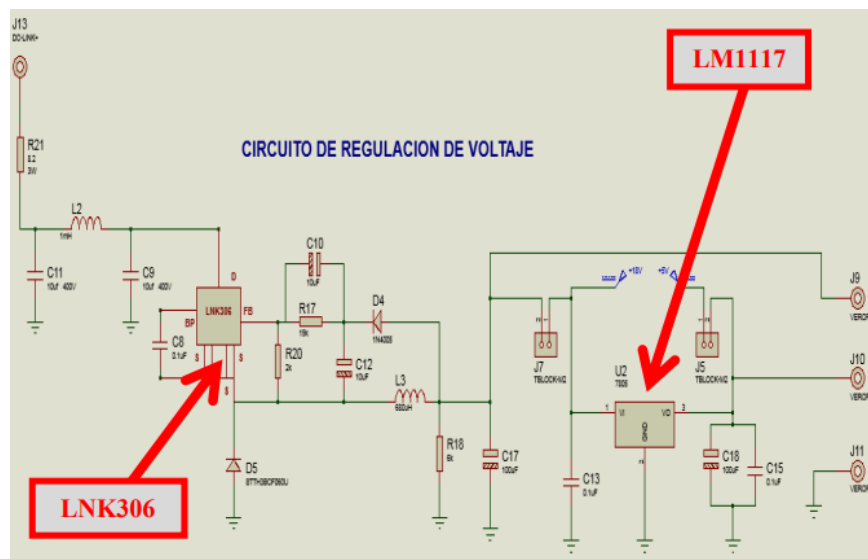


Figura 44, Fuente de alimentación tipo switch.

Nota: Recuperado de [6].

Después tenemos el circuito de potencia, el cual básicamente es un circuito inversor cusi resonante, en este circuito tenemos el puente de diodos que también se usa para la fuente de alimentación, antes del puente de diodos tenemos un capacitor y un fusible de protección, posteriormente al puente de diodos se tiene una bobina y un capacitor, estos 2 componentes forma un filtro LC que sirve para proteger el resto del circuito de las altas frecuencias que se producen en esta etapa, después tenemos otro capacitor que se conecta en paralelo a la bobina de calentamiento y el IGBT como conmutador, para mandar la señal a la puerta de IGBT se implementó un driver MOSTFET, el cual tienen una función similar a la de un relevador, debido a que este recibe la señal PWM del microcontrolador que es de un voltaje muy bajo, generalmente de 5V, y al necesitar un voltaje de 20 volts para la conmutación IGBT se hace uso de uno de estos dispositivos, esta señal PWM que manda el microcontrolador tiene una frecuencia de 20kHz, todo esto se observa en la figura 45.

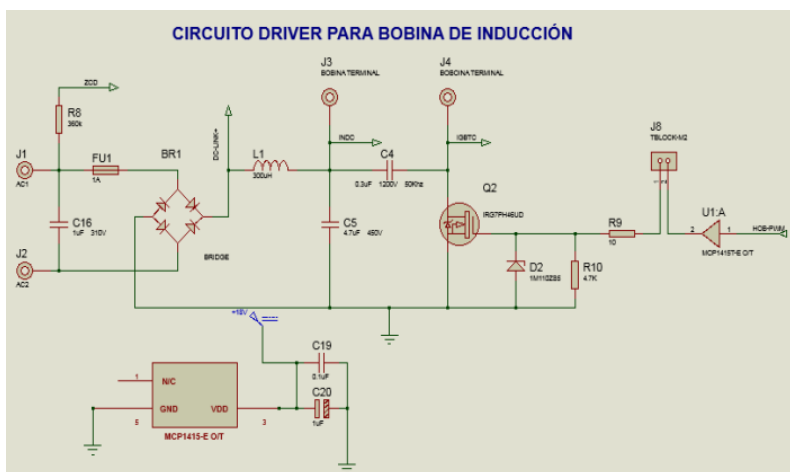


Figura 45, Circuito de potencia para la bobina.

Nota: Recuperado de [6].

En la figura 46 se observa que se hizo uso de un microcontrolador PIC16F1708 que es un microcontrolador de potencia con detector de cruce por cero que se utilizó para controlar el PWM que este mismo microcontrolador manda al driver MOSTFET para hacer conmutar el IGBT, además de que monitorea la temperatura de la bobina y del IGBT para evitar un mal funcionamiento.

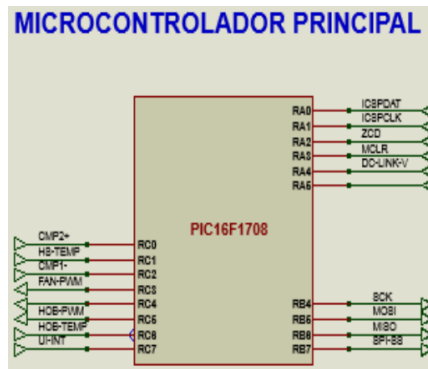


Figura 46, Conexiones PIC16F1708.

Nota: Recuperado de [6].

Para el monitoreo de las temperaturas de se mencionó, en este y en la mayoría de los casos se hace un circuito con termistores NTC, como el mostrados en la figura 47, de esta forma el microcontrolador recibe la señal que este circuito manda y que varía con la resistencia de termistor según a la temperatura de este detectando, en base a esto el microcontrolador tomara distintas decisiones, como por ejemplo la de parar el funcionamiento de la estufa debido a un sobre calentamiento.

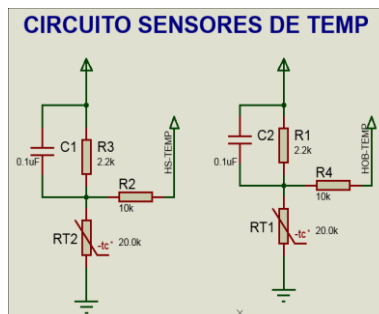


Figura 47, Circuito sensores de temperatura.

Nota: Recuperado de [6].

Por último, en este proyecto tenemos la etapa de control que como podemos darnos cuenta esta hace uso de un segundo Microcontrolador el cual es un PIC16F1939, esta etapa también se le conoce como interfaz de usuario, ya que por medio de estas se mandan señales al PIC principal por medio de unos botones, esta interfaz cuenta con unos display de siete segmentos que ayudan a observar la información del funcionamiento, lo anterior descrito se puede observar en la figura 48.

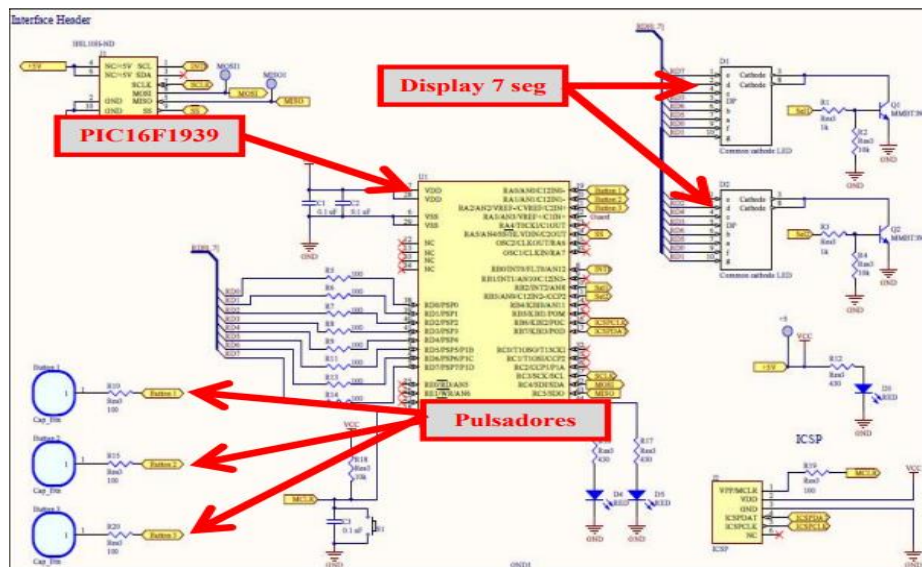


Figura 48, Circuito de control con PIC16F1939.

Nota: Recuperado de [6].

Pasando con el segundo proyecto que se revisó tenemos que en la parte de la fuente de alimentación este se hizo uso de una fuente de alimentación de tipo lineal la cual se puede ver en la figura 49, en esta se tienen un varistor como elemento de protección, después se cuenta con un transformador reductor de derivación central, este reduce el voltaje de entrada a 24V y en la derivación se tiene un voltaje de 12V, en el de 24V se coloca un puente de diodos y filtros para eliminar el rizado, en el caso de los 12V se toman de la derivación central y van a un transistor para que este sea activado con el microcontrolador.

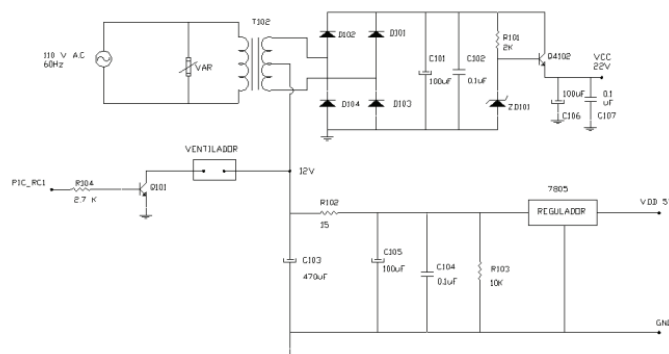
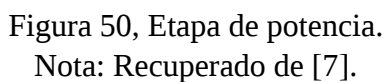


Figura 49, Fuente de alimentación 2.

Nota: Recuperado de [7].

Figura 50, Etapa de potencia.  
Nota: Recuperado de [7].



En este caso se realiza un arreglo con los termistores similar al anterior, este al igual que el anterior hace uso de termistores NTC como se parecía en la figura 52, que como se puede observar está conectado en forma de divisor de voltaje que monitorean la temperatura de la bobina y el del IGBT variando su resistencia y mandando una señal de voltaje al microcontrolador.

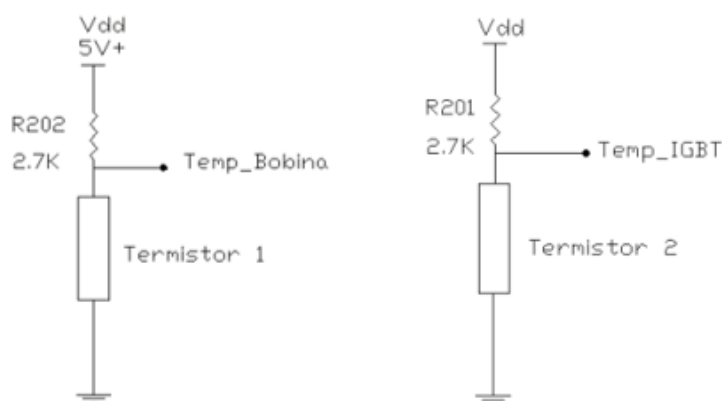


Figura 52, Circuito de sensores de temperatura 2.

Nota: Recuperado de [7].

Pasando con el microcontrolador, se usó un único microcontrolador, tanto para la parte del monitoreo y envío de señales como para la interfaz, esto se ve representado en la figura 53.

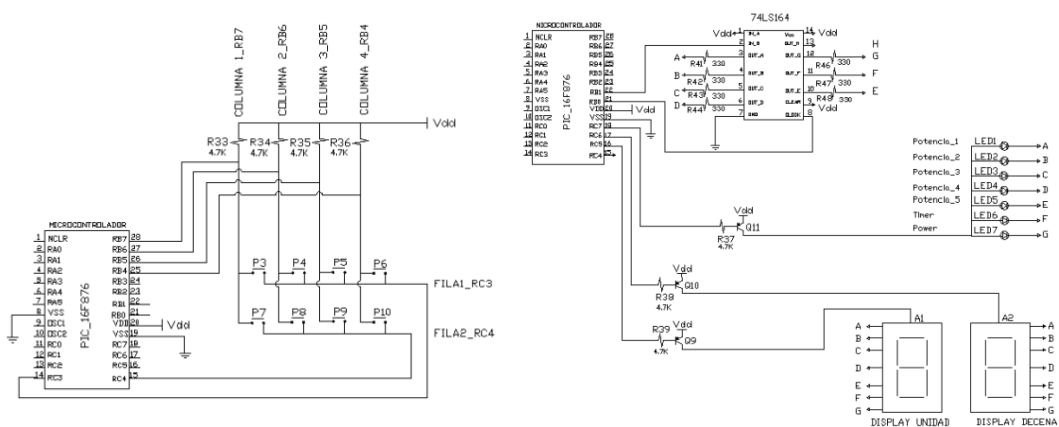


Figura 53, Circuito de sensores de temperatura 2.

Nota: Recuperado de [7].

## 2.2 Análisis de placas de circuito impreso de estufas de inducción magnética.

En este paso analizamos los componentes que utilizan las placas de circuitos de una estufa de inducción magnética, para esto se adquirieron dos placas de circuitos, las cuales tienen algunas diferencias mínimas entre sí, pero en su mayoría son muy parecidas ya que estas poseen las mismas etapas que ya mencionamos en el paso anterior.

En la primera placa pudimos identificar las partes más importantes de la estufa de inducción, como se puede observar en la figura 54 que se muestra a continuación, un cuadro azul encierra lo que es la fase de potencia que es donde se conecta la bobina que genera el calentamiento del recipiente esta parte está compuesta principalmente por un puente de diodos, el IGBT, el capacitor de altas frecuencias y un filtro compuesto por un inductor toroidal con otro capacitor de 4uF, mientras que en cuadro de color rojo podemos ver la parte de la fuente de alimentación que es de tipo conmutada ya que usa un transformador a altas frecuencias y un controlador CSC7221 para que pueda funcionar adecuadamente, de esta fuente obtenemos dos niveles de voltaje que son las 5 v que se usan para el microcontrolador y para la interfaz de usuario, además se obtienen 18 v que se utilizan para el ventilador y para el IGBT ya que se necesitan 2 volts para hacerlo conmutar.

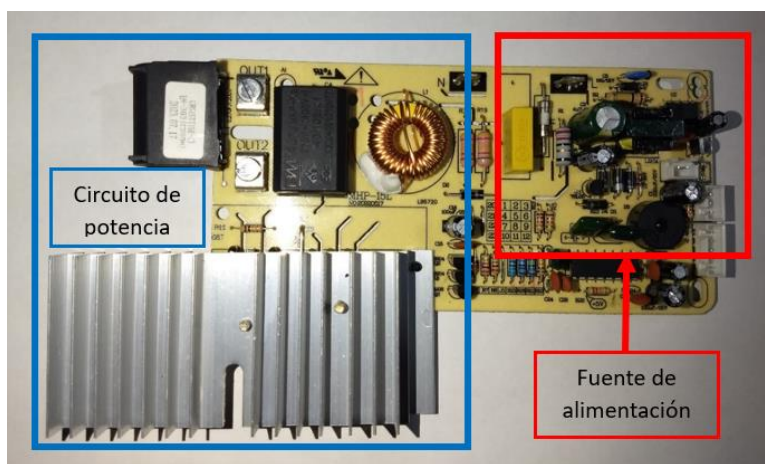


Figura 54, Placa de una estufa de inducción 1.

Para la segunda placa también identificamos las mismas etapas y al analizarlo se observó que se obtienen los mismos niveles de voltaje en la parte de la fuente de alimentación, la principal

diferencia es que en el filtro del circuito de potencia es de 5uF, y el IGBT soporta 20A a diferencia del anterior que soporta 15A, esto se muestra a continuación en la figura 55.

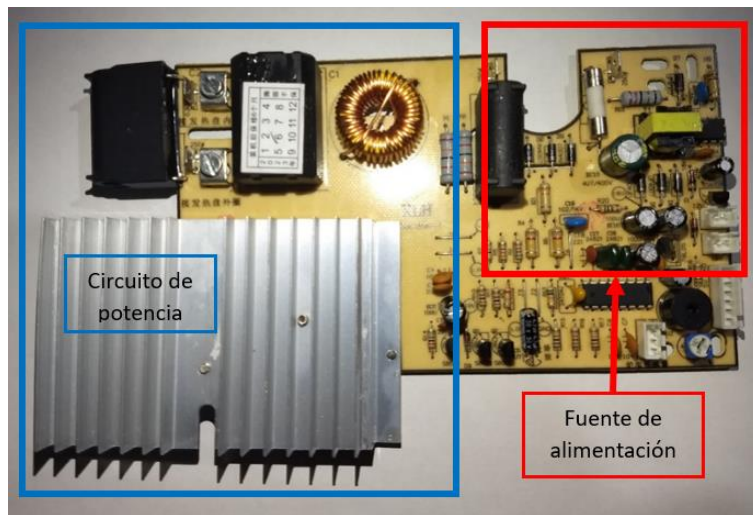


Figura 55, Placa de una estufa de inducción 2.

Siguiendo con el análisis de las placas, se retiró el disipador de calor que se muestra en las figuras anteriores para poder observar de una mejor manera lo que es el IGBT y el puente de diodos que forman parte del circuito de potencia en la figura 56, estos por lo general son bastante robustos para que puedan soportar una alta potencia sin dañarse.



Figura 56, IGBT y Puente de diodos.

En la figura 57, también se observa el IGBT y el puente de diodos de la segunda placa que se pudieron apreciar mejor al retirar el disipador, además en ambos casos hay un termistor que monitorea la temperatura del IGBT.

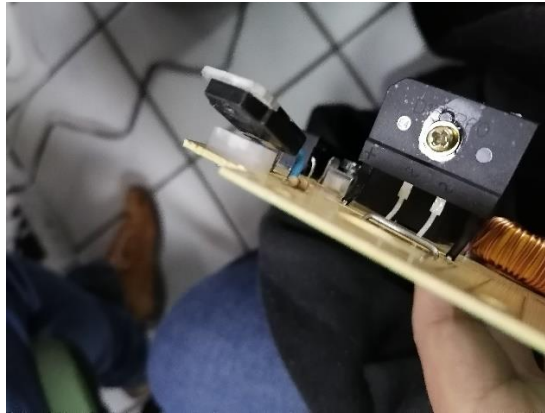


Figura 57, IGBT y Puente de diodos de la segunda placa.

Una vez realizado el análisis de las placas y algunos de sus componentes más importantes, también se realizó en una breve revisión de las interfaces de usuario que utilizan estas placas, como en una que usa unos resortes como botones, mientras que el otro usa otro tipo de botones, los cuales se accionan solo con tocarlos sin la necesidad de hacer presión como tal sobre ellos, ambas interfaces se muestran a continuación en la figura 58.

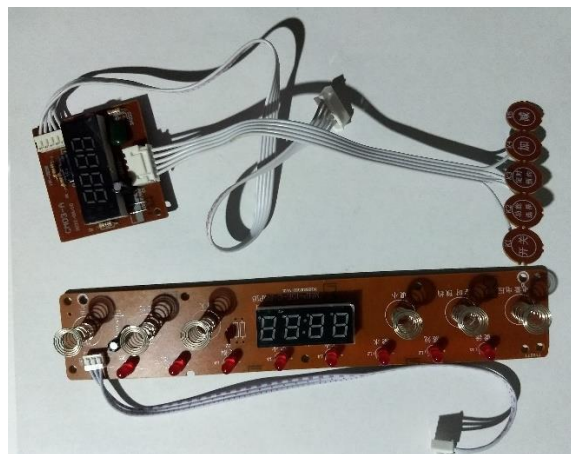


Figura 58, Interfaces de usuario.

En la siguiente figura 59 se aprecia el microcontrolador que usan este tipo de placas de inducción, en este caso no presentan alguna matricula o numeración que faciliten su identificación de forma que no se recopiló demasiada información sobre esta.



Figura 59, Microcontrolador de las placas.

Una vez que se terminó con el análisis de las placas, se intentó realizar distintas pruebas para accionarlas para que con una bobina que se adquirió poder probar el sistema de calentamiento, al conectar y revisar un poco de su funcionamiento se encontró que estas no pueden comenzar a funcionar de forma adecuada ya que necesitan el termistor que monitorea la temperatura de la bobina, este como ya se mencionó anteriormente es un termistor NTC de 100k, al buscar la forma de adquirirlo pero este resulto ser bastante difícil de encontrar, de forma que se intentó con el termistor que se muestra en la figura 60, este termistor tenía las características necesarias pero a pesar de múltiples intentos no se logró hacer funcionar la estufa mediante el uso de este de forma que se analizó la posibilidad de probar con un potenciómetro y que al probar se pudo hacer que la estufa dejara de arrojar un error y se mantuviera perdida.



Figura 60, IGBT y Puente de diodos de la segunda placa.

Al comprobar que el circuito se podía accionar mediante un potenciómetro de 100k poniéndolo en un valor de 3.3k, se realizó la conexión de la bobina de calentamiento y mediante el uso de un recipiente de material ferromagnético, que se comprobó que era de este tipo de material al acercar un imán y este se pegara al recipiente, después se agregó un poco de agua y se pudo observar la velocidad con la que esta estufa logro que el agua hirviera, todo lo anterior descrito se puede observar en la figura 61.

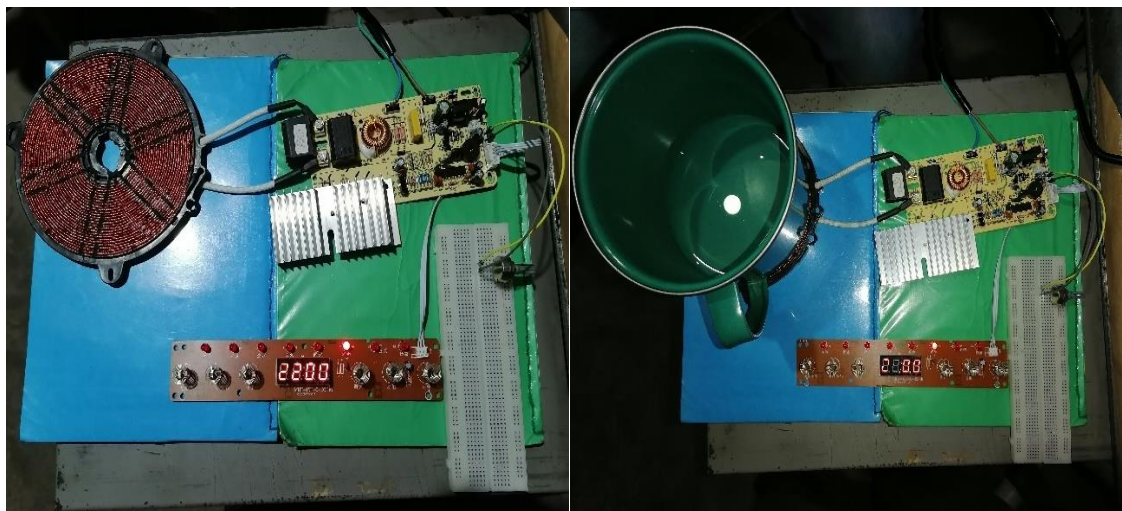


Figura 61, Pruebas de funcionamiento de las placas.

### 2.3 Selección de los componentes para la construcción del circuito

Para poder llevar a cabo la construcción de este circuito se tiene que tener en cuenta el controlador a ocupar para la fuente de alimentación conmutada, que es el encargado de generar los pulsos, dependiendo de este se seleccionan los demás componentes, en este caso al revisar el controlador que se podía conseguir con mayor facilidad y a un precio no muy elevado, es el DK124, además de que en su hoja podemos encontrar información de cómo utilizar este controlador, incluso también se puede encontrar un circuito del cual se utilizó como base en la construcción de la fuente de alimentación, esto fue de suma importancia ya que al no encontrar el componente en algún simulador, se puede tener un mayor probabilidad de funcionamiento respetando los componentes indicados en la hoja de datos. Teniendo en cuenta esto y los requerimientos que se necesitan se seleccionaron los siguientes componentes:

Tabla 2. Lista de componentes para la fuente conmutada.

| Nombre                            | Especificaciones o Modelo del componente | Cantidad |
|-----------------------------------|------------------------------------------|----------|
| Fusible                           | F3A/AC250V                               | 1        |
| Diodo                             | 1N4007                                   | 4        |
| Diodo                             | FR107                                    | 1        |
| Diodo                             | BY228                                    | 1        |
| Capacitor electrolítico           | 10 uF a 25V                              | 2        |
| Capacitor electrolítico           | 100 uF a 16V                             | 1        |
| Capacitor electrolítico           | 1000 uF a 25V                            | 2        |
| Capacitor electrolítico           | 470 uF a 25V                             | 2        |
| Capacitor electrolítico           | 33uF a 400V                              | 1        |
| Capacitor cerámico                | 10 nF                                    | 1        |
| Capacitor de poliéster            | 2A223J                                   | 1        |
| Capacitor tipo Y                  | 1nF a 400V                               | 1        |
| Resistencia                       | 68k a 0.5w                               | 1        |
| Resistencia                       | 470Ω                                     | 1        |
| Resistencia                       | 4.7k                                     | 2        |
| Resistencia                       | 220Ω                                     | 1        |
| Resistencia                       | 330Ω                                     | 1        |
| Resistencia                       | 1k                                       | 1        |
| Diodo Zener                       | 11V                                      | 1        |
| LED                               | Color rojo (opcional)                    | 1        |
| Inductor en forma de I            | 10uH                                     | 2        |
| Controlador                       | DK124                                    | 1        |
| Optoacoplador                     | PC817C                                   | 1        |
| Transformador a altas frecuencias | Con derivación central                   | 1        |
| Regulador de voltaje              | L7805                                    | 1        |

De los componentes que se mostraron en la tabla anterior, se da una explicación del por qué se utilizaron algunos de los más importantes.

Primero como elemento de protección se tienen el fusible de 2A/250V, dicho valor se eligió tal y como indica la hoja de datos del controlador, en dicha hoja no se especifica si es un fusible americano o uno europeo, de forma que se escogió el segundo ya que la mayoría de las fuentes conmutadas en electrodomésticos emplean estos fusibles, además de que se colocó

dentro de un portafusibles, como se muestra en la figura 62, ya que como es un prototipo, en caso de que ocurra algún percance y el fusible se llegue a dañar, este se podrá reemplazar con mucha mayor facilidad.



Figura 62, Fusible con portafusibles.

Después del elemento de protección se tienen los diodos que componen el puente rectificador, en este caso son diodos 1N4007, además de ser que estos también se encuentran especificados en la hoja de datos del controlador se decidió escogerlos debido a que son muy comerciales, de forma que se facilita reemplazarlos, además de ser bastante resistentes ya que estos pueden llegar a soportar hasta 1000V. Otro componente que se muestra en la figura 63 junto con los diodos es el capacitor que se usa como filtro de entrada que al igual que los diodos se respetó el valor ya especificado, esto principalmente para que le controlador funcione en las mejores condiciones.

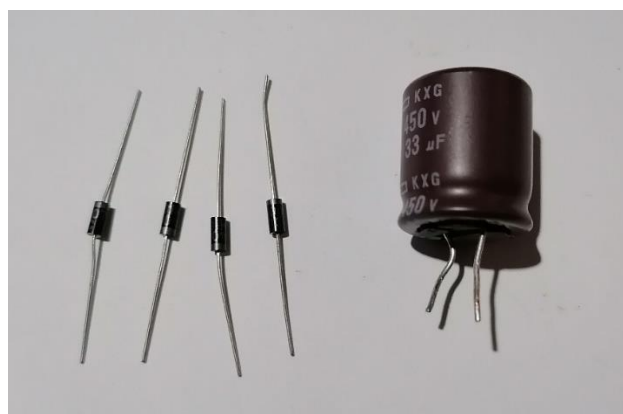


Figura 63, Diodos y capacitor para la fuente conmutada.

Otro de los elementos más importantes que se tienen es el transformador de altas frecuencias, como el de la figura 64, este transformador no es el que se especifica en la hoja de datos, esto debido a que en general los transformadores de altas frecuencia son difíciles de conseguir de forma que se utilizó uno que utilizan las estufas de inducción, aunque este no cuenta con un matrícula para poder identificar sus especificaciones, a pesar de esto se pueden saber sus parámetros principales con la ayuda de la hoja de datos del controlador que estos utilizan, otra cosa como los voltajes de salida se pueden saber revisando las placas de los circuitos en las que estos vienen montados.

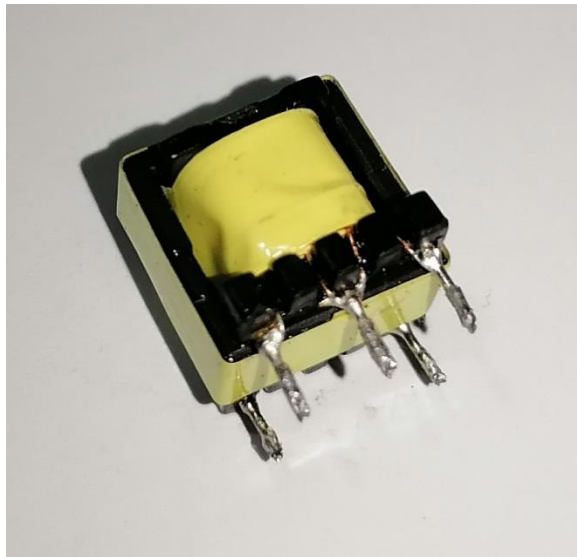


Figura 64, Transformador para altas frecuencias a utilizar.

En cuanto al controlador, que es la pieza más importancia se eligió el DK124 ya que a diferencia del CSC7221, que es el que usan en las placas de circuitos que se analizaron anteriormente, este es más fácil de conseguir, además de que no es demasiado costoso, aparte de todo esto se pueden considerar prácticamente equivalentes, esto debido a que poseen parámetros similares, como es el caso de el voltaje de entrada ya que ambos trabajan de 85 a 265V, otro parámetro similar es la potencia de salida ya que es de 12W, aunque en el caso del DK124 este puede llegar a entregar 18W dependiendo del rango de voltaje en el que se encuentre trabajando, en el caso de los pines los dos tienen los mismos pines en el mismo orden, en cuanto a la frecuencia que es de uno de los parámetros más importantes ya que este es la frecuencia a la que trabaja el transformador, mientras que el CSC7221 proporciona una

frecuencia de entre 50 a 70kHz, el DK124 da una frecuencia de 61 a 69kHz, de forma que los parámetros no se alejan demasiado, por todas estas razones es que se escogió trabajar con este controlador que se puede ver en la figura 65.

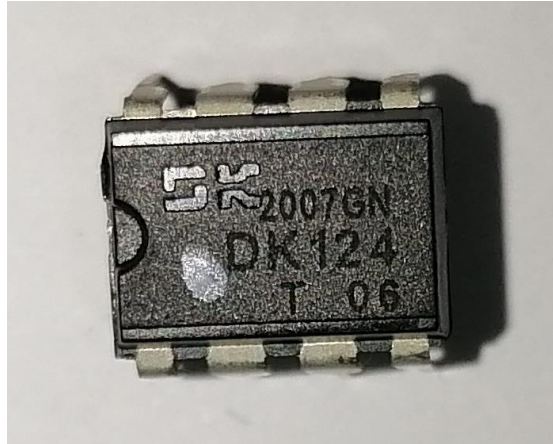


Figura 65, Integrado DK124.

En la figura 66 se puede observar un optoacoplador con matrícula PC817C, este optoacoplador también ya viene especificado en la hoja de datos del controlador DK124, pero es necesario recalcar que el uso de este componente también fue determinante para elegir el controlador, ya que es uno de los más comerciales y como pasa con algunos otros componentes, esto hace que haya una mayor facilidad de conseguirlo a un precio no tal elevado, además de que en caso de dañarlo también se puede reemplazar sin mucho problema.

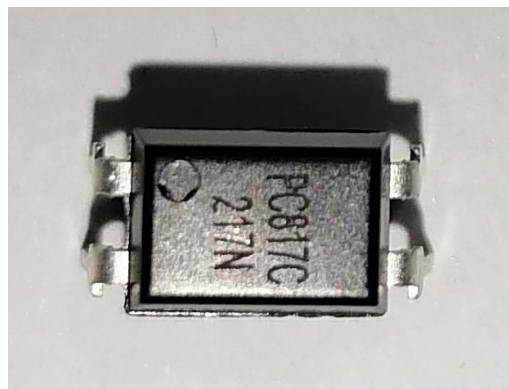


Figura 66, Optoacoplador PC817C.

Algunos elementos que no se pudieron conseguir son los diodos de acción rápida venían especificados en la hoja de datos, en específico los que se usan a la salida del transformador de alta frecuencia, de forma que se optó por usar BY228 que se muestran en la figura 67, estos se eligieron ya son similares a los que venían especificados que tenían como matricula HER504, la principal diferencia es que es estos soportan 5A, mientras que los que se utilizaron soportan 3A que por el momento para el prototipo estos son útiles

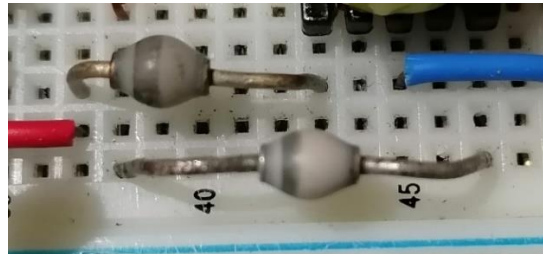


Figura 67, Diodos de acción rápida BY228.

Otros elementos que son de importancia son los filtros de salida, ya que estos nos ayudan a tener un menor rizado en el voltaje de salida, esto ayudando a que sea un voltaje más estable y que lo que se conecte a la fuente no se vea afectado por el rizado ya antes mencionado, como se puede ver en la figura 68 estos filtros están compuestos principalmente por capacitores e inductores, que para este caso una vez más se optó por usar los que ya estaban predeterminados en la hoja de datos, para cada salida de voltaje se usan dos capacitores de filtro, uno de 1000uF y otro de 470uF, mientras que el valor de los inductores es de 10uH, en el caso de estos últimos se consideró usar inductores encapsulados pero para evitar que esto afecte el funcionamiento de la fuente se siguió utilizando los inductores en forma de I, los cuales son inductores de tipo bobina con núcleo de ferrita.

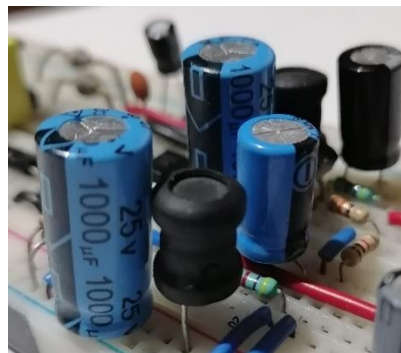


Figura 68, Elementos para el filtro de salida.

Como otra medida de tener un voltaje más estable se usó un regulador de voltaje L7805 mostrado en la figura 69, ya que se necesita una un nivel de voltaje de 5V y este será el encargado de alimentar un microcontrolador, de forma que con el uso de dicho regulador también se busca proteger al microcontrolador a utilizar, de forma que el rizado no llegue a causarle algún daño ya que es una componente importante.



Figura 69, Regulador de voltaje L7805.

Se decidió hacer uso de borneras como las que se observan en la figura 70 ya que esto nos permite hacer conexiones de prueba de una forma más fácil, tanto en el voltaje de corriente alterna la entrada del circuito, como a la salida de voltaje de la fuente de alimentación, ya que como prototipo se pueden llegar a hacer diferentes de su funcionamiento, además de todo esto también permite llevar a cabo mediciones de una mejor forma, debido a que es más fácil de distinguir en lugar en el que se realizara la medición.

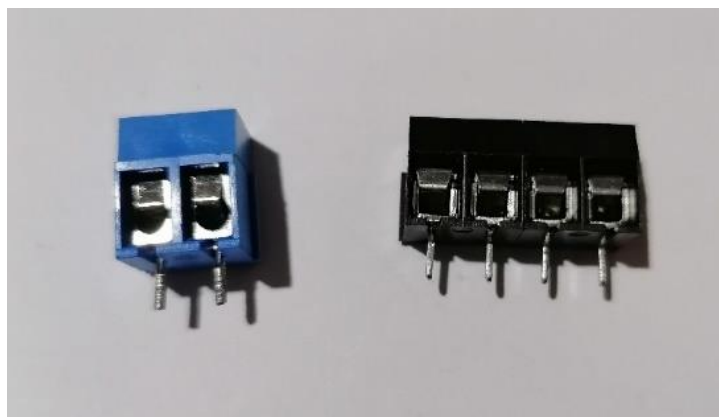


Figura 70, Borneras.

## 2.4 Diagrama del prototipo de la fuente

[illegible]

79

A continuación, se explican las partes más importantes que componen la fuente de alimentación:

En la figura 72 se puede observar la etapa de rectificación y el filtro de entrada, en este caso para el puente de diodos se usan diodos 1N4007, mientras que para el caso del filtro se colocó en el diagrama un capacitor de 33uF a 400v, ambos componentes se emplearon respetando la hoja de datos del integrado DK124, incluyendo el fusible de protección que se encuentra antes del puente de diodos, además se colocó el símbolo una bornera de dos pines donde entrara el voltaje.

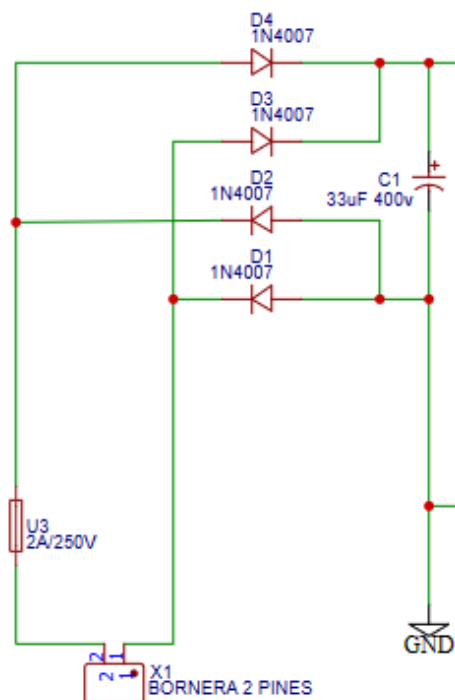


Figura 72, Diagrama de la rectificación y filtro de entrada para la fuente conmutada.

La siguiente parte del diagrama corresponde a la conexión del componente más importante que se tiene, el DK124, estas conexiones y componentes respetan en su mayor parte los mostrados en la hoja de datos en este podemos ver que los pines de integrados de GND se conectan al negativo de la salida del puente de diodos y del filtro de entrada, posteriormente en pin FB (FeedBack) o retroalimentación se conecta a el pin 3 del optoacoplador que es el emisor de foto transistor interno, además de ir conectado a un capacitor cerámico de 10nF, mientras que el pin Vcc se conecta al colector del fototransistor del optoacoplador PC817 y

este su vez se conecta a un capacitor electrolítico de 10uF a 16v, por ultimo tenemos los pines OC, que son los pines de salida del transistor de potencia interno del integrado estos se conectan en el ánodo del diodo FR107 y al extremo del primario del transformador chopper, después del diodo se conecta el capacitor de poliéster y en paralelo a este una resistencia de 68k/0.5W, este arreglo entre el diodo, el capacitor y la resistencia se encuentran conectados en paralelo con el primario del transformador, todo lo anteriormente descrito se puede observar en la figura 73 que se muestra a continuación.

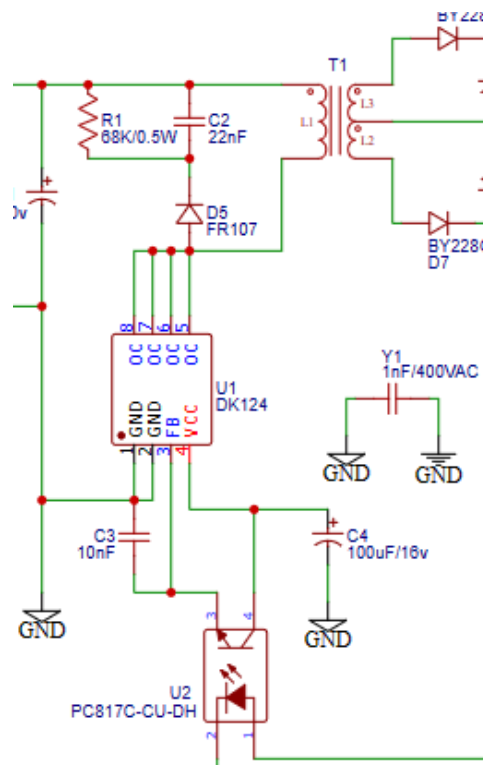


Figura 73, Diagrama de conexiones del DK124 con el transformador.

Posteriormente trenamos la parte de salida del transformador o secundario, que como se puede apreciar en la figura 74 este es un transformador de derivación central, en este caso los extremos del transformador serial los positivos y el pin de en medio seria el negativo se puede apreciar que inmediatamente en las salidas positivas tenemos diodos de acciona rapida en este caso es el BY228, después de dichos diodos de tienen los filtros de salida que estan compuestos por capacitores inductores y algunas resistencias, se tienen dos capacitores electroliticos de de 1000uF a 25V conectados entre paralelo con las salidas positivas y el

negativo, después en serie a los diodos se tienen dos inductores de 10uH, después se tienen dos resistencias conectadas en paralelo con un valor de 4.7k, los últimos componentes que se consideran parte del filtro de salida son dos capacitores de 470uF a 25V, además de esto gativo de la fuente también se puede observar un diodo zener de 11V, el ánodo va conectado al negativo de la fuente y el cátodo al pin dos del optoacoplador, mientras que el pin uno va conectado a una resistencia de 470Ω la cual está conectada a la salida de 12V de la fuente, con esto se tiene la mayor parte de la fuente de alimentación.

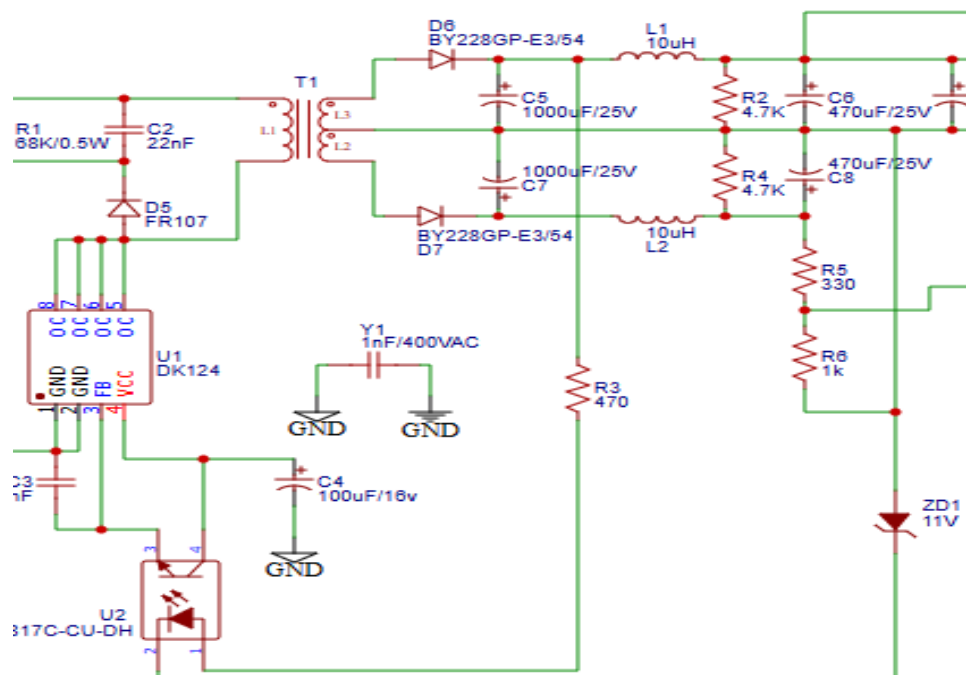


Figura 74, Diagrama de conexiones a la salida del transformador.

Por último, en el diagrama tenemos la diferente salida de voltaje, la salida de 12V se obtiene directamente a la salida de los filtros que se mencionaron anteriormente, después con la salida de 12V, se realiza la conexión del regulador de voltaje L7805 como se puede observar en la figura 75, y con ayuda de este se tiene un nivel de voltaje de 5V, además en el regulador se colocó un LED para indicar que la fuente de alimentación está en funcionamiento, en el caso de la segunda salida de voltaje el transformador entrega 26V y se coloca un divisor de voltaje para poder obtener 20V, este divisor cuenta con una resistencia de 330Ω y una de 1KΩ, por último se tiene una bornera de cuatro pines para que en esta podamos obtener

los 3 diferentes niveles de voltaje necesarios además del GND de la fuente, aunque también se puede hacer uso de dos borneras con dos pines cada una.

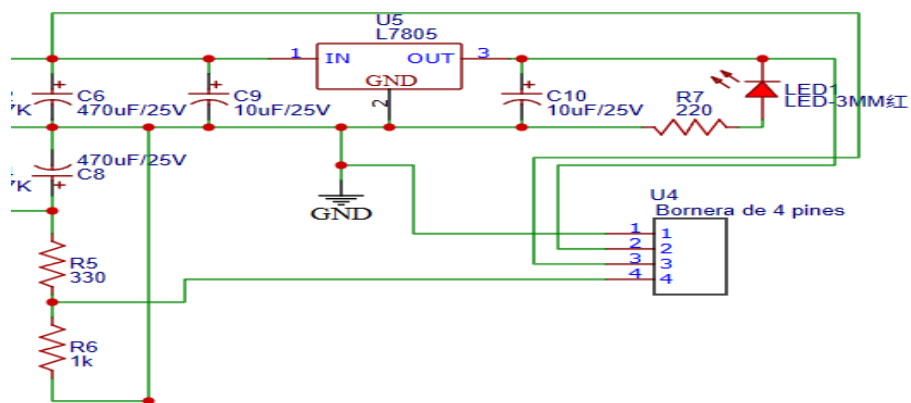


Figura 75, Diagrama de la etapa final de la fuente.

Con esto se tendría completado el diagrama del circuito de la fuente de la estufa de inducción magnética.

## 2.5 Selección de los componentes para el control del accionamiento

El siguiente paso para realizar es la selección de componentes para poder hacer el control de accionamiento que sería la encargada de generar una señal PWM, que se usa en las etapas de potencia que tienen las estufas de inducción electromagnética.

Los componentes que se seleccionaron se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Componentes del control de accionamiento.

| Nombre             | Especificaciones o Modelo del componente | Cantidad |
|--------------------|------------------------------------------|----------|
| Microcontrolador   | PIC16F628A                               | 1        |
| Driver MOSFET      | IR2101                                   | 1        |
| Diodo Zener        | 1N4148                                   | 1        |
| Capacitor cerámico | 1uF                                      | 1        |
| Botones            | Pulsador o push button                   | 2        |
| Resistencia        | 220Ω                                     | 2        |

Como elemento principal primero tenemos el microcontrolador, que en este caso se eligió en PIC16F628A, las principales razones por las que se decidió hacer uso de este microcontrolador, es que como pasa con otros componentes, este es muy fácil de conseguir por lo que conseguir un repuesto no sería complicado, además debido a esto hay mucha información útil de este microcontrolador de forma que no será muy complicado a la hora de emplearlo, además de que también es muy utilizado en otro tipo de proyectos, lo cual nos ayuda a que si no se comprende algo de la hoja de datos se tiene más fuentes de información, como videos. Otra de las razones por la que es ideal para el prototipo a construir es que no es demasiado grande a comparación de otros microcontroladores de forma que con esto se ahorra espacio en la construcción del circuito, esto sin sacrificar entradas o salidas necesarias para el circuito ya que estas son muy pocas, esto también permite acomodar de una mejor manera el resto de los componentes que se tengan, además este microcontrolador se alimenta con 5V lo que lo hace compatible con el voltaje de 5V que se obtiene de la fuente de alimentación, otra característica importante para su operación es de la corriente ya que esta está entre 12 y 120 $\mu$ A, que es un consumo muy bajo de forma que no representará una gran carga para la fuente de alimentación y con esto evitamos posibles sobrecalentamientos o pérdida de potencia en la fuente en general que pueda provocar que el prototipo no funcione de la forma adecuada, por último tenemos que este microcontrolador tiene una salida capaz de generar señales PWM con una frecuencia de hasta 4MHz, esto es muy importante ya que una estufa pueden funcionar con señales de entre 20 y 30kHz de forma que en ese aspecto el microcontrolador cumple con la capacidad de generarla. Estos serían los principales puntos por los que se eligió el microcontrolador ya antes mencionado el cual se puede observar en la figura 76.

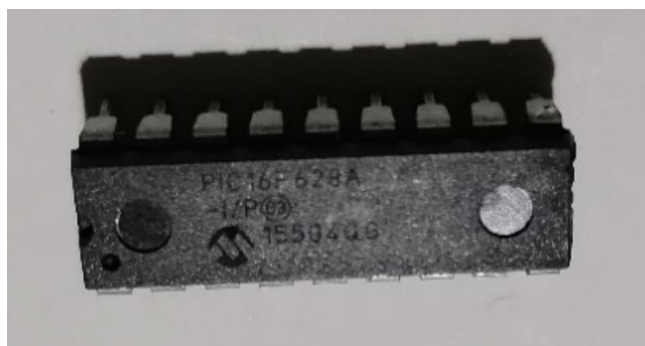


Figura 76, PIC16F628A.

Otro de los elementos a utilizar para el prototipo del control de accionamiento es el driver MOSFET que se utiliza principalmente para generar una señal PWM con un nivel de voltaje más alto que el que se encuentra en la salida del PIC, en este caso se eligió de driver con la matrícula IR2101 que se puede observar en la figura 77 que se muestra a continuación, se eligió este componente en específico debido a que suele ser muy comercial en comparación con otros que se mucho más difíciles de conseguir, además de que este tiene la capacidad de trabajar de 10 a 20V, que como ya se ha mencionado anteriormente en el caso de los IGBT que se usan en las estufas de inducción electromagnética, su voltaje de conmutación de 20V, de forma que con este driver podemos obtener una señal PWM de 20V lo que lo hace el indicado para llevar a cabo esta tarea, además otra de las razones para utilizarlo es que se puede encontrar bastante información sobre sus características de operación y el armado del circuito, además debido a su forma este se puede conectar fácilmente en una placa de pruebas a diferencia de uno de montaje superficial,

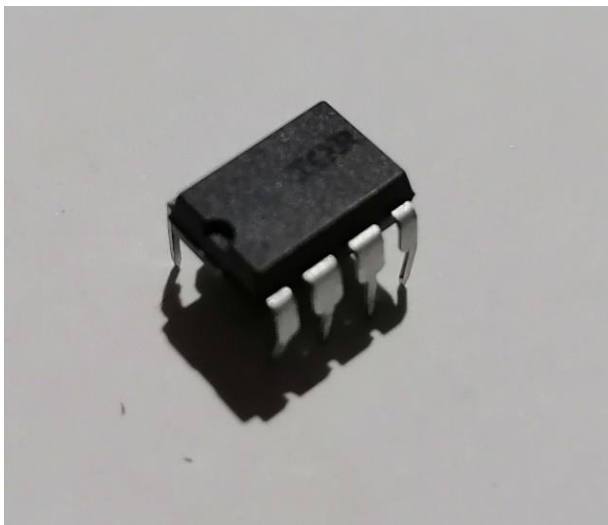


Figura 77, Driver MOSFET IR2101.

Uno de los elementos que ayudaran con el funcionamiento del control de accionamiento son los pulsadores como los que se muestran en la figura 78, para este proyecto se emplean dos de estos componentes ya que uno activara la señal PWM del microcontrolador y el otro la desactivara, en este caso se usan pulsadores de dos pines ya que no se necesitan con más pines para para construir el prototipo, estos se eligieron principalmente porque no son muy

costosos y son fáciles de conseguir además de que su tamaño es bastante reducido, de forma que los hace indicados para la aplicación que se les va a dar.

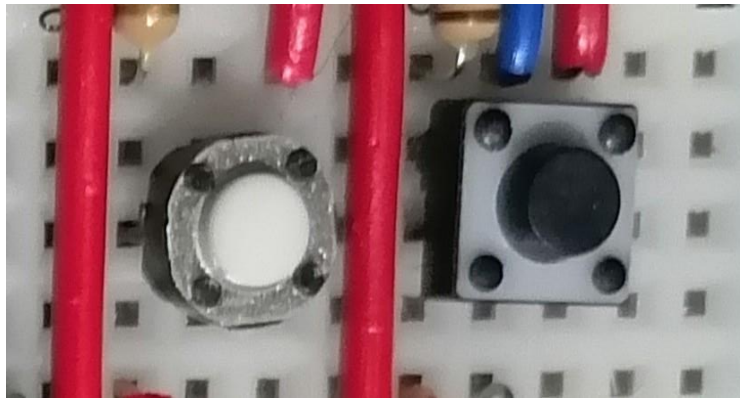


Figura 78, Pulsadores.

## 2.6 Diagrama del circuito de accionamiento

En el diagrama de la figura 79, se puede observar el diagrama del control de accionamiento empleando los elementos que se comentaron anteriormente, exceptuando la protoboard, en este se puede observar la forma en la que se conectara los botones, como se puede ver estos se encuentran conectados en forma de pull down con una resistencia de  $1k\Omega$  cada uno, con una alimentación de 5V, y en la salida de esta conexión vemos que uno va al pin 17 y el otro al 18 del PIC que se configuran como entradas. Posteriormente en el pin 9 el cual es el que nos permite generar una señal PWM, se conecta al pin 3 del driver, además también se puede observar que la alimentación de 20V va a los pines 1 y 4, siendo el primero el positivo y el segundo el negativo, mientras que entre el pin 1 y el 8 se conecta un diodo 1N4148, por último, se tiene un capacitor cerámico de  $1\mu$ , cabe aclarar que la alimentación de este circuito se llevara a cabo mediante la fuente que también se desarrolla en este proyecto.

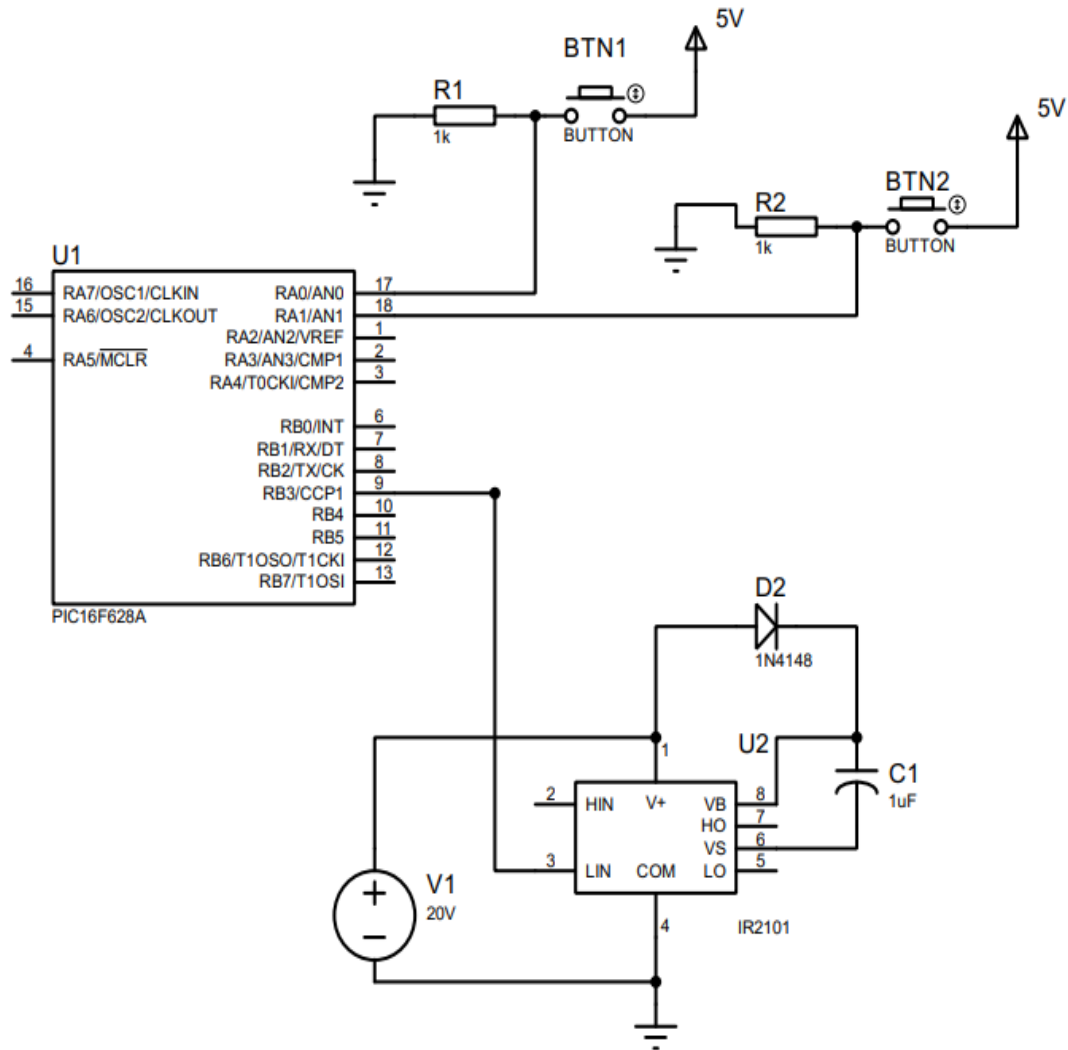


Figura 79, Diagrama del circuito de accionamiento.

Con esto ya se tendría los diagramas para poder realizar la construcción del prototipo de la fuente de alimentación y control de accionamiento que funcionaran en conjunto.

## 2.7 Realización del programa y simulación del circuito de accionamiento

Antes de llevar a cabo la construcción del circuito de accionamiento de forma física se realizarán algunas simulaciones para poder comprobar que todo funcione en orden, con esto tendremos una mayor probabilidad de que el circuito no falle cuando se construya de forma física.

Como primer paso se realizó la siguiente programación la cual permite realizar una prueba de la salida PWM que posee el microcontrolador, en este caso la señal es de 5v con un ciclo de trabajo del 50% y una frecuencia de 20kHz que es a la que usualmente trabajan las estufas de inducción.

```
#include <16F628A.h>

#fuses intrc_io, nowdt, noprotect, nobrownout

#use delay(internal= 4M)

Int16 CCPR1L = 100;

Int Frec, Poscaler;

void main()
{
    while(TRUE)
    {
        frec=49;

        Setup_timer_2(t2_div_by_1,frec,1);

        Setup_ccp1(ccp_pwm);

        Poscaler=1;

        set_pwm1_duty(CCPR1L);
    }
}
```

Una vez terminado el código este se guarda, para que posteriormente en el programa de simulación se coloque el microcontrolador y un osciloscopio conectado a la salida PWM como se muestra en la figura 80.

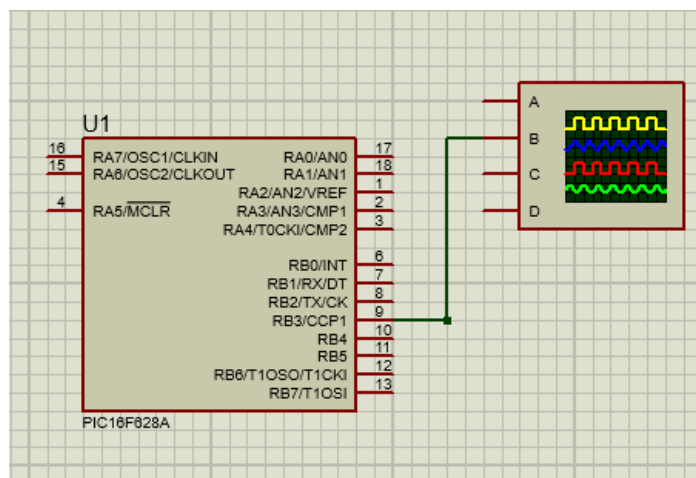


Figura 80, PIC16F628A y osciloscopio en simulación.

Al terminar de conectar buscamos el archivo hexadecimal donde se haya guardado previamente y se lo cargamos al microcontrolador en el simulador, para posteriormente correr la simulación y comprobar que esté funcionando de forma adecuada, como en esta primera prueba la frecuencia de la señal es de 20kHz entonces el periodo tiene que ser de 50µs, al realizar la medida del periodo como se muestra en la figura 81 se puede apreciar que la frecuencia de la señal es correcta.

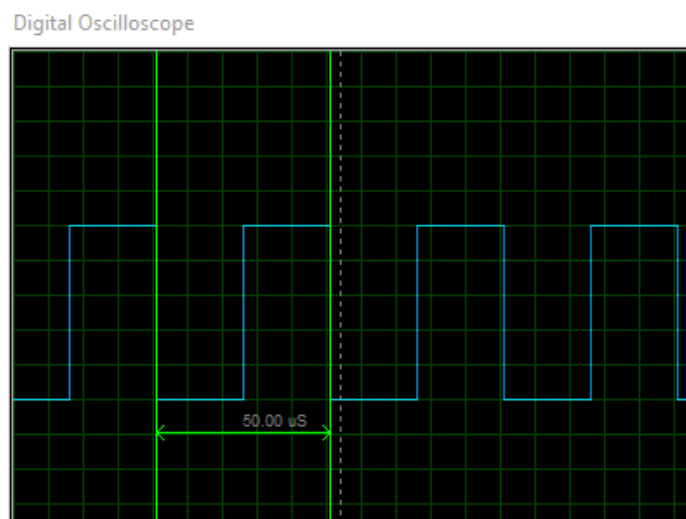


Figura 81, Señal PWM en prueba de simulación.

Una vez que se realizó esta primera prueba ya se puede pasar a realizar el programa final, para esto se usa como base el anterior, solo que como principal diferencia este programa se

agregaran dos botones, uno para realizar la activación de la señal y el otro para desactivarla, teniendo en cuenta la programación quedo de la siguiente manera:

```
#include <16F628A.h>

#fuses intrc_io, nowdt, noprotect, nobrownout, nomclr

#use delay(internal= 4M)

#byte puertoA = 0x05

Int16 CCPR1L = 100;

Int Frec, Poscaler;


short boton1;

short boton2;

void main()

{

set_tris_a(0xFF);

frec=49;

Setup_timer_2(t2_div_by_1,frec,1);

Setup_ccp1(ccp_pwm);

Poscaler=1;

set_pwm1_duty(0);


while(TRUE)

{

boton1=bit_test(puertoA, 0);

boton2=bit_test(puertoA, 1);

if(boton1==1)

set_pwm1_duty(CCPR1L);

if(boton2==1)

set_pwm1_duty(0);
```

}

}

Posteriormente se guarda el programa se agregan los botones conectados en pull down como se observa en la figura 82, en este caso se colocaron resistencia de 10k pero lo más recomendable es que sean de 1k, con esto ya se podría desactivar y activar la salida con los botones agregados.

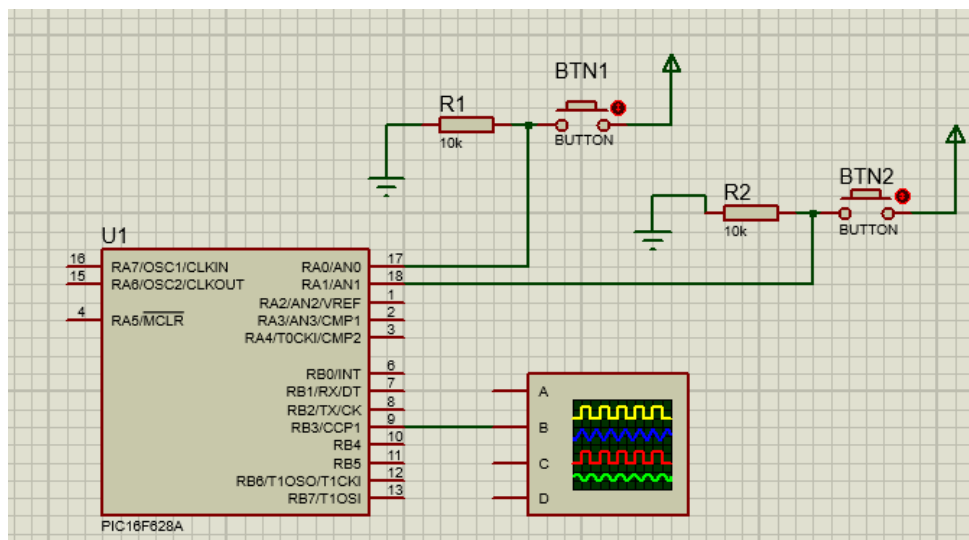


Figura 82, Simulación con botones.

Al comenzar a correr esta segunda simulación se inicia teniendo el PWM apagado, al presionar el botón uno el PWM se activará y al presionar el botón dos el PWM se desactivará, esto se puede observar de forma gráfica en la figura 83.

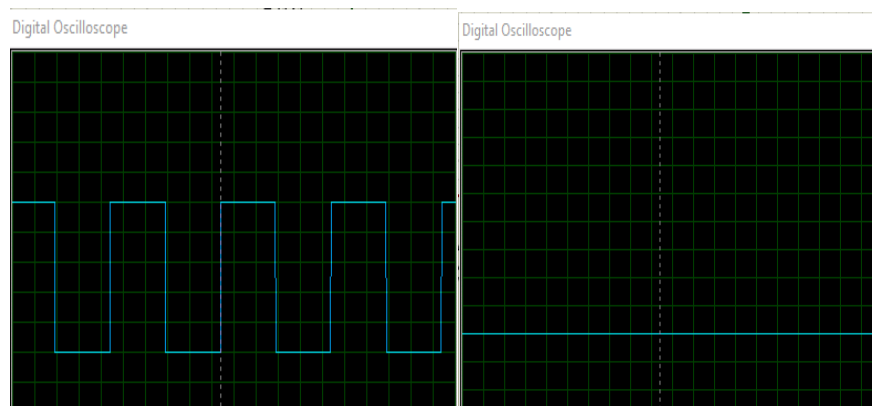


Figura 83, Señal PWM activada y desactivada con botones.

Ahora que se verifico que la señal PWM, en la simulación agregamos el driver MOSFET IR2101 que sería el encargado de recibir la señal del microcontrolador y mandarla al IGBT, pero con un nivel de voltaje más alta ya que estos dispositivos utilizan 20 volts para conmutar, este voltaje va a ser suministrado por la fuente conmutada además de que esta también alimentaría el resto de los componentes, este diagrama lo podemos observar en la figura 84, en este caso se cambiaron las resistencia por unas de 1K, con este circuito ya se tendría completo el control de accionamiento que como se puede entender con todo lo anterior explicado solo encarga de activar o desactivar el PWM.

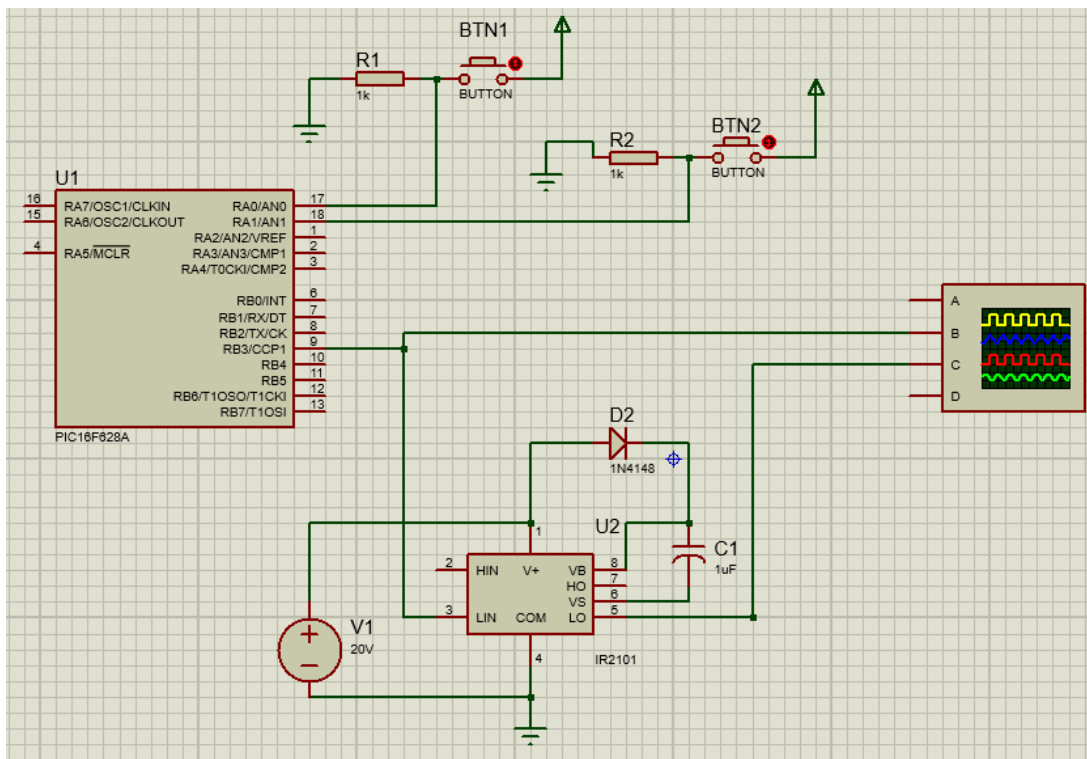


Figura 84, Diagrama de accionamiento en el software de simulación.

## 2.8 Construcción de la fuente de alimentación

Para la construcción física del prototipo de la fuente de alimentación se realizó por partes siguiendo el diagrama que se realizó anteriormente, en la figura 85 podemos observar la primera parte de la fuente, en la cual se tiene los 4 diodos 1N4007 conectados en forma de puente completo para la rectificación de la corriente alterna la entrada, que debido a la región

esta será de 110, además que se colocó la bornera de dos pines para poder conectar una clavija y de esta forma conectar la fuente con mayor facilidad, además de que antes del puente de diodos se tiene el fusible dentro del porta fusibles, seguido del puente de diodos se tiene el capacitor de filtró de entrada.

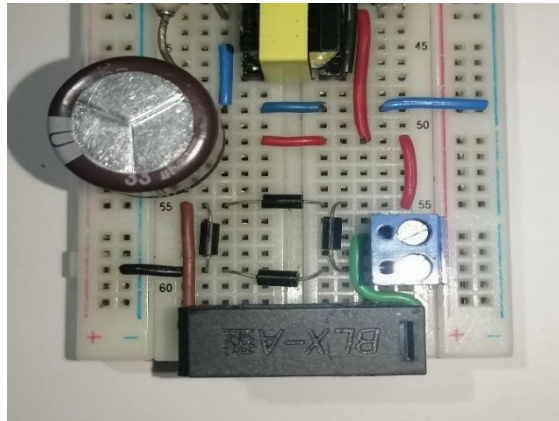


Figura 85, Montaje de la etapa 1 de la fuente.

Posteriormente se montó el transformador de alta frecuencia en la placa de pruebas, además del controlador DK124 y el optoacoplador, se montaron en este orden debido a que hace que las conexiones sean más sencillas. Una vez que ya se montaron estos componentes, se realizaron las conexiones junto con los demás elementos como lo son los diodos de acción rápida, el capacitor de poliéster, también el diodo Zener que va con el optoacoplador, y los demás capacitores que ocupan el DK124, en este caso un cerámico y un electrolítico cuyos valores se especifican en el diagrama, con esto ya se tendría la segunda parte de la fuente de alimentación como se muestra a continuación en la figura 86.

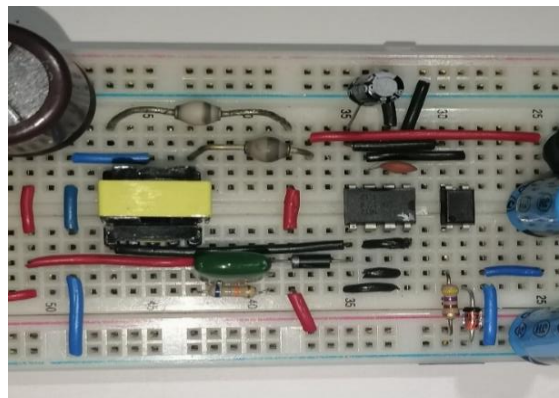


Figura 86, Montaje de la etapa 2 de la fuente.

Para continuar con el montaje de la fuente, se colocaron los filtros necesarios, que en este caso están conformados por capacitores electrolíticos e inductores en forma de I, estos al igual que los componentes anteriores se colocaron de tal forma que no ocupen demasiado espacio dentro de la placa de pruebas sin verse desordenado, como se puede apreciar en la figura 87, esto ayuda principalmente a poder observar de una mejor manera las conexiones e incluso puede ayudar a detectar errores en dichas conexiones. Hasta este punto ya se tiene la mayor parte de la fuente de alimentación montada.

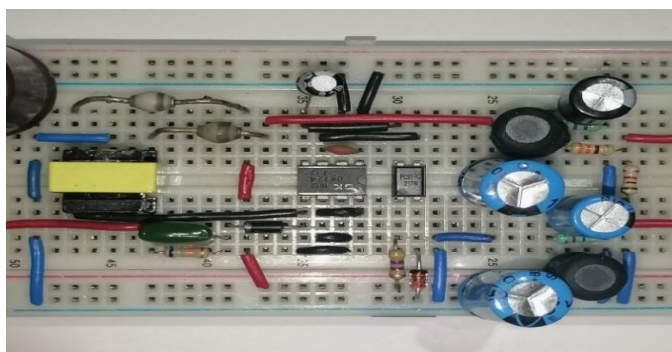


Figura 87, Montaje de la etapa 3.

Por último, se colocó el divisor de voltaje para obtener los 20V que se necesitan, el otro componente que se monto fue el regulador de voltaje de 5v con sus respectivos capacitores además de led que indica que la fuente esto en funcionamiento, ya teniendo esto al final se monta las dos borneras de dos pines cada una, en estas se encontraran los tres niveles de voltaje que necesitamos, que serían los 20V, los 12V y los 2V, además del GND, todo esto se puede observar a continuación en la figura 88.

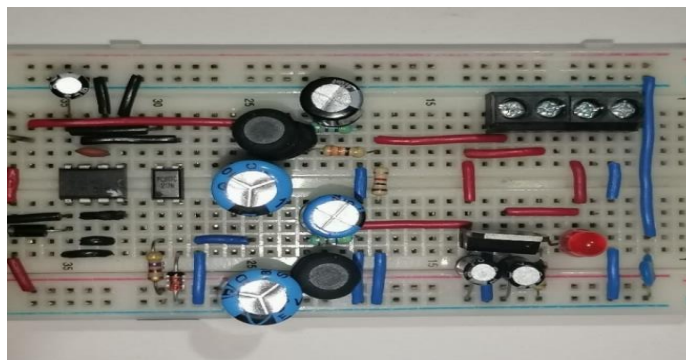


Figura 88, Montaje de la etapa 4 de la fuente.

## 2.9 Construcción del control de accionamiento

Una vez que se terminó el montaje de la fuente de alimentación en la placa de pruebas se tiene que construir el control de accionamiento. Para comenzar primero se tiene que cargar el programa en el PIC16F628A, en este caso se usó un PICKkit 3, de forma que se tienen que realizar las conexiones que se muestran en la figura 89 para poder programar el PIC con el código realizado previamente.

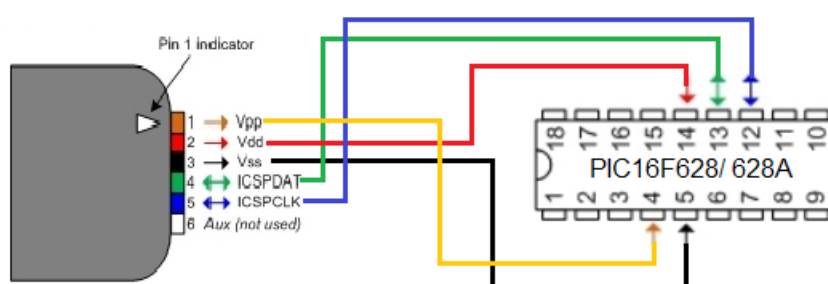


Figura 89, Diagrama de conexiones del PICKkit 3 con el PIC16F628A.

Nota: Recuperado de [20].

En la figura 90 que se puede ver a continuación se tienen el pic ya conectado como se indica en la imagen anterior, que para poder llevar a cabo la conexión entre ambos dispositivos se usaron jumpers y una protoboard para que sea más sencillo de realizar las conexiones necesarias.

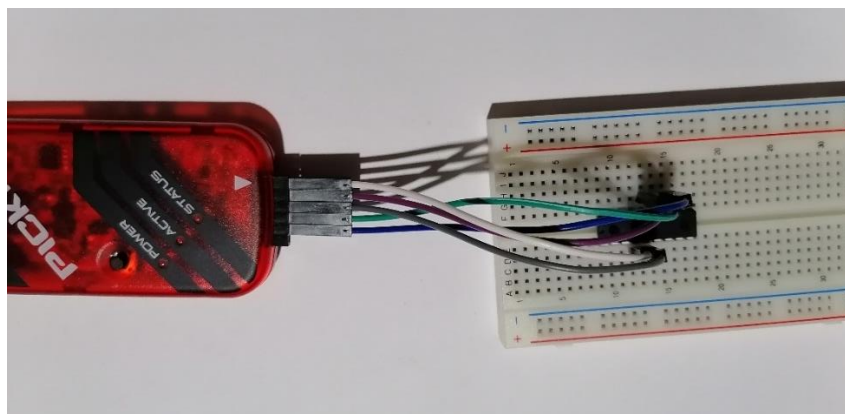


Figura 90, Conexiones del PICKkit 3 al PIC en protoboard.

Una vez que se ya tiene conectado entramos al programa de PICKit 3 para cargar el programa, en el cual si las conexiones se realizaron la forma correcta mostrara el nombre del PIC que se está utilizando como se ve en la figura 91, de lo contrario este no mostrara nada y no dejara cargar el programa del código.

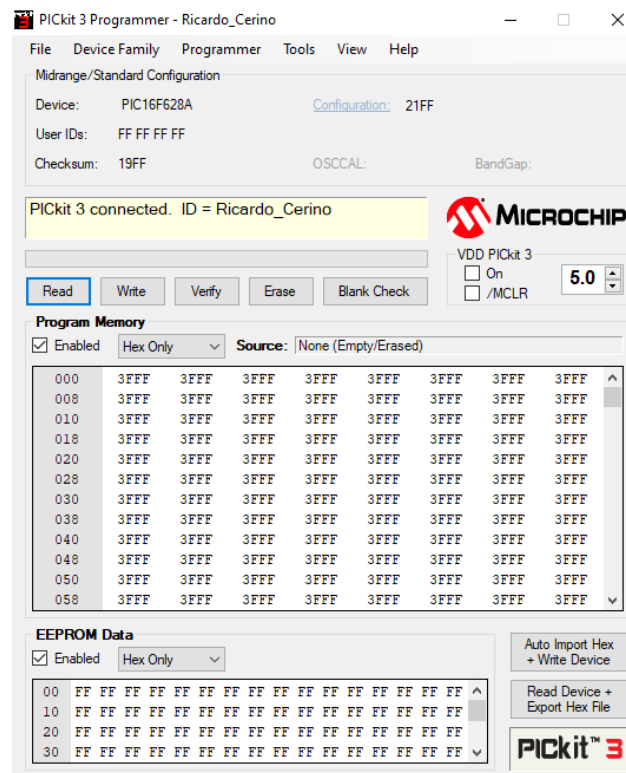


Figura 91, Interfaz del programa PICKit 3.

Ahora dentro del programador se despliega el apartado llamado \*File\* y dentro de este se selecciona \*Import Hex\*, como se observa en la figura 92, que como su nombre lo dice, permite importar el archivo hexadecimal del código realizado.

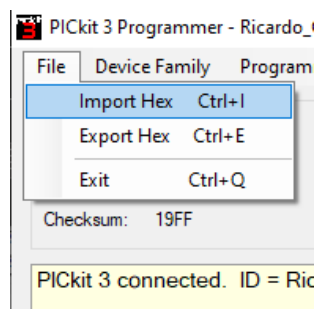


Figura 92, Importar hexadecimal.

Después se busca el hexadecimal en los archivos de la computadora donde se guardó como se muestra en el ejemplo de la figura 93 y una vez encontrado se da clic en abrir.

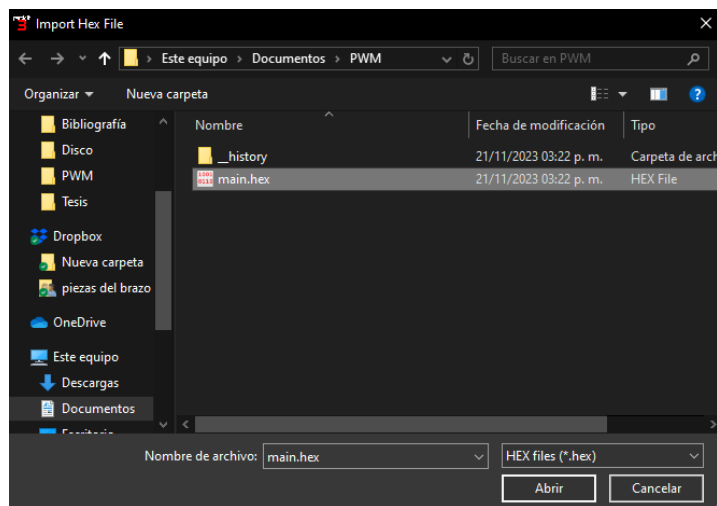


Figura 93, Archivo hexadecimal.

Ya que se seleccionó el archivo se da clic en \*Write\* como se observa en la figura 94 para cargar el archivo.

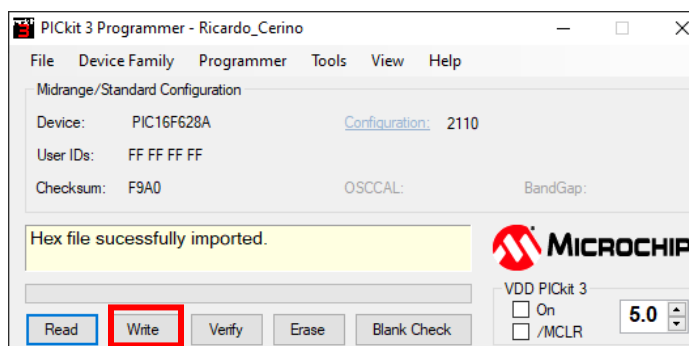


Figura 94, Cargar archivo al PIC.

Una vez termine el proceso de cargar aparecerá un mensaje de que se programó satisfactoriamente como se ve en la figura 95 que se muestra a continuación.

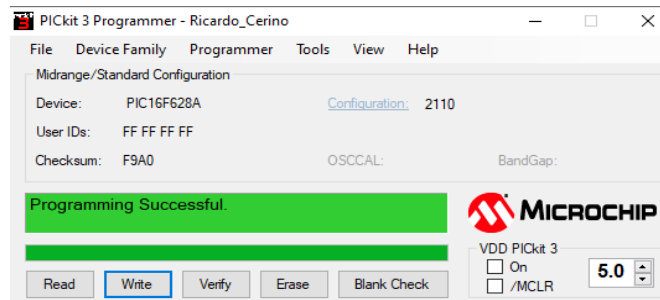


Figura 95, Mensaje de carga satisfactoria.

Una vez que termino con la programación se pasa al armado del circuito en la protoboard. Como se observa en la figura 96 primero se armó la parte de microcontrolador con los botones, en este caso se siguió el diagrama que se mostró en el apartado donde este se llevó a cabo, en la imagen también se puede apreciar que se realizó la conexión con la fuente por medio de las borneras, para esta parte del circuito se utilizan los 5V para alimentar el PIC, en el cual el positivo se conecta la pin 14 y el negativo al pin 5, los botones al igual que en el diagrama se conectaron en forma pull down y se realizó una pruebas con resistencias de 10k pero al final se cambiaron resistencia de 1k, se puede apreciar que los cables con los que se realizaron las conexiones están hechos a la medida para obtener un circuito más ordenado más ordenado.

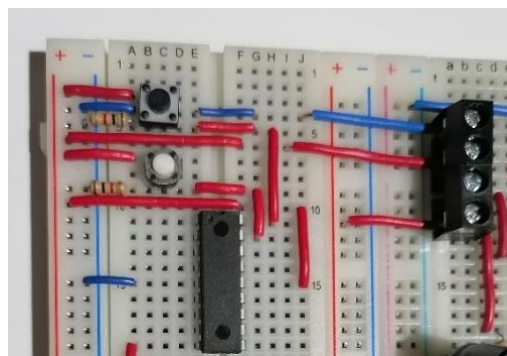


Figura 96, Conexión de fuente y botones con el PIC.

La segunda parte del circuito es la conexión del PIC con el driver MOSFET, este parte del circuito la podemos observar en la figura 97, como se puede dar uno cuenta este circuito no representa una gran dificultad para llevarlo a cabo sin embargo se debe tener cuidado ya que este se alimentara con 20V, este circuito al igual que la otra parte se realizó siguiendo el

diagrama que se hizo sobre este mismo, como se puede ver el pin 9 del PIC es el que genera la señal PWM, este ira conectado a al pin 3 del driver para que con esto se pueda obtener una señal PWM con la misma frecuencia y ciclo de trabajo solo que ahora con 20V en lugar de 5V.

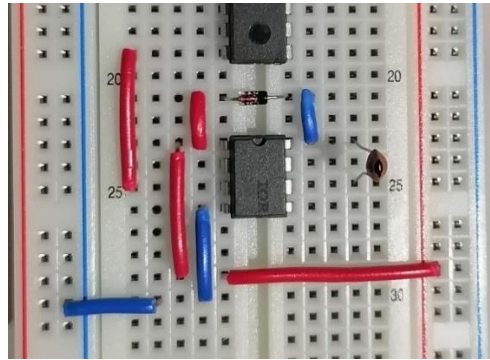


Figura 97, Conexión del driver MOSFET con el PIC.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Primera versión del circuito

En la figura 98 que se muestra a continuación, se puede observar la fuente de alimentación conmutada; en esta tenemos un voltaje de 12V que servirán principalmente para que accione un ventilador. Ha esta salida de voltaje se colocó un regulador, que a su salida proporciona 5V, que principalmente servirán para alimentar el microcontrolador. Se realizaron los filtros para la otra parte de la bobina del devanado central, que tiene el trasformador, como salida nos da un voltaje de 26V, pero solo se necesitan 20V, por lo que se colocó un divisor de voltaje para poder obtener el voltaje deseado.

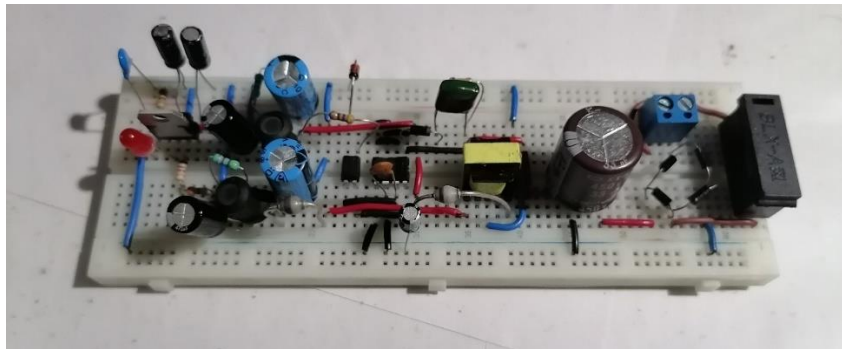


Figura 98, Fuente conmutada con 3 salidas de voltaje fijo.

En la figura 99 se observa que se conectó un led a la salida que nos da 13v, para poder hacer esto sin que el led se quemase se colocó una resistencia de 10 k $\Omega$  y al conectar la fuente a la red eléctrica podemos comprobar que el led enciende.

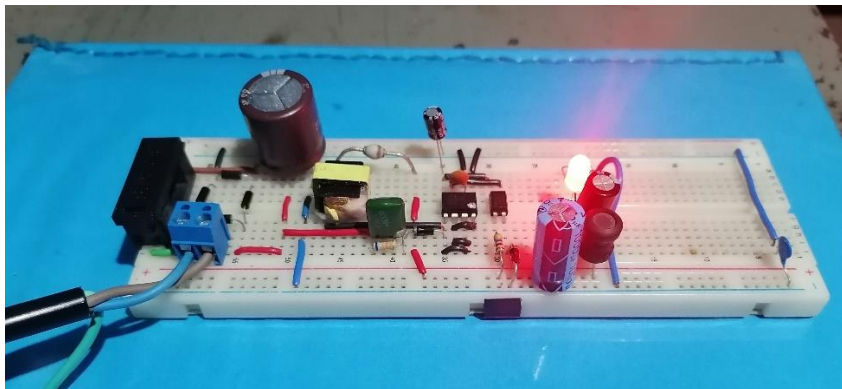


Figura 99, Fuente conmutada prueba con led.

Posteriormente retiramos el led y se colocó un regulador de voltaje que dé como salida 5V esto debido a que se necesita alimentar un microcontrolador, y al medir la salida de este regulador podemos comprobar que, si se obtienen los 5V, aunque se tiene una ligera variación en la medición y nos da 4.98V como se puede apreciar en la figura 100.

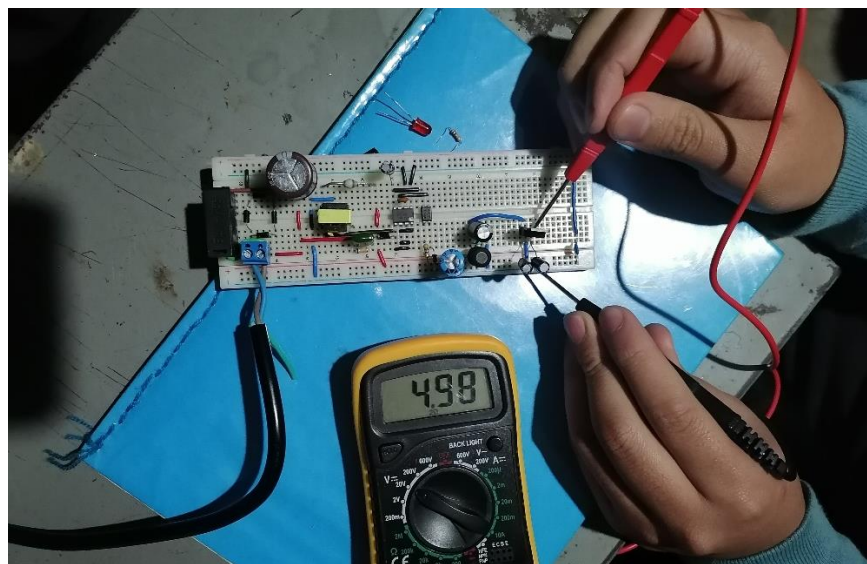


Figura 100, Fuente conmutada medición de regulador.

Y al igual que en la primera prueba se coloca un led en la salida de 5 volts del regulador, para esto se le colocó una resistencia de  $220\Omega$  y al conectar la fuente se pudo observar que el led se enciende como se ve en la figura 101.

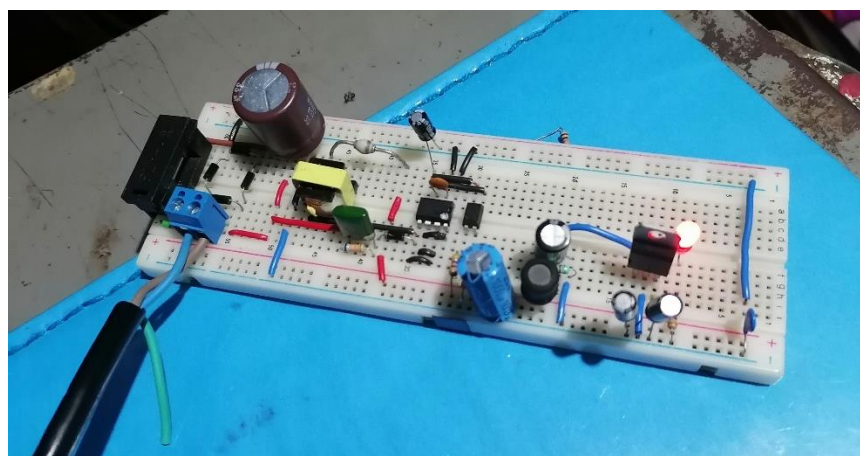


Figura 101, Conexión de led con regulador.

### 3.2 Versión final del circuito

A continuación, en la figura 102 se muestra el circuito de la fuente conmutada armado de una forma más ordenada, gracias a esto se pudo aprovechar el espacio de la placa de pruebas y de esta forma se pudo agregar borneras para que sea más fácil realizar pruebas de funcionamiento.

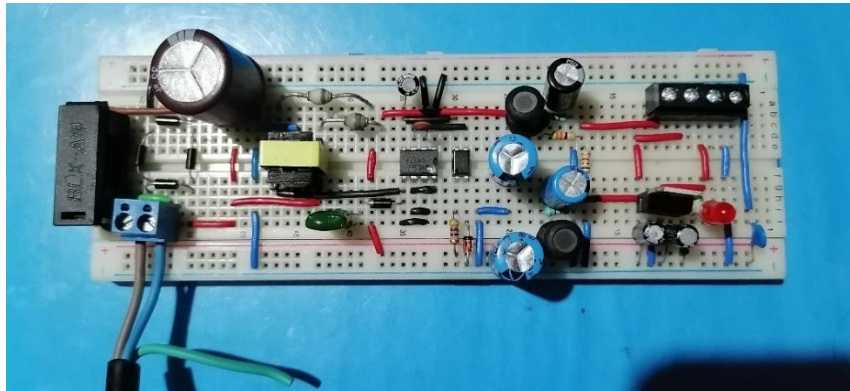


Figura 102, Fuente conmutada final.

Una vez que ya se tienen la fuente completa volvemos a hacer la prueba con la salida de 5V, en esta prueba se pudo ver que el led indicador que se colocó prendió sin ningún problema y en la bornera nos dio un voltaje de 4.98 volts, el cual es muy similar al que se midió anteriormente el cual es entregado por el regulador L7805, esto se puede ver en la figura 103.

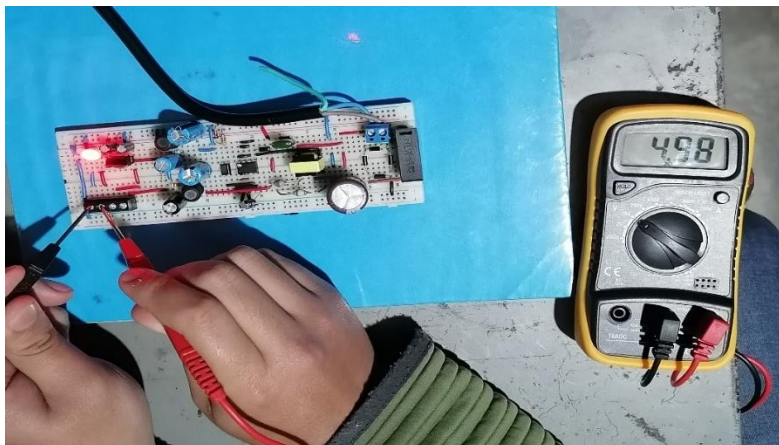


Figura 103, Medición de la salida de 5V.

Después se realizó la medición del segundo voltaje que tenemos el cual es de 12.98V, como se observa en la figura 104, este voltaje es que tenemos a la salida del transformador después de pasar por los filtros que se tienen y es el voltaje que entra al regulador de voltaje L7805 para que posteriormente este entregue 5V. El voltaje que tenemos de 12.98V está destinado principalmente al accionamiento de un ventilador que en una estufa de inducción es de mucha importancia ya que los componentes electrónicos de potencia encargados de llevar a cabo el calentamiento del recipiente tienden a calentarse debido a la alta potencia de salida.

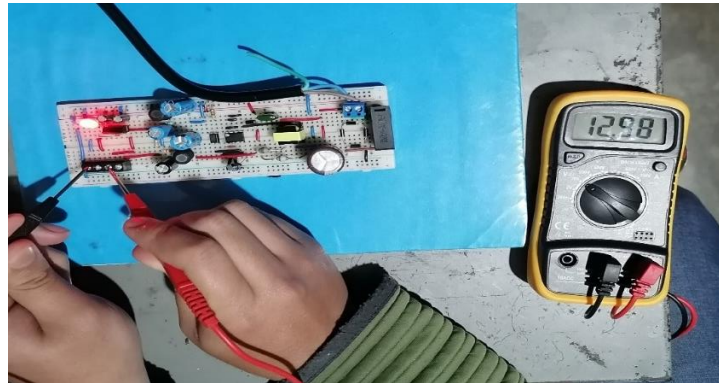


Figura 104, Medición de la salida de 12V.

Además de los dos niveles de voltaje anteriores tenemos el tercer y último nivel el cual es de 19.09V según la lectura del multímetro que se puede apreciar en la figura 105, este se obtiene mediante el uso de un divisor de voltaje ya que a la salida del transformador y sus respectivos filtros se tiene un voltaje de 26 volts y al implementar el divisor se consiguió el voltaje ya antes mencionado, este voltaje en una estufa de inducción se usa para hacer conmutar el IGBT, ya que generalmente los que se usan necesitan de este nivel de voltaje.

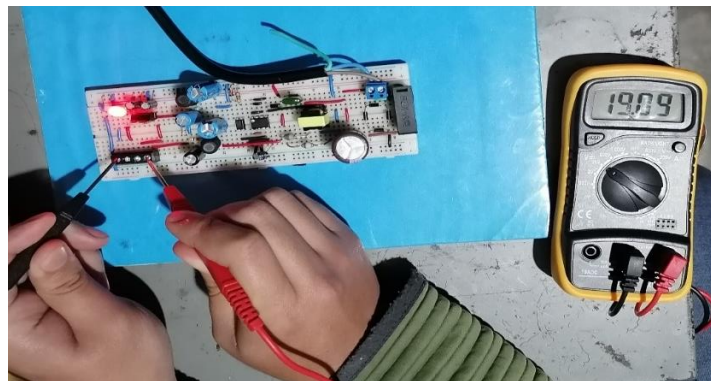


Figura 105, Medición de la salida de 20V.

En la siguiente tabla se registraron los niveles de voltaje que se obtenidos a la salida del transformador según los elementos electrónicos utilizados como los capacitores, resistencias, inductores, diodos y también tomando en cuenta la frecuencia proporcionada por el controlador la cual se encuentra especificada en la hoja de datos del componente.

Tabla 4. Voltajes de salida según los componentes.

| Salidas del transformador de derivación central | Frecuencia proporcionada por el controlador DK124 | Diodo de recuperación rápida en la salida | Capacitores en el filtro de salida | Inductores en el filtro de salida | Resistencia en el filtro de salida | Voltaje de salida |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1                                               | 69 kHz                                            | BY228                                     | 100uF/25V<br>470uF/25V             | 10uH                              | 4.7K/0.25W                         | 12.98V            |
| 2                                               | 69 kHz                                            | BY228                                     | 100uF/25V<br>470uF/25V             | 10uH                              | 4.7K/0.25W                         | 26V               |

Ahora a continuación en la figura 106 tenemos una gráfica del de los voltajes de salida del transformador en el que se puede ver que uno es mayor que el otro estos debido a que una salida del transformador está hecha para proporcionar más voltaje que la otra.

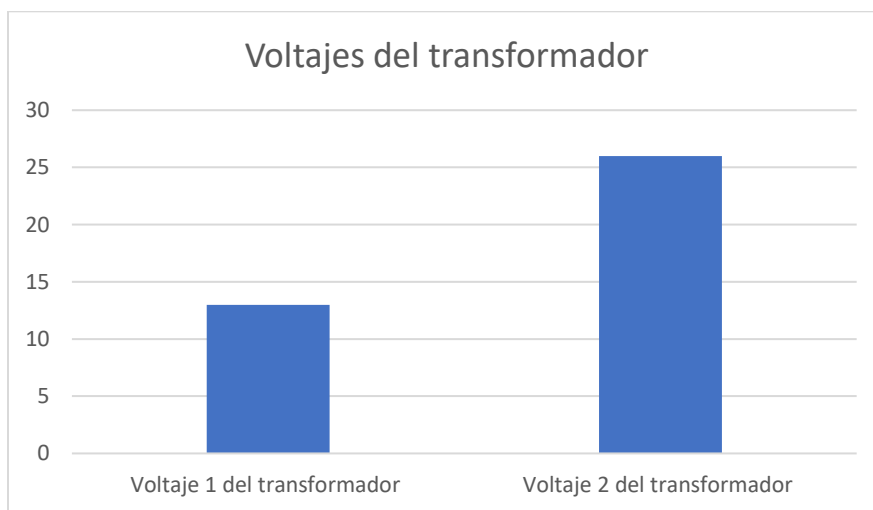


Figura 106, Grafica de voltajes.

Para la realización de pruebas se utilizó un motor a 12V, para simular el ventilador que usan las estufas de inducción, esto se puede ver a continuación en la figura 107, en este caso al conectarlo pudimos comprobar que la fuente tiene un buen funcionamiento respecto a la prueba realizada ya que esta no presentaba sobrecalentamientos o alguna otra falla que hiciera que el motor no funcione de la forma adecuada.

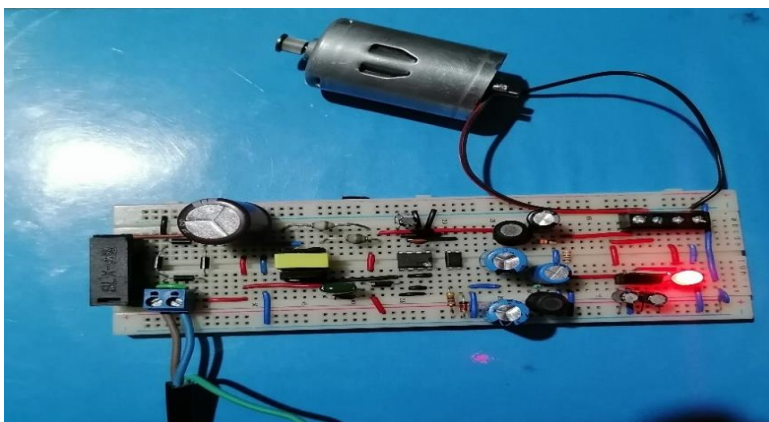


Figura 107, Prueba con motor.

### 3.3 Prueba de encendido y apagado de la salida PWM del PIC

La siguiente prueba que se realizara es la del circuito que genera la señal PWM el cual se puede ver a continuación y que a su vez este se encuentra alimentado por la fuente conmutada en salida de 5V, en este caso se colocó un led en el pin donde se genera dicha señal para poder observar la señal como se observa en la figura 108.

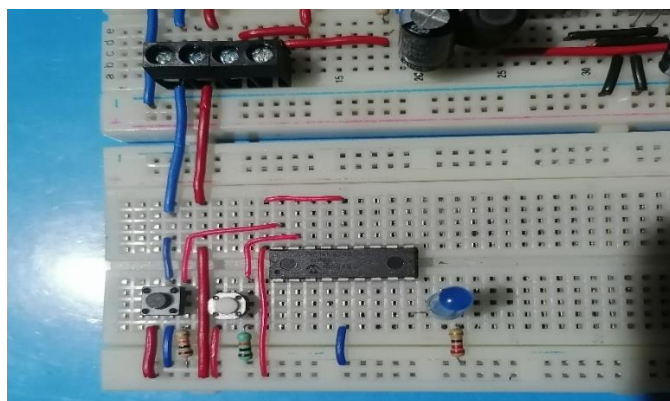


Figura 108, Circuito de control de accionamiento.

Cuando se conecta la fuente el circuito inicialmente se encuentra apagado, lo que quiere decir que no tenemos ninguna señal de salida, esto se mantiene hasta que se presiona el botón color blanco el cual hace que se active la señal y en consecuencia se encienda el led, en este caso debido a que la frecuencia es de 20kHz se ve como si hubiera un voltaje constante, esto se muestra a continuación en la figura 109.

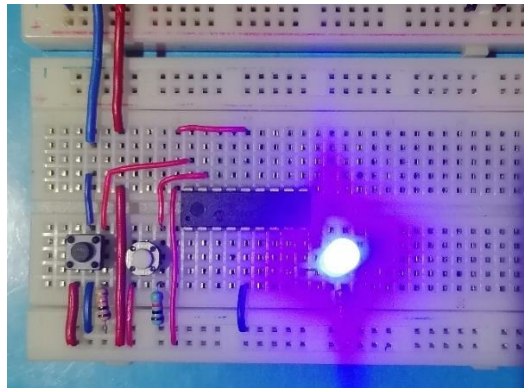


Figura 109, Encendido de salida PWM del PIC.

El led que se encendió permanecerá así hasta que presionemos el segundo botón en color negro el cual desactivará la señal PWM y por consecuencia el led también se apagará como se puede apreciar en la figura 110.

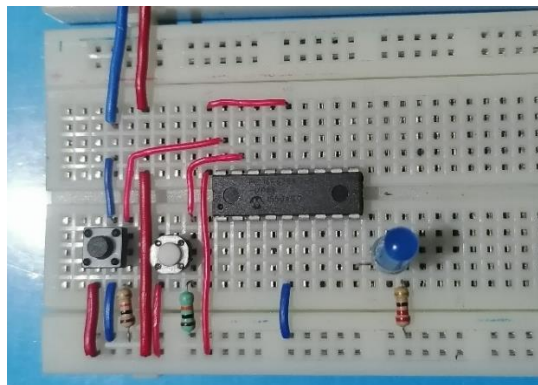


Figura 110, Apagado de salida PWM del PIC.

### 3.4 Simulación final del control de accionamiento

En la figura 111, se puede ver como corremos la simulación que se realizó donde el microcontrolador manda la señal a él driver MOSFET y este genera una señal PWM, con un

nivel de voltaje más alto que como ya se ha mencionado con anterioridad serviría para hacer conmutar el IGBT

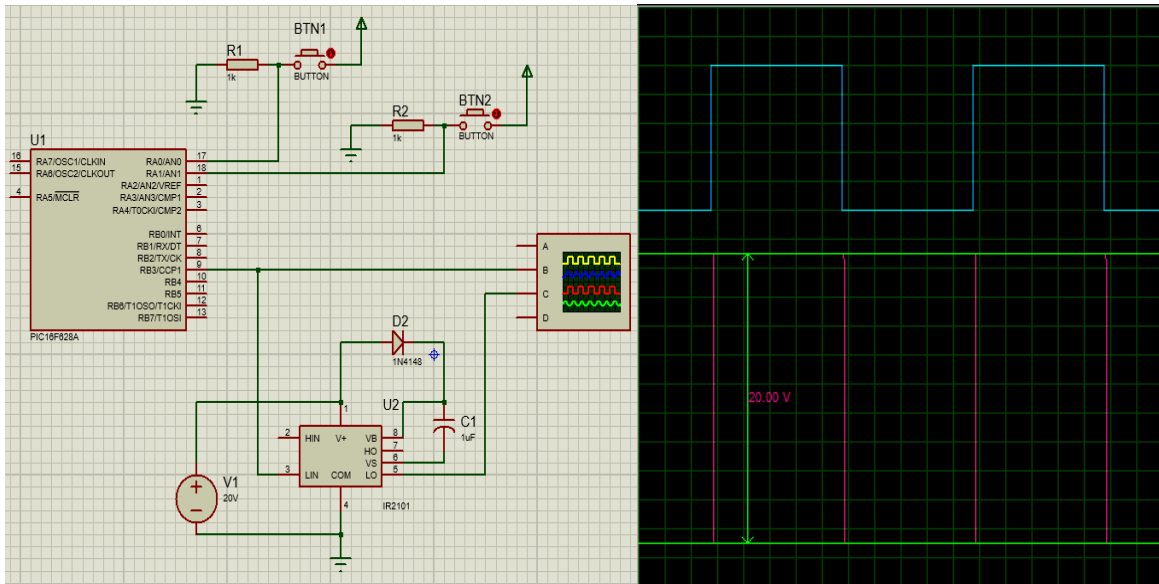


Figura 111, Simulación de salida PWM con driver MOSTFET.

### 3.5 Circuito del control de accionamiento del PWM con driver MOSFET

Una vez que se comprobó mediante la simulación que el circuito funciona, se procedió a construirlo en la protoboard, como se ve en la figura 112, se tiene este circuito completamente montado y conectado a la fuente de alimentación en donde ya se hace uso de la salida de 20V, en este caso se mejoraron las conexiones realizadas anteriormente para tener un mejor orden en el circuito.

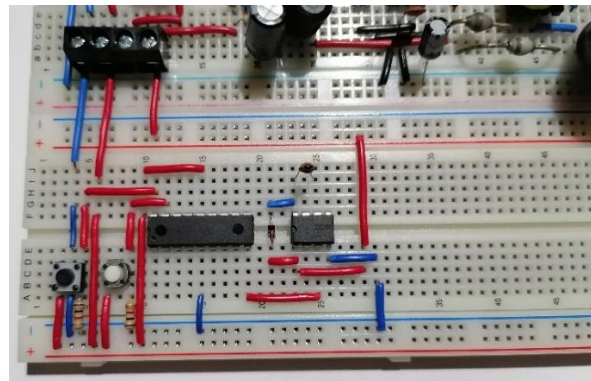


Figura 112, Circuito de accionamiento con driver MOSFET.

En la figura 113 se observa la realización de una prueba de funcionamiento con un led similar a la que ya se había realizado con anterioridad solo que esta es usando el driver MOSFET, como en este caso la señal PWM que se obtiene es de 20V se hace uso dos resistencias en serie para evitar que el led se queme y como se puede ver en este caso el circuito funciona correctamente ya que el led muestra que la señal se encuentra activa después de que el botón blanco es presionado y se desactiva después de presionar el botón negro, de forma que se está cumpliendo la función del circuito.

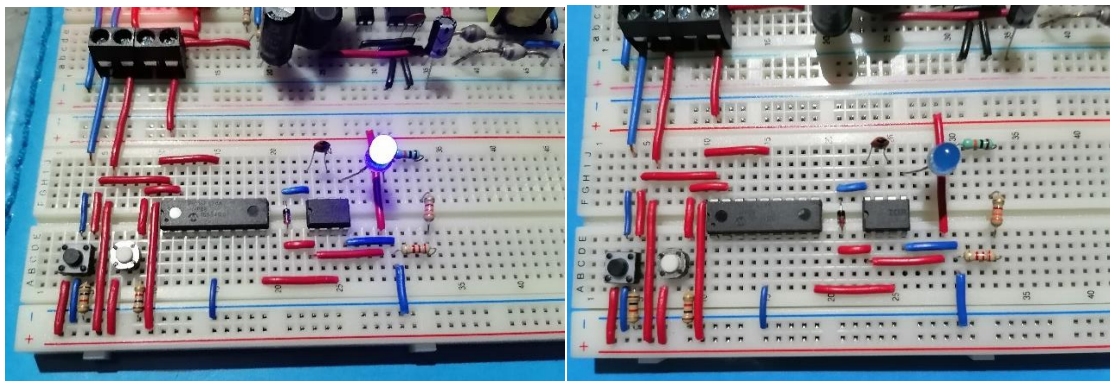


Figura 113, Encendido y apagado de la señal PWM.

Una vez realizada la prueba con el led se procede a realizar la medición con el osciloscopio, ya que con este se podrá observar de una mejor manera las señales que se están obteniendo del circuito. Primero se conectó el osciloscopio al pin 9 del PIC que es el que proporciona la señal PWM de 5V con un ciclo de trabajo del 50%, de forma que se obtiene la gráfica mostrada en la figura 114, en esta podemos ver la señal cuadrada que se obtiene del microcontrolador la cual es de 0 a 5V.

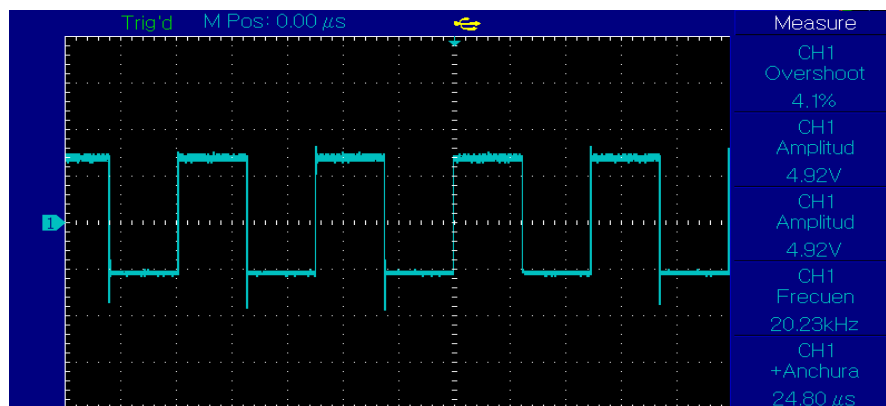


Figura 114, Grafica de la señal PWM del PIC.

Después de comprobar que se está obteniendo la señal PWM del PIC se procede a conectar el osciloscopio a la salida del driver MOSFET y se obtiene la gráfica mostrada en la figura 115, en esta se observa una señal PWM muy similar a la anterior, solo que esta va de 0 a 20V que es el voltaje con el que está siendo alimentado el driver solo que se para ser más precisos el voltaje es de 19.3V.

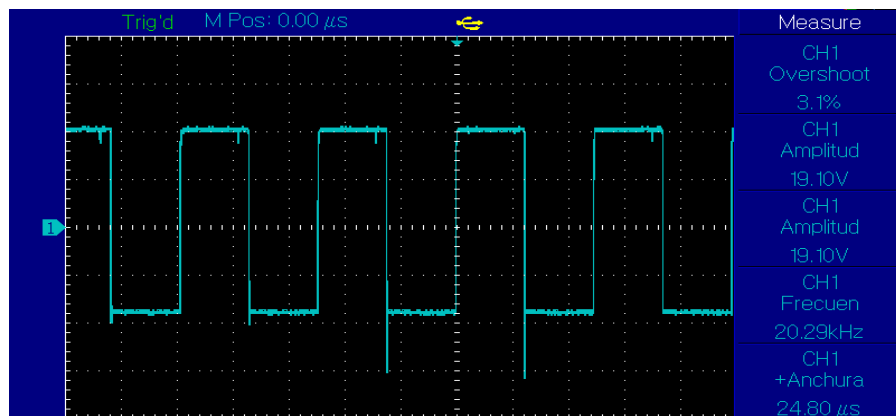


Figura 115, Grafica de la señal PWM del driver MOSFET.

### 3.6 Prueba con diferentes elementos conectados a la fuente simultáneamente

Como última prueba que se realizó para la fuente de alimentación fue conectar el circuito de accionamiento que genera el pulso PWM y un ventilador de 12V como los que se utilizan en las estufas de inducción de forma simultánea, como se pudo apreciar en la figura 116, de esta forma la fuente también demostró un buen funcionamiento al tener más cosas conectadas ya que según las especificaciones debería ser capaz de producir 2A lo cual es suficiente para la aplicación que se le daría.

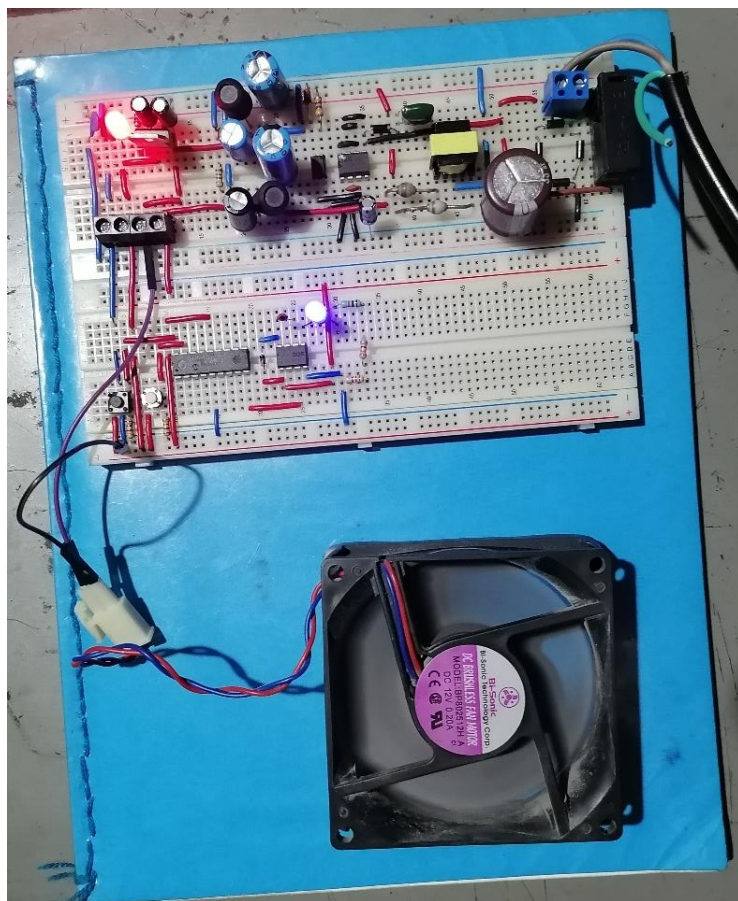


Figura 116, Alimentación simultanea de componentes.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró llevar a cabo la construcción de la fuente de alimentación para la estufa de inducción electromagnética ya que se pudieron obtener todos los voltajes necesarios, que son de 5V, 12V y 20V para que funcione una estufa de inducción y se pusieron a prueba, además el control de accionamiento que es el encargado de generar la señal PWM también se pudo realizar y se visualizó su funcionamiento mediante un led, en cuanto al costo de fabricación no se abundó mucho ya que resulta muy caro llevar a cabo estos proyectos a diferencia de los lugares donde se fabrican las placas de circuitos para las estufas de inducción, aunque todavía se pueden buscar más formas de mejorar y tratar de hacer el proyecto más competitivo, además esta fuente se puede seguir ocupando para la realización de pruebas en el caso de que se busque desarrollar una etapa de potencia.

Al realizar el análisis de los componentes que hay en una estufa de inducción electromagnética y al querer realizar una simulación en algún software, resultó que esto no era posible ya que el controlador que utilizan las fuentes no están presentes en este ya sea el DK124 utilizado en el proyecto o el CSC222 que es el que se encuentra en las placas comerciales que se adquirieron para el análisis, debido a esto se optó por usar los componentes electrónicos y el diagrama que están presentes en la hoja de datos del controlador con algunas variaciones como la de realizar el filtro para ambos devanados que hay en un transformador de altas frecuencias de las estufas de inducción ya que este cuenta con una derivación central, esto con el fin de evitar imprevistos debido a la imposibilidad de simular el funcionamiento, que al final resultó salir bien ya que pudimos obtener los niveles de voltaje necesarios y las complicaciones que se tuvieron fueron debido a que el transformador tuvo una rotura en uno de sus pines y al repararlo y soldarlo se retiró un poco del aislante que tiene y presentó sobrecalentamientos de forma que se decidió cambiar el transformador, con esto se aprendió que se debe tener cuidado al manipular estos componentes ya que resultan complicados de adquirir.

En cuanto al control que activa un PWM en el microcontrolador, no se tuvo muchos percances, ya que este sí se puede simular de forma que se asegura más el funcionamiento al querer construir el circuito de forma física, en este caso se utilizó el controlador MOSFET

IR2101 en la simulación con el que se comprobó que la entrada y la salida en estado bajo son las que funcionan de una mejor manera.

Con respecto a las experiencias adquiridas como ya se mencionó anteriormente se aprendió a que los componentes electrónicos se deben manipular con cuidado debido a que estos se pueden llegar a romper y más si en el caso de algún componente que sea difícil de reemplazar.

Otra experiencia que se adquirió es que es importante respetar las indicaciones de uso que vienen en las hojas de datos de los componentes, ya que esto puede determinar que el circuito pueda funcionar o no, como lo es en el caso de la fuente conmutada.

Además de lo anteriormente mencionado una de las cosas más importantes en que se deben realizar es seleccionar cuidadosamente los componentes que se van a utilizar, ya que en algunos casos puede ser difícil conseguir reemplazos, aunque en este proyecto no se complicó mucho en esa situación es algo que se debe tener en cuenta.

Una de las experiencias que se adquirieron en la realización de este proyecto es que para el desarrollo del prototipo del circuito el uso de una protoboard es de mucha utilidad ya que nos permite hacer reemplazos o modificaciones en el circuito de una forma más rápida, para esto se debe tener una protoboard de buena calidad para evitar tener problemas y en el caso de una implementación a un producto lo ideal sería diseñar el circuito impreso para el montaje de los componentes.

Algo que también es importante mencionar es que con la realización de este proyecto también se pudieron desarrollar algunas habilidades blandas que son: capacidad de escuchar opiniones y consejos, el manejo del estrés en situaciones complicadas durante el desarrollo del proyecto, la flexibilidad de adaptación a los cambios que se puedan presentar, la toma de decisiones, la gestión de tiempo para poder llevar a cabo las actividades, otra es la de tener iniciativa y proponer diferentes ideas para la búsqueda de soluciones.

## REFERENCIAS

- [1] astor, «Parrillas de inducción - Consumo Eléctrico: astor,» 7 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.astor.mx/post/parrillas-de-inducci%C3%B3n-consumo-el%C3%A9ctrico>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].
- [2] Gourmet de México, «Ventajas y desventajas de usar estufas de inducción para cocinar: Gourmet de México,» 17 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://gourmetdemexico.com.mx/gourmet/cultura/ventajas-desventajas-estufa-induccion/>. [Último acceso: 29 Agosto 2023].
- [3] DOCRY & DC, «Una breve historia de la cocina: DOCRY & DC,» 27 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.docrydc.es/noticia/una-breve-historia-cocina>. [Último acceso: 16 Octubre 2023].
- [4] A. Beléndez, «La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell,» *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 3, nº 2, pp. 2601-13, 2008.
- [5] TEKA, «Historia de la cocina: del fuego a la inducción: TEKA,» 5 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.teka.com/es-es/inspiracion/electrodomesticos-e-innovacion/historia-de-la-cocina-del-fuego-a-la-induccion/>. [Último acceso: 22 Octubre 2023].
- [6] F. A. Aguirre Coello y H. D. Alarcón Loo, *Diseño y construcción de una cocina de inducción electromagnética de una zona de calentamiento basado en un inversor monofásico de alta frecuencias y un microcontrolador*, Guayaquil: Universidad Politécnica Selesiana, 2016.
- [7] E. A. Cushicóndor Collaguazo y D. G. Tito Saráuz, *Diseño y construcción de un prototipo de una cocina de inducción electromagnética*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [8] M. F. Bravo Guamán, *Estudio del diseño de un inversor para cocinas de inducción utilizando un solo interruptor de GaN*, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña , 2019.
- [9] G. A. Tama Franco, «Cocina de inducción versus cocina de gas (GLP),» *Revista Técnica del Colegio Regional de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Litor*, Guayaquil, 2013.
- [10] J. C. Martín Castillo, *Electrónica*, Madrid: Editorial Editex, S.A., 2017.
- [11] C. K. Alexander y M. N. O. Sadiku, *Fundamentos de circuitos eléctricos*, Quinta ed., The McGraw-Hill Companies, 2013.
- [12] T. L. Floyd, *Principios de circuitos eléctricos*, Octava ed., Naucalpan de Juárez: Pearson Education, 2007.
- [13] S. J. Chapman, *Máquinas eléctricas*, Nueva York: The McGraw-Hill Companies, 2012.

- [14] S. M. Pérez Iondoño y J. G. López Quintero, Transformadores Eléctricos, Primera ed., Pereira: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.
- [15] ElectronicsHub, «Introducción a los transformadores: ElectronicsHub,» 20 Junio 2019. [En línea]. Available: [https://www.electronicshub.org/introduction-to-transformers/#Classification\\_of\\_Transformers](https://www.electronicshub.org/introduction-to-transformers/#Classification_of_Transformers). [Último acceso: 4 Noviembre 2023].
- [16] T. L. Floyd, Dispositivos Electrónicos, Octava ed., Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2008.
- [17] J. M. Alonso Álvarez, *Inversores resonantes de alta frecuencia*, Universidad de Oviedo: 1999, Oviedo.
- [18] J. N. Hincapié, A. Trejos, M. E. Moncada y A. Escobar, *Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte*, Medellín: Universidad EAFIT, 2013.
- [19] Electricity-Magnetism, «¿Qué es la corriente parásita y cómo se relaciona con la inducción magnética?: Electricity-Magnetism,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.electricity-magnetism.org/es/que-es-la-corriente-parasita-y-como-se-relaciona-con-la-induccion-magnetica/>. [Último acceso: 20 Enero 2024].
- [20] MICRO controladores , «Microchip PIC16F628A: MICRO controladores,» [En línea]. Available: [https://microcontroladores.com/pic/pic16f628a/#google\\_vignette](https://microcontroladores.com/pic/pic16f628a/#google_vignette). [Último acceso: 25 Enero 2024].

## GLOSARIO

**Fuente de alimentación:** Dispositivo el cual está encargado de proporcionar el voltaje y corriente necesaria para el funcionamiento de uno o varios elementos electrónicos.

**Accionamiento:** En el encendido de o la puesta en marcha de algún dispositivo para que este comience con la realización de alguna acción determinada.

**Microcontrolador:** Circuito integrado el cual puede ser programado para ejecutar una serie de instrucciones establecidas.

**Inducción:** Fenómeno electromagnético en el cual como su nombre lo dice se induce una corriente en un conductor cuando está en presencia de un campo magnético.

**Estufa:** Electrodoméstico utilizado para la cocción de alimentos mediante el uso de diferentes tecnologías.

**Conmutación:** En electricidad electrónica se refiere a el cambio de estado de un dispositivo como en el caso de un interruptor o un transistor en donde puede bloquear o permitir el paso de la corriente.

**Capacitor:** Dispositivo el cual se caracteriza por almacenar energía en forma de carga eléctrica.

**Inductor:** Elemento con la capacidad de almacenar energía en forma de campo magnético.

**Diodo:** Dispositivo que cuyo funcionamiento es permitir el paso de corriente en una sola dirección.

**Señal PWM:** Es una señal periódica en la que se puede modificar el ciclo de trabajo.

**Frecuencia:** Es la cantidad de veces que se puede repetir un fenómeno en una unidad de tiempo.

**Regulador de voltaje:** Es un dispositivo encargado de mantener un determinado voltaje de salida de manera estable.



## SPECIFICATION

### 1. DESCRIPTION

The DK124 IC is specially design for off-line switch mode power supply, maximum power is 24W. Different from PWM controller and external power separated MOS combination design, the PWM controller, 700V power transistor, and high voltage starting circuit are integrated into his DK124 IC. So that to save external circuit, component use and cost. Also size and weight of the product is reduced. It is specially suitable for price sensitive flyback switch mode power supply.

### 2. APPLICATIONS

- Battery charger
- Power AC/DC adapters
- STB power supply
- Electromagnetic oven power supply
- DVD/VCD/VCR power supply
- Air conditioner power supply
- LED driver applications
- TV/Monitor power supply

### 3. MAIN FEATURES

- 85V—265V wide range AC power input.
- Build-in 700V power transistor.
- Internal integrated high voltage starting circuit, no need for additional resistance.
- Internal 16mS soft-start circuit.
- Internal power compensation circuit to keep the stability of max. output power in both high and low voltage.
- Patent dynamic self-power supply, no need for auxiliary winding.
- Internal frequency modulation circuit to reduce EMI filter cost.
- Over current, Over loading, Over temperature, Over voltage and Short circuit Protection.

### 4. POWER RANGE

|                          |            |            |             |
|--------------------------|------------|------------|-------------|
| <b>Input Voltage</b>     | 85-264V AC | 85-145V AC | 180-264V AC |
| <b>MAX. output power</b> | 12W        | 18W        | 18W         |



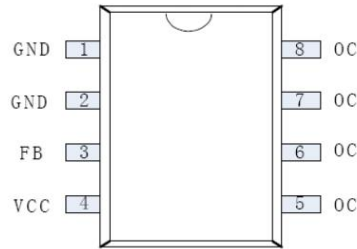
SHENZHEN DONGKE SEMICONDUCTOR CO., LTD

OFF-LINE SWITCH MODE POWER CONTROLLER -DK124

## 5. CONNECTION DIAGRAM (DIP-8)



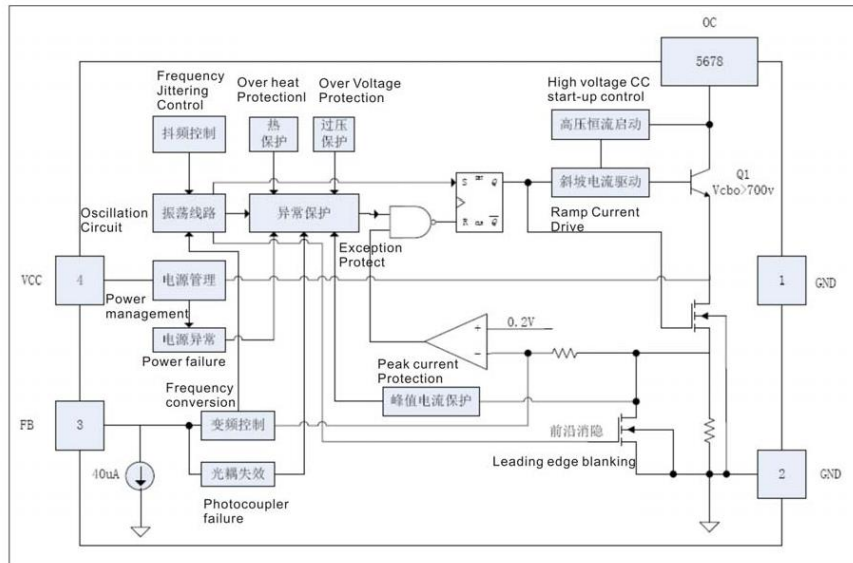
DIP-8



### PIN FUNCTION

| Pin NO. | Pin Name | Function                       |
|---------|----------|--------------------------------|
| 1       | GND      | Ground reference of IC         |
| 2       | GND      | Ground reference of IC         |
| 3       | Fb       | Feedback control pin           |
| 4       | Vcc      | IC Power supply                |
| 5,6,7,8 | OC       | Output pin of power transistor |

## 6. BLOCK DIAGRAM



Address: Building 18, Hejing industrial zone, Heping village, Fuyong, Bao'an Area, Shenzhen, China.  
Tel: 86-755-29598396 Email: amy@dkpower.cn Website: www.dkpower.cn



## SHENZHEN DONGKE SEMICONDUCTOR CO., LTD

### OFF-LINE SWITCH MODE POWER CONTROLLER -DK124

#### 7. ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter                  | Value         | Unit  |
|--------|----------------------------|---------------|-------|
| Vcc    | Supply voltage             | -0.3V~8       | V     |
| Ivcc   | Current of supply voltage  | 100           | mA    |
| Vpin   | Pin voltage                | -0.3~-Vcc+0.3 | V     |
| Vcol   | Collector to GND voltage   | -0.3~-780     | V     |
| Ip     | Peak current               | 1.5           | A     |
| Pd     | Dissipation power          | 1             | W     |
| Tc     | Case operating temperature | -20~+140      | °C    |
| Tstg   | Storage temperature        | -55~+150      | °C    |
| Tsol   | Soldering temperature      | +280          | °C/5S |

#### 8. ELECTRICAL CHARACTERISTIC

| Parameter                              | Condition                | Value |      |      | Unit |
|----------------------------------------|--------------------------|-------|------|------|------|
|                                        |                          | Min.  | Typ. | Max. |      |
| Vcc (Work Power Supply)                | AC input: 85V-265V       | 4.65  | 4.95 | 5.25 | V    |
| Start threshold Voltage                | AC input: 85V-265V       | 4.75  | 5.05 | 5.35 | V    |
| Restart Voltage                        | AC input: 85V-265V       | 3.3   | 3.6  | 3.9  | V    |
| Protect Voltage of VCC                 | AC input: 85V-265V       | 6.25  | 6.55 | 6.85 | V    |
| Current of Vcc                         | Vcc=5V, Fb=1.5V          |       |      | 50   | mA   |
| High voltage start current             | AC input: 85V-265V       | 0.3   | 0.6  | 1.2  | mA   |
| Start time                             | AC input: 85V            | --    | --   | 500  | mS   |
| BJT Voc Breakdown voltage              | Ioc=1mA                  | 700   | --   | --   | V    |
| Collector Protection Voltage           | Check OC voltage         | 540   | 600  | 660  | V    |
| Peak Current Protection                | Vcc=5V, Fb=1.5V~2.8V     | 1100  | 1300 | 1500 | mA   |
| PWM Output frequency                   | Vcc=5V, Fb=1.5V~2.5V     | 61    | 65   | 69   | KhZ  |
|                                        | Vcc=5V, Fb=2.5V~2.8V     | 20    | 22   | 24   | KhZ  |
| Stepped Frequency                      | Vcc=5V, Fb=1.5V~2.5V     |       | 0.5  |      | KhZ  |
| Short circuit protection threshold     | Tested FB voltage        | 1.15  | 1.33 | 1.50 | V    |
| frequency conversion threshold voltage | Tested FB voltage        | 2.3   | 2.7  | 2.7  | V    |
| Burst mode threshold                   | Tested FB voltage        | 2.6   | 2.8  | 3.0  | V    |
| Temperature protection                 | junction temperature     | 120   | 130  | 140  | °C   |
| Leading edge blanking time             | Vcc=5V, Fb=1.5V~2.5V     |       | 250  |      | nS   |
| Min. turn-on time                      | Vcc=5V, Fb=2.6V          |       | 500  |      | nS   |
| Duty cycle of PWM                      | Vcc=5V, Fb=1.5V~2.5V     | 5     | --   | 70   | %    |
| Standby power loss                     | AC input: 265V, unloaded |       | 240  |      | mW   |

Address: Building 18, Hejing industrial zone, Heping village, Fuyong, Bao'an Area, Shenzhen, China.  
Tel: 86-755-29598396 Email: amy@dkpower.cn Website: www.dkpower.cn

3



## 9. OPERATION PRINCIPLE

### 9.1 Start Up

When power on, external VCC capacitor is charged by internal high voltage constant current coming for internal connected OC and VCC pins. When  $V_{CC}$  voltage comes up to 5V, starting up finishes, the circuit enters into normal working mode and outputs PWM.

### 9.2 Soft-start

As to protect the transistor and secondary commutator tube, there is a 16 mS soft start-up circuit in the IC. In the 16mS, the PWM starting up time is increased step by step, so that the peak current of resistor increased linearly from 100mA to peak current.

### 9.3 Feedback Control

### 9.4 Standby burst mode

### 9.5 Self-Power Supply Circuit (National patent owned)

There is self-power supply circuit inside the IC, which can control the power voltage about 5V for the electricity consumption of the IC itself. It can only afford the electricity consumption of itself only but can not afford for the external circuit.

### 9.6 Frequency Jittering Circuit

By sweeping the switching frequency around its nominal value 65KHz, it spreads the energy content on adjacent frequencies rather than keeping it centered in one single ray. This offers the benefit to artificially reduce the measurement noise on a standard EMI/EMC receiver and pass the tests more easily.

### 9.7 Over Temperature Protection (OTP)

When the controller detects the device temperature exceeds 130°C, OTP is activated. It stops the switching operation immediately and enters into the stop status. The controller will restart to switching operation when the temperature falls down.

### 9.8 Over Current Protection (OCP)

Whenever the collector current ( $I_p$ ) abnormally exceeds the maximum current limit of 1.3A, the controller would stop operation and enters into stop status.

### 9.9 Abnormal Voltage Protection

Whenever the power voltage ( $V_{cc}$ ) abnormally exceeds 6.5V and drops under 3.6V, the controller would stop operation and enters into stop status until the voltage comes back to normal.

### 9.10 Over Collector Voltage Protection

Whenever the voltage of the collector pin exceeds the limit of 600V, the controller will decrease the power output to make sure the collector pin coming back to normal. It could reduce the stress of the power transistor and the protect power transistor from avalanche damage.

Address: Building 18, Hejing industrial zone, Heping village, Fuyong, Bao'an Area, Shenzhen, China.  
Tel: 86-755-29598396 Email: amy@dkpower.cn Website: www.dkpower.cn

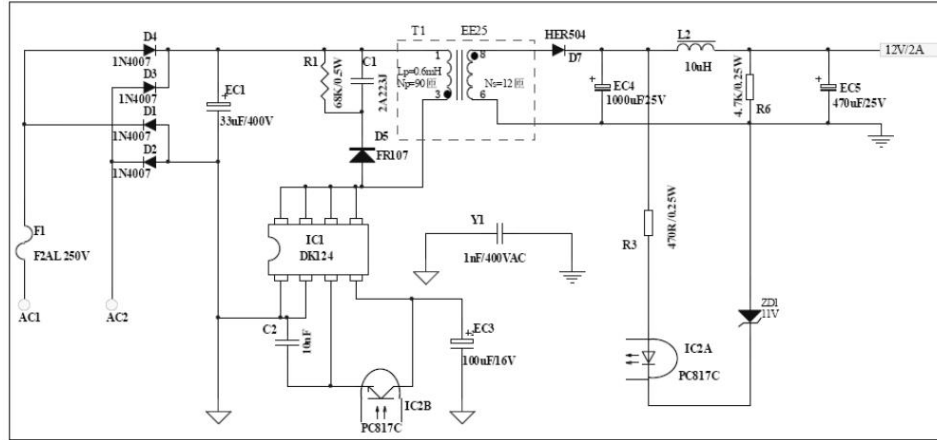
4

### 9.11 Constant Power Control

### 9.12 Short Circuit and Over Load Protection

## 10. TYPICAL APPLICATION SAMPLE

### (12V2A OUTPUT FLYBACK TYPE SWITCH MODE POWER SUPPLY)



### 10.1 Components list

| NO. | NAME                   | SPEC. / MODEL NO. | POSITION | USED QTY | REMARK |
|-----|------------------------|-------------------|----------|----------|--------|
| 1   | Fuse                   | F2A/AC250V        | F1       | 1        |        |
| 2   | Diode                  | 1N4007            | D1~D4    | 4        |        |
| 3   | Diode                  | FR107             | D5       | 1        |        |
| 4   | Diode                  | HER504            | D7       | 1        |        |
| 5   | Electrolytic capacitor | 100uF/16V         | EC3      | 1        |        |
| 6   | Electrolytic capacitor | 1000uF/25V        | EC4      | 1        |        |
| 7   | Electrolytic capacitor | 470uF/25V         | EC5      | 1        |        |
| 8   | Electrolytic capacitor | 33uF/400V         | EC1      | 1        |        |
| 9   | Dacron Capacitor       | 2A223J            | C1       | 1        |        |
| 10  | Ceramic capacitor      | 10nF              | C2       | 1        |        |
| 11  | Y capacitor            | 1nF/400V          | Y1       | 1        |        |
| 12  | Resistance             | 68K/0.5W          | R1       | 1        |        |
| 13  | Resistance             | 470R              | R3       | 1        |        |
| 14  | Resistance             | 4.7K              | R6       | 1        |        |
| 15  | Zener Diode            | 11V               | ZD1      | 1        |        |
| 16  | I-shape inductance     | 10uH              | L2       | 1        |        |
| 17  | IC                     | DK124             | IC1      | 1        |        |

Address: Building 18, Hejing industrial zone, Heping village, Fuyong, Bao'an Area, Shenzhen, China.  
Tel: 86-755-29598396 Email: amy@dkpower.cn Website: www.dkpower.cn



## SHENZHEN DONGKE SEMICONDUCTOR CO., LTD

### OFF-LINE SWITCH MODE POWER CONTROLLER -DK124

|    |               |       |     |   |  |
|----|---------------|-------|-----|---|--|
| 18 | Photo-coupler | PC817 | IC2 | 1 |  |
| 19 | Transformer   | EE25  | T1  | 1 |  |

**12.1** Heat dissipation: A good estimate is that the controller will dissipate the output power. So enough cooper area connected to the 5, 6, 7, 8 COLLECTED pins and tin-plating are necessary to provide the controller heat sink.

**12.2** The 5, 6, 7, 8 COLLECTED pins is high voltage part of the IC, peak voltage is as high as 600V, so it should be at least 1.5mm far away from the low voltage part in the PCB as to avoid circuit breakdown and discharging.

**12.3** Pin No.1 is for testing only. It is prohibited to be connected with other circuits when in use.

## 11. TRANSFORMER DESIGN (For reference only)

### 11.1 Parameter confirmation: confirm the below parameter before transformer design

- (1) Input voltage range (for example :AC85V-265V)
- (2) Output Voltage and current (for example DC12V 2A)

### 11.2 Core selecting

- (1) Input power calculation

$P_i = P_{out} / \eta$  ( $\eta$  is the efficiency of the power supply, take it 0.8 for example),  $P_{out} = V_{out} * I_{out} = 12V * 2A = 24W$ ,  
 $P_i = 24 / 0.8 = 30W$ .

- (2) Choose the core:

Checking via supplier or the correlative chart can know that EE25 or EE19 core is suitable for 30W power supply. Now we choose EE16 for below calculation.

### 11.3 Input inductance value ( $L_p$ )

$$L_p = \frac{2 * P_i}{I_p * I_p * F_s} = \frac{2 * 30W}{1.32A * 1.32A * 65k} \approx 0.53mH$$

PS:  $I_p$ ----Input peak current (it is set to be 1320mA in the IC)

### 11.4 Number of the original(input) turns ( $N_p$ )

$$N_p = \frac{L_p * I_p \max}{\Delta B * A_e} = \frac{0.53 * 1.32}{0.2 * 0.04} \approx 90$$

PS:  $\Delta B$ ---Alternating working magnetic flux density (mT), set to be 0.2

$A_e$ -----Core effective area (m<sup>2</sup>), EE25/19's  $A_e$  is 40 m<sup>2</sup>

### 11.5 Number of the output turns ( $N_s$ )

$$N_s = (V_{out} * N_p) / V_{or} = (13 * 90) / 80 \approx 15$$

PS:  $V_{out}$ ----Output voltage=12V+1V=13V, take the voltage loss (from wires and rectification) into consideration.

$V_{or}$ ----Flyback voltage=80V, set it lower then 150V for the safety of IC.

## 12. SPECIAL NOTICE FOR PBC LAYOUT DESIGN

**12.1** Heat dissipation: A good estimate is that the controller will dissipate the output power. The main heating comes from power transistor that connected with Pin 7 & 8 of the IC. So enough cooper area connected to pin 7

Address: Building 18, Hejing industrial zone, Heping village, Fuyong, Bao'an Area, Shenzhen, China.

Tel: 86-755-29598396

Email: amy@dkpower.cn

Website: www.dkpower.cn

6



## SHENZHEN DONGKE SEMICONDUCTOR CO., LTD

### OFF-LINE SWITCH MODE POWER CONTROLLER -DK124

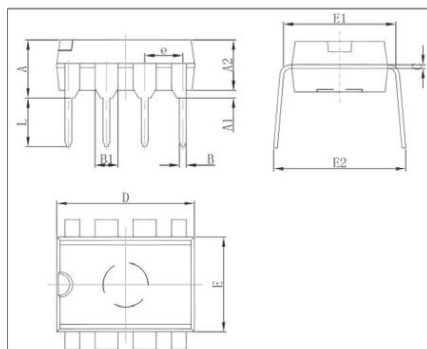
& 8 and tin-plating are necessary to provide the controller heat sink.

**12.2** The 7, 8 COLLECTED pins is high voltage part of the IC, peak voltage is as high as 600V, so it should be at least 1.5mm far away from the low voltage part in the PCB as to avoid circuit breakdown and discharging.

**12.3** It is suggested to use P/S/P way to wind the transformer so that to reduce the leakage inductance.

## 13. MECHANICAL AND PACKING INFORMATION

| Symbol | Dimensions In Millimeters |       | Dimensions In Inches |       |
|--------|---------------------------|-------|----------------------|-------|
|        | Min                       | Max   | Min                  | Max   |
| A      | 3.710                     | 4.310 | 0.146                | 0.170 |
| A1     | 0.510                     |       | 0.020                |       |
| A2     | 3.200                     | 3.600 | 0.126                | 0.142 |
| B      | 0.380                     | 0.570 | 0.015                | 0.022 |
| B1     | 1.524 (BSC)               |       | 0.060 (BSC)          |       |
| C      | 0.204                     | 0.360 | 0.008                | 0.014 |
| D      | 9.000                     | 9.400 | 0.354                | 0.370 |
| E      | 6.200                     | 6.600 | 0.244                | 0.260 |
| E1     | 7.320                     | 7.920 | 0.288                | 0.312 |
| e      | 2.540 (BSC)               |       | 0.100 (BSC)          |       |
| L      | 3.000                     | 3.600 | 0.118                | 0.142 |
| E2     | 8.400                     | 9.000 | 0.331                | 0.354 |



#### · Packing quantity

| QTY/tube | QTY/inner carton | QTY/master carton |
|----------|------------------|-------------------|
| 50       | 2000             | 20000             |

Address: Building 18, Hejing industrial zone, Heping village, Fuyong, Bao'an Area, Shenzhen, China.  
Tel: 86-755-29598396 Email: amy@dkpower.cn Website: www.dkpower.cn

7

## HIGH AND LOW SIDE DRIVER

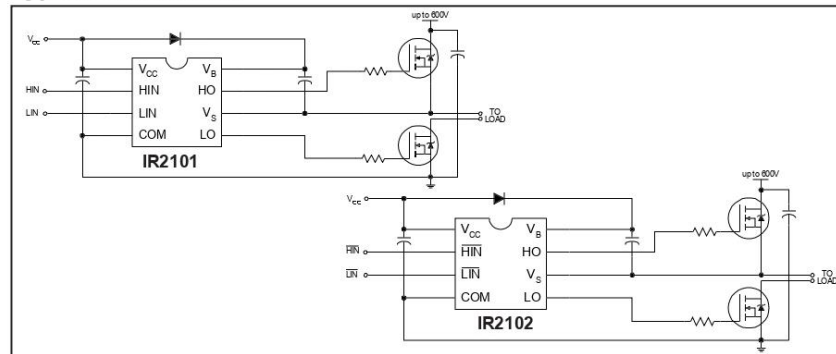
### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout
- 5V Schmitt-triggered input logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs (IR2101/IR21014) or  
out of phase with inputs (IR2102/IR21024)

### Description

The IR2101/IR21014/IR2102/IR21024 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. The logic input is compatible with standard CMOS or LSTTL output. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

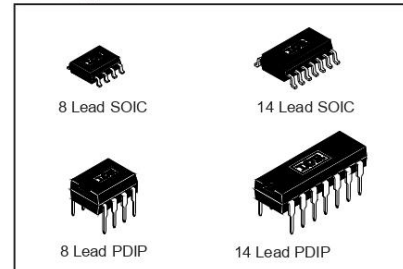
### Typical Connection



### Product Summary

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| V <sub>OFFSET</sub>        | 600V max.       |
| I <sub>O</sub> +/-         | 130 mA / 270 mA |
| V <sub>OUT</sub>           | 10 - 20V        |
| t <sub>on/off</sub> (typ.) | 160 & 150 ns    |
| Delay Matching             | 50 ns           |

### Packages



# IR2101/IR21014/IR2102/IR21024

International  
IOR Rectifier

## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions.

| Symbol     | Definition                                               | Min.           | Max.           | Units              |
|------------|----------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------------------|
| $V_B$      | High side floating supply voltage                        | -0.3           | 625            | V                  |
| $V_S$      | High side floating supply offset voltage                 | $V_B - 25$     | $V_B + 0.3$    |                    |
| $V_{HO}$   | High side floating output voltage                        | $V_S - 0.3$    | $V_B + 0.3$    |                    |
| $V_{CC}$   | Low side and logic fixed supply voltage                  | -0.3           | 25             |                    |
| $V_{LO}$   | Low side output voltage                                  | -0.3           | $V_{CC} + 0.3$ |                    |
| $V_{IN}$   | Logic input voltage (HIN & LIN)                          | -0.3           | $V_{CC} + 0.3$ |                    |
| $dV_S/dt$  | Allowable offset supply voltage transient                | —              | 50             | V/ns               |
| $P_D$      | Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$ | (8 lead PDIP)  | 1.0            | W                  |
|            |                                                          | (8 lead SOIC)  | 0.625          |                    |
|            |                                                          | (14 lead PDIP) | 1.6            |                    |
|            |                                                          | (14 lead SOIC) | 1.0            |                    |
| $R_{thJA}$ | Thermal resistance, junction to ambient                  | (8 lead PDIP)  | 125            | $^\circ\text{C/W}$ |
|            |                                                          | (8 lead SOIC)  | 200            |                    |
|            |                                                          | (14 lead PDIP) | 75             |                    |
|            |                                                          | (14 lead SOIC) | 120            |                    |
| $T_J$      | Junction temperature                                     | —              | 150            | $^\circ\text{C}$   |
| $T_S$      | Storage temperature                                      | -55            | 150            |                    |
| $T_L$      | Lead temperature (soldering, 10 seconds)                 | —              | 300            |                    |

## Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The  $V_S$  offset rating is tested with all supplies biased at 15V differential.

| Symbol   | Definition                                                                                                | Min.       | Max.       | Units            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------------|
| $V_B$    | High side floating supply absolute voltage                                                                | $V_S + 10$ | $V_S + 20$ | V                |
| $V_S$    | High side floating supply offset voltage                                                                  | Note 1     | 600        |                  |
| $V_{HO}$ | High side floating output voltage                                                                         | $V_S$      | $V_B$      |                  |
| $V_{CC}$ | Low side and logic fixed supply voltage                                                                   | 10         | 20         |                  |
| $V_{LO}$ | Low side output voltage                                                                                   | 0          | $V_{CC}$   |                  |
| $V_{IN}$ | Logic input voltage (HIN & LIN) (IR2101) & ( $\overline{\text{HIN}}$ & $\overline{\text{LIN}}$ ) (IR2102) | 0          | $V_{CC}$   |                  |
| $T_A$    | Ambient temperature                                                                                       | -40        | 125        | $^\circ\text{C}$ |

**Note 1:** Logic operational for  $V_S$  of -5 to +600V. Logic state held for  $V_S$  of -5V to - $V_{BS}$ .

### Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF and  $T_A$  = 25°C unless otherwise specified.

| Symbol    | Definition                          | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|-------|-----------------|
| $t_{on}$  | Turn-on propagation delay           | —    | 160  | 220  | ns    | $V_S = 0V$      |
| $t_{off}$ | Turn-off propagation delay          | —    | 150  | 220  |       | $V_S = 600V$    |
| $t_r$     | Turn-on rise time                   | —    | 100  | 170  |       |                 |
| $t_f$     | Turn-off fall time                  | —    | 50   | 90   |       |                 |
| MT        | Delay matching, HS & LS turn-on/off | —    | —    | 50   |       |                 |

### Static Electrical Characteristics

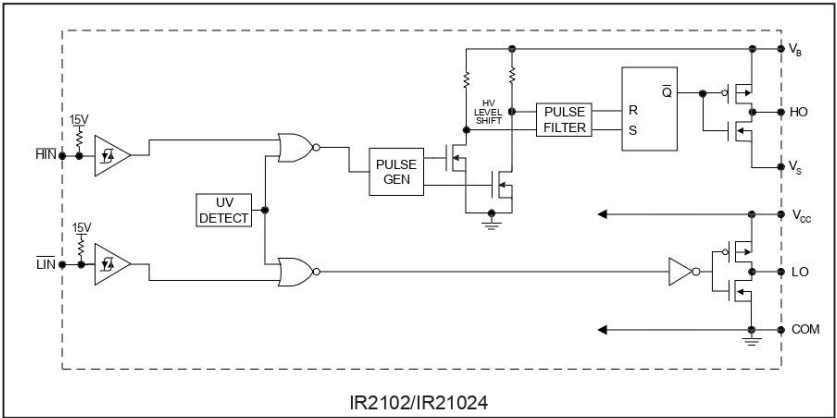
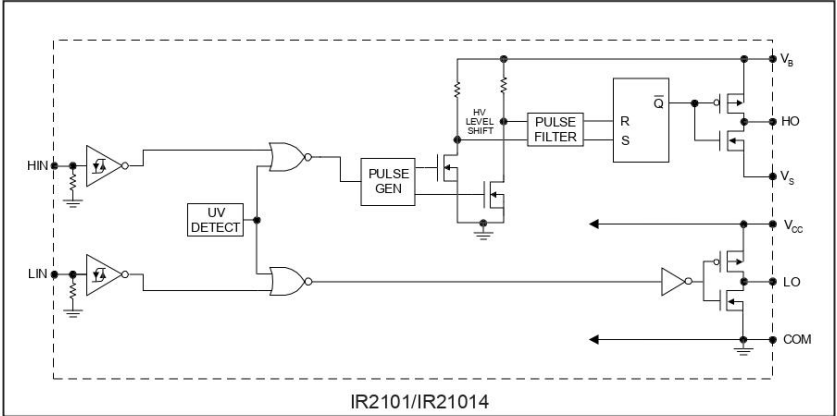
$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ) = 15V and  $T_A$  = 25°C unless otherwise specified. The  $V_{IH}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to COM. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

| Symbol      | Definition                                                           | Min. | Typ. | Max. | Units   | Test Conditions                                                  |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|---------|------------------------------------------------------------------|
| $V_{IH}$    | Logic "1" input voltage (IR2101)<br>Logic "0" input voltage (IR2102) | 3    | —    | —    | V       | $V_{CC} = 10V$ to 20V                                            |
| $V_{IL}$    | Logic "0" input voltage (IR2101)<br>Logic "1" input voltage (IR2102) | —    | —    | 0.8  |         | $V_{CC} = 10V$ to 20V                                            |
| $V_{OH}$    | High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$                          | —    | —    | 100  | mV      | $I_O = 0A$                                                       |
| $V_{OL}$    | Low level output voltage, $V_O$                                      | —    | —    | 100  |         | $I_O = 0A$                                                       |
| $I_{LK}$    | Offset supply leakage current                                        | —    | —    | 50   | $\mu A$ | $V_B = V_S = 600V$                                               |
| $I_{QBS}$   | Quiescent $V_{BS}$ supply current                                    | —    | 30   | 55   |         | $V_{IN} = 0V$ or 5V                                              |
| $I_{QCC}$   | Quiescent $V_{CC}$ supply current                                    | —    | 150  | 270  |         | $V_{IN} = 0V$ or 5V                                              |
| $I_{IN+}$   | Logic "1" input bias current                                         | —    | 3    | 10   |         | $V_{IN} = 5V$ (IR2101)<br>$V_{IN} = 0V$ (IR2102)                 |
| $I_{IN-}$   | Logic "0" input bias current                                         | —    | —    | 1    |         | $V_{IN} = 0V$ (IR2101)<br>$V_{IN} = 5V$ (IR2102)                 |
| $V_{CCUV+}$ | $V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold                | 8    | 8.9  | 9.8  | V       |                                                                  |
| $V_{CCUV-}$ | $V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold                | 7.4  | 8.2  | 9    |         |                                                                  |
| $I_{O+}$    | Output high short circuit pulsed current                             | 130  | 210  | —    | mA      | $V_O = 0V$<br>$V_{IN} = \text{Logic "1"}$<br>$PW \leq 10 \mu s$  |
| $I_{O-}$    | Output low short circuit pulsed current                              | 270  | 360  | —    |         | $V_O = 15V$<br>$V_{IN} = \text{Logic "0"}$<br>$PW \leq 10 \mu s$ |

IR2101/IR21014/IR2102/IR21024

International  
IR Rectifier

Functional Block Diagram



IR2101/IR21014/IR2102/IR21024

Lead Definitions

| Symbol                  | Description                                                              |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| HIN                     | Logic input for high side gate driver output (HO), in phase (IR2101)     |
| $\overline{\text{HIN}}$ | Logic input for high side gate driver output (HO), out of phase (IR2102) |
| LIN                     | Logic input for low side gate driver output (LO), in phase (IR2101)      |
| $\overline{\text{LIN}}$ | Logic input for low side gate driver output (LO), out of phase (IR2102)  |
| $V_B$                   | High side floating supply                                                |
| HO                      | High side gate drive output                                              |
| $V_S$                   | High side floating supply return                                         |
| $V_{CC}$                | Low side and logic fixed supply                                          |
| LO                      | Low side gate drive output                                               |
| COM                     | Low side return                                                          |

Lead Assignments IR2101

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| <p>8 Lead PDIP</p>  | <p>8 Lead SOIC</p>  |
| <b>IR2101</b>       | <b>IR2101S</b>      |
| <p>14 Lead PDIP</p> | <p>14 Lead SOIC</p> |
| <b>IR21014</b>      | <b>IR21014S</b>     |

IR2101/IR21014/IR2102/IR21024

International  
IOR Rectifier

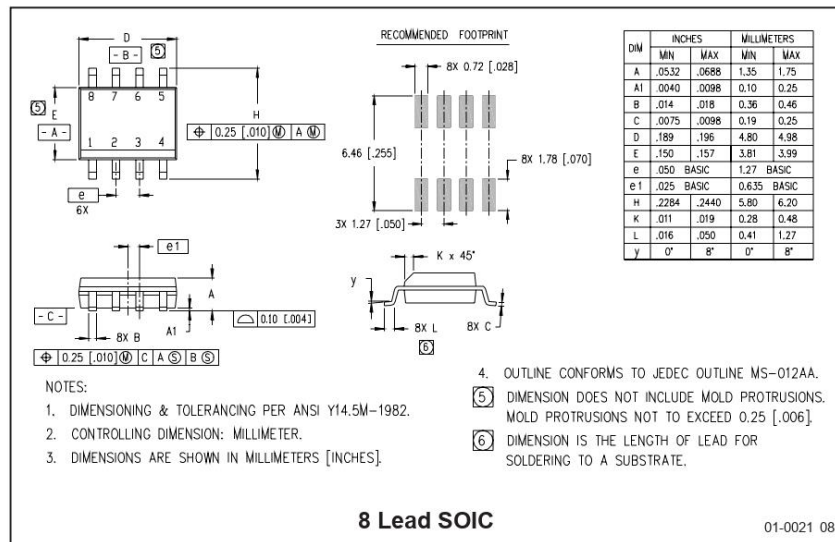
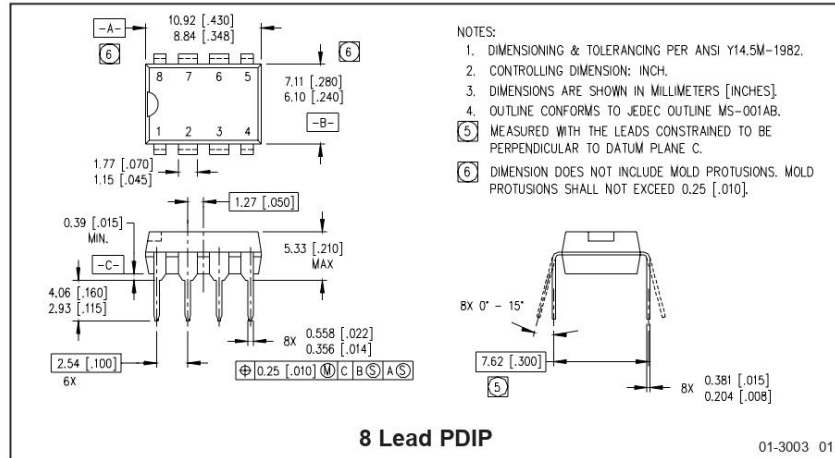
Lead Assignments IR2102

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| <p>8 Lead PDIP</p> | <p>8 Lead SOIC</p> |
| IR2102             | IR2102S            |

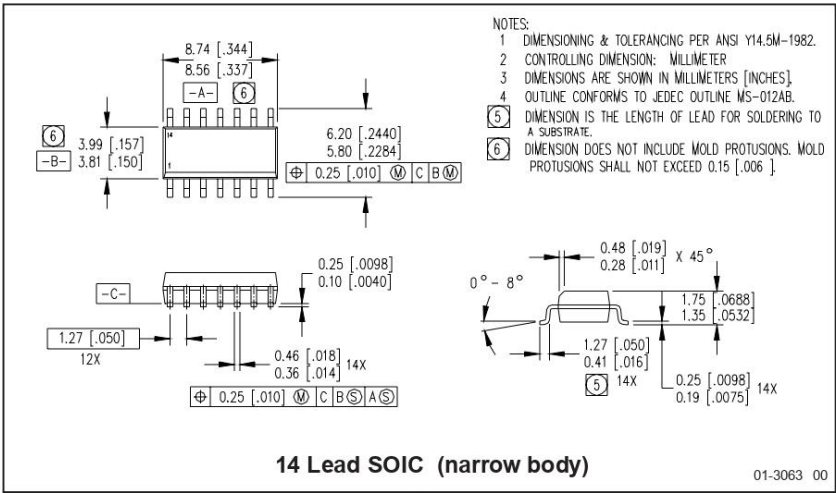
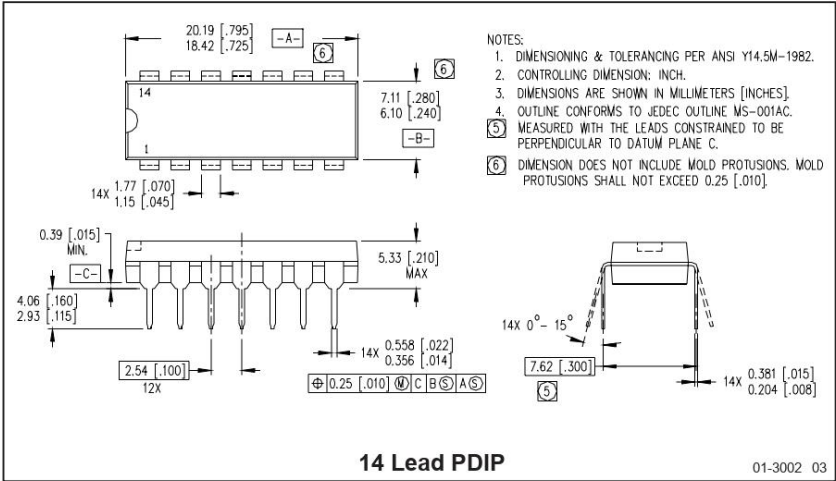
|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| <p>14 Lead PDIP</p> | <p>14 Lead SOIC</p> |
| IR21024             | IR21024S            |

## IR2101/IR21014/IR2102/IR21024



IR2101/IR21014/IR2102/IR21024

International  
IOR Rectifier



## IR2101/IR21014/IR2102/IR21024

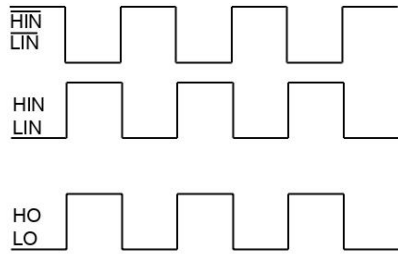


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

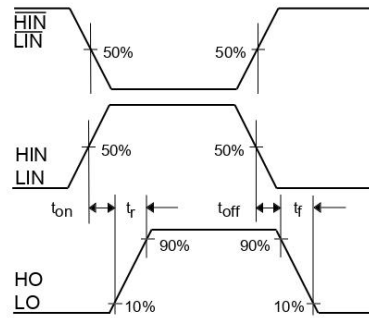


Figure 2. Switching Time Waveform Definitions

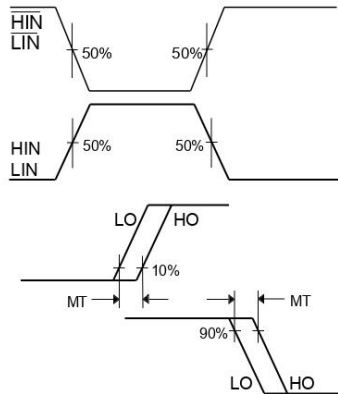


Figure 3. Delay Matching Waveform Definitions

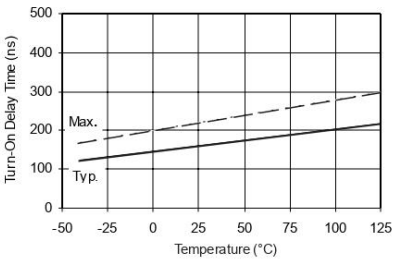


Figure 6A. Turn-On Time vs Voltage

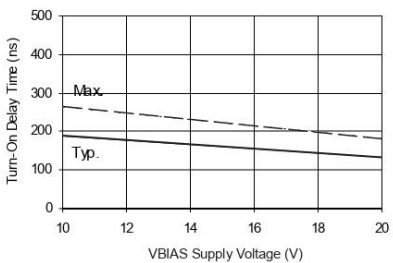


Figure 6B. Turn-On Time vs Voltage

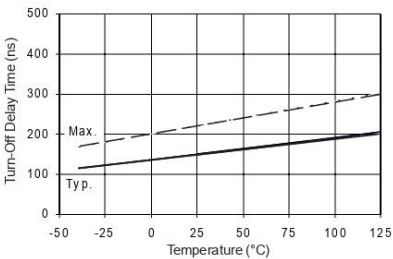


Figure 7A. Turn-Off Time vs Temperature

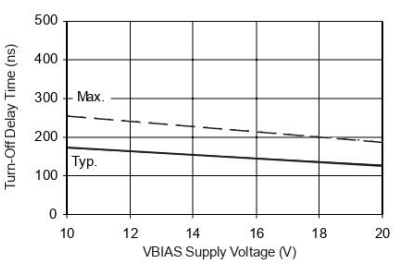


Figure 7B. Turn-Off Time vs Voltage

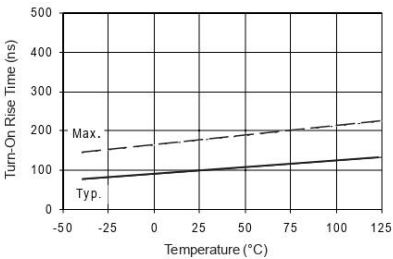


Figure 9A. Turn-On Rise Time vs Temperature

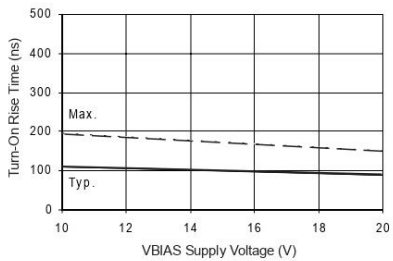


Figure 9B. Turn-On Rise Time vs Voltage

Turn-Off Fall Time (ns)

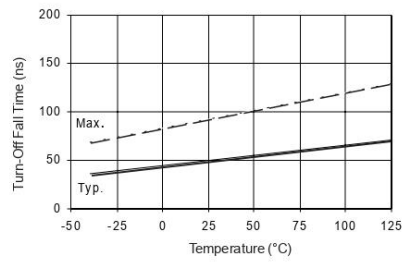


Figure 10A. Turn-Off Fall Time vs Temperature

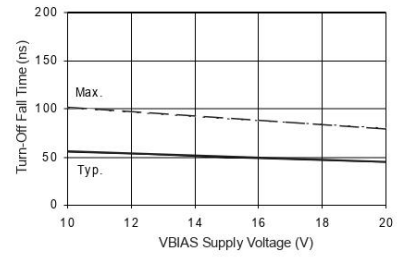


Figure 10B. Turn-Off Fall Time vs Voltage

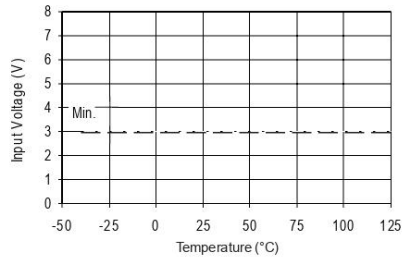


Figure 12A. Logic "1" Input Voltage (IR2101)  
Logic "0" Input Voltage (IR2102)  
vs Temperature

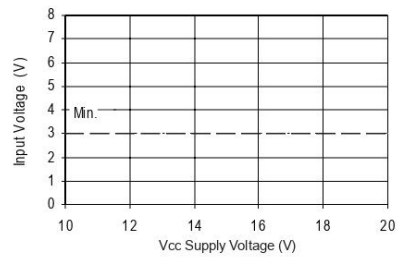


Figure 12B. Logic "1" Input Voltage (IR2101)  
Logic "0" Input Voltage (IR2102)  
vs Voltage

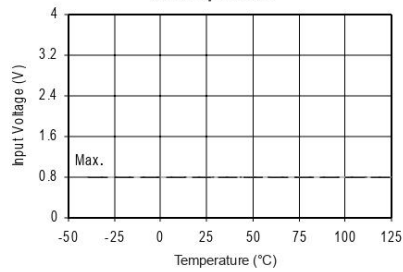


Figure 13A. Logic "0" Input Voltage (IR2101)  
Logic "1" Input Voltage (IR2102)  
vs Temperature

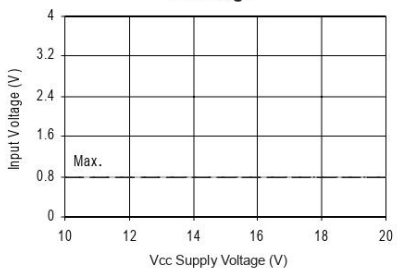


Figure 13B. Logic "0" Input Voltage (IR2101)  
Logic "1" Input Voltage (IR2102)  
vs Voltage

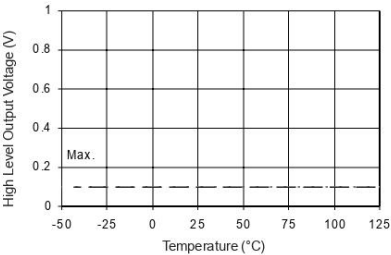


Figure 14A. High Level Output vs Temperature

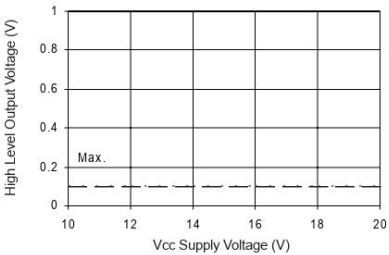


Figure 14B. High Level Output vs Voltage

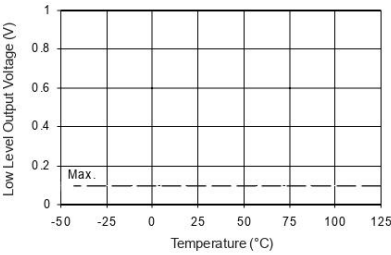


Figure 15A. Low Level Output vs Temperature

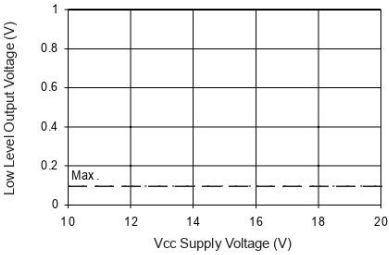


Figure 15B. Low level Output vs Voltage

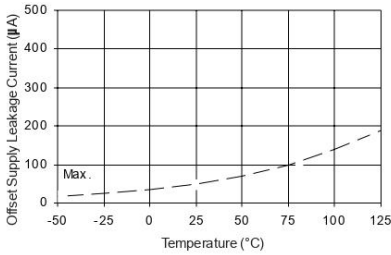


Figure 16A. Offset Supply Current vs Temperature

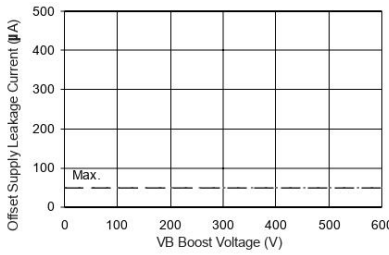


Figure 16B. Offset Supply Current vs Voltage

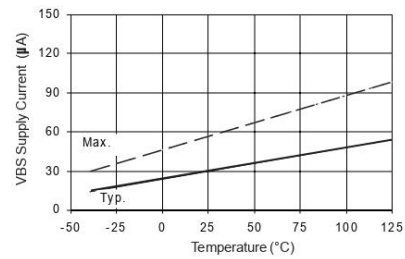


Figure 17A. VBS Supply Current vs Temperature

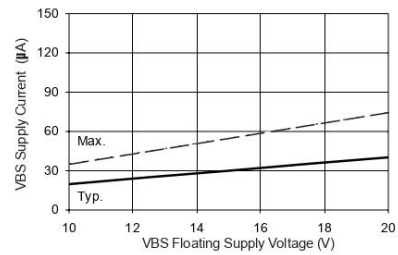


Figure 17B. VBS Supply Current vs Voltage

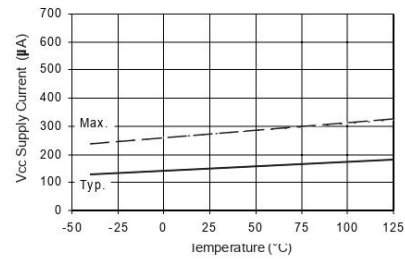


Figure 18A. VCC Supply Current vs Temperature

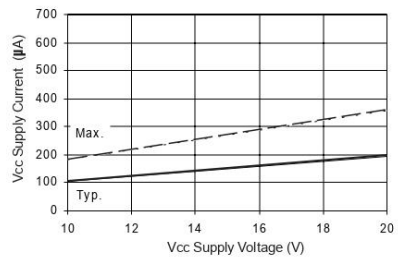


Figure 18B. VCC Supply Current vs Voltage

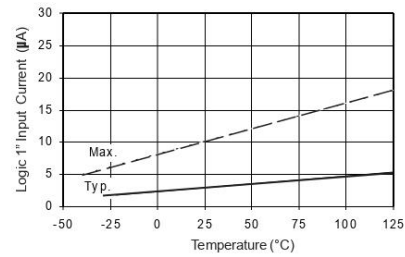


Figure 19A. Logic "1" Input Current vs Temperature

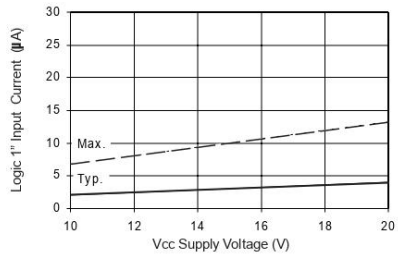


Figure 19B. Logic "1" Input Current vs Voltage

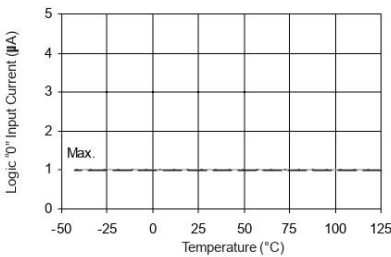


Figure 20A. Logic "0" Input Current vs Temperature

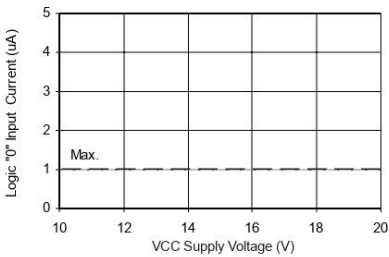


Figure 20B. Logic "0" Input Current vs Voltage

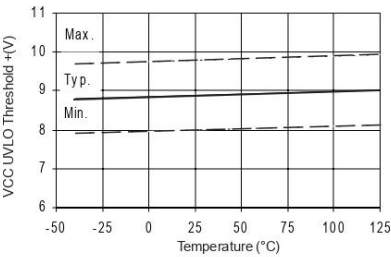


Figure 21A. Vcc Undervoltage Threshold(+) vs Temperature

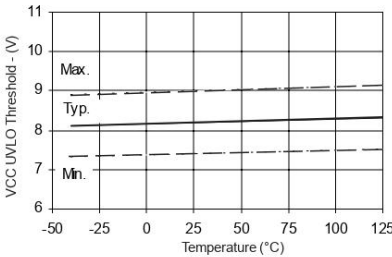


Figure 21B. Vcc Undervoltage Threshold(-) vs Temperature

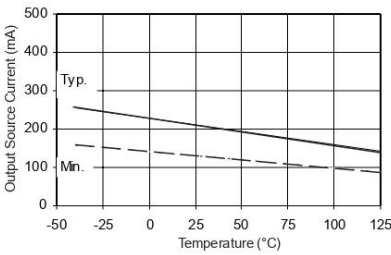


Figure 22A. Output Source Current vs Temperature

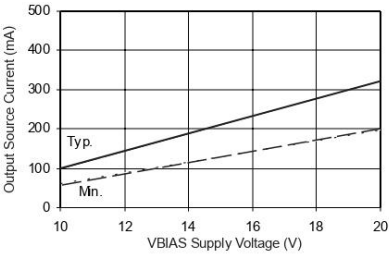


Figure 22B. Output Source Current vs Voltage

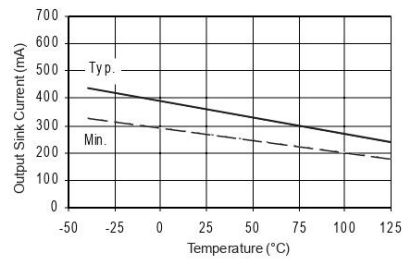


Figure 23A. Output Sink Current vs Temperature

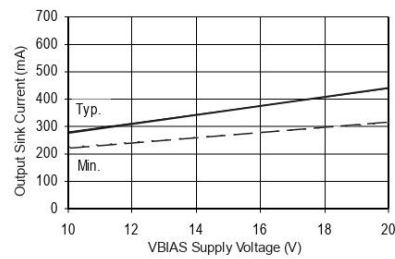


Figure 23B. Output Sink Current vs Voltage



# PIC16F627A/628A/648A

## 18-pin FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers

### High Performance RISC CPU:

- Operating speeds from DC - 20 MHz
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- 35 single word instructions
  - All instructions single cycle except branches

### Special Microcontroller Features:

- Internal and external oscillator options
  - Precision Internal 4 MHz oscillator factory calibrated to  $\pm 1\%$
  - Low Power Internal 37 kHz oscillator
  - External Oscillator support for crystals and resonators.
- Power saving SLEEP mode
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Multiplexed Master Clear/Input-pin
- Watchdog Timer with independent oscillator for reliable operation
- Low voltage programming
- In-Circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Programmable code protection
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer and Oscillator Start-up Timer
- Wide operating voltage range. (2.0 - 5.5V)
- Industrial and extended temperature range
- High Endurance FLASH/EEPROM Cell
  - 100,000 write FLASH endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - 100 year data retention

### Low Power Features:

- Standby Current:
  - 100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 12  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 120  $\mu$ A @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current
  - 1  $\mu$ A @ 2.0V, typical
- Timer1 oscillator current:
  - 1.2  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
- Dual Speed Internal Oscillator:
  - Run-time selectable between 4 MHz and 37 kHz
  - 4  $\mu$ s wake-up from SLEEP, 3.0V, typical

### Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Selectable internal or external reference
  - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM module
  - 16-bit Capture/Compare
  - 10-bit PWM
- Addressable Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI

| Device     | Program Memory | Data Memory  |                | I/O | CCP (PWM) | USART | Comparators | Timers 8/16-bit |
|------------|----------------|--------------|----------------|-----|-----------|-------|-------------|-----------------|
|            | FLASH (words)  | SRAM (bytes) | EEPROM (bytes) |     |           |       |             |                 |
| PIC16F627A | 1024           | 224          | 128            | 16  | 1         | Y     | 2           | 2/1             |
| PIC16F628A | 2048           | 224          | 128            | 16  | 1         | Y     | 2           | 2/1             |
| PIC16F648A | 4096           | 256          | 256            | 16  | 1         | Y     | 2           | 2/1             |