

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE CUATRO FUENTES DC PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS (ESFOT)

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

Carlos Mauricio Heredia Valdivieso

carlos.heredia@epn.edu.ec

Bryan Alexander Salazar Aconda

bryan.salazar@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. Abraham Ismael Loja Romero, MSC.

abraham.loja@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. Carlos Orlando Romo Herrera, MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, octubre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Heredia Valdivieso Carlos Mauricio y Salazar Aconda Bryan Alexander como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



**Ing. Abraham Ismael Loja
Romero MSc.**

DIRECTOR DEL PROYECTO



**Ing. Carlos Orlando Romo Herrera
MSc.**

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Heredia Valdivieso Carlos Mauricio con CI: 172602896-0 y Salazar Aconda Bryan Alexander con CI: 172508393-3 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Heredia Valdivieso Carlos Mauricio

CI: 172602896-0

Teléfono: 0969952829

Correo: carlos.heredia@epn.edu.ec



Salazar Aconda Bryan Alexander

CI: 172508393-3

Teléfono: 0994128697

Correo: bryan.salazar@epn.edu.ec

DEDICATORIA

Mi trabajo lo dedico principalmente a mi madre que, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, un profesional lleno de valores que me ha ido inculcando desde que tengo memoria. Además, es quien me ha dado fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi hermana junto a mi sobrina por estar siempre presentes acompañándome, principalmente por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa.

A mi familia y mi padre quienes me han apoyado con palabras de aliento y consejos que han hecho de mí una mejor persona y que de una u otra forma siempre me acompañan en todos mis sueños y metas

Finalmente, una dedicatoria especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron conmigo sus conocimientos.

Carlos Heredia

AGRADECIMIENTO

Me van a faltar palabras para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de esta tesis, sin embargo, merece un reconocimiento especial mi madre por guiarme a lo largo de mi vida, por el apoyo y fortaleza que me ha dado en aquellos momentos de dificultad y debilidad, siendo la principal promotora de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas; por sus consejos, valores y principios que me ha inculcado.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis hermanos y familia que con sus palabras y apoyo incondicional me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar.

Agradezco al Ing. Roberto Guamán gerente de Automatizaciones Simotic, por haber confiado en mí y abrirme las puertas quien con su enseñanza de sus valiosos conocimientos hizo que pueda crecer día a día como profesional.

Al Ing. Abraham Loja, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de esta tesis.

A mis amigos, con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas.

A mis mejores amigos Juan y Alex quienes gracias a su apoyo moral fueron los principales que contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta, gracias por todo su apoyo y diversión.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Escuela Politécnica Nacional (EPN) por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

Carlos Heredia

DEDICATORIA

Mi Trabajo le dedico con mucho amor y cariño a:

Mis padres Teresa, Santiago quienes han sido mi guía, fortaleza y con amor han estado conmigo hasta el día de hoy, estuvieron siempre a mi lado durante los días y noches más difíciles de mis estudios.

A mis padrinos Blanca y Wilson quienes fueron un gran apoyo durante toda mi vida, siempre han sido mis mejores guías de vida, en estos momentos que logro subir un peldaño más en mi vida profesional, les dedico a ustedes este logro amados padrinos, como una meta más conquistada. Gracias por ser quienes son y por creer en mí.

Finalmente quiero dedicar este trabajo con gran amor para toda mi familia Acondita, por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera pues a ellos les debo mucho por su apoyo incondicional, por sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Bryan Salazar

AGRADECIMIENTO

Un especial y sincero agradecimiento a mis padres, hermanos, tíos y primos algunos se encuentran cerca y otros lejos, gracias por estar siempre pendiente de mí. Siempre recibí su apoyo y han aportado con un granito de arena a mi formación, gracias por su amor infinito.

A mi hermano Cristhian, a Jonathan y Joshua, más que mis primos, los considero hermanos, ustedes son mi mano derecha, parte de mi familia. Han estado ahí presentes siempre y mucho más cuando los he necesitado, quiero agradecerles de corazón en esta ocasión tan especial su compañía y buenos momentos que hemos pasado.

Agradezco a mis grandes amigos, Juan y Carlos por ser un gran apoyo a lo largo de mi carrera universitaria y sobre todo en los últimos meses cuando realizaba este trabajo. Hicieron de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Mi profundo agradecimiento a todo el equipo de Automatizaciones Simotic, por confiar en mí, abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de realizar mis pasantías dentro de la empresa. Gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, apoyo y amistad, hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Quiero agradecer al Ing. Abraham Loja por su apoyo y asesoría para la terminación de esta tesis.

Finalmente son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecerles por sus consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles, sin importar en donde se encuentren quiero darles las gracias por formar parte de mi vida y por todo el cariño que me han brindado.

Bryan Salazar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Objetivo general | 2 |
| 1.2 | Objetivos específicos..... | 2 |
| 2 | Metodología..... | 3 |
| 2.1 | Descripción de la metodología usada..... | 3 |
| 3 | Resultados y Discusión | 5 |
| 3.1 | Obtención de la corriente nominal de las fuentes DC..... | 5 |
| 3.2 | Dimensionamiento los componentes electrónicos..... | 6 |
| | Transformador..... | 6 |
| | Rectificador..... | 7 |
| | Filtro | 9 |
| | Regulador | 10 |
| | Diodo Zener | 12 |
| | Diodo Led y Ventilador | 13 |
| | Fusibles | 14 |
| | Acoplamiento de transistor para mayores corrientes | 15 |
| 3.3 | Construcción de los módulos de las fuentes..... | 15 |
| | Desarrollo de las placas | 15 |
| | Diseño y construcción de la estructura metálica | 18 |
| 3.4 | Pruebas y Análisis de Resultados..... | 21 |
| | Prueba de frenado de un motor trifásico por inyección de corriente continua. | 21 |
| | Prueba de funcionamiento con cargas | 22 |
| 3.5 | Manual de uso y mantenimiento..... | 23 |
| 4 | Conclusiones y Recomendaciones | 25 |
| 4.1 | Conclusiones..... | 25 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 26 |
| 5 | Referencias Bibliográficas | 27 |

| | |
|---|--------------------------------------|
| ANEXOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo 1: Certificado de funcionamiento..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo 2: Planos..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo 3: Esquemas..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo 4: Manual de operación y mantenimiento..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo 5: Hojas de datos de fabricantes..... | ¡Error! Marcador no definido. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 2.1 | Tablero de frenado de un motor trifásico por inyección de corriente IDC..... | 4 |
| Figura 3.1 | Diagrama de bloques de una fuente regulada..... | 6 |
| Figura 3.2 | Etapa de transformación..... | 7 |
| Figura 3.3 | Características típicas de avance instantáneo..... | 7 |
| Figura 3.4 | Etapa de rectificación..... | 8 |
| Figura 3.5 | Voltaje de rizado..... | 9 |
| Figura 3.6 | Etapa regulador..... | 10 |
| Figura 3.7 | Circuito Diodo Zener..... | 12 |
| Figura 3.8 | LED y ventilador..... | 13 |
| Figura 3.9 | Circuito de la fuente de voltaje variable de 0 a 12 (V _{DC})..... | 15 |
| Figura 3.10 | Diseño del circuito PCB realizado en ARES..... | 16 |
| Figura 3.11 | Método del planchado..... | 17 |
| Figura 3.12 | Pistas de la placa de circuito impreso..... | 17 |
| Figura 3.13 | Perforación de la placa de circuito impreso..... | 17 |
| Figura 3.14 | Parte frontal de la placa identificando los elementos..... | 18 |
| Figura 3.15 | Placa de circuito impreso, fuente 12 (V)..... | 18 |
| Figura 3.16 | Estructura del módulo, visualización en 3D..... | 18 |
| Figura 3.17 | Corte a laser de en planchas de acero inoxidable..... | 19 |
| Figura 3.18 | Doblez de planchas de acero inoxidable..... | 19 |
| Figura 3.19 | Estructura de acero inoxidable..... | 20 |
| Figura 3.20 | Cableado interno del módulo DC..... | 20 |
| Figura 3.21 | Prueba de frenado por inyección de corriente continua..... | 21 |
| Figura 3.22: | QR con el video del manual de uso y mantenimiento..... | 24 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabla 3.1 | Datos de placa del motor Siemens 1LE0142-0DB26-4AA4-Z D80 | 5 |
| Tabla 3.2 | Datos del transformador ABB..... | 6 |
| Tabla 3.3 | Datos del regulador LM338T..... | 10 |
| Tabla 3.4 | Datos de diodos leds estándar..... | 13 |
| Tabla 3.5 | Datos de fusibles cilíndricos de acción rápida..... | 14 |
| Tabla 3.6 | Resultados de la prueba de frenado..... | 21 |
| Tabla 3.7 | Datos generales de las cargas utilizadas..... | 22 |
| Tabla 3.8 | Datos obtenidos en la prueba de funcionamiento con cargas..... | 23 |

RESUMEN

El proyecto de titulación “CONSTRUCCIÓN DE CUATRO FUENTES DC PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS (ESFOT)”, busca ayudar a los estudiantes a realizar prácticas de materias como Control Industrial, Instrumentación y Circuitos Lógicos; ya sean de las carreras de Tecnología en Electromecánica (EM), Tecnología Superior en Electromecánica (TSEM), Tecnología Superior en Redes y Telecomunicaciones (TSRT).

A continuación, se detallan de una manera resumida las secciones que contiene el proyecto.

En la sección uno se especifica la razón por la que se ejecutó el presente proyecto y el problema a resolverse, además se encuentran detallados los objetivos específicos.

En la sección dos se tiene el apartado de metodología, en este apartado se puntualizó cada actividad realizada para cumplir con los objetivos.

La sección tres es la más extensa debido al estudio previo de las cargas que soportan los módulos, el desarrollo de los cálculos con base en una corriente establecida, el diseño de la placa de circuito impreso (PCB) y la estructura en la cual se instala los elementos electrónicos, el ensamblaje de todos los elementos y finalmente el manual de usuario.

La sección cuatro contiene las conclusiones y recomendaciones que pueden ayudar a algún estudiante que requiera información de este proyecto.

PALABRAS CLAVE: Fuente variable, frenado, motores.

ABSTRACT

The degree project "CONSTRUCTION OF FOUR DC POWER SUPPLIES FOR THE INDUSTRIAL TECHNOLOGY LABORATORY OF THE SCHOOL OF TECHNOLOGY TRAINING (ESFOT)", seeks to help students to perform practices of subjects such as Industrial Control, Instrumentation and Logic Circuits; whether in the careers of Electromechanical Technology (EM), Electromechanical Technology (TSEM), Technology in Networks and Telecommunications (TSRT).

The sections contained in the project are detailed in a summarized manner below.

Section one specifies the reason for this project and the problem to be solved, as well as the detailed specific objectives

Section two obtains the methodology, which specifies each of the activities to fulfill the objectives.

Section three is the most extensive due to the previous study of the loads supported by the modules, the development of the calculations based on an established current, the design of the printed circuit board (PCB) and the structure in which the electronic elements are installed, the assembly of all the elements, and finally the user's manual.

Section four contains the conclusions and recommendations that may be helpful to students who requires information from this project.

KEYWORDS: Variable source, braking, motors.

1 INTRODUCCIÓN

Muchas aplicaciones industriales como por ejemplo ascensores, tecles o bandas transportadoras inclinadas, requieren implementar un sistema de frenado en los motores de inducción. [1]

Para ello el estudiante debe conocer tanto la parte teórica como la parte práctica sobre estos tipos de frenado; por esta razón el laboratorio debería contar con equipos que permitan realizar las prácticas de dichos métodos de frenado que se los puede aplicar en la industria.

El método que se mencionó anteriormente es el de frenado de un motor por inyección de corriente continua. Este método consiste en inyectar corriente DC al estator del motor y dentro del mismo se genera un campo magnético fijo, por ende, el rotor del motor tratará de alinearse con el campo que se creó por la inyección de la corriente continua y en ese momento de produce el paro del motor.

Actualmente el Laboratorio de Tecnología Industrial no cuenta con fuentes de voltaje con una corriente suficiente como para lograr el frenado por inyección de corriente DC [2], por esta razón se procede con la construcción de estas fuentes que permitan desarrollar en la parte práctica los conocimientos adquiridos en las aulas.

Por lo explicado anteriormente se puede decir que los beneficiarios directos de la construcción de las fuentes de voltaje serán los estudiantes de la ESFOT quienes realicen las prácticas de las materias de Control Industrial e Instrumentación, debido a que en la mayoría de las prácticas se requiere como mínimo una fuente variable DC por cada mesa de trabajo.

1.1 Objetivo general

Construcción de cuatro fuentes DC para el Laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT).

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la corriente nominal de las fuentes DC.
- Dimensionar los componentes electrónicos.
- Construir los módulos de las fuentes.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Realizar un Manual de Operación y Mantenimiento.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

El desarrollo de la primera fase del proyecto fue definir los parámetros de corriente que se necesitan en las fuentes a desarrollar, para ello se revisaron los datos de placas de cada uno de los motores para conocer la corriente máxima que deben soportar los módulos, para seleccionar el valor de corriente se calculó con 1.3 veces la corriente nominal del motor seleccionado. Se observó que no existen restricciones sobre las dimensiones que deberían tener las fuentes debido al tamaño de las mesas. Además, los parámetros de las fuentes variables son de 0-12 (V_{DC}) con una corriente de 3 (A_{DC}).

En la segunda fase los componentes fueron seleccionados a partir de cálculos previamente desarrollados teniendo en cuenta valores mencionados anteriormente. Se describen 4 etapas generales en la creación de las fuentes las cuales son: transformación, rectificación, filtrado y regulación. En la etapa de transformación se presentaron problemas con los transformadores usados inicialmente, una vez detectada la falla se procedió a utilizar transformadores ABB; los cuales presentaban una caída de voltaje insignificante. Una vez en la segunda etapa se rectificó la señal obtenida del bobinado secundario del transformador con un puente de diodos; el cual rectificaba la señal de forma completa. La siguiente sección, etapa de filtrado está constituida por varios capacitores que eliminan el voltaje de rizado procedente de la etapa de rectificación. Y finalmente llega la etapa de mayor complejidad la cual es la etapa de regulación, la cual permite mantener el estado de salida independientemente de los valores a la entrada del regulador.

La tercera fase del proyecto se basa en la construcción de los módulos de voltaje variable, en este proceso se abarcaron varios aspectos los cuales fueron: el espacio que se requiere en cada PCB, el espacio de los transformadores y dimensiones de los ventiladores, fusibles, interruptores, volt-amperímetros, voltímetros, potenciómetros y terminales banana hembra. Se procedió con dichas medidas para la elaboración de la estructura en el programa AUTOCAD.

La cuarta fase consistió en la implementación de un módulo funcional, la cual consta de las siguientes características: 2 salidas de voltaje variable de 0-12 (V_{DC}), las cuales al sumarlas se obtiene una fuente variable de 0-24 (V_{DC}) y que soporta una carga máxima de 3 (A_{DC}); al cumplir con los requisitos se procedió armar un tablero de pruebas para el

frenado del motor por inyección de corriente DC que se observa en la **Figura 2.1** este tablero dispone de los siguientes materiales:

- Termomagnéticos bipolar y tripolar.
- Pulsador doble, contacto normalmente abierto (NA) y contacto normalmente cerrado (NC).
- Pulsador simple, contacto NA.
- 2 contactores con contactos auxiliares
- Relés térmicos para la protección del motor
- Temporizador

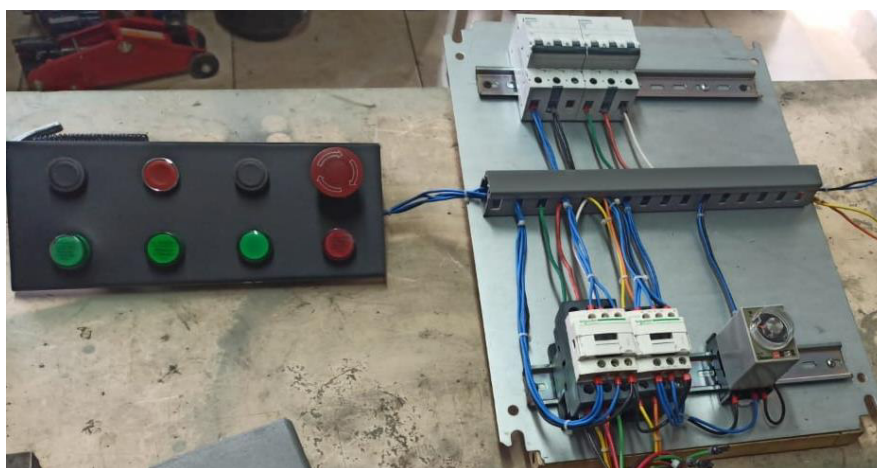


Figura 2.1 Tablero de frenado de un motor trifásico por inyección de corriente IDC.

Se puede visualizar el esquema multifilar del anterior circuito eléctrico en el **Anexo 3**.

Al proceder con la prueba de funcionamiento de la fuente, se confirmó el cumplimiento de los requisitos para la construcción de las fuentes ya con todos sus módulos y estructura.

Finalmente, se procedió con la elaboración del manual de operación y mantenimiento, enfocado en su uso y el mantenimiento de los elementos que se puede soldar nuevamente, además se incluyó un apartado de posibles fallas y cuáles son sus soluciones.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fuentes de voltajes desarrolladas constan de dos salidas de voltaje variable DC desde 0 (V) hasta 12 (V), las cuales soportan una carga de hasta 4 (A), además cuentan con una salida extra de 0 (V) a 24 (V), resultado de sumar las dos salidas de voltaje mencionadas anteriormente. Se tiene un visualizador que muestra el valor de voltaje y corriente consumido por la carga en ese instante.

A continuación, se presenta el desarrollo y cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados.

3.1 Obtención de la corriente nominal de las fuentes DC.

Fue necesario la obtención de datos de placa de cada uno de los motores del laboratorio de Tecnología Industrial, se tomaron valores importantes como la corriente y se los tabuló en la **Tabla 3.1** la cual se muestra a continuación:

Tabla 3.1 Datos de placa del motor Siemens 1LE0142-0DB26-4AA4-Z D80

| Motor SIEMENS 3 ϕ | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|------|
| Modelo: 1LE0142-0DB26-4AA4-Z | | | |
| Voltaje 220/380DD/YY | | Voltaje 440D | |
| Frecuencia (Hz) | 60 | Frecuencia (Hz) | 60 |
| Potencia (HP) | 0.75 | Potencia (HP) | 0.75 |
| Corriente (A) | 2.60/1.49 | Corriente (A) | 1.29 |
| Eficiencia (EFF) | 74% | Eficiencia (EFF) | 74% |
| Factor de Potencia ($\cos\phi$) | 0.77 | Factor de Potencia ($\cos\phi$) | 0.77 |
| Velocidad angular (r/min) | 1735 | Velocidad angular (r/min) | 1735 |

Al revisar todos los motores trifásicos del laboratorio de Tecnología industrial se confirmó que dichos motores poseían características similares.

Con los datos presentados anteriormente se pueden considerar los siguientes valores de utilidad para el diseño del circuito, los datos que se tomaron fueron los siguientes:

Voltaje de alimentación: 220 (V_{AC})

Corriente nominal: 2.6 (A_{AC})
Potencia: 0.75 (HP)
Frecuencia: 60 (Hz)

De todos los datos obtenidos el más importante es el de la corriente nominal siendo 2.6 (A_{AC}), la cual se da con una conexión de 220 (V_{AC}), en base a esta corriente se deduce que la fuente diseñada debe ser de 3 (A_{DC}) como máximo.

3.2 Dimensionar los componentes electrónicos.

Para el dimensionamiento del circuito eléctrico se realizaron cálculos de los elementos en las etapas de transformación, rectificación, filtrado y regulación mostradas en la **Figura 3.1**, además se añadió algunas etapas para lograr alcanzar el valor de 0 (V_{DC}) y lograr un amperaje cercano a los 3 (A_{DC}).

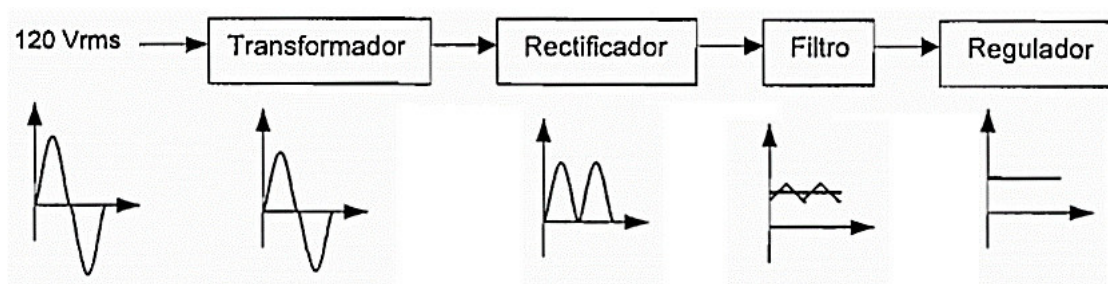


Figura 3.1 Diagrama de bloques de una fuente regulada [3].

Transformador

Para la obtención de una corriente de 3 (A) y con mínimas caídas de tensión se consideró un transformador de potencia y teniendo en cuenta el suministro de voltaje del laboratorio el transformador consta con un bobinado primario de 120 (V) y bobinado secundario de 12 (V).

Tabla 3.2 Datos del transformador ABB.

| Especificación | Valor | Unidad |
|-------------------------|---------|--------|
| Voltaje pico primario | 120/240 | V |
| Voltaje pico secundario | 12/24 | V |
| Potencia aparente | 75 | VA |
| Frecuencia | 60 | Hz |

Los valores presentados se obtuvieron con base en la ficha de datos del transformador ABB 9T58K2874 las cuales se observan en el **Anexo 5**.

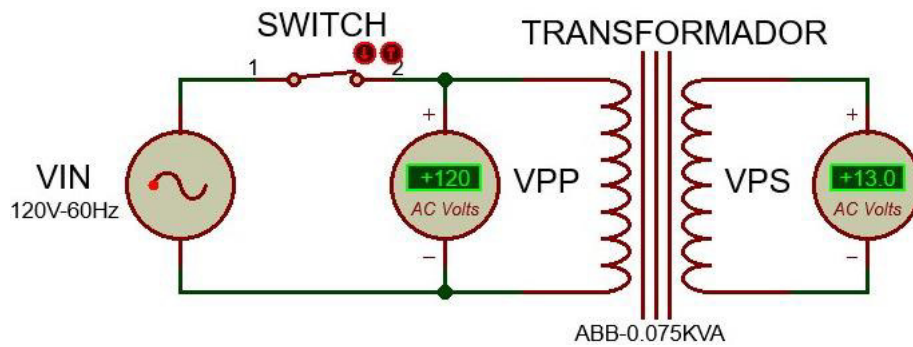


Figura 3.2 Etapa de transformación.

Rectificador

Para obtener la Tensión umbral (V_γ) se utilizó la **Figura 3.3** de la hoja de datos de un puente rectificador de 3 (A_{DC}). Por lo tanto, el $V_\gamma=0.8$

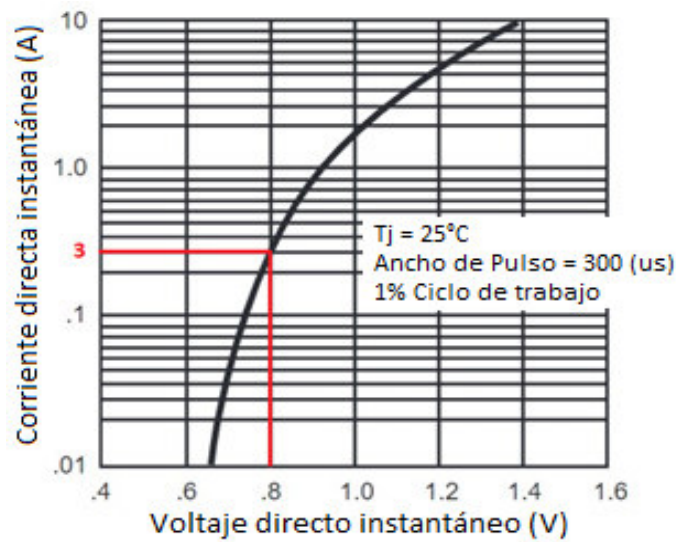


Figura 3.3 Características típicas de avance instantáneo [4].

Una vez obtenido el dato de voltaje pico secundario (V_{PS}), se procede a calcular el voltaje máximo (V_M) con la siguiente formula.

$$V_M = V_{PS} - 2V_\gamma$$

Ecuación 3.1 Voltaje máximo [4].

Donde:

V_{PS} : $13\sqrt{2}$ (V) voltaje pico secundario

V_{γ} : 0.8 (V) tensión umbral

V_M : (V) voltaje máximo

Usando la Ecuación 3.1 se obtiene:

$$V_M = 16.7847 \text{ (V)}$$

Se emplea la siguiente ecuación en base al anterior valor calculado, para encontrar el voltaje eficaz del voltaje máximo.

$$V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}}$$

Ecuación 3.2 Voltaje eficaz [4].

Donde:

V_M : 16.7847 (V) voltaje máximo

V_{RMS} : (V) Voltaje eficaz

Por lo tanto:

$$V_{RMS} = 11,8685 \text{ (V)}$$

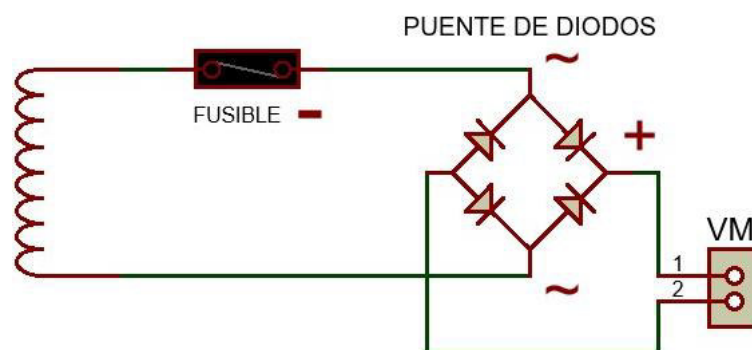


Figura 3.4 Etapa de rectificación.

En la **Figura 3.4** se puede observar la rectificación de una onda completa mediante la utilización de un puente de diodos.

Filtro

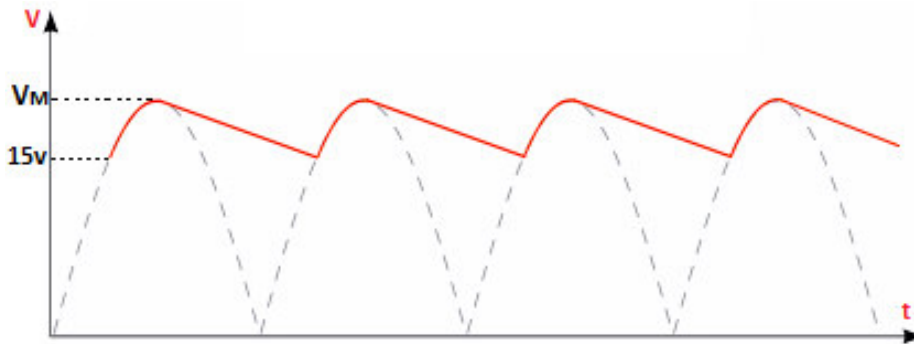


Figura 3.5 Voltaje de rizado.

Para un voltaje de rizado pico a pico se realizó el siguiente análisis, se tomó como valor mínimo 15 (V) debido a que la diferencia entre la entrada y salida del regulador debe ser mínimo de 3 (V) como se indica en la **Figura 3.5**.

$$V_{rp-p} = V_M - 15 \text{ (V)}$$

Donde:

V_M : 16.7847 (V) voltaje máximo

V_{rp-p} : (V) voltaje de rizado pico a pico

Por lo tanto:

$$V_{rp-p} = 1.7847 \text{ (V)}$$

En base al anterior resultado se emplea la siguiente ecuación para encontrar el valor de los capacitores.

$$C = \frac{I}{2f \cdot V_{rp-p}}$$

Ecuación 3.3 Capacitancia [4].

Donde:

I : 3 (A) corriente

f : 60 (Hz) frecuencia

V_{rp-p} : 1.7847 (V) voltaje de rizado pico a pico

C : (F) Capacitancia

Por lo tanto:

$$C = 14007 \times 10^{-6} \text{ (F)}$$

Valores comerciales de capacitores electrolíticos.

$$C = 14007 \text{ (}\mu\text{F)} \begin{cases} 22000 \text{ (}\mu\text{F)} \checkmark \\ 12000 \text{ (}\mu\text{F)} \times \end{cases}$$

Regulador

De acuerdo con las características requeridas para el diseño de la fuente se trabajó con el LM338T. Los siguientes valores de la **Tabla 3.3** se obtuvieron de la hoja de datos del fabricante del regulador seleccionado, la cual se encuentra en **Figura A.6**.

Tabla 3.3 Datos del regulador LM338T.

| Parámetro | Símbolo | Valor | Unidad |
|-----------------------------|-------------------|-------|-------------------|
| Voltaje mínimo | $V_{\min LM338T}$ | 1.2 | (V) |
| Voltaje máximo | $V_{\max LM338T}$ | 12 | (V) |
| Corriente del pin de ajuste | I_{adj} | 50 | (μA) |

De acuerdo con la hoja de datos del LM338T es necesario utilizar diodos de protección 1N4001 para evitar la descarga de condensadores. En la **Figura 3.6** se visualiza las conexiones de los elementos anteriormente mencionados.

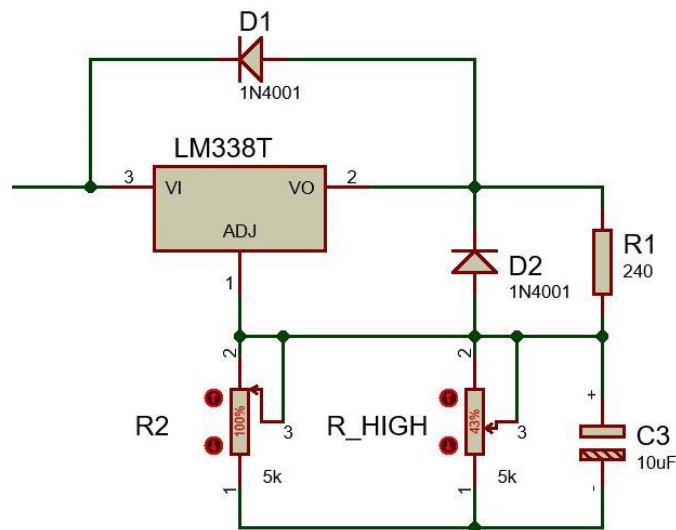


Figura 3.6 Etapa regulador.

Se emplea la **Ecuación 3.4** para encontrar la resistencia que regula el voltaje de la fuente.

$$V_{out,LM338T} = 1.25 \left(1 + \frac{R_2'}{R_1} \right) + I_{adj} \times R_2'$$

Ecuación 3.4: Voltaje de salida LM338T [5].

Donde:

R_1 : 240 (Ω) resistencia

I_{adj} : 50 (μ A) corriente del pin de ajuste

$V_{out,LM338T}$: 12 (V) voltaje de salida del regulador

R_2' : (Ω) resistencia

Por lo tanto:

$$R_2' = 2044.3740 (\Omega)$$

Valores comerciales de resistencias de precisión.

$$R_2' = 2.0443 (k\Omega) \begin{cases} 5 (k\Omega) \checkmark \\ 1 (k\Omega) \times \end{cases}$$

$$R_2 = 5 (k\Omega)$$

Al no obtener una resistencia comercial de 2,0443 (Ω) se procede a colocar una resistencia en paralelo, de esta manera se obtiene valores cercanos al voltaje máximo 12 (V_{DC}).

$$R_2' = \frac{1}{\frac{1}{R_{HIGH}} + \frac{1}{R_2}}$$

Ecuación 3.5 Cálculo de resistencias en paralelo [5].

Donde:

R_2' : 2.0443 ($k\Omega$) resistencia

R_2 : 5 ($k\Omega$) resistencia

R_{HIGH} : (Ω) resistencia

Por lo tanto:

$$R_{HIGH} = 3458.2332 (\Omega)$$

Valores comerciales de potenciómetros.

$$R_{HIGH} = 3.4582 (k\Omega) \begin{cases} 5 (k\Omega) \checkmark \\ 1 (k\Omega) \times \end{cases}$$

Diodo Zener

Al utilizar el regulador de voltaje LM338T se obtiene valores mínimos de 1.2 (V_{DC}), para lo cual se usó el siguiente circuito de la **Figura 3.7** en la que se puede observar un diodo Zener 1N4733A de 5.1 (V_{DC}) para disminuir a valores cercanos a 0 (V_{DC}).

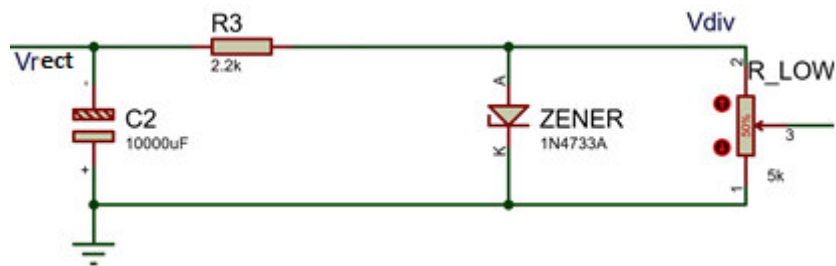


Figura 3.7 Circuito Diodo Zener.

Se coloca un divisor de voltaje de 6 (V) para un funcionamiento correcto del diodo Zener 1N4733A, teniendo en cuenta que el voltaje para ese Zener es de 5.1 (V).

Además, se tiene como datos la potencia de disipación máxima del Zener (P_{maxz}) = 11.8685 (W).

$$V_{Div} = \frac{R_{LOW}}{R_3 + R_{LOW}} \times V_{rect}$$

Ecuación 3.6 Divisor de voltaje [5].

Donde:

V_{Div} : 6 (V) resistencia

R_3 : 2.2 (k Ω) resistencia

V_{rect} : 11.7837 (V) Voltaje rectificado

R_{LOW} : (Ω) resistencia

Por lo tanto:

$$R_{LOW} = 2.2822 (k\Omega)$$

Valores comerciales de resistencias de precisión.

$$R_{HIGH} = 2.2822 (k\Omega) \begin{cases} 5 (k\Omega) \checkmark \\ 1 (k\Omega) \times \end{cases}$$

Diodo Led y Ventilador

Se colocó un led que señala el encendido de la fuente y un ventilador para la disipación de alta temperaturas del LM338T y Tip35C el cual es un transistor NPN usado para soportar corrientes altas.

Los valores de la **Tabla 3.4** indican los datos del led estándar color verde además de la conexión que se requiere la cual se muestra en la **Figura 3.8**.

Tabla 3.4 Datos de diodos leds estándar.

| Color | Capsula (Diámetro) | Luminosidad (candelas) | Corriente de alimentación | Tensión de alimentación |
|-------|--------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Verde | 3 (mm) | 40 (mcd) | 20 (mA) | 2.2 – 2.6 (V _{DC}) |
| Verde | 5 (mm) | 80 (mcd) | 20 (mA) | 2.2 – 2.6 (V _{DC}) |

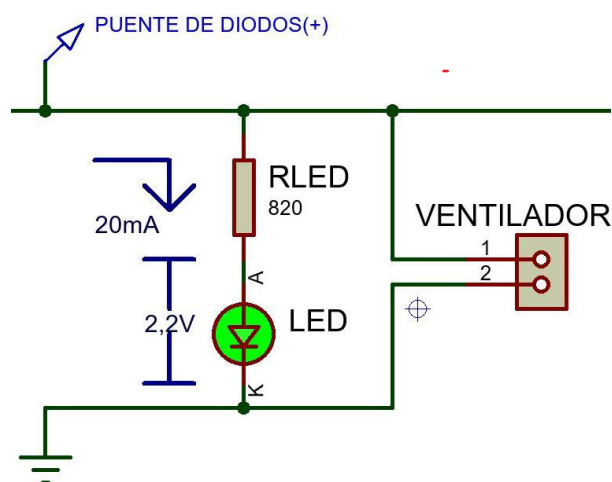


Figura 3.8 LED y ventilador.

Se realiza el siguiente análisis de la **Figura 3.8**:

$$-V_M + V_{RLED} + V_{LED} = 0$$

Donde:

V_M : 16.7847 (V) voltaje máximo

V_{LED} : 2.2 (V) voltaje Led

V_{RLED} : (V) voltaje de la resistencia del led

Por lo tanto:

$$V_{RLED} = 14.5847 V$$

En base al valor calculado se emplea la siguiente ecuación y se obtiene el valor de la resistencia.

$$R_{LED} = \frac{V_{RLED}}{I_{LED}}$$

Ecuación 3.7 Ley de Ohm [5]

Donde:

V_{RLED} : 14.5847 (V) voltaje de la resistencia del led

I_{LED} : 20 (mA) corriente del led

R_{LED} : (Ω) resistencia en serie del led

Por lo tanto:

$$R_{RLED} = 729.235 (\Omega)$$

Valores comerciales de resistencias.

$$R_{RLED} = 729.235 (\Omega) \begin{cases} 820 (\Omega) \checkmark \\ 680 (\Omega) \times \end{cases}$$

Fusibles

Para una protección correcta de los módulos, se tomó en cuenta la **Tabla 3.5** y se dimensionó fusibles con un factor de seguridad del 20% de la corriente nominal de 3 (A), y teniendo en cuenta valores comerciales el fusible a utilizar es de 4 (A).

Tabla 3.5 Datos de fusibles cilíndricos de acción rápida [7].

| Características Eléctricas | | Características constructivas |
|----------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Voltaje | 250 (V _{AC}) | Cuerpo de cristal |
| Rango de corriente | 0.5 – 20 (A) | Contactos de cobre electrolítico |

Acoplamiento de transistor para mayores corrientes

Para corrientes más altas se realizó el acople de un TIP35C, transistor NPN el cual permite la amplificación de potencia mientras que la máxima corriente depende de la cantidad que se pueda extraer del transformador de la fuente, debido a que el TIP35C soporta una corriente máxima de 25 (A) [6].

En la **Figura 3.9**, se coloca el circuito eléctrico en donde se puede observar los elementos antes mencionados.

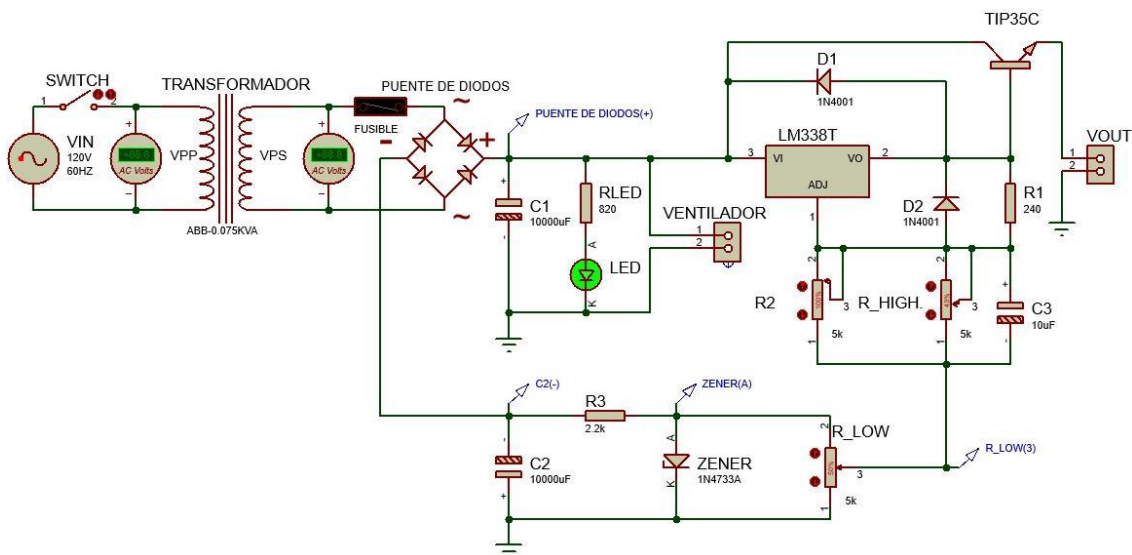


Figura 3.9 Circuito de la fuente de voltaje variable de 0 a 12 (V_{DC}).

3.3 Construcción de los módulos de las fuentes.

Para el cumplimiento de este objetivo se procedió con el desarrollo de las placas con todos los elementos anteriormente dimensionados, con sus cálculos respectivos y estructuras metálicas, las cuales se desarrollaron en acero inoxidable y cuyos cortes fueron hechos con láser. Se explicará de una manera más detallada como se procedió con cada parte de este objetivo a continuación.

Desarrollo de las placas

Elementos utilizados

- Puente de diodos de 3 (A)
- Capacitor electrolítico de 10000 (uf) a 25 (V)
- Resistencia de ¼ (W) de 820 (Ω)
- Resistencia de ¼ (W) de 240 (Ω)
- Resistencia de ¼ (W) de 2.2 (KΩ)
- Diodo 1N4001

- LM338T
- Potenciómetros de precisión de 5 (K Ω)
- Capacitor electrolítico de 10 (uf) a 25 (V)
- Capacitor de tantalio 1 (uf) a 25 (V)
- Diodo Zener 1N4733A
- TIP35C
- Borneras
- Placa de fibra de vidrio de 15*10 (cm)
- Ácido férrico
- Papel termotransferible

Elaboración del circuito impreso

Se lo realizó con el método de planchado, consiste en la impresión en una hoja de papel termotransferible del circuito previamente desarrollado en Proteus u otros programas similares como se observa en la **Figura 3.10**, una vez que se tiene el circuito impreso en la hoja de papel termotransferible se coloca sobre la baquelita de manera que simule un envoltorio y sujetándolo con cinta para que el papel quede tan adherido a la baquelita como sea posible.

El circuito desarrollado es el siguiente:

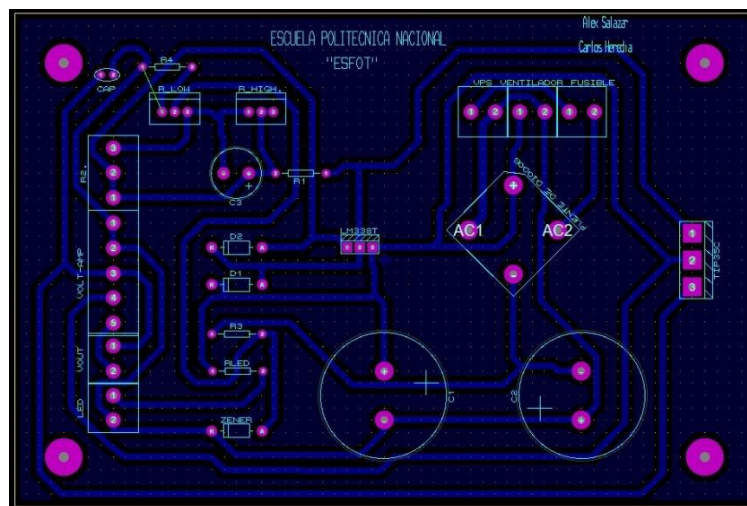


Figura 3.10 Diseño del circuito PCB realizado en ARES.



Figura 3.11 Método del planchado

Una vez realizado el planchado se procede con la eliminación del cobre mediante la colocación de ácido férrico y agua caliente; después de cierto tiempo en constante movimiento, luego de alrededor de 5 minutos de constante movimiento el resultado es el que se observa en la **Figura 3.12**.

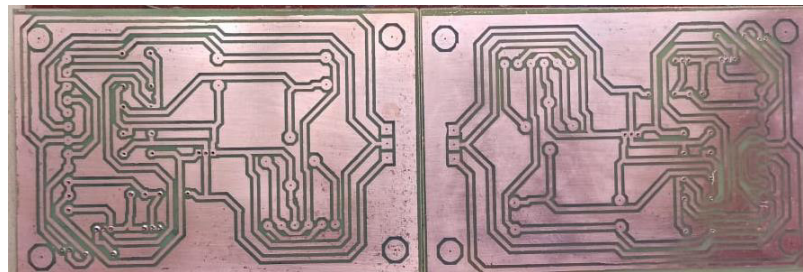


Figura 3.12 Pistas de la placa de circuito impreso.

Después, se procede con la perforación de los agujeros tal como se muestra en la **Figura 3.13** para la colocación de los elementos eléctricos y electrónicos.

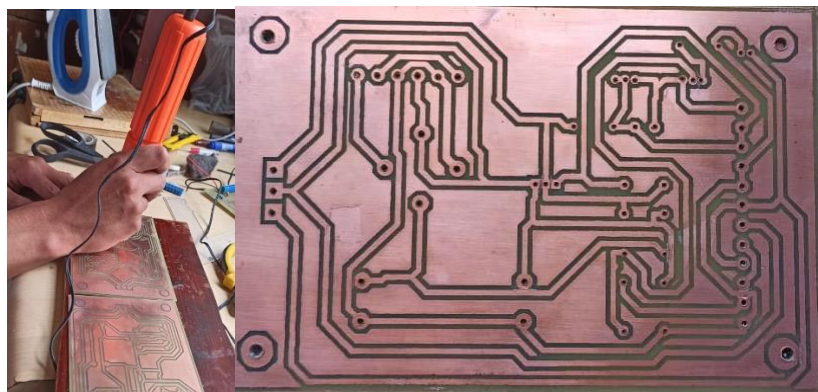


Figura 3.13 Perforación de la placa de circuito impreso.

A continuación, se procede con la impresión de la placa electrónica en su parte frontal para identificar cada uno de los elementos.

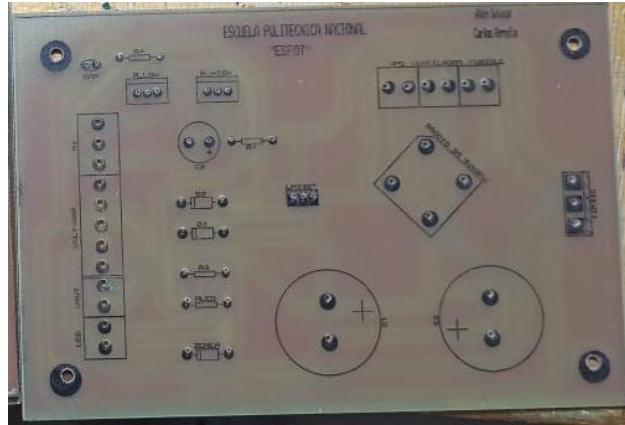


Figura 3.14 Parte frontal de la placa identificando los elementos.

Una vez listas las baquelitas se procedió a soldar los elementos como se indica en la **Figura 3.15**.



Figura 3.15 Placa de circuito impreso, fuente 12 (V).

Diseño y construcción de la estructura metálica

Una vez desarrolladas todas las placas requeridas, las cuales fueron 8 debido a que en cada fuente son necesarias 2 placas, se procedió con la elaboración de planos para la estructura que se realizara en acero inoxidable.

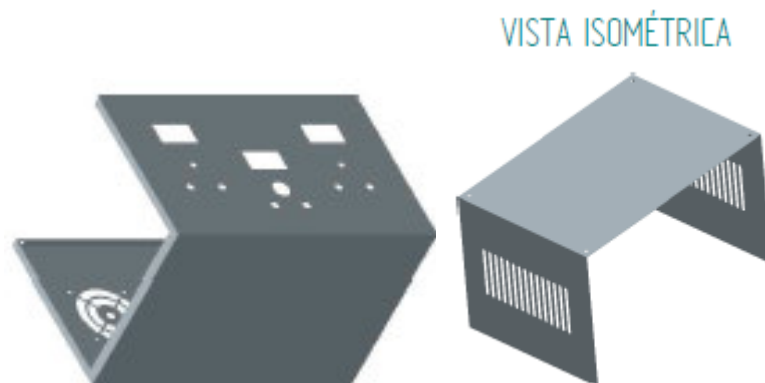


Figura 3.16 Estructura del módulo, visualización en 3D.

Los planos mostrados se desarrollaron en SolidWorks como se observa en la **Figura 3.16**, pero para la máquina de corte se requerían planos en 2D y en AutoCAD para mayor facilidad. Y para ello se desarrollaron dichos planos adjuntados en el **Anexo 2**.

Corte de la plancha de acero en laser

Una vez desarrollado el plano y con todos los requerimientos listos, se procedió con el corte a laser de la plancha de acero inoxidable, y el resultado fue el siguiente.

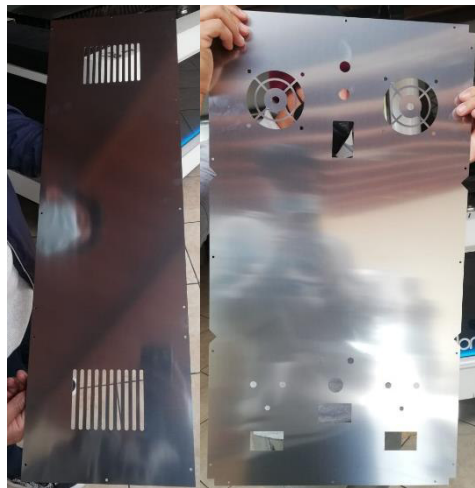


Figura 3.17 Corte a laser de en planchas de acero inoxidable.

Una vez que las planchas estuvieron cortadas se procedió con el doblado de cada una, para obtener la forma como se indica en el diseño de SOLIDWORKS.



Figura 3.18 Doble de planchas de acero inoxidable.

Con las cajas ya dobladas se procedió con la elaboración de un diseño para identificar los elementos y obtener un toque estético de la fuente.



Figura 3.19 Estructura de acero inoxidable.

Cableado interno de los elementos

Una vez que la estructura se encontraba lista se procedió con el cableado de todos los elementos de una forma ordenada y teniendo en cuenta todas las protecciones requeridas, se puede observar en la **Figura 3.20** la disposición de cables, además se utilizó cinta espiral y terminales punteros para asegurar todas las conexiones.

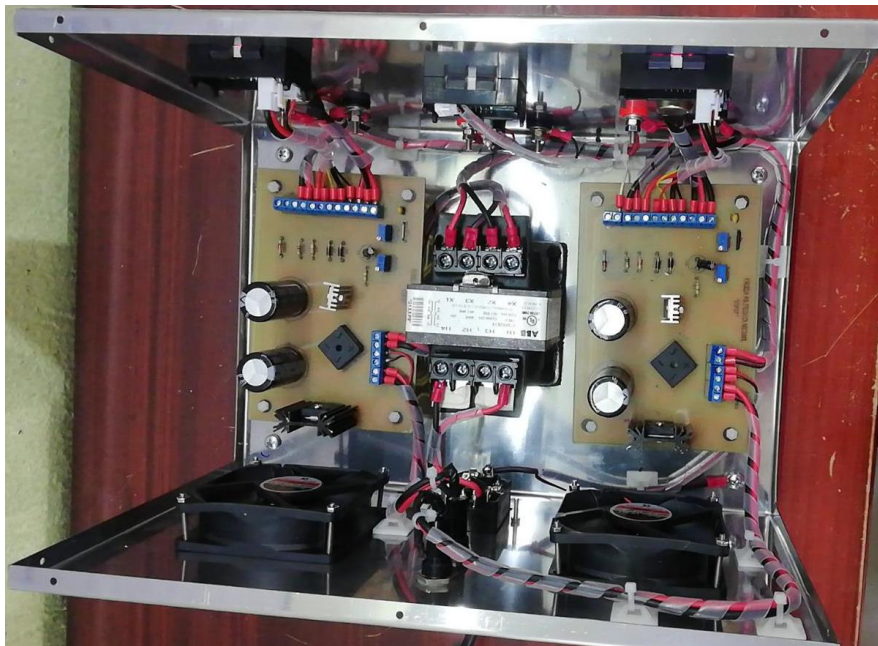


Figura 3.20 Cableado interno del módulo DC.

3.4 Pruebas y Análisis de Resultados

Prueba de Frenado de un motor trifásico por inyección de corriente continua.

El método del frenado por inyección de corriente DC funciona de la siguiente manera:

En el momento en que se inyecta la corriente DC de la fuente desarrollada, esta ingresa al estator y se crea un campo magnético fijo, de esta manera el rotor trata de alinearse con el campo creado y así se detiene el motor, también se debe adicionar un temporizador con un tiempo de 2 segundos, de esta manera se evita que el motor sufra daños por exponerlo a una corriente DC durante mucho tiempo, el circuito desarrollado se observa en la **Figura 3.21**.



Figura 3.21 Prueba de frenado por inyección de corriente continua.

Tabla 3.6 Resultados de la prueba de frenado.

| # de prueba | Frenado en condiciones normales | Frenado por inyección de corriente DC | Mejora en el tiempo de frenado | Porcentaje de mejora del tiempo de frenado |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| 1 | 7.82 (s) | 1.05 (s) | 6.7 (s) | 85.67% |
| 2 | 7.22 (s) | 1.02 (s) | 6.2 (s) | 85.87% |
| 3 | 6.81 (s) | 0.9 (s) | 5.9 (s) | 86.63% |
| # de prueba | Voltaje sin carga | Voltaje con carga | Variación del voltaje | Porcentaje de variación de voltaje |
| 1 | 24 (V) | 23.08 (V) | 0.92 (V) | 3.83% |

| | | | | |
|--------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|-------|
| 2 | 24 (V) | 23.61 (V) | 0.39 (V) | 1.62% |
| 3 | 24 (V) | 23.83 (V) | 0.17 (V) | 0.70% |
| # de prueba | Corriente sin carga | | Corriente con carga | |
| 1 | 0 (A) | | 1.73 (A) | |
| 2 | 0 (A) | | 1.93 (A) | |
| 3 | 0 (A) | | 2.37 (A) | |

La conexión del motor se la realizó en delta para que consuma 220(V) trifásicos y una corriente de 2.60 (A) y así someter a la fuente a condiciones extremas, y verificar que la corriente entregada por la fuente cumple con los parámetros para los cuales se la desarrolló.

Tomar en cuenta que la inyección de corriente no debe ser durante tiempos prolongados para que el motor no sufra daños.

Prueba de funcionamiento con cargas

Se realizó la prueba para comprobar el funcionamiento de la fuente realizada en un tiempo prolongado y con carga elevada para así verificar el correcto desempeño de todos sus elementos.

Para el desarrollo de esta prueba solamente se procedió con la conexión de cargas en paralelo para mantener el voltaje a la salida, pero para aumentar la corriente que requieren las cargas, en la **Tabla 3.7** se encuentra información sobre las cargas colocadas a la salida de los módulos.

Tabla 3.7 Datos generales de las cargas utilizadas.

| Foco incandescente | | Lampara de emergencia foco led | | Motor rectangular DC: | |
|-------------------------|--------|--------------------------------|---------|-------------------------|----------|
| Voltaje de alimentación | 12 (V) | Voltaje de alimentación | 12 (V) | Voltaje de alimentación | 12 (V) |
| Potencia | 21 (W) | Corriente | 1.1 (A) | Corriente | 800 (mA) |

Como nota adicional, se forzó al motor hasta que en el multímetro mostró una medida de 4.2 (A) y sin algún problema en el circuito, con lo cual queda demostrado que la fuente si soporta una carga de 3 (A) para la que fue diseñada.

Tabla 3.8 Datos obtenidos en la prueba de funcionamiento con cargas.

| # de fuente | Tiempo de la prueba | Voltaje medido | Corriente medida |
|-------------|---------------------|----------------|------------------|
| 1 | 8 (Horas) | 11.8 (V) | 1.56 (A) |
| 2 | 8 (Horas) | 11.5 (V) | 2.36 (A) |
| 3 | 6 (Horas) | 11.7 (V) | 1.89 (A) |
| 4 | 7:30 (Horas) | 11 (V) | 4.2 (A) |

Con el uso de la fuente durante un tiempo prolongado se observó que el LM338T elevaba su temperatura aun estando colocado su disipador, además que al conectar varias cargas la fuente sufría una caída de voltaje de 12 (V) a 11 (V), en base a estos errores que se observó, se procedió con el cambio en el diseño del circuito aumentado elementos y cambiando algunos, los cambios que se realizó se detallan a continuación.

Con referencia al aumento de temperatura del LM338T se investigó que elemento podría ayudar al regulador de voltaje y en base a la información se llegó a la conclusión de que el transistor bipolar TIP35C sirve para este propósito. Para arreglar el problema de la caída de voltaje se aumentó la capacitancia en base a los cálculos desarrollados, el valor calculado fue de 14000 (μF), en primera instancia se optó por el valor comercial de 12000 (μF) pero al observar la caída de voltaje, se seleccionó dos capacitores de 10000 (μF) en paralelo para aumentar el valor a 20000 (μF).

3.5 Manual de Uso y Mantenimiento

Se realizó un video en el cual se muestra el mantenimiento preventivo y correctivo de las fuentes de voltaje, además se explica el funcionamiento y conexión para distintas cargas. Este video se muestra en el código QR de la **Figura 3.22**



Figura 3.22: QR con el video del manual de uso y mantenimiento.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Las fuentes desarrolladas cumplen satisfactoriamente los parámetros para los cuales fueron diseñadas los cuales son 12 (V) y 3 (A), logrando abastecer una carga de hasta de 5 (A) sin inconvenientes.
- Para trabajar con acero y lograr unos detalles limpios y exactos fue una gran idea realizar los cortes en laser, debido a que tiene una gran precisión en casos donde haya radios de curvatura pequeños como en las rendijas de ventilación.
- Con relación a la parte eléctrica se optó por realizar dos placas para cada módulo, es decir, cada placa suministrará los 12 (V) y sumadas darán los 24 (V), cabe recalcar que el módulo internamente ya cuenta con la debida conexión para la suma de las dos fuentes variables de 0 (V) a 12 (V), solamente se debe activar el interruptor y se obtendrá la fuente variable de 0 (V) a 24 (V).
- Se realizaron pruebas para los fusibles colocados en cada placa cuyos valores son ..., es decir, en el módulo se cuenta con dos fusibles que protegen a las fuentes de 12 (V) y además se cuenta con un fusible para la protección a la entrada del transformador, funcionando este de una manera correcta al desconectar todo el circuito en caso de falla.
- El circuito utilizado en el presente proyecto consta de las 4 etapas (transformación, rectificador, filtro y regulador) las cuales se usan básicamente para la construcción de fuente de voltaje variable, siendo una parte importante el regulador usado para alcanzar corrientes y voltajes deseados, el límite inferior del voltaje debe tender a 0 (V) por lo que se colocó un diodo Zener.
- Dependiendo de la calidad de la fuente que se desee construir pueden variar los precios, esta fuente al desarrollarse con elementos de calidad requiere de alrededor de 250\$ a 300\$ teniendo en cuenta que los elementos más caros son los transformadores y las estructuras de acero inoxidable.
- Los Módulos construidos pueden alcanzar corrientes y voltajes aún más altas exactamente en voltaje hasta 15 (V) y en corriente de acuerdo al fusible llegando hasta los 5 (A) , debido a las modificaciones realizadas, de acuerdo con el voltaje se colocaron potenciómetros de precisión para calibrar el valor inferior y superior de voltaje.

4.2 Recomendaciones

- Realizar varias pruebas de funcionamiento, si se va a trabajar con cargas que requieran un alto consumo de corriente se debe trabajar con elementos que puedan soportar dicho consumo por problemas de caída de tensión.
- Con relación al transformador es recomendable utilizar uno que sobrepase la corriente que se requiere debido a que hay pérdidas de corriente en las distintas etapas de las que se compone el circuito.
- Para la impresión de circuitos eléctricos para la quema de baquelitas, se los debe realizar en papel apropiado, el cual es el papel termotransferible y debe estar sobre la baquelita alrededor de 10 minutos, si se coloca la plancha durante más tiempo las pistas del circuito no tendrán un buen funcionamiento.
- Es necesario trabajar con voltímetros - amperímetros que tengan la resistencia shunt incorporada, debido a que si no dispone de esta resistencia medirá valores erróneos en las medidas que se tomen de cada salida de voltaje.
- Es recomendable trabajar con el tránsito TIP35C si se requiere una fuente de mayor corriente debido a la amplificación de potencia que ofrece este elemento, además permite disipar mayor cantidad de calor.
- Si se desea trabajar con un controlador de voltaje para más de 2 (A) es recomendable utilizar un LM338T, debido a que este controlador de voltaje puede suministrar una corriente pico de hasta 7 (A).
- Si se desea realizar un plano de alguna estructura en las medidas que se desea es necesario incluir el desgasto del material en el doblado es decir se debe aumentar al menos una medida del grosor del material (en este caso fue 0.7 (mm)) que se va a doblar.
- Si se utiliza el controlador de voltaje LM338T, considerar que se debe incluir un disipador de calor por el hecho de manejar altas corrientes, aunque los datos de fábrica indican que maneja una corriente de 5 (A) no está por demás tener esa precaución.
- Una mejora que se puede desarrollar en los módulos es la implementación de un sistema de encendido individual por cada fuente es decir que existan interruptores adicionales a parte del principal para encender cada fuente de 12 (V) por separado.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. Rodríguez, “Frenado de máquinas asíncronas o de Inducción.”, *Dep. Ing. Eléctrica y Energética This*, pp. 12–15, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bkvuLA>.
- [2] J. Reimón, “Fuentes de alimentación lineales y conmutadas”, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3lzWL1c>.
- [3] M. G. C. Del Rocio, “Escuela politécnica nacional”, *Repos. Digit. EPN*, pp. 4–9, 2004, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3jfdwzJ>.
- [4] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos - Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky*. México, 2009.
- [5] G. Description y C. Diagrams, “5-Amp Adjustable Regulators”, núm. March, pp. 1–16, 1995, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/38fOVEI>.
- [6] K. Semiconductor, “TIP35C.pdf”, pp. 1–2, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3jjcnXQ>.