



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Facultad de Ingeniería

Carrera: Ingeniería Electrónica

Asignatura: Proyecto y Diseño Electrónico ET546

Digitalización de Control Analógico para Fuente de Alimentación Ajustable

Autores:

Korpys Ernesto Andrés
ernesto.korpys@gmail.com

Fernando Natanael Krindgester
krindgesfer@gmail.com

Tutores:

Botterón Fernando
botteron@fio.unam.edu.ar

Maxit Alejandro Germán
alejandro.maxit@fio.unam.edu.ar

Oberá, Misiones

Noviembre de 2024

Digitalización de Control Analógico para Fuente de Alimentación Ajustable

Autores:

Korpys Ernesto Andrés
ernesto.korpys@gmail.com
K-3290/5

Fernando Natanael Krindgester
krindgesfer@gmail.com
MODIFICAR Legajo del autor 2

Proyecto y Diseño Electrónico ET546

Integrantes del Tribunal Examinador

Ricardo Andrés Korpys
Docente Examinador

Guillermo Alfredo Fernandez
Docente Examinador

Alejandro Germán Maxit
Docente Examinador

Resumen

Digitalización de Control Analógico para Fuente de Alimentación Ajustable

Autores:

Korpys Ernesto Andrés

Fernando Natanael Krindgester

Universidad Nacional de Misiones

Facultad de Ingeniería

El proyecto se centra en la modernización de una fuente de alimentación preexistente, en su mayoría analógica, de una tensión variable desde 0V hasta 30V y una corriente ajustable desde 0A hasta 3A, mediante la implementación de un control digital para la regulación precisa de la tensión y corriente de salida, así como la implementación de lazos de control digital para garantizar la estabilidad de la salida en diversas condiciones de carga. La esencia de este proyecto radica en la utilización de un controlador digital de señales para ajustar la salida de la fuente de alimentación, a través de un teclado. Este enfoque proporciona al usuario la capacidad de configurar fácilmente los valores deseados de tensión y corriente de salida, mientras que un display integrado ofrece una retroalimentación visual en tiempo real, mostrando tanto los valores establecidos como los valores reales de salida. Como núcleo de control, se emplea el controlador digital de señales dsPIC30F4011 (40-Pin PDIP), destacando su capacidad para gestionar eficientemente las operaciones del sistema. Es importante mencionar que este diseño no requiere de conexión inalámbrica, lo que simplifica su implementación y uso.

Palabras claves: *Fuente de tensión, Lazo de control, DSP, digital,*

Acerca de Proyecto y Diseño Electrónico

El Proyecto Electrónico es un curso anual bajo la modalidad de trabajo individual o grupal supervisado, con el propósito de aplicar estrategias de diseño y análisis a un problema de temática abierta de la ingeniería electrónica.

Abstract

Digitization of Analog Control for adjustable Power Supply

Translated from the original spanish title: “Digitalización de Control Analógico para Fuente de Alimentación Ajustable”

by

Korpys Ernesto Andrés

Fernando Natanael Krindgester

National University of Misiones
Engineering Faculty

The project focuses on modernizing an existing power supply, predominantly analog, with a variable voltage range from 0V to 30V and an adjustable current range from 0A to 3A. This is achieved through the implementation of digital control for precise regulation of both voltage and current output, alongside the incorporation of digital control loops to ensure output stability under various load conditions.

The essence of this project lies in the utilization of a digital signal controller to adjust the power supply's output via a keypad. This approach grants users the ability to easily configure desired voltage and current values, while an integrated display provides real-time visual feedback, showcasing both set and actual output values.

At the core of control, the project employs the dsPIC30F4011 digital signal controller (40-Pin PDIP), notable for its efficient management of system operations. It is pertinent to mention that this design does not necessitate wireless connectivity, simplifying its implementation and usage.

Keywords: *Voltage source, Control loop, DSP, Digital.*

About Proyecto y Diseño Electrónico (“Electronic Project”)

The “Electronic Project” is a course of supervised individual or group work of one semester, with the purpose of applying design and analysis strategies to a problem in an open topic in electrical engineering.

Dedicado a nuestras familias y amigos Saludos.

Agradecimientos

Korpys Ernesto. Agradezco de corazón a mi familia por su inquebrantable apoyo a lo largo de toda mi vida. En especial, a mi madre Gladys, cuyo amor y sacrificio han sido mi mayor inspiración y motor para alcanzar mis metas. Agradezco enormemente a mi compañero de proyecto, Fernando, quien no solo fue mi compañero de trabajo, sino también un amigo invaluable durante esta travesía académica. Su colaboración y compañerismo fueron fundamentales para el éxito de este proyecto. A mis amigos presentes, les doy las gracias por su constante ánimo y respaldo, por compartir conmigo momentos de alegría y por ser un pilar fundamental en mi vida. Expreso mi profundo agradecimiento al equipo docente, a los ingenieros Botteron, Fernandez y Kolodziej, quienes no solo compartieron su conocimiento y experiencia conmigo, sino que también me brindaron su apoyo académico cuando más lo necesité. Gracias por ser guías en este viaje de aprendizaje y crecimiento profesional.

Índice general

Índice general	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de fotografías	xiv
Índice de tablas	xiv
Nomenclatura	xv
1 Introducción	1
2 Introducción teórica a fuentes DC	3
2.1. Sobre las fuentes de alimentación	3
2.1.1. Fuente ideal de tensión.	3
2.1.2. Técnicas de Regulación	4
2.1.3. Fuentes de alimentación Lineales.	4
2.2. Funcionamiento básico.	4
2.2.1. Transformador	4
2.2.2. Rectificador	5
2.2.3. Filtro	5
2.2.4. Regulador	5
2.3. Ventajas y desventajas	5
2.4. Evolución y mejoras con el pasar de los años	6
2.5. Fuentes comerciales	6
3 Modificación de la Fuente DC anterior	9
3.1. Sobre la fuentes de alimentación anterior	9
3.1.1. Circuito Fijador de Referencia para los Transistores	9
3.1.2. Modificación de uso de Potenciómetros Digitales MCP4661	9
3.1.3. Eliminación del circuito de medición externo	10
3.1.4. Modificación del Circuito de Acople y Desacople de Carga	10
3.1.5. Simplificación del Circuito Indicador de Modo de Operación	11
3.1.6. Integración del Circuito con NodeMCU ESP-32S	11
3.1.7. Encoders rotativos	12
4 Uso de esta plantilla en L^AT_EX	13
4.1. Estructura del Informe	13
4.1.1. Datos generales	15
4.1.2. Resumen	16
4.1.3. Abstract	17
4.1.4. Agradecimientos	17
4.1.5. Nomenclatura	17
4.1.6. Índices	17
4.1.7. Modificaciones extras	18

4.1.8. Agregar un capítulo	19
4.2. Figuras	21
4.3. Fotografías	23
4.4. Tablas	24
4.5. Números y Unidades	28
4.6. Ecuaciones	29
4.7. Código fuente	30
4.8. Bibliografía	32
5 Conclusiones	33
6 Estrategia de control	35
6.1. Principio de estrategia de control.	35
6.1.1. Lazo de tensión	35
6.1.2. Lazo de corriente.	35
7 Control digital	37
7.1. Diagrama de bloques de la etapa digital	37
7.2. Componentes de la etapa digital.	37
7.2.1. Microcontrolador Arduino Nano.	37
7.2.2. Teclado de membrana 4x4.	38
7.2.3. Display OLED SSD1306.	38
7.2.4. Aislador I2C capacitivo.	39
7.2.5. Convertidor analógico digital. AD.	39
7.3. Modos de operación de la fuente.	40
7.3.1. Modo Tensión	40
7.3.2. Modo Corriente	40
7.3.3. Modo Rampa	40
8 Software programación y ensayo de Control digital	41
8.1. Características físicas del microcontrolador	41
8.1.1. Lógica Interna del Arduino Nano	41
8.1.2. Procesamiento de tareas	41
8.1.3. Pinout de arduino nano	42
8.1.4. Protocolo de comunicación.	42
8.1.5. Dependencias y Librerías Empleadas	43
8.2. Ensayos y simulación	43
8.2.1. Configuración del Ambiente de Trabajo	44
8.3. Resultados Experimentales	44
9 Modelado y construcción del PCB.	47
9.1. Software y herramientas de diseño empleadas.	47
9.2. Construcción del primer prototipo.	47
9.3. Ensayo de laboratorio y pruebas prácticas.	50
10 Ensayos de laboratorio y pruebas prácticas	53
10.1. Características físicas del microcontrolador	53
11 Instrucciones de uso.	55
11.1. Ciclo de funcionamiento	55
11.1.1. Diagrama de control de funcionamiento.	55
11.2. Uso de teclado	56
11.3. Pantallas Disponibles	57
Bibliografía	59

Índice de figuras

2.1.	Voltaje de tensión constante salida de fuente ideal.	4
2.2.	Partes de una fuentes de tensión.	5
3.1.	Sección de referencia de tensión.	9
3.2.	Potenciómetros digital MCP4661.	10
3.3.	Conexión voltímetro/amerímetro.	10
3.4.	Acople y desacople de carga.	11
3.5.	Sección de referencia de tensión.	11
3.6.	Circuito registrador de datos.	12
3.7.	Encoder rotativos.	12
4.1.	Estructura de archivos de la plantilla.	14
4.2.	Creación de nuevo capítulo	19
4.3.	Creación de nuevo capítulo	20
4.4.	Diagrama de bloques del sistema mínimo	21
4.5.	Una figura con varias subfiguras, utilizando el paquete <code>subfig</code>	22
(a).	Transistor (texto que aparece en el índice)	22
(b).	LED	22
(c).	Fotoconductor	22
(d).	Circuito integrado	22
7.1.	Estructura de archivos de la plantilla.	37
7.2.	Arduino IDE.	38
7.3.	Estructura de archivos de la plantilla.	38
7.4.	Display OLED SSD1306.	39
7.5.	Aislador capacitivo I2C ISO1540.	39
7.6.	Convertidor AD ADS1115.	39
8.1.	Arduino Nano.	42
8.2.	Conexionado típico de protocolo I2C.	42
8.3.	Software Proteus 8 Professional.	44
8.4.	Esquemático de simulación en Proteus.	44
8.5.	Esquemático de simulación en Proteus.	45
9.1.	Logo del software Kicad.	47
9.2.	Después del desmontaje de la placa.	48
9.3.	Antes desmontaje de la placa.	48
9.4.	Primer prototipo de PCB.	49
9.5.	Vista 3D del primer prototipo.	49
9.6.	Montaje de los componentes en la placa.	50
9.7.	Ensayo con osciloscopio de la placa.	51
11.1.	Diagrama de bloques del funcionamiento estandar.	56

Índice de fotografías

4.1. Sistema medio construido	23
---	----

Índice de tablas

2.1. Características de diversos modelos de fuentes de alimentación.	7
4.1. Numeración decimal, binaria y hexadecimal	24
4.2. Códigos de estado	24
4.3. Lista de componentes del sistema final	25

Nomenclatura

<i>I</i>	Corriente eléctrica
<i>R</i>	Resistencia eléctrica
<i>V</i>	Tensión eléctrica
<i>VEEEEE</i>	asdasdasdas eléctrica
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
COSMAC	Complementary Symmetry Monolithic Array Computer
E/S	Entrada/Salida
EDA	Electronic Design Automation
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
FIO	Facultad de Ingeniería
GAL	Generic Array Logic
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (del inglés <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
KiCad	Software para el diseño de esquemáticos y PCBs de circuitos electrónicos
LSB	Least Significant Bit
MRD	Memory Read
MSB	Most Significant Bit
MWR	Memory Read
PAL	Programmable Array Logic
PCB	Circuito impreso (del inglés <i>Printed Circuit Board</i>)
PLC	Programmable Logic Controller
RAM	Random Access Memory
RCA	Radio Corporation of America
ROM	Read Only Memory
SPI	Serial Peripheral Interface
TTL	Transistor-Transistor Logic
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
UNaM	Universidad Nacional de Misiones

Capítulo 1

Introducción

El proyecto se centra en la modernización de una fuente de alimentación preexistente, en su mayoría analógica, de una tensión variable desde 0V hasta 30V y una corriente ajustable desde 0A hasta 3A, mediante la implementación de un control digital para la regulación precisa de la tensión y corriente de salida, así como la implementación de lazos de control digital para garantizar la estabilidad de la salida en diversas condiciones de carga. La esencia de este proyecto radica en la utilización de un controlador digital de señales para ajustar la salida de la fuente de alimentación, a través de un teclado. Este enfoque proporciona al usuario la capacidad de configurar fácilmente los valores deseados de tensión y corriente de salida, mientras que un display integrado ofrece una retroalimentación visual en tiempo real, mostrando tanto los valores establecidos como los valores reales de salida. Como núcleo de control, se emplea el controlador digital de señales dsPIC30F4011 (40-Pin PDIP), destacando su capacidad para gestionar eficientemente las operaciones del sistema. Es importante mencionar que este diseño no requiere de conexión inalámbrica, lo que simplifica su implementación y uso. [1].

Capítulo 2

Introducción teórica a fuentes DC

2.1. Sobre las fuentes de alimentación.

Las fuentes de alimentación electrónicas se definen como circuitos que transforman la potencia eléctrica de entrada, ya sea de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CC), en potencia de salida, ya sea de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CC). Esta definición excluye así a las fuentes de alimentación basadas en los principios de máquinas rotativas y distingue las fuentes de alimentación de la categoría más general de fuentes de energía eléctrica que derivan la potencia eléctrica de otras formas de energía (por ejemplo, baterías, celdas solares, celdas de combustible). Las fuentes de alimentación electrónicas se pueden dividir en cuatro amplias clasificaciones:

1. CA de entrada, CA de salida regulada por línea o cambiadores de frecuencia.
2. CC de entrada, CC de salida convertida o regulada.
3. CC de entrada, CA de salida de corriente alterna, conocidas como inversores.
4. CA de entrada, CC de salida.

Esta última categoría es, con mucho, la más común de las cuatro y generalmente es a la que se hace referencia cuando se habla de una "fuente de alimentación". Las fuentes de alimentación de CC de salida pueden proporcionar cuatro salidas básicas o modos de operación:

- Voltaje Constante: El voltaje de salida se mantiene constante a pesar de los cambios en la carga, la línea o la temperatura.
- Corriente Constante: La corriente de salida se mantiene constante a pesar de los cambios en la carga, la línea o la temperatura.
- Límite de Voltaje: Igual que el voltaje constante excepto por características de regulación menos precisas.
- Límite de Corriente: Similar a la corriente constante excepto por una regulación menos precisa.

Como se explica en esta sección, las fuentes de alimentación están diseñadas para ofrecer estas salidas en diversas combinaciones para diferentes aplicaciones. [3] La analizada en este informe será una fuente CA entrada CC salida con control de voltaje y límite de corriente.

2.1.1. Fuente ideal de tensión.

No existe tal cosa como un dispositivo perfecto en la electrónica, sin embargo con el fin de buscar la excelencia en el diseño y producción de un prototipo de fuente se parte del principio de que característica debería contar la misma para estar lo más próxima a este escenario hipotético. Todo esto lleva a decir que una fuente de alimentación de voltaje constante ideal sería aquella que tendría una impedancia de salida cero en todas las frecuencias. Por lo tanto, el voltaje permanece perfectamente constante a pesar de cualquier cambio en la corriente de salida demandada por la carga. Una simple fuente de alimentación no regulada compuesta únicamente por un rectificador y un filtro no es capaz de proporcionar un

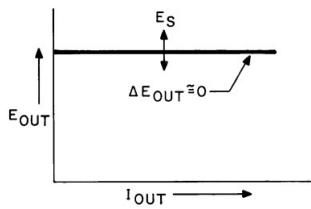


Figura 2.1: Voltaje de tensión constante salida de fuente ideal.

voltaje de salida de corriente continua sin ondulaciones cuyo valor permanece razonablemente constante. Para obtener siquiera una aproximación básica de la característica de salida ideal, algún tipo de elemento de control (regulador) debe incluirse en la fuente. [3]

2.1.2. Técnicas de Regulación

La mayoría de las fuentes de alimentación de voltaje constante actuales emplean una de estas cuatro técnicas de regulación:

- Serie (Lineal).
- Pre-regulador/Regulador en Serie.
- Comutación.
- SCR.

Sin embargo, el objetivo de este documento escapa a explicar a detalle entre cada uno de estos modelos por lo que este se limitará a mencionarlas y a mencionar el que supera a los demás en relevancia para este documento.

2.1.3. Fuentes de alimentación Lineales.

Las fuentes de alimentación lineales son un elemento fundamental en la mayoría de los dispositivos electrónicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana. Estas fuentes proporcionan la energía necesaria para alimentar circuitos electrónicos, convirtiendo la energía de la red eléctrica en una forma utilizable y estable para los componentes electrónicos. En esta sección, explicaremos los elementos clásicos básicos que componen las fuentes de alimentación lineales y su funcionamiento fundamental para más adelante entrar en profundidad sobre la fuente que concierne a este informe.

2.2. Funcionamiento básico.

El tipo más simple y común de fuentes de alimentación de corriente continua (CC) es un sistema "lineal", mostrado esquemáticamente en la fig . Primero, se utiliza un transformador para reducir"la tensión de línea de CA a un voltaje pico más pequeño, que generalmente es aproximadamente 2-3 voltios más grande que el voltaje de salida de CC deseado. Un circuito de diodos rectifica la señal de CA, produciendo una forma de onda con una gran componente de CC. Luego, se utiliza un banco de filtros de condensadores para "suavizar." "filtrar"la sinusoidal rectificada. Bajo condiciones de carga normales, siempre hay alguna variación periódica residual o ripple.^{en} la señal filtrada. Si la aplicación requiere un ripple muy bajo y una salida de CC constante sobre un amplio rango de condiciones de carga, entonces se requiere regulación activa para reducir o eliminar aún más este ripple residual. [2]

2.2.1. Transformador

El transformador es uno de los componentes principales de una fuente de alimentación lineal. Su función principal es transformar la corriente alterna (CA) de la red eléctrica en una corriente alterna con un voltaje específico adecuado para la aplicación. Consiste en dos bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro, donde la relación entre el número de vueltas en las bobinas determina la relación de transformación del voltaje.

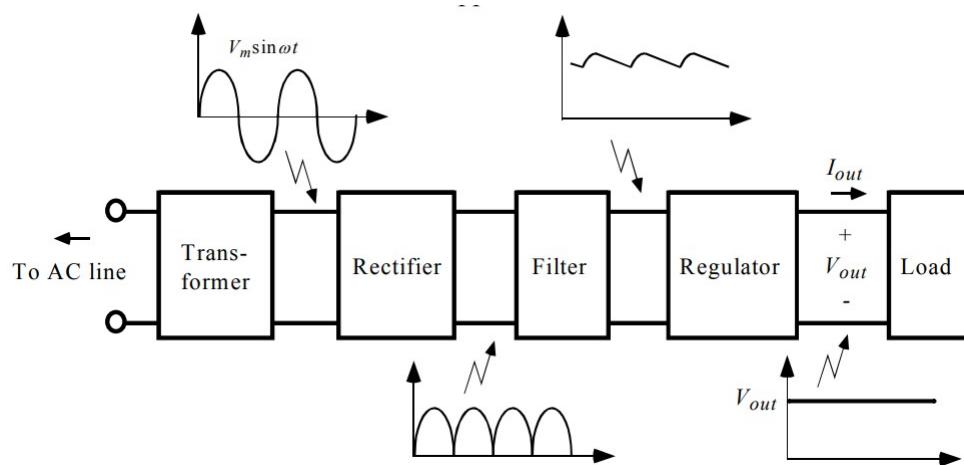


Figura 2.2: Partes de una fuentes de tensión.

2.2.2. Rectificador

El rectificador es otro componente esencial que convierte la corriente alterna en corriente continua (CC). Esto se logra mediante diodos rectificadores, que permiten que la corriente fluya en una sola dirección. Los rectificadores pueden ser de media onda o de onda completa, dependiendo de cómo se utilizan los diodos para rectificar la señal de entrada.

2.2.3. Filtro

Después de que el rectificador convierte la corriente alterna en corriente continua, la señal resultante puede contener fluctuaciones no deseadas o rizado. Para eliminar estas fluctuaciones y obtener una salida de voltaje suave y constante, se utiliza un filtro. El filtro puede estar compuesto por capacitores y bobinas para eliminar el rizado y suavizar la salida de voltaje.

2.2.4. Regulador

El regulador es el componente final de una fuente de alimentación lineal y se utiliza para mantener constante la salida de voltaje independientemente de las variaciones en la entrada de voltaje o en la carga. Los reguladores de voltaje pueden ser de tipo lineal, que controlan la cantidad de energía disipada como calor para mantener el voltaje de salida constante, o de tipo conmutado, que regulan el voltaje de salida ajustando el ciclo de trabajo de un interruptor.

2.3. Ventajas y desventajas

Todo dispositivo cuenta con una serie de características que la hacen una opción dominante por sobre las demás. Aquí se listan los detalles más dominantes de las fuentes de tensión lineal que las podría hacer sugeribles frente a otro tipo de configuraciones. Ventajas.

- Simplicidad: Son relativamente simples en diseño y operación.
- Bajo ruido: Tienen un nivel de ruido más bajo en comparación con algunas otras formas de fuentes de alimentación.
- Baja interferencia electromagnética (EMI): Emiten menos interferencia electromagnética en comparación con las fuentes de alimentación conmutadas.
- Buen rendimiento en aplicaciones de baja potencia: Son eficientes y efectivas en aplicaciones de baja potencia.
- Buena regulación: Suelen tener una regulación de voltaje estable y precisa.

Desventajas.

- Baja eficiencia energética: Tienen una eficiencia energética más baja en comparación con las fuentes de alimentación conmutadas, especialmente en aplicaciones de alta potencia.
- Disipación de calor: Tienden a generar más calor durante la operación debido a la regulación de voltaje a través de dispositivos de regulación lineal, lo que puede requerir disipadores de calor o ventilación adicional.
- Mayor tamaño y peso: Suelen ser más grandes y pesadas en comparación con las fuentes de alimentación conmutadas con la misma capacidad de potencia.
- Menor rango de voltaje de entrada: Tienen un rango de voltaje de entrada limitado en comparación con las fuentes de alimentación conmutadas, lo que puede limitar su aplicabilidad en ciertos entornos o condiciones de operación.

2.4. Evolución y mejoras con el pasar de los años

Las fuentes de corriente directa (DC) han experimentado una evolución significativa desde sus inicios, impulsadas por avances tecnológicos que han mejorado su eficiencia, fiabilidad y capacidad de adaptación a diversas aplicaciones. A lo largo de los años, estas mejoras han permitido que las fuentes de DC se conviertan en componentes esenciales en una amplia gama de dispositivos electrónicos y sistemas de energía. Las mejoras no solamente abarcan mejores materiales sino también el uso de estrategias de control más inteligentes y adaptación para entornos específicos. Algunas de estas mejoras son:

- **Tecnología de Conversión de Energía:** Las fuentes de DC modernas utilizan técnicas avanzadas de conversión de energía, como la conmutación de alta frecuencia, que permiten una mayor eficiencia energética y una reducción en el tamaño de los dispositivos. La tecnología de conversión resonante, como los convertidores LLC (Inductor-Inductor-Capacitor), ha mejorado la eficiencia en aplicaciones de alta potencia al minimizar las pérdidas por conmutación **zhang2013**.
- **Materiales de Banda Ancha:** La incorporación de materiales semiconductores de banda ancha, como el carburo de silicio (SiC) y el nitrógeno de galio (GaN). Estos materiales permiten operar a mayores voltajes y frecuencias, mejorando la eficiencia y reduciendo las pérdidas térmicas. Los dispositivos basados en SiC y GaN son especialmente beneficiosos en aplicaciones de alta potencia y alta densidad **palmour2019**.
- **Integración de Funcionalidades Inteligentes:** Las fuentes de DC actuales incorporan funcionalidades inteligentes, como el monitoreo y control digital en tiempo real, que optimizan el rendimiento y la eficiencia energética. Estas fuentes pueden ajustar dinámicamente sus parámetros de operación en respuesta a las condiciones de carga, mejorando así la fiabilidad y prolongando la vida útil de los componentes conectados **brown2020**.
- **Reducción del Tamaño y Peso:** Los avances en diseño y materiales han permitido la reducción significativa del tamaño y peso de las fuentes de DC. Esto es crucial en aplicaciones donde el espacio es limitado, como en la electrónica de consumo portátil y los vehículos eléctricos. La miniaturización también ha facilitado la integración de fuentes de DC en dispositivos médicos y aplicaciones aeroespaciales **kumar2017**.
- **Energía Renovable y Almacenamiento:** Las fuentes de DC han evolucionado para integrarse de manera más efectiva con sistemas de energía renovable y almacenamiento de energía. Las mejoras en la gestión de energía y la capacidad de interactuar con baterías avanzadas y sistemas de almacenamiento han sido vitales para aplicaciones en redes inteligentes y micro-redes **hoffmann2021**.

2.5. Fuentes comerciales

Para aquellos lectores que deseen profundizar más allá del contenido de este informe, los invitamos a explorar diversos tipos de fuentes comerciales disponibles en el mercado. A continuación, presentamos

una lista de modelos que consideramos apropiados para realizar comparaciones y análisis detallados. Esta selección servirá no solo para satisfacer la curiosidad académica, sino también para proporcionar una base sólida para el estudio de las diferentes opciones comerciales, permitiendo así una comprensión más amplia y crítica de las mismas. Recordemos que no existe un producto perfecto además de que si existiera no sería de un costo accesible para todo público por lo que en lo que respecta a preferencias todo es relativo.

Tabla 2.1: Características de diversos modelos de fuentes de alimentación.

Nombre del Modelo	Tensión de Salida	Corriente Máxima	Característica Principal
Agilent (Keysight) E3630A	±25V, 0-6V	7A (6V), 1A (±25V)	Precisión y fiabilidad, uso
Tektronix PWS4305	0-30V	5A	Interfaz fácil de usar y sa
BK Precision 1621A	0-18V	3A	Diseño robusto y eficiente
Rigol DP832	0-30V (ch1 y ch2), 0-5V (ch3)	3A (todos los canales)	Interfaz gráfica avanzada
GW Instek GPS-3030DD	0-30V	3A	Simplicidad y fiabilidad p
Rohde & Schwarz HMP2020	0-32V (ch1 y ch2)	10A (ch1 y ch2)	Alta capacidad de corriente

Modificación de la Fuente DC anterior

3.1. Sobre la fuentes de alimentación anterior

La revisión y adaptación del trabajo previo titulado "Diseño y construcción de una fuente de alimentación DC lineal con control digital de tensión y corriente" llevado a cabo por Eduardo Javier Matijak y Joaquín Pelinski, documentado en su publicación [23], sirve como punto de partida para comprender las mejoras implementadas en la fuente de alimentación DC que se examina en este informe. **Invitamos cordialmente al lector interesado a consultar dicho trabajo para obtener una comprensión más completa de los fundamentos sobre los cuales se basa este análisis.** Este documento se centra en analizar y discutir las modificaciones realizadas en la fuente de alimentación, específicamente la transición de su mayoría analógica a una configuración digital. Entre los principales cambios introducidos se destacan los siguientes aspectos:

3.1.1. Circuito Fijador de Referencia para los Transistores

El circuito fijador de referencia para los transistores ha sido modificado para incorporar la salida de un Convertidor Analógico-Digital (DAC). El DAC es ahora responsable de aplicar niveles de voltaje acorde a los valores determinados por el control digital. Esta modificación permite un ajuste preciso y programable de las referencias de voltaje, eliminando la necesidad de ajustes mecánicos mejorando la precisión y flexibilidad del sistema.

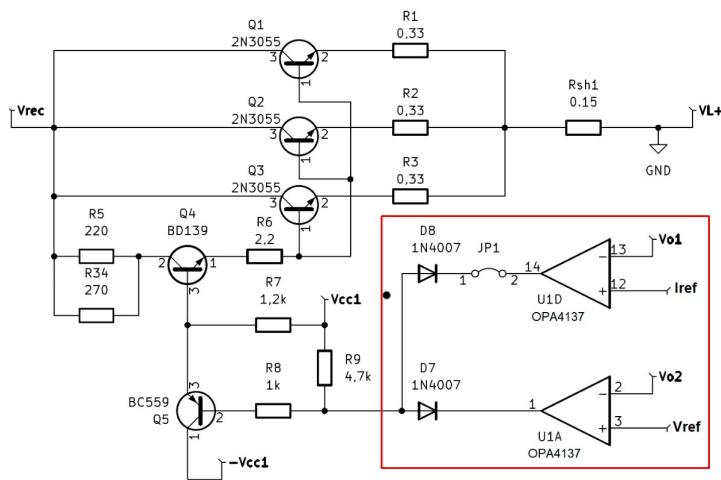


Figura 3.1: Sección de referencia de tensión.

3.1.2. Modificación de uso de Potenciómetros Digitales MCP4661

Originalmente, los potenciómetros digitales MCP4661 se utilizaban para establecer una referencia de voltaje que comandaba los transistores, definiendo tanto la tensión como la corriente sobre la carga. Sin embargo, con la incorporación del DAC, esta función ya no es necesaria. En su lugar, los potenciómetros digitales ahora se utilizan para establecer una referencia de tensión destinada a un circuito de protección

analógica contra cortocircuitos. Esta reasignación permite una respuesta inmediata para proteger la carga, evitando los retrasos inherentes a los cálculos y actualizaciones de salida necesarios en un sistema de control digital.

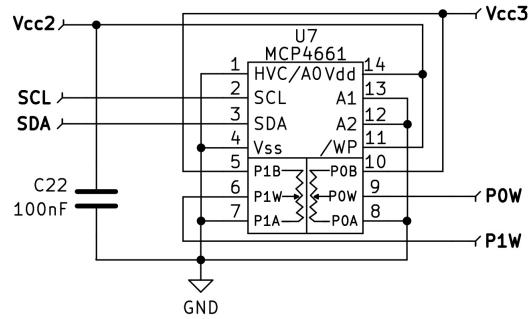


Figura 3.2: Potenciómetros digital MCP4661.

3.1.3. Eliminación del circuito de medición externo

Dado que la fuente de alimentación ahora cuenta con una pantalla integrada que muestra en tiempo real los valores de tensión y corriente, el circuito dedicado a la conexión de un voltímetro-amperímetro digital se ha considerado innecesario y, por lo tanto, ha sido eliminado. Esta simplificación reduce la complejidad del diseño y el número de componentes necesarios reduciendo los costos constructivos de la fuente.

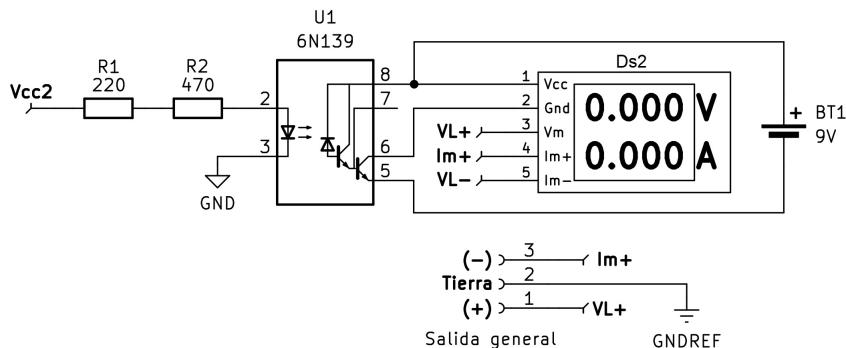


Figura 3.3: Conexión voltímetro/amerímetro.

3.1.4. Modificación del Circuito de Acople y Desacople de Carga

Se ha reducido considerablemente el circuito de disparo del optoacoplador, aprovechando las capacidades proporcionadas por el Arduino Nano para establecer un pin en estado alto.

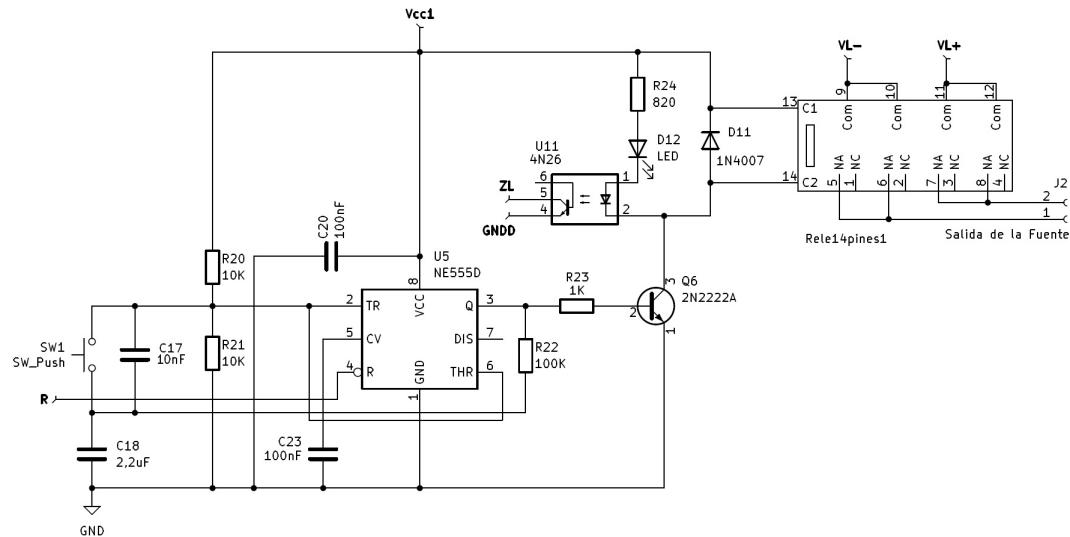


Figura 3.4: Acople y desacople de carga.

3.1.5. Simplificación del Circuito Indicador de Modo de Operación

La pantalla integrada también cumple la función de indicar el modo de operación, eliminando la necesidad de un circuito adicional dedicado a esta tarea. Esto no solo simplifica el diseño del sistema, sino que también mejora la usabilidad al centralizar toda la información relevante en un solo lugar.

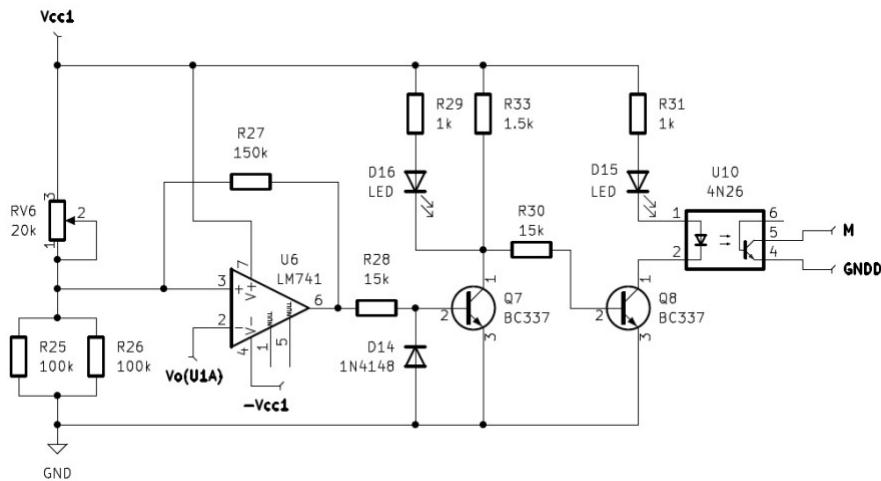


Figura 3.5: Sección de referencia de tensión.

3.1.6. Integración del Circuito con NodeMCU ESP-32S

Dado que no se requiere una conexión inalámbrica según las especificaciones del circuito, se ha prescindido del microcontrolador ESP con módulo Wi-Fi para visualizar la información en una computadora.

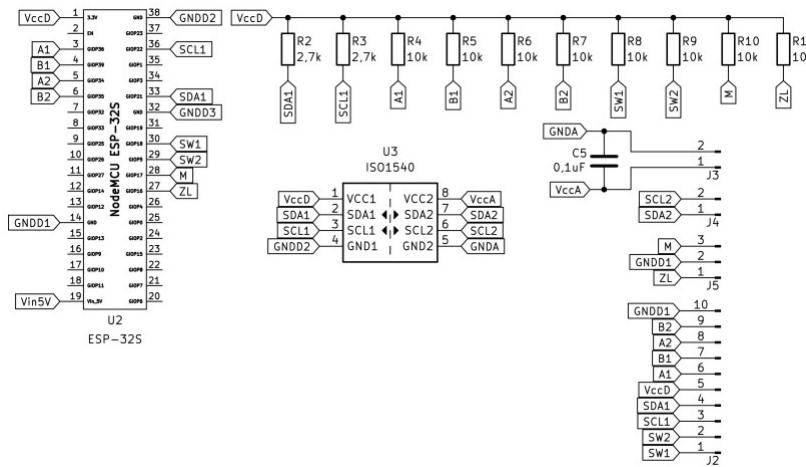


Figura 3.6: Circuito registrador de datos.

3.1.7. Encoders rotativos

El uso de un teclado numérico hace que este elemento se vuelva totalmente innecesario para estas aplicaciones dado a que el objetivo de la fuente es que sea totalmente digital evitando el ajuste manual de las magnitudes. Sin embargo no habría problema en implementar este elemento en paralelo en caso de un nuevo diseño para seteo de magnitudes, esto debido a una cuestión tradicional ya que la gran mayoría de los usuarios están acostumbrado a setear manualmente las fuentes de tensión.

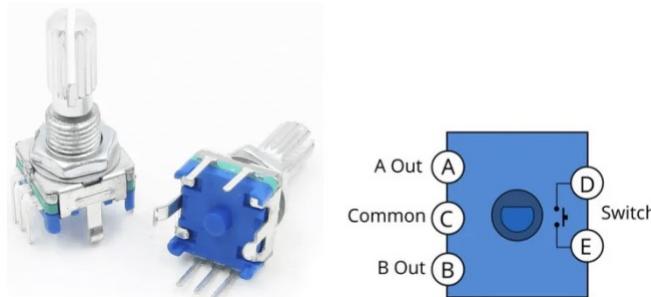


Figura 3.7: Encoder rotativos.

Estas modificaciones han permitido no solo modernizar la fuente de alimentación, sino también mejorar su funcionalidad y eficiencia mediante la incorporación de tecnología digital y la simplificación de circuitos redundantes. En las secciones siguientes, se detallarán en profundidad cada uno de estos cambios y su impacto en el rendimiento general del equipo

Capítulo 4

Uso de esta plantilla en \LaTeX

En este capítulo, en gran parte, se demostrará con ejemplos el uso de esta plantilla, y en general el uso de \LaTeX . Algunas cosas, como la estructura de archivos de esta plantilla, requieren cierta explicación, pero siempre que pueda evitarse, simplemente se utilizará un ejemplo de código y el resultado del compilado del mismo. [2]

Las cuestiones básicas sobre el uso de \LaTeX , más bien que ser explicadas de forma tediosa en este texto, se recomienda al alumno buscar videotutoriales en línea. Como ejemplo considere esta lista de reproducción [3].

La forma en la que se encuentra desarrollado este capítulo es sencillo y no requiere mayor explicación que la recién brindada.

4.1. Estructura del Informe

En la figura 4.1 se puede ver la estructura de archivos. En la carpeta “contenido”, se encuentran los archivos que componen cada capítulo del informe; en “apéndices”, se encuentran los apéndices; en “imágenes”, las imágenes y gráficos utilizados, sea el formato que sea, .png, .jpg, .pdf, o cualquier otro; en “bibliografia” se encuentra el archivo `bibliografia.bib`, donde están especificadas todas las referencias utilizadas en el informe; y en “codigo”, se encuentra el código fuente de programas que se hayan incluido al informe.

Luego se tienen otros archivos que están fuera de las carpetas. Uno de ellos es el documento `proyectoelectronico.cls`, el cual es una clase donde se define el estilo de la plantilla; y el otro es `projeto.tex`, el cual es el documento principal, el cual se compila para generar el archivo .pdf del informe.

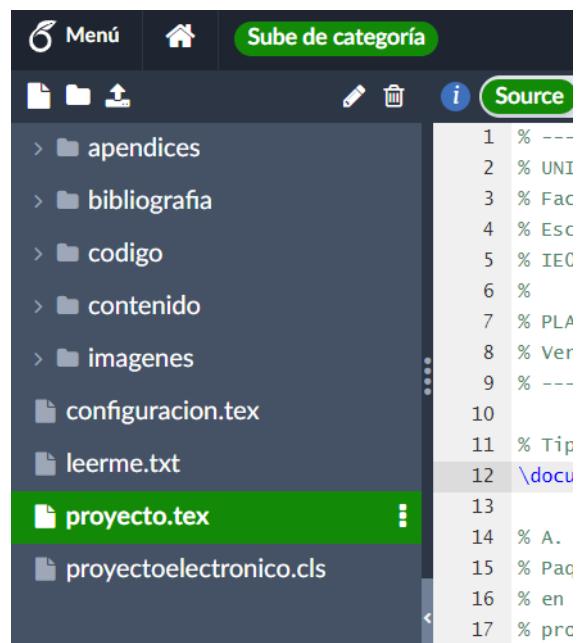


Figura 4.1: Estructura de archivos de la plantilla.

4.1.1. Datos generales

Los datos de la portada y la página de aprobación se ingresan en `proyecto.tex`. A continuación, se muestra exactamente donde se deben ingresar los datos.

```
% Titulo del proyecto
\titulo{Colocar aqui el nombre del proyecto}

% Autor (nombre y carne)
\autoruno{Nombre del primer integrante}
\carneuno{Legajo del primer integrante} % legajo
\emailuno{Email del primer integrante}

\autordos{Nombre del segundo integrante}
\carnedos{Legajo del segundo integrante} % legajo
\emaildos{Email del segundo integrante}

%\autortres{Nombre del tercer integrante}
%\carnetres{Legajo del tercer integrante} % legajo
%\emailtres{Email del tercer integrante}

% Profesor(a) guia
\guia{Nombre del profesor tutor}

% Profesores lectores
\lectorA{Nombre del primer profesor lector}
\lectorB{Nombre del segundo profesor lector}

% Fecha de entrega del trabajo escrito
\mes{11}      % Numero del mes
\ano{2022}    % Formato AAAA
```

Como puede apreciarse existen campos para incluir un tercer integrante al grupo, en caso de ser necesario, descomentar los campos y rellenarlos. Para poder visualizar al tercer integrante en la carátula, página de aprobación, resumen y abstract, debemos dirigirnos a `proyectorelectrónico.cls` y descomentar algunas líneas; las mismas se muestran a continuación. Se recomienda utilizar el buscador (Ctrl + F) para encontrarlas rápidamente.

Estas líneas son de la carátula, y deben ser descomentadas si esperamos que el tercer integrante aparezca en la misma.

```
% \vskip 0.8em
% \large\bfseries \@autortres \\
% \vskip 0.1em
% \large\bfseries \@emailtres \\
```

Estas líneas son de la hoja de aprobación, y deben ser descomentadas si esperamos que el tercer integrante aparezca en la misma.

```
% \large\bfseries \@autortres \\
% \vskip 0.1em
% \large\bfseries \@emailtres \\
% \vskip 0.1em
% \large\bfseries \@carnetres \\
```

Esta última línea se repite dos veces, una para el resumen y otra vez para el abstract. La misma debe ser descomentada en ambas partes si esperamos que el tercer integrante aparezca correctamente en ellas.

```
% \large\bfseries \@autortres
```

4.1.2. Resumen

Para escribir el resumen¹ es necesario ir al archivo `./contenido/resumen.tex`. El contenido actual del mismo se muestra a continuación.

```
1 % EL RESUMEN
2 % -----
3
4 \begin{resumen}{Aqui, van, las, palabras, claves, separadas, por, comas}
5
6 \lipsum[1-2]
7
8 \end{resumen}
```

Aquí debe agregarse las palabras claves separadas por coma, y luego escribir el resumen en sí. Para ello es necesario eliminar la línea con el comando `\lipsum[1-2]`, el mismo es simplemente un comando para generar texto aleatorio con el objetivo de llenar plantillas y ver como quedarían si tuviesen texto, por lo tanto, debe eliminarse antes de escribir el resumen.

¹Recordar que el resumen es una de las cosas que se termina por último, hay que tener el informe escrito casi en su totalidad para saber que escribir en el resumen. En esta sección simplemente se describe como modificarlo, pero debe realizarse por último.

4.1.3. Abstract

El abstract es simplemente una traducción del resumen y para escribirlo es necesario ir al archivo `./contenido/abstract.tex`. El contenido actual del mismo se muestra a continuación.

```

1 % EL RESUMEN EN INGLES
2 %
3 %
4 \begin{theabstract} {Here goes the translated title of the project} {Here, goes,
   the, keywords, separated, by, commas}
5
6 \lipsum[1-2]
7
8 \end{theabstract}
```

Su modificación es similar a la del resumen, con la diferencia de que aquí el entorno “`theabstract`” recibe dos parámetros, primero el título traducido y luego las palabras claves, por supuesto, también en inglés.

Al igual que el resumen, para escribir el abstract es necesario eliminar la línea con el comando `\lipsum[1-2]` antes.

4.1.4. Agradecimientos

Para agregar los agradecimientos es necesario simplemente modificar el archivo:

`./contenido/agradecimientos.tex`.

4.1.5. Nomenclatura

Para modificar las nomenclaturas utilizadas debe modificarse el archivo:

`./contenido/nomenclatura.tex`.

Para ello se utiliza el comando `\nomenclature{}{}`, el mismo recibe dos parámetros, el primero de ellos es la abreviatura o palabra, y el segundo su significado. En el archivo actual se encuentran muchos ejemplos, los cuales deben ser quitados si no son utilizados y agregar los que sí aplican al informe.

4.1.6. Índices

En el archivo `proyecto.tex` se encuentra especificado cómo se imprime la tabla de contenidos

```

% 5. TABLAS DE CONTENIDO, FIGURAS Y TABLAS
\tableofcontents
\listoffigures
\listoffotos
\listoftables
\lstlistoflistings
```

Como hay muchos índices separados, deberíamos retirar los que no utilizamos. Por ejemplo, si no incluimos el código de ningún programa, deberíamos no incluir el índice de listados, es decir, quitar el comando `\lstlistoflistings`.

4.1.7. Modificaciones extras

La idea de utilizar una plantilla es precisamente poder simplemente escribir el documento sin tener que molestarte con los detalles de formateo del mismo. Sin embargo, si es de interés para el alumno realizar modificaciones, mencionamos que en el archivo `proyectoelectrónico.cls` se encuentra formateado la portada:

```
% 1. Formato de portada
%
\newcommand{\portada}{%
...
}
```

La hoja de aprobación:

```
% 2. Formato de la hoja de aprobacion
%
\newcommand{\aprobacion}{%
...
}
```

El resumen:

```
% 3. Formato del resumen
%
\NewDocumentEnvironment{resumen}{ m }{%
...
}
```

El abstract:

```
% 4. Formato del abstract
%
\NewDocumentEnvironment{theabstract}{ m m }{%
...
}
```

La hoja de agradecimientos (llamado reconocimientos en el código):

```
% 5. Formato de los reconocimientos
%
\NewDocumentEnvironment{reconocimiento}{ m }{%
...
}
```

4.1.8. Agregar un capítulo

Para agregar un capítulo nuevo creamos un archivo dentro de la carpeta ./contenido/ haciendo click derecho y seleccionando “Archivo nuevo”, como puede apreciarse en la figura 4.2.

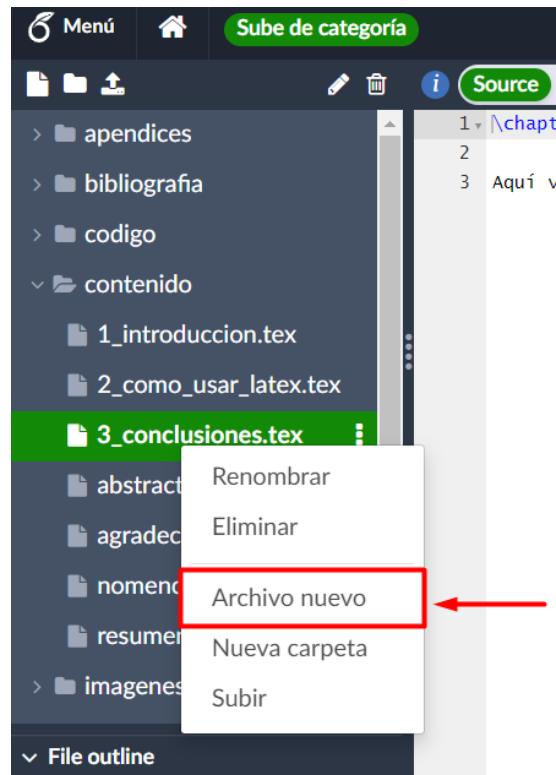


Figura 4.2: Creación de nuevo capítulo

Le asignamos al archivo un nombre apropiado y dentro del mismo utilizamos `\chapter{}`, para definir el capítulo y su nombre.

```
\chapter{Nombre del nuevo capítulo}
% Texto de mi nuevo capítulo...
```

Dentro de este archivo es donde escribiremos nuestro capítulo. Pero para incluirlo al informe primero debemos dirigirnos al archivo `proyecto.tex`, y agregarlo con el comando `\input{}`, teniendo en cuenta la posición del mismo respecto de los otros capítulos. Como puede observarse en la captura de la figura 4.3, el mismo se agregó justo seguido de las conclusiones, pero podría ser puesto en otro orden.

```
102  
103 % 7. CAPÍTULOS  
104 \input{contenido/1_introduccion}  
105 \input{contenido/2_como_usar_latex.tex}  
106 \input{contenido/3_conclusiones}  
107 \input{contenido/4_nuevo_capitulo.tex} ←  
108  
109 % 9. BIBLIOGRAFÍA  
110 \printbibliography[title={Bibliografía}]
```

Figura 4.3: Creación de nuevo capítulo

4.2. Figuras

```

1 En la figura~\ref{F:diag_bloq_sistema_minimo} puede observarse el diagrama de
2 bloques del sistema mínimo.
3
4 \begin{figure}[ht]
5   \centering
6   \includegraphics[width=0.9\textwidth]{./imagenes/diag_bloq_sistema_minimo.pdf}
7   \caption{Diagrama de bloques del sistema mínimo}
8   \label{F:diag_bloq_sistema_minimo}
9 \end{figure}

```

En la figura 4.4 puede observarse el diagrama de bloques del sistema mínimo.

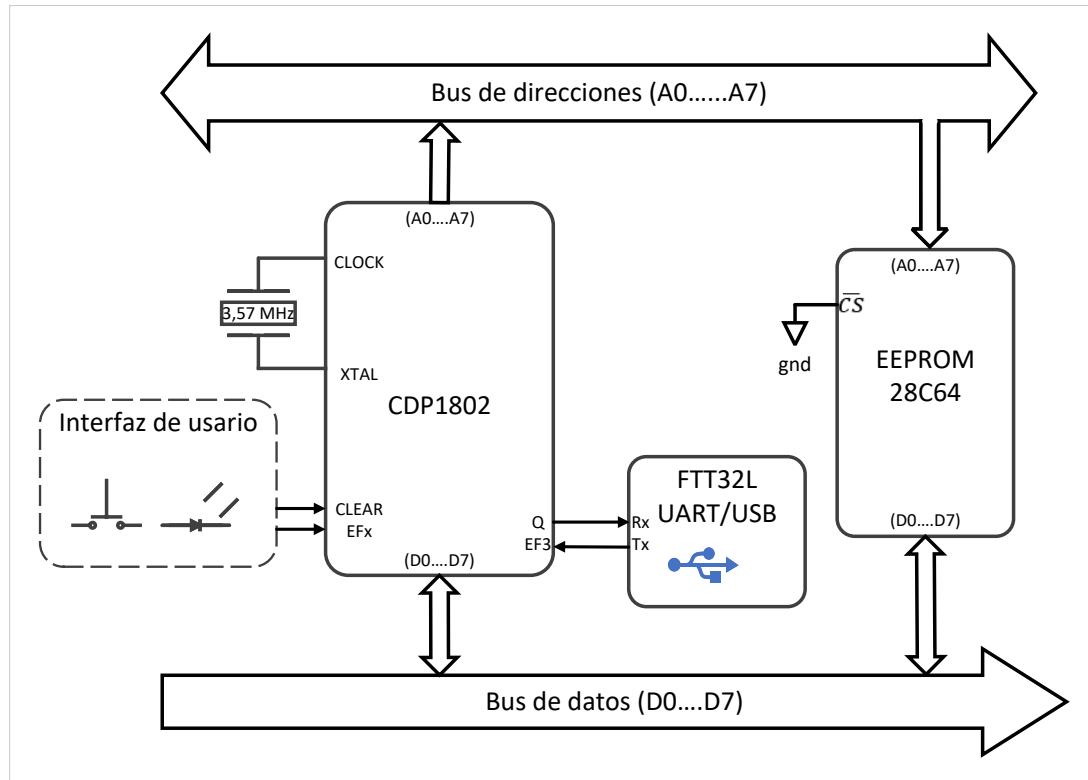
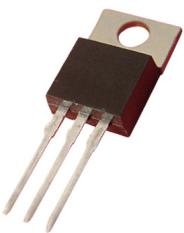


Figura 4.4: Diagrama de bloques del sistema mínimo

```

1 \begin{figure}[ht!]
2 \centering
3 \subfloat[Transistor (texto que aparece en el indice)][Transistor en encapsulado
4 TO-220]{
5   \includegraphics[width=0.2\textwidth]{./imagenes/transistor.jpg}
6   \label{F:subfig1}}
7 \quad\quad
8 \subfloat[LED][LED blanco de baja potencia]{
9   \includegraphics[width=0.2\textwidth]{./imagenes/led.jpg}
10  \label{F:subfig2}}
11 \\
12 \subfloat[Fotoconductor][Fotoconductor]{
13   \includegraphics[width=0.2\textwidth]{./imagenes/fotoconductor.jpg}
14   \label{F:subfig3}}
15 \\
16 \subfloat[Circuito integrado][Circuito integrado en encapsulado DIP-8]{
17   \includegraphics[width=0.2\textwidth]{./imagenes/integrado.jpg}
18   \label{F:subfig4}}
19 \\
20 \caption{Una figura con varias subfiguras, utilizando el paquete \texttt{\{subfig
}]}
21 \label{F:subfiguras}
22 \end{figure}

```



(a) Transistor en encapsulado TO-220



(b) LED blanco de baja potencia



(c) Fotoconductor



(d) Circuito integrado en encapsulado DIP-8

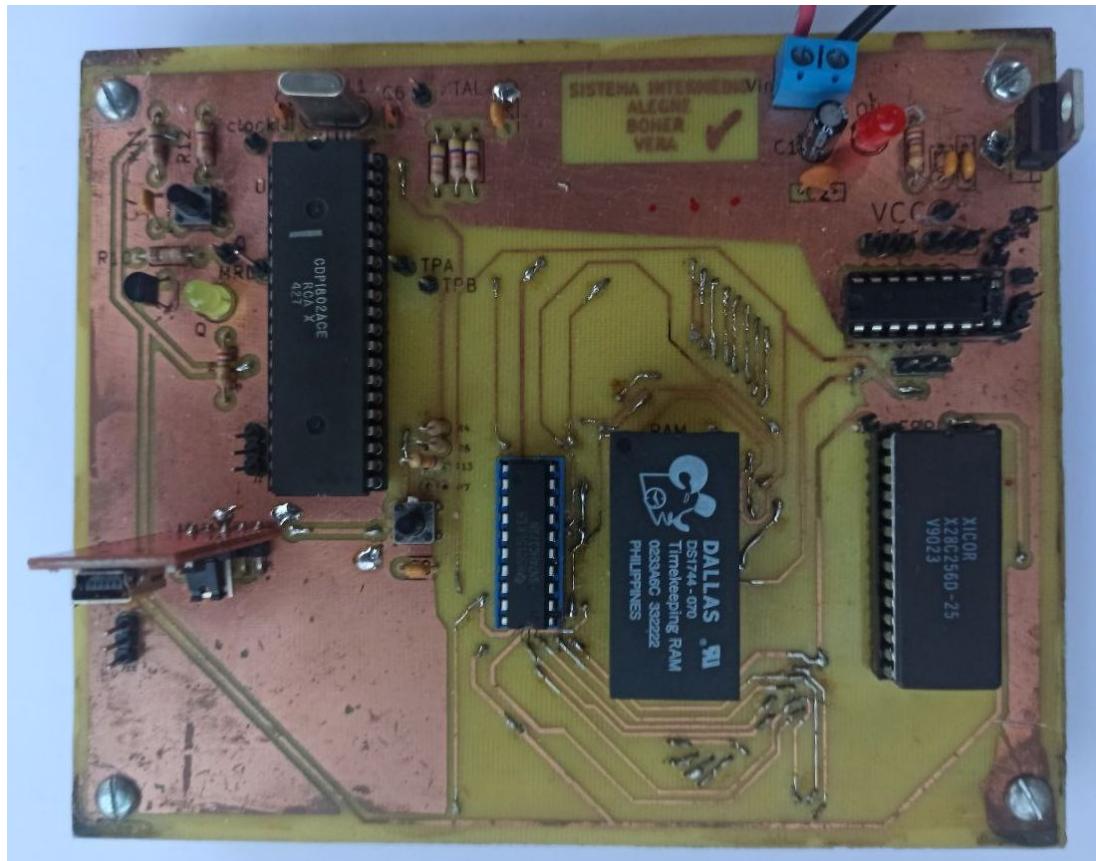
Figura 4.5: Una figura con varias subfiguras, utilizando el paquete *subfig*

4.3. Fotografías

A pedido de la cátedra se incluyó un entorno distinto al de figuras para presentar fotografías. El mismo se utiliza de igual manera que el entorno de figuras, con la única diferencia de que este entorno se llama “foto”, como se muestra a continuación.

```
1 En la fotografía ~\ref{F:foto_sistema_med} puede verse el sistema medio  
2 construido.  
3  
3 \begin{foto}[ht]  
4   \centering  
5   \includegraphics[width=0.9\textwidth]{./imagenes/foto_sistema_med.jpg}  
6   \caption{Sistema medio construido}  
7   \label{F:foto_sistema_med}  
8 \end{foto}
```

En la fotografía 4.1 puede verse el sistema medio construido.



Fotografía 4.1: Sistema medio construido

4.4. Tablas

A continuación, se muestran algunas tablas como ejemplo. Existen páginas para crear tablas de L^AT_EX de forma rápida y sencilla, como por ejemplo [4]; el cual se utilizó en varias ocasiones.

Tabla 4.1: Numeración decimal, binaria y hexadecimal

Decimal	Binario	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Tabla 4.2: Códigos de estado

State Type	State Code	
	SC1	SC0
S0 (Fetch)	L	L
S1 (Execute)	L	H
S2 (DMA)	H	L
S3 (Interrupt)	H	H

La tabla 4.3 es un ejemplo de cómo realizar una tabla que es tan grande que se extiende en varias páginas. La misma tiene un encabezado que se repite en cada página, de manera que no es necesario ir al comienzo de la tabla para ver a qué corresponde cada columna, dado que el encabezado está presente al inicio de cada página.

Tabla 4.3: Lista de componentes del sistema final

Cantidad	Etiqueta Identificador	Descripción	Fabricante	Número de parte
1	U1	Microprocesador	RCA	CDP1802ACE
1	U2	Latch de 8 bits	Philips	74HC573N
1	U3	Memoria EEPROM 32k x 8	XICOR	X28C256D-25
1	U4	Memoria EEPROM Serial I2C 128k x 8	Microchip	24LC1025
1	U5	Time keeping RAM 32K x8	Dallas	DS1744-070
1	U6	Memoria RAM 32k x 8	HYUNDAI	HY62256ALP-10
1	U7	Memoria FRAM Serial I2C 8k x 8	Fujitsu Semiconductors	MB85RC64A
1	U8	Conversor analógico-digital con interfaz I2C	Maxim Integrated	MAX127
1	U9	Regulador de tensión 12 V	Motorola	7812CT
1	U10	Regulador de tensión 5 V	ST Microelectronics	L7805CV
1	U11	High Precision Operational Amplifier	Burr Brown	OPA4277PA
1	U12	Regulador de tensión -12 V	ST Microelectronics	L7912CV
5	U13, U14, U15, U16, U28	Cuaduple compuerta NAND de dos entradas	Texas Instrument	SN74HC00N
1	U17	Cuaduple compuerta NAND de dos entradas con Schmitt-Trigger	Texas Instrument	SN74HC132N
2	U18,U30	Cuaduple compuerta NOR de dos entradas	Texas Instrument	SN74HC02N
1	U19	Decodificador Multiplexador 3 a 8 líneas	Texas Instrument	SN74HC138N
1	U20	CMOS Programmable Peripheral Interface	Intersil	CP82C55A-5Z
1	U21	Regulador programable shunt	Fairchild	LM336Z25
1	U24	Doble flip-flop tipo D con Set y Reset	Texas Instrument	SN74HC74N
1	U25	Contador binario de 4 bits	Fairchild Semiconductor	MM74HC161N
1	U29	Doble flip-flop JK con Set y Reset	National Semiconductors	MM74HC73N
1	U31	Registro de desplazamiento de 8 bits	Texas Instrument	SN74HC595N
1	U32	Registro de desplazamiento de 8 estados	Motorola	MC14014BCP
1	X2	XO-22BE-4MHz	Varios	Varios
1	XTAL1	Cristal 4 MHz	CQ Electronics	Varios
1	SW1	Llave DPDT 6 pines	Varios	Varios
3	SW2, SW3, SW4	Pulsador 6mm x 4,3mm	Varios	Varios
5	T2, T3, T4, T5, T6	Transistor BJT NPN	Motorola	P2N2222A
1	RV1	Preset 10 kΩ	Varios	Varios
1	D1	Puente rectificador de onda completa B380R	Varios	Varios
6	D2, D3, D4, D5, D6, D7	LED 5 mm	Varios	Varios
2	D8, D9	1N914	Varios	Varios
1	F1	Fusible 10 mm 1 A	Varios	Varios
8	R1, R2, R3, R5, R21, R22, R23, R27	Resistor 47 kΩ 1/8 W	Varios	Varios
1	R4	Resistor 10 MΩ 1/8 W	Varios	Varios

Cantidad	Etiqueta Identificador	Descripción	Fabricante	Número de parte
1	R6	Resistor 330 Ω 1/4 W	Varios	Varios
2	R7, R8	Resistor 1 kΩ 1/8 W	Varios	Varios
3	R9, R10, R11	Resistor 220 Ω 1/4 W	Varios	Varios
16	R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R38, R39, R40, R41, R46, R47, R56, R57, R60	Resistor 10 kΩ 1/8 W	Varios	Varios
5	R19, R20, R24, R25, R26	Resistor 100 kΩ 1/8 W	Varios	Varios
4	R28, R30, R36, R52	Resistor 100 Ω 1/4 W	Varios	Varios
4	R29, R31, R37, R53	Resistor 150 Ω 1/4 W	Varios	Varios
8	R32, R33, R34, R35, R42, R43, R54, R55	Resistor 390 kΩ 1/8 W	Varios	Varios
8	R44, R45, R48, R49, R50, R51, R58, R59	Resistor 1 MΩ 1/8 W	Varios	Varios
2	C2, C3	Capacitor cerámico 30 pF 50 V	Varios	Varios
14	C5, C7, C8, C29, C30, C31, C14, C15, C18, C32, C33, C39, C40, C43	Capacitor cerámico 0,10 µF 50 V	Varios	Varios
1	C11, C17	Capacitor electrolítico 4700 µF 25 V	Varios	Varios
2	C12, C16	Capacitor cerámico 0,33 µF 50 V	Varios	Varios
1	C13	Capacitor electrolítico 10 µF 25 V	Varios	Varios
1	C19	Capacitor electrolítico 0,01 µF 25 V	Varios	Varios
1	C20	Capacitor electrolítico 4,7 µF 25 V	Varios	Varios
6	J1, J2, J33, J48, J49, J50	1x3 Pines Conectores Macho 2,54 mm	Varios	Varios
38	J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12, J13, J14, J15, J16, J17, J18, J19, J20, J21, J22, J23, J24, J25, J26, J27, J28, J29, J30, J31, J36, J40, J41, J42, J45, J46, J51, J52, J53	Pin conector macho (1 Male Header Pin)	Varios	Varios
3	J32, J35, J38	1x6 Pines Conectores Macho 2,54 mm	Varios	Varios
3	J34, J37, J39	1x5 Pines Conectores Macho 2,54 mm	Varios	Varios
2	J43, J44	Bornera 3 pines 5,08 mm	Varios	Varios
2	J47, J54	1x12 Pines Conectores Macho 2,54 mm	Varios	Varios
1	J55	1x2 Pines Conectores Macho 2,54 mm	Varios	Varios

Cantidad	Etiqueta Identificador	Descripción	Fabricante	Número de parte
1	No aplica	Módulo conversor USB-Serial	Future Technology Devices International	FT232RL
1	No aplica	Módulo adaptador tarjeta micro SD	Varios	Varios

4.5. Números y Unidades

A continuación, se muestra como escribir unidades de forma correcta.

```
Las unidades se escriben utilizando el paquete siunitx. Puede ser  
así: \SI{2.2}{\kilo\ohm}, o también ser así: \num{2.2} \si{\kilo  
\ohm}.
```

Si compilamos esto, obtenemos:

Las unidades se escriben utilizando el paquete siunitx. Puede ser así: 2,2 kΩ, o también ser así: 2,2 kΩ.

Pero es importante utilizar correctamente el espacio de no separación ~ (que es el carácter 126 del código ASCII) para separar el número de la unidad, si se escriben por separado. De esta manera se evita que en los saltos de línea se separe el número de la unidad. Reescribamos lo anterior pero esta vez con un espacio de no separación.

```
Las unidades se escriben utilizando el paquete siunitx. Puede ser  
así: \SI{2.2}{\kilo\ohm}, o también ser así: \num{2.2}~\si{\kilo  
\ohm}.
```

Si compilamos esto, obtenemos:

Las unidades se escriben utilizando el paquete siunitx. Puede ser así: 2,2 kΩ, o también ser así: 2,2 kΩ.

Como vemos, ahora no se separó el número de la unidad.

4.6. Ecuaciones

```

1 En la ecuacion~\eqref{eq:ecuacion_1} se encuentra la formula de Euler.
2
3 \begin{equation}
4 \label{eq:ecuacion_1}
5 e^{jx} = \cos{x} + j \sin{x}
6 \end{equation}

```

En la ecuación (4.1) se encuentra la fórmula de Euler.

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x \quad (4.1)$$

```

1 \begin{equation}
2 u(x) =
3 \begin{cases}
4 \exp{x} & \text{si } x \geq 0 \\
5 1 & \text{si } x < 0
6 \end{cases}
7 \end{equation}

```

$$u(x) = \begin{cases} \exp x & \text{si } x \geq 0 \\ 1 & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

```

1 \begin{subequations}
2   \begin{equation}
3     r_1^2 = (h_T - h_R)^2 + d^2
4     \label{eq: r1_tienda_plana}
5   \end{equation}
6   \begin{equation}
7     r_2^2 = (h_T + h_R)^2 + d^2
8     \label{eq: r2_tienda_plana}
9   \end{equation}
10 \end{subequations}

```

$$r_1^2 = (h_T - h_R)^2 + d^2 \quad (4.3a)$$

$$r_2^2 = (h_T + h_R)^2 + d^2 \quad (4.3b)$$

4.7. Código fuente

Código fuente puede ser ingresado de la siguiente manera.

```

1 En el listado ~\ref{L:codigo_ejemplo} puede verse en código de ejemplo en Octave.
2
3 \footnotesize
4 \lstinputlisting[language=Octave, caption = {Código de ejemplo en Octave}, label
5   = {L:codigo_ejemplo}]{codigo/codigo_ejemplo.m}
6 \normalsize

```

En el listado 4.1 puede verse en código de ejemplo en Octave.

Listado 4.1: Código de ejemplo en Octave

```

1 function [resultado] = mifuncion(entrada1,entrada2,entrada3)
2
3 elmayor = 0;
4     if (entrada1 > entrada2 && entrada1 > entrada3)
5         elmayor = entrada1;
6     end
7     if (entrada2 > entrada1 && entrada2 > entrada3)
8         elmayor = entrada2;
9     end
10    if (entrada3 > entrada1 && entrada3 > entrada2)
11        elmayor = entrada3;
12    end
13 resultado = elmayor;
14
15 end

```

También es posible definir un resultado de sintaxis personalizado. Fue necesario definir uno para el lenguaje ensamblador del microprocesador CDP1802; así que presentamos el mismo como ejemplo. El archivo que define la sintaxis se encuentra en ./codigo/definiciondeASM.tex, y para incluirlo debemos dirigirnos a proyectoelectrónico.cls y añadir el mismo con el comando \input{}, como se muestra a continuación (debe ser luego de haber incluido el paquete “listings”).

```

1 \usepackage{listings}
2 \input{codigo/definicion_de_ASM} % en este archivo esta la definicion para el
   estilo de texto en assembler del CDP1802

```

Ahora ya podemos utilizar nuestra sintaxis personalizada como se muestra a continuación.

```
1 \footnotesize
2 \lstinputlisting[language=CDP1802, caption = {Rutina de retardo de 1 bit-time}, 
3   label = {L:retardo}]{codigo/delay_routine.asm}
4 \normalsize
```

Listado 4.2: Rutina de retardo de 1 bit-time

```
1 ;-----subrutina de ratardo de tranmision-----
2     ORG  0005FH      ; Num de bytes/ Nnum Ciclos Maq/Nnum de ejecuciones
3 BACK    SEP  TX       ; 1-Byte   / 2-Cliclos Maq  / 1 vez
4 DELAY   LDI  CONT1BT  ; 2-Byte   / 2-Cliclos Maq  / 1 vez
5          PLO  R1        ; 1-Byte   / 2-Cliclos Maq  / 1 vez
6 TIMER   DEC  R1        ; 1-Byte   / 2-Cliclos Maq  / CONT1BT veces
7          GLO  R1        ; 1-Byte   / 2-Cliclos Maq  / CONT1BT veces
8 BNZ    TIMER   ; 2-Byte   / 2-Cliclos Maq  / CONT1BT veces
9          BR   BACK    ; 2-Byte   / 2-Cliclos Maq  / 1 vez
10
11
```

4.8. Bibliografía

Los elementos de la bibliografía se encuentran en el archivo `./bibliografia/bibliografia.bib`, puede abrir el mismo para ver las referencias utilizadas en esta plantilla.

¹ Para citar una referencia se utiliza el comando `\cite{plantilla_universidad_de_costa_rica}`, y se ingresa la etiqueta de la referencia que deseamos incluir.

Para citar una referencia se utiliza el comando [1], y se ingresa la etiqueta de la referencia que deseamos incluir.

Para administrar la bibliografía se recomienda utilizar un programa específico llamado JabRef[5].

Capítulo 5

Conclusiones

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Capítulo 6

Estrategia de control

6.1. Principio de estrategia de control.

6.1.1. Lazo de tensión

6.1.2. Lazo de corriente.

Capítulo 7

Control digital

7.1. Diagrama de bloques de la etapa digital

Para la etapa digital se propone el diagrama de bloques de la figura 7.1. Se pretende controlar la tensión y corriente de salida mediante el ajuste de las referencias con un teclado numérico, de tal manera que mediante comunicación serie I2C podamos enviar los datos que proporcionan la referencia de tensión y corriente para el lazo de control. A su vez, por el bus I2C se lleva a cabo la lectura de la tensión y corriente de salida mediante un convertidor AD de alta resolución (12 o 16 bits) y los datos procesados se despliegan en un display OLED o LCD. En el display se proporciona la tensión y corriente de salida medidas, la tensión y corriente configurada deseada, y el modo de operación del sistema (CV o CI) así como también si la carga se encuentra conectada o desconectada entre otras funciones.

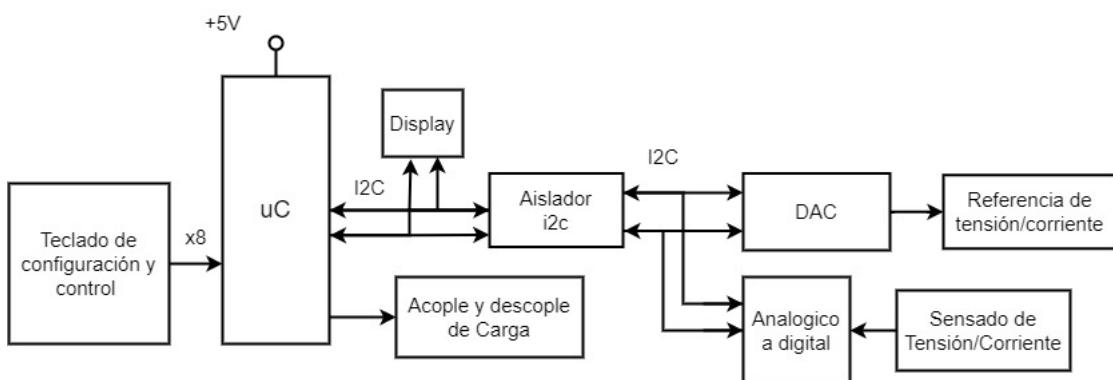


Figura 7.1: Estructura de archivos de la plantilla.

7.2. Componentes de la etapa digital.

La etapa digital juega un papel crucial al proporcionar control y regulación precisos sobre el voltaje y la corriente suministrados. Esta sección del informe está dedicada a desglosar y describir en detalle los componentes esenciales que constituyen la etapa digital de una fuente DC. La comprensión de cada componente, su función y su interacción con otros elementos es fundamental para diseñar un sistema eficiente y confiable. Los componentes que se abordarán incluyen microcontroladores, convertidores analógico-digital (ADC), convertidores digital-analógico (DAC), sensores de corriente y voltaje, así como los circuitos de comunicación y control. Cada uno de estos elementos desempeña un rol específico y crítico en la gestión y monitoreo del suministro de energía. A través de esta sección, se explicarán las características técnicas de estos componentes, su importancia en el contexto del diseño de la fuente DC y cómo se integran para formar una unidad cohesiva y funcional.

7.2.1. Microcontrolador Arduino Nano.

El Arduino Nano es un microcontrolador compacto y versátil ampliamente reconocido por su facilidad de uso y sus diversas capacidades. Diseñado por Arduino LLC, este dispositivo ofrece un rendimiento sólido en un formato pequeño, lo que lo convierte en una opción popular para una amplia gama de

aplicaciones en el ámbito de la electrónica amateur y profesional. Con su arquitectura avanzada y un conjunto completo de características, el Arduino Nano es ideal para proyectos que requieren control preciso y eficiente, así como para la interacción con diversos sensores y actuadores. Su capacidad para manejar operaciones en tiempo real lo hace adecuado para aplicaciones que van desde sistemas de automatización del hogar hasta dispositivos portátiles y gadgets interactivos.

programación La programación del Arduino Nano se realiza utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, que proporciona una interfaz intuitiva para escribir, cargar y depurar código. Compatible con una amplia variedad de bibliotecas y herramientas, el IDE de Arduino simplifica el proceso de desarrollo, permitiendo a los usuarios concentrarse en la lógica de su proyecto sin preocuparse por los detalles de bajo nivel del hardware.



Figura 7.2: Arduino IDE.

7.2.2. Teclado de membrana 4x4.

El teclado de membrana matricial 4x4 autoadhesivo es un dispositivo de entrada que se utiliza comúnmente en aplicaciones electrónicas donde se requiere una interfaz de usuario simple y compacta. Consiste en una delgada lámina de material flexible que contiene una matriz de botones dispuestos en filas y columnas, con un total de 16 botones en este caso particular (4 filas x 4 columnas). Cada botón en el teclado de membrana está interconectado mediante una disposición de líneas conductoras en la membrana. Estas líneas están organizadas de manera que forman una matriz, permitiendo la detección de la ubicación específica de la tecla presionada. El funcionamiento del teclado de membrana matricial implica un proceso de escaneo continuo de todas las filas y columnas para detectar la presencia de un botón presionado. Cuando un botón se presiona, se cierra un circuito entre la fila y la columna correspondientes, lo que indica al microcontrolador la ubicación de la tecla activada.

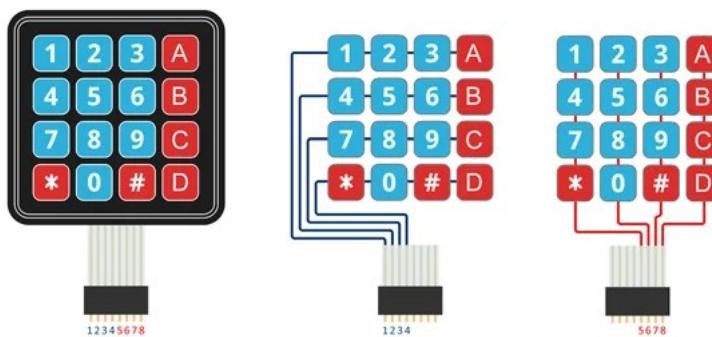


Figura 7.3: Estructura de archivos de la plantilla.

7.2.3. Display OLED SSD1306.

El display OLED SSD1306 elegido para el proyecto utiliza comunicación I2C y ofrece una resolución de 128x64 píxeles. En la Figura 4.13 se presenta una imagen del display, que opera dentro de un rango de voltaje de 3.3 a 5.5 V, lo cual lo hace compatible con el microcontrolador seleccionado. En esta pantalla se mostrará tanto el menú de funcionamiento los modos de operación como un indicador a tiempo real de las magnitudes registradas. Será el vínculo principal entre el usuario y la fuente.

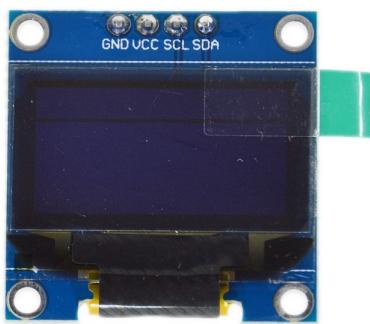


Figura 7.4: Display OLED SSD1306.

7.2.4. Aislador I2C capacitivo.

El dispositivo a utilizar es un ISO1540 [insertar referencia] el cual cuenta con buffers de entrada y salida que están separados por tecnología de aislamiento capacitivo de Texas Instruments que utiliza una barrera de dióxido de silicio (SiO_2). Cuando se utilizan con fuentes de alimentación aisladas, estos dispositivos bloquean voltajes altos, aislan tierras y evitan corrientes de ruido que puedan ingresar a la tierra local e interferir o dañar circuitos sensibles. Esta tecnología de aislamiento ofrece ventajas en función, rendimiento, tamaño y consumo de energía en comparación con los optoacopladores. De este modo tendremos la aislación galvánica para separar apropiadamente la parte de potencia de la de control.

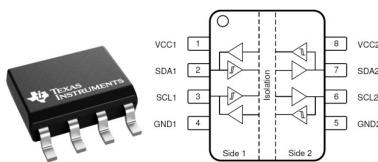


Figura 7.5: Aislador capacitivo I2C ISO1540.

7.2.5. Convertidor analógico digital. AD.

El ADS1115 es un componente crucial en la transición de una fuente de alimentación de corriente continua de analógica a digital. Este dispositivo ofrece una impresionante precisión de 16 bits, junto con una velocidad de muestreo de hasta 860 muestras por segundo a través del protocolo de comunicación I2C. Configurable para operar con cuatro canales de entrada de un solo extremo o dos canales diferenciales, el ADS1115 se destaca por su versatilidad en la medición de señales analógicas en entornos digitales. Equipado con un conversor delta-sigma de 16 bits, un comparador programable con salida directa al pin de alerta, y una ganancia ajustable que permite la lectura de hasta 256mV en escala completa, este dispositivo garantiza una captura precisa de los datos analógicos. Su interfaz de comunicación I2C facilita la lectura de datos digitales, mientras que su dirección predeterminada de 0x48 y la disponibilidad de bibliotecas para plataformas como Arduino lo convierten en una opción conveniente y de fácil integración en proyectos electrónicos.

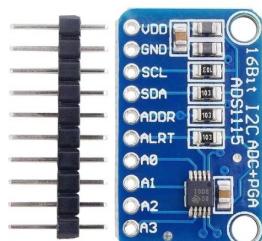


Figura 7.6: Convertidor AD ADS1115.

7.3. Modos de operación de la fuente.

El sistema de control de la fuente de alimentación implementa varios modos de funcionamiento para adaptarse a diversas necesidades de aplicación. A continuación, se describen los principales modos de operación:

7.3.1. Modo Tensión

En este modo, la fuente de alimentación establece inicialmente el valor máximo de tensión deseado. Posteriormente, limita la corriente máxima de umbral que la carga podrá obtener. Este modo es especialmente útil cuando se requiere controlar la tensión suministrada a la carga de manera precisa y garantizar la seguridad del sistema al limitar la corriente máxima.

7.3.2. Modo Corriente

En el modo de corriente, la fuente de alimentación establece y controla la corriente suministrada a la carga. Este modo es útil en situaciones donde es crítico mantener la corriente dentro de ciertos límites para proteger los componentes de la carga y garantizar su correcto funcionamiento.

7.3.3. Modo Rampa

El modo de rampa tiene como objetivo generar un aumento gradual y lineal de la tensión suministrada a la carga durante un período de tiempo determinado. Los parámetros configurables en este modo incluyen la tensión final deseada y el tiempo en el cual se alcanzará esta tensión desde un valor inicial de 0V. Este modo es útil en aplicaciones donde se requiere un inicio suave del sistema para evitar sobrecargas o picos de corriente al arrancar la carga.

Capítulo 8

Software programación y ensayo de Control digital

8.1. Características físicas del microcontrolador

En esta sección se explorará de manera breve pero sustancial la lógica interna que gobierna el funcionamiento del Arduino Nano y las diversas tareas que este microcontrolador es capaz de realizar. El Arduino Nano, conocido por su versatilidad y eficiencia en proyectos de electrónica y automatización, requiere un software bien planificado para ejecutar sus funciones de manera óptima.

8.1.1. Lógica Interna del Arduino Nano

El Arduino Nano, como todos los microcontroladores de la familia Arduino, opera mediante la ejecución de un conjunto de instrucciones programadas en su memoria flash. Estas instrucciones, escritas en el lenguaje de programación C/C++ utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, dictan cómo el microcontrolador debe responder a diferentes señales y entradas. En esta sección, se abordarán los conceptos básicos de esta lógica interna, incluyendo el ciclo de procesamiento del Arduino, la gestión de interrupciones, y la manipulación de puertos y registros.

8.1.2. Procesamiento de tareas

El diseño cuenta con 4 funciones básicas.

1. Sensado de valores en el ADC. De manera constante se estará encuestando al ADC vinculado por la línea I2C qué valor está censando en sus puertos de modo de tener un seguimiento apropiado de los valores presentados registrados en la fuente.
2. Procesamiento de tecla por interrupción. Al momento de presionar una tecla, el microprocesador se tomará unos segundos para procesar qué acción se ha solicitado en el menú que se verá reflejada de alguna manera en el display.
3. Actualización de display. Vinculado directamente al teclado y al sensado de corriente este mantendrá la actualización del display que nos permitirá ver y obtener un seguimiento acorde en lo que está ocurriendo en la fuente.
4. Cálculo y actualización de la acción de control. Implica la serie de cálculos que determinarán los parámetros de salida que se colocarán en el terminal del dac para que este pueda ser convertido en una referencia de tensión. Esta taréa se llevará a cabo luego de cada finalización de conversión del adc.

8.1.3. Pinout de arduino nano

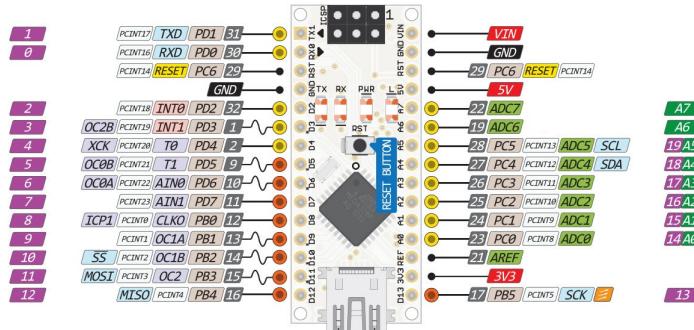


Figura 8.1: Arduino Nano.

Entradas

- Teclado: 8 pines.. .
- Sensado de tensión y corriente: La corriente de salida se mantiene constante a pesar de los cambios en la carga, la línea o la temperatura.

Salidas

- Display. Aislador. I2C. DAC. (SCL; SDA).
- Acople Desacople de carga. 1 PIN.

8.1.4. Protocolo de comunicación.

El protocolo de comunicación es fundamental en el diseño y desarrollo de sistemas embebidos, ya que define la manera en que los dispositivos intercambian información entre sí. En el caso del arduino nano, se cuenta con diversas opciones de protocolos de comunicación, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. Entre los protocolos de comunicación compatibles con el Arduino nano se encuentran:

- SPI™ (Serial Peripheral Interface): Permite la comunicación síncrona entre dispositivos mediante una línea de reloj común y líneas separadas para datos de entrada y salida.
- I2C™ (Inter-Integrated Circuit): Proporciona una interfaz de comunicación de bus de dos cables que permite la comunicación entre múltiples dispositivos conectados al mismo bus.
- Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART): Permite la comunicación serial asíncrona entre el dsPIC30F4011 y otros dispositivos periféricos.

Para este proyecto en particular, se optará por emplear el protocolo I2C debido a su compatibilidad con los componentes utilizados en la fuente disponibles en el mercado Argentino. La elección de este protocolo se fundamenta en su eficiencia y versatilidad, lo que lo hace idóneo para satisfacer los requisitos de comunicación de este sistema embebido. La forma es que interactúan y se conectan los dispositivos entre si en base al protocolo es la siguiente:

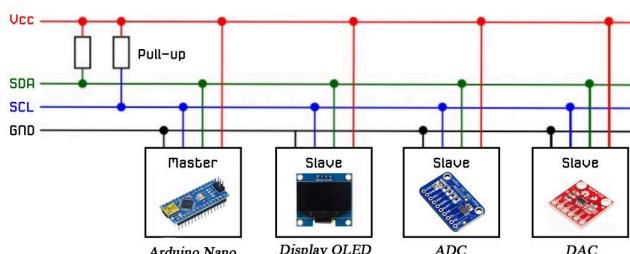


Figura 8.2: Conexionado típico de protocolo I2C.

La forma en que tiene para comunicarse el arduino nano con los demás es mediante el canal I2C en donde toma el rol de único maestro en la comunicación. Ya que todos se encuentran conectados en una misma línea la forma de acceder a cada dispositivo independientemente con todos entre sí es mediante el uso de direcciones de 7 bits. En este caso estas serán las que se encuentran a continuación. Sin embargo se recuerda que estas en algunos casos son determinadas por la conexión del pin ADDRESS de los componentes, así que ante cualquier duda debe consultarse la hoja de datos correspondiente.

- ADC ADS1115 ADDRESS: 0x48
- DAC MCP4725 ADDRESS: 0x60
- Display OLED ADDRESS: 0x3C
- Potenciómetro MCP4661 ADDRESS: --

8.1.5. Dependencias y Librerías Empleadas

Una de las ventajas más destacadas de trabajar con Arduino es su activa y extensa comunidad, que ha desarrollado una vasta colección de librerías para simplificar la escritura de código y la implementación de funcionalidades avanzadas. Estas librerías permiten a los desarrolladores enfocarse en la lógica central de sus proyectos, sin tener que reinventar la rueda para tareas comunes. A continuación, se presentan las principales librerías utilizadas en este proyecto:

- **Key.h:** Esta librería facilita la gestión de entradas de teclado, permitiendo la detección y el procesamiento eficiente de pulsaciones de teclas.
- **Keypad.h:** Utilizada para manejar teclados matriciales, esta librería simplifica la lectura de teclas y la interpretación de entradas de usuario.
- **Wire.h:** Esencial para la comunicación I2C, esta librería permite la interacción con una variedad de dispositivos periféricos compatibles con este protocolo, como sensores y expansores de E/S.
- **Adafruit_ADS1X15.h:** Proporciona soporte para la familia de convertidores analógico-digital (ADC) ADS1X15 de Adafruit, permitiendo lecturas precisas de señales analógicas.
- **Adafruit_GFX.h:** Una librería gráfica que proporciona primitivas de dibujo básicas, tales como líneas, círculos y texto, utilizada comúnmente en pantallas gráficas.
- **Adafruit_SSD1306.h:** Especializada en el control de pantallas OLED basadas en el controlador SSD1306, esta librería facilita la visualización de información en pantallas compactas y de alta resolución.
- **Adafruit_MCP4725.h:** Proporciona una interfaz sencilla para controlar el DAC MCP4725, permitiendo la generación de señales analógicas de manera precisa.

8.2. Ensayos y simulación

Para los ensayos de los modelos constructivos, se utilizó el software simulador de circuitos electrónicos Proteus 8 Professional. Este software proporciona una serie de herramientas que permiten evaluar el funcionamiento de los componentes implementados en el control digital de manera eficiente. Una de las características más destacadas de Proteus 8 Professional, y la razón principal por la que se prefiere frente a otras alternativas, es su comunidad activa. Esta comunidad ha desarrollado librerías extensivas de componentes, incluidos microcontroladores Arduino. Estas librerías no solo incluyen las huellas (footprints) de los componentes, sino que también permiten programarlos de manera similar a como se haría con los dispositivos reales. Esta funcionalidad es particularmente valiosa, ya que permite al diseñador observar una simulación precisa de la interacción entre todos los elementos, sirviendo como base para la implementación con componentes físicos en etapas posteriores del desarrollo.

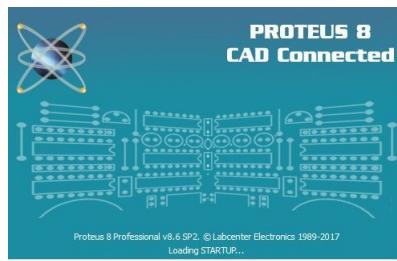


Figura 8.3: Software Proteus 8 Professional.

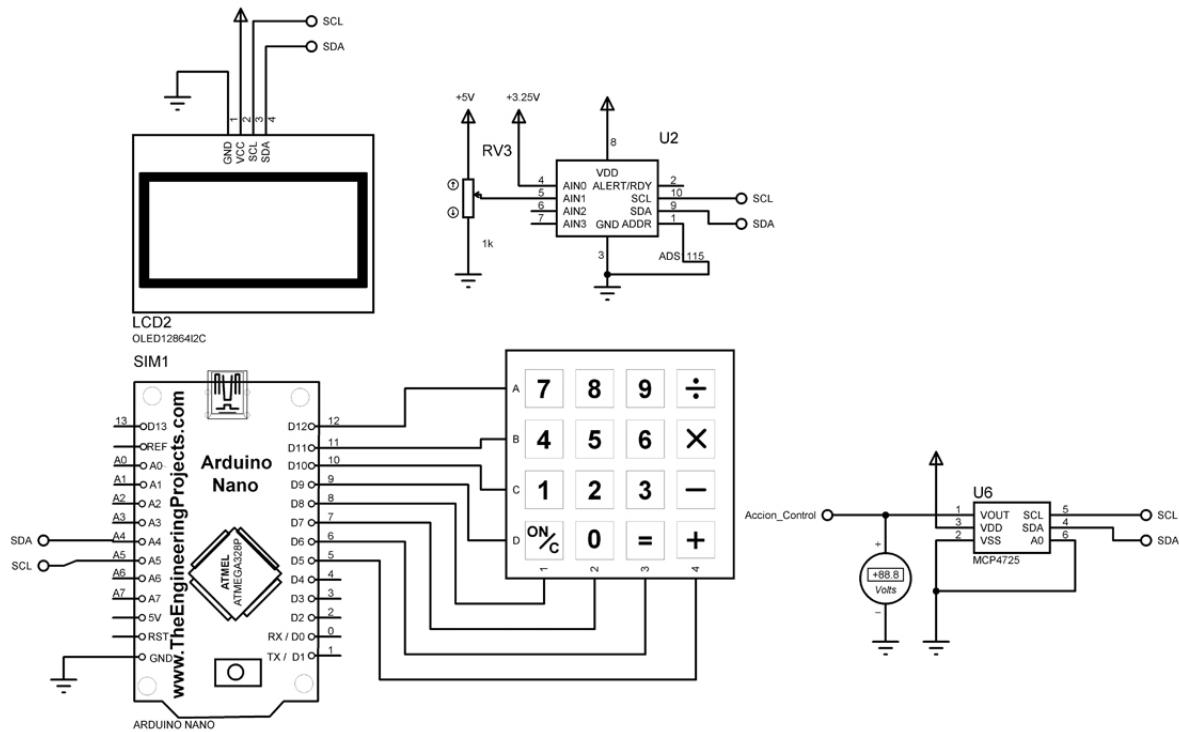


Figura 8.4: Esquemático de simulación en Proteus.

8.2.1. Configuración del Ambiente de Trabajo

Proteus 8 Professional incluye una amplia variedad de componentes preinstalados, que cubren la mayoría de los requisitos necesarios para las pruebas. Sin embargo, en el caso de los microcontroladores Arduino, estos deben descargarse e incorporarse manualmente en la carpeta de librerías del software. Los dispositivos Arduino añadidos a Proteus mediante librerías permiten cargarles un código escrito en lenguaje C para su ejecución durante la simulación. Esto facilita la realización de ensayos y la verificación de las funcionalidades desarrolladas en el código. El proceso para lograr esta integración consta de dos pasos. Primero, utilizando el Arduino IDE con el código deseado, se debe acceder a la sección de *Sketch* y seleccionar *Exportar binario compilado*. Esto generará una carpeta adicional junto al proyecto con extensión .ino, donde se crearán archivos con extensiones .hex y .elf, entre otros. Estos archivos deben seleccionarse al configurar las propiedades del componente Arduino en Proteus. Una vez completado este paso, el dispositivo funcionará como un Arduino real, permitiendo conectar los pines y suministrar la tensión según el diseño electrónico en el simulador para iniciar las pruebas.

8.3. Resultados Experimentales

Basado en el desarrollo descrito en la sección anterior, se obtuvo un modelo funcional de circuito y código que cumplía con los objetivos propuestos del sistema de control. Esto culminó en el ensayo físico de los componentes utilizando una base *protoboard*, donde se comprobó que todos los elementos

funcionaron según lo previsto. Así, se concluyó exitosamente el ensayo de esta sección, validando el diseño y su implementación práctica.

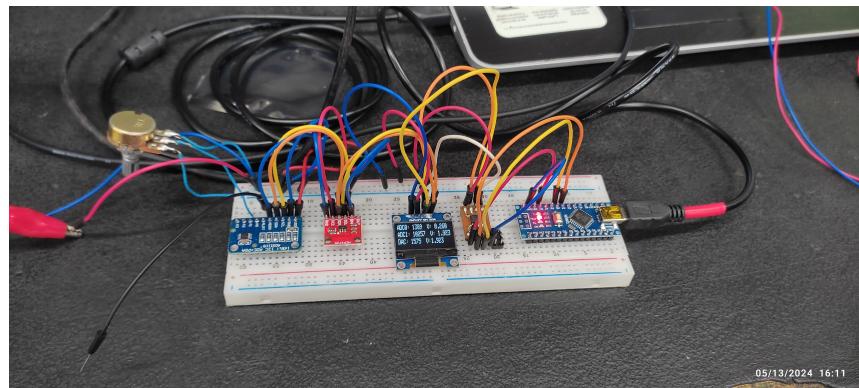


Figura 8.5: Esquemático de simulación en Proteus.

Capítulo 9

Modelado y construcción del PCB.

9.1. Software y herramientas de diseño empleadas.

A partir de los circuitos desarrollados en los capítulos anteriores, se procedió a modelar una placa de circuito impreso (PCB) personalizada. Esta placa está diseñada para integrar todos los componentes necesarios y crear un prototipo funcional que permita realizar ensayos sobre materiales en una superficie comprimida. La modelación y diseño del PCB se llevaron a cabo utilizando el software KiCad, reconocido por su amplia gama de herramientas de personalización de componentes. Este software permite a los diseñadores lograr un alto nivel de precisión y calidad en sus diseños, adecuándose a las habilidades específicas de cada usuario. El proceso de diseño incluyó la disposición estratégica de los componentes para optimizar el rendimiento del circuito, así como la consideración de factores como la disipación de calor, la integridad de la señal y la minimización de interferencias electromagnéticas. Además, se realizaron varias iteraciones del diseño para asegurar que el PCB final cumpliera con todos los requisitos técnicos y de funcionamiento necesarios para los ensayos planificados. El uso de KiCad facilitó la creación de un diseño detallado y eficiente, permitiendo visualizar en todo momento el aspecto final del PCB y realizar ajustes necesarios antes de proceder a su fabricación.



Figura 9.1: Logo del software Kicad.

9.2. Construcción del primer prototipo.

La fase de construcción se inició con el desmontaje de la placa analógica de la fuente utilizada en un proyecto anterior, la cual se caracterizaba por sus atributos de control predominantemente analógicos. Este proceso permitió la recuperación de una variedad de materiales que, en su mayoría, se emplearían en el desarrollo del nuevo prototipo de fuente digital. Entre los componentes rescatados se encuentran resistencias, capacitores, disipadores de calor y borneras, entre otros. La reutilización de estos elementos fue posible gracias a la topología de la nueva fuente digital, que permitía su integración sin comprometer el diseño ni la funcionalidad del prototipo. El proceso de desmontaje y reutilización de componentes se llevó a cabo meticulosamente, asegurando que cada pieza recuperada estuviera en condiciones óptimas para su reimplementación. Este esfuerzo contribuyó a la eficiencia del proyecto y a la racionalización de recursos, destacando la importancia de la sostenibilidad y la economía circular en el ámbito del diseño y construcción de dispositivos electrónicos.

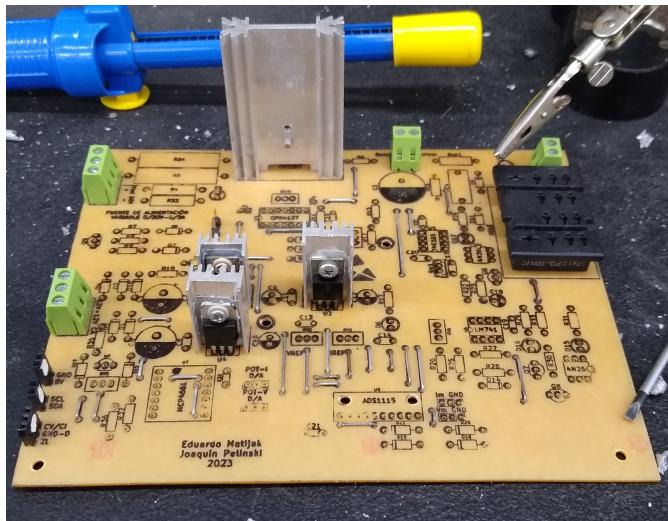


Figura 9.2: Despues del desmontaje de la placa.

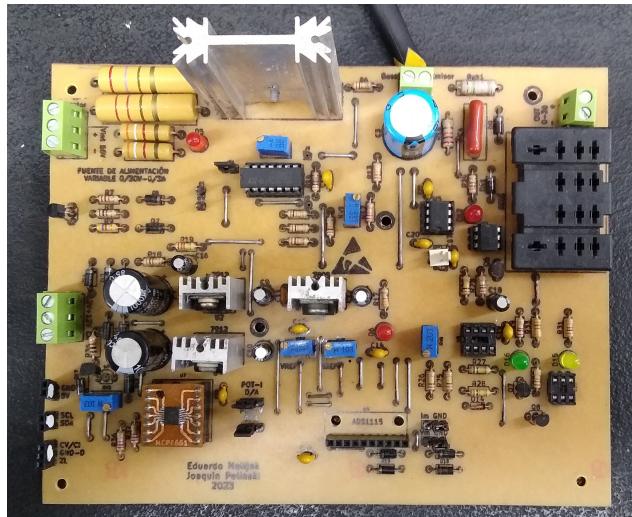


Figura 9.3: Antes desmontaje de la placa.

A continuación, se presenta el diseño del prototipo utilizado, el cual incorpora todos los elementos necesarios para la realización de las pruebas de funcionamiento. La característica principal de este PCB es su capacidad para integrar en un espacio compacto de 15x20 cm todos los componentes que anteriormente estaban dispersos en el modelo anterior. Una excepción notable en el diseño es la ubicación de la pantalla y el teclado, que se ha decidido mantener separados del PCB principal. Esta decisión se tomó debido a que no tendría sentido práctico incluir estos elementos directamente sobre la placa. En su lugar, se emplearon pines de salida, como borneras, para conectar estos componentes externos, facilitando su integración y operación. El diseño resultante, que se muestra en la imagen adjunta, incluye también una representación tentativa en 3D del PCB. En esta representación se pueden observar las disposiciones de los componentes y la estructura general del prototipo. Es importante destacar que, para evitar daños y facilitar el acceso y reemplazo, algunos de los componentes están montados sobre tiras de pines hembra en lugar de estar soldados directamente sobre la placa. Esta configuración no solo mejora la durabilidad y mantenibilidad del prototipo, sino que también permite una mayor flexibilidad en la realización de pruebas y modificaciones. La inclusión de un modelo 3D en el diseño ayuda a visualizar la disposición y la accesibilidad de los componentes, asegurando que el montaje y el mantenimiento del PCB sean lo más eficientes posible.

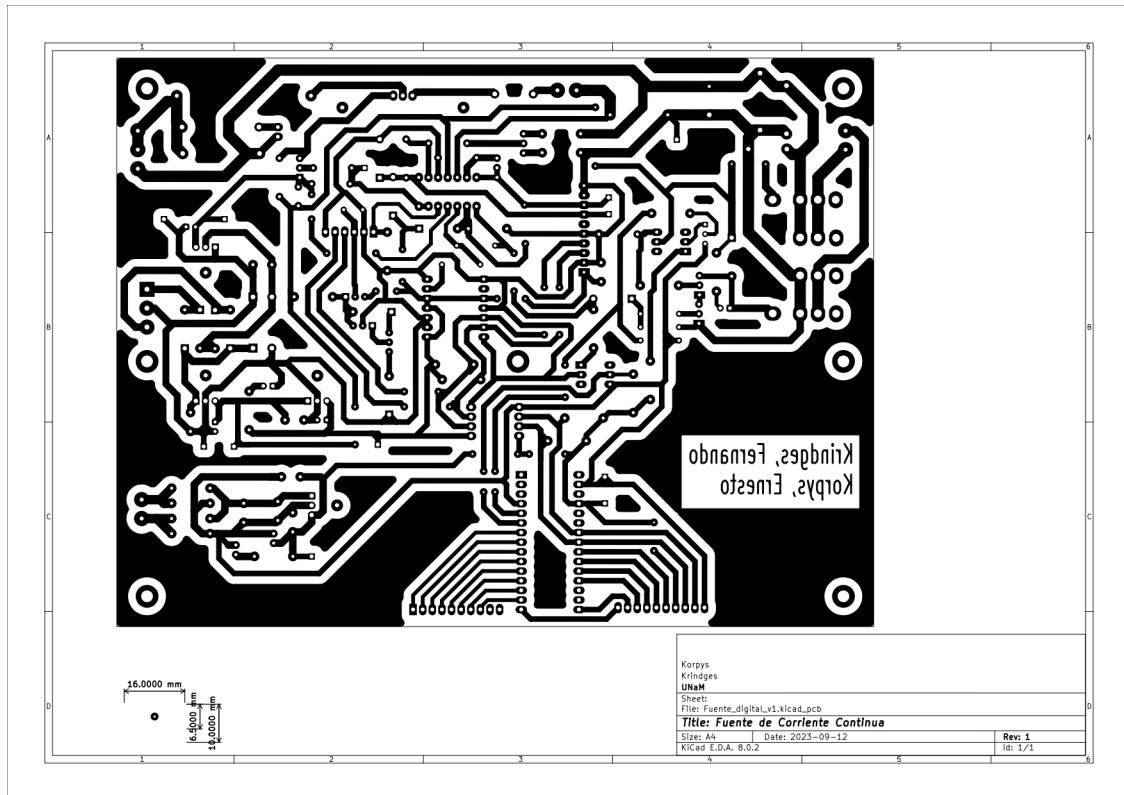


Figura 9.4: Primer prototipo de PCB.

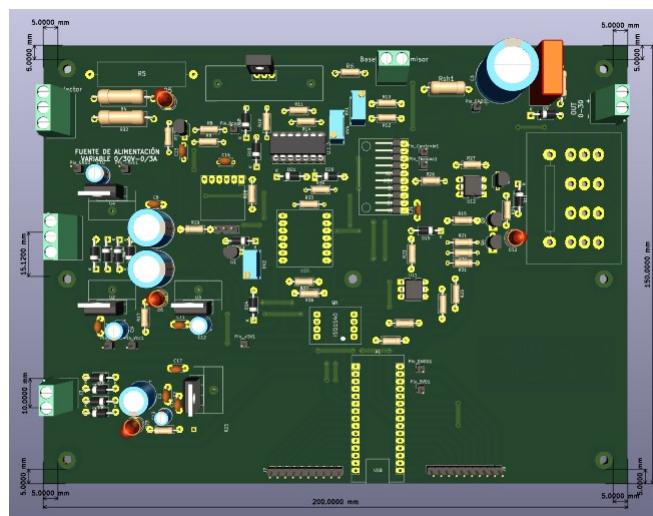


Figura 9.5: Vista 3D del primer prototipo.

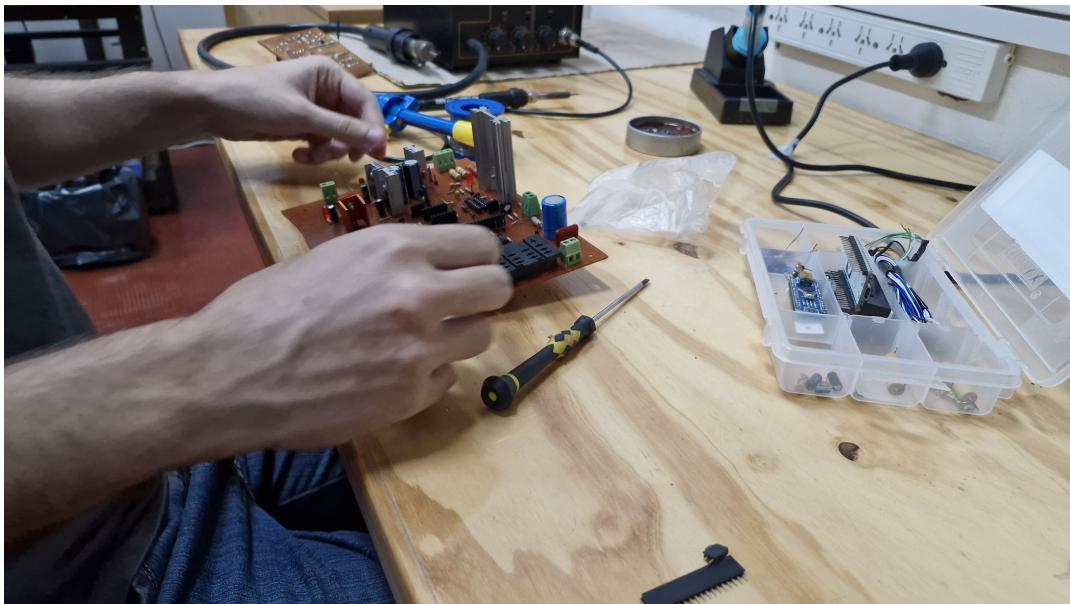


Figura 9.6: Montaje de los componentes en la placa.

9.3. Ensayo de laboratorio y pruebas prácticas.

Una vez verificada la continuidad de las pistas, el adecuado funcionamiento de los componentes, y los niveles de tensión en varios puntos clave, se procedió a energizar la fuente con todos los transformadores, tomando todas las precauciones necesarias para evitar daños a los componentes. A partir de este punto, se realizó una serie de pruebas y ajustes detallados para garantizar el correcto funcionamiento de la fuente. Estas pruebas incluyen la verificación de la respuesta del sistema bajo diversas condiciones de carga y la evaluación de la estabilidad del lazo de control. El uso del osciloscopio fue fundamental en este proceso, ya que permitió observar en tiempo real cómo el lazo de control afectaba la salida de la fuente, aspecto crucial para el correcto desempeño del dispositivo. Durante estas pruebas, se monitorearon diversos parámetros, tales como la tensión de salida, la respuesta transitoria, y el comportamiento ante variaciones en la carga. Cada ajuste se realizó con el objetivo de optimizar la performance del prototipo, asegurando que este cumpliera con los requisitos especificados y operará de manera eficiente y estable. El resultado de estos ensayos fue satisfactorio, evidenciando que el diseño y la construcción del PCB fueron exitosos pero sin embargo no del todo concluyentes. Por de manera de buscar la excelencia en el producto final se obtuvieron las siguientes observaciones que serán tomadas en cuenta para el siguiente prototipo.

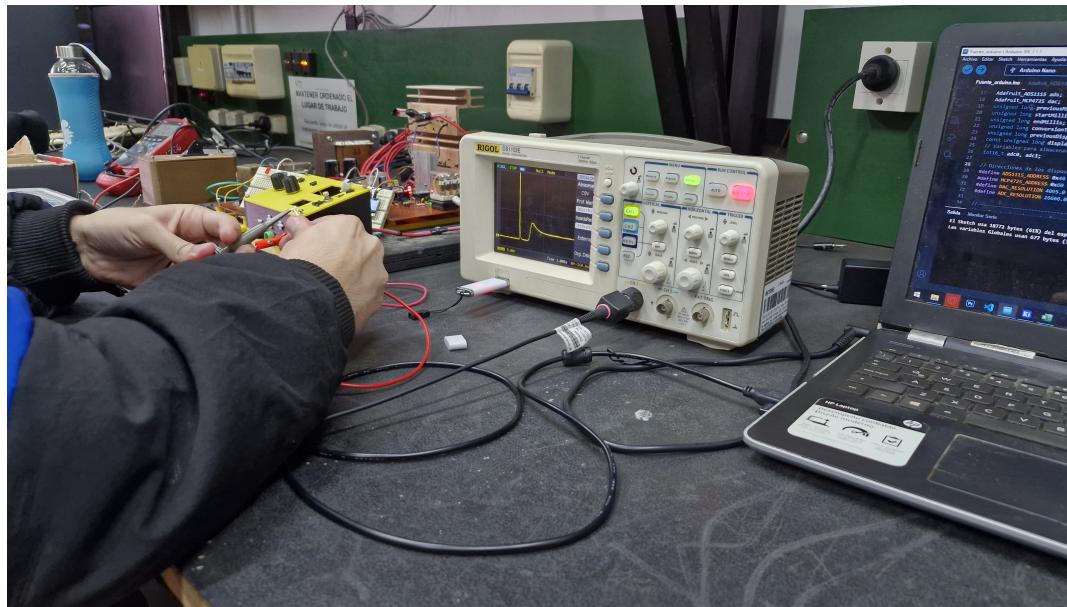


Figura 9.7: Ensayo con osciloscopio de la placa.

Observaciones

- Los transistores comienzan a operar con una acción de control mínima de 0.3V.
- El capacitor de salida se carga y dispara su voltaje en cuestión de unos milisegundos, por lo que es necesario un aproximamiento y control especial cuando la fuente no arranca con una carga conectada.
- Cuando el ADC no tiene nada este pone su voltaje de salida en 2.5V.

Mejoras a realizar

- Ajuste de constantes de controlador.
- Ajuste de frecuencia de muestreo.
- Mejora de la estrategia de control.

Capítulo 10

Ensayos de laboratorio y pruebas prácticas

10.1. Características físicas del microcontrolador

En esta sección se explorará de manera breve pero sustancial la lógica interna que gobierna el funcionamiento del Arduino Nano y las diversas tareas que este microcontrolador es capaz de realizar. El Arduino Nano, conocido por su versatilidad y eficiencia en proyectos de electrónica y automatización, requiere un software bien planificado para ejecutar sus funciones de manera óptima.

Capítulo 11

Instrucciones de uso.

11.1. Ciclo de funcionamiento

Esta sección del informe detalla el procedimiento adecuado para la operación del equipo bajo condiciones normales. Se describen los pasos necesarios desde la energización de los transformadores hasta la configuración de los valores, con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del equipo.

1. Energización de los transformadores.
2. Carga de la pantalla de inicio del menú.
3. Tecla B para moverse sobre el menú.
4. Selector de modo. Tensión. Corriente. Rampa.
5. Tecla C para confirmar el modo escogido.
6. Tecla A para entrar al modo de edición de valores.
7. Cargar Valores con teclas numéricas.
8. Tecla # para poner en marcha la fuente desde la pantalla del modo.
9. Tecla * para conectar la carga.
10. Desactivar la fuente en el menú con tecla D.

11.1.1. Diagrama de control de funcionamiento.

El diagrama de control del funcionamiento es una representación visual esencial que ilustra de manera clara y concisa los pasos y procesos involucrados en el manejo adecuado de un sistema o equipo. Este tipo de diagrama proporciona una guía visual detallada que facilita la comprensión y la ejecución de las tareas necesarias para operar el equipo de manera eficiente. El que se encuentra a continuación resume lo desarrollado en la parte superior de cual sería un ciclo normal de utilización sin entrar en detalle acerca de errores y fallas imprevistas.

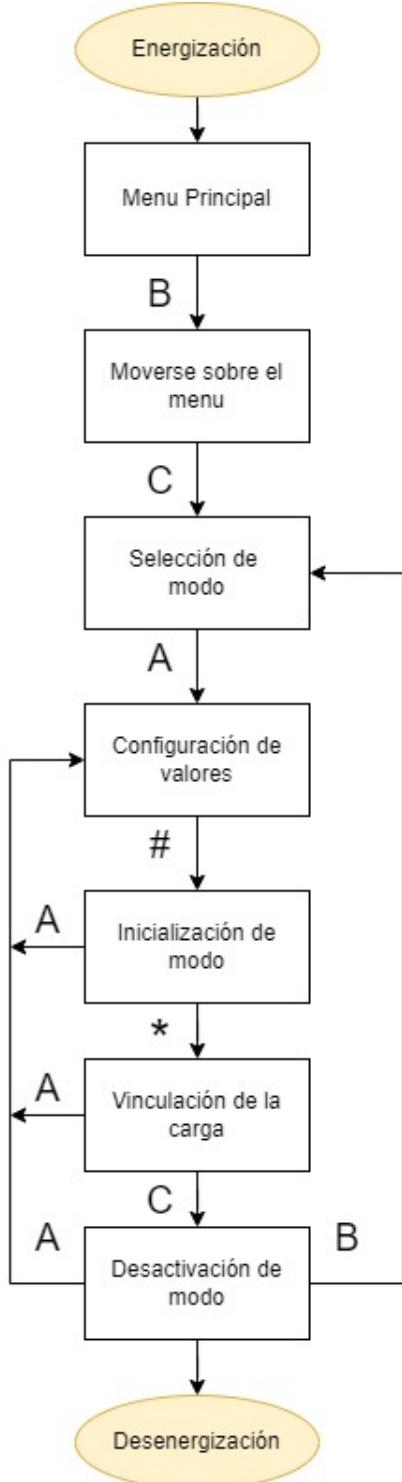


Figura 11.1: Diagrama de bloques del funcionamiento estandar.

11.2. Uso de teclado

El teclado es una interfaz fundamental en el proceso de interacción del usuario con la fuente de alimentación, permitiendo la configuración de parámetros y el control de diferentes modos de operación. Cada tecla tiene asignada una función específica para facilitar la navegación y la manipulación de la configuración. A continuación, se presenta un resumen de la función que realiza cada tecla:

- A: Editar valores.
- B: Moverse sobre el menú.
- C: Confirmar.

- D: Volver atrás.
- *: Conectar la carga.
- #: Poner en marcha el modo.

11.3. Pantallas Disponibles

En el display se encuentran disponibles seis pantallas distintas, cada una con un propósito específico para la interacción del usuario con la fuente. A continuación, se detalla el contenido y la función de cada una. Esta estructura proporciona al usuario una interfaz intuitiva y clara para interactuar con la fuente, facilitando la configuración y el monitoreo de los parámetros de salida.

1. **Pantalla Principal - Menú Principal:** Esta pantalla representa el menú principal desde el cual se puede navegar para configurar la fuente. Mediante un puntero, el usuario puede seleccionar el modo de operación deseado.
2. **Pantalla de Modo Tensión:** Al seleccionar este modo, la pantalla mostrará los valores configurados para la tensión. Además, proporcionará una visualización en tiempo real de las magnitudes de tensión registradas.
3. **Pantalla de Modo Corriente:** Similar al modo de tensión, esta pantalla muestra los valores configurados para la corriente. No incluye un campo para la tensión deseada, ya que se activa exclusivamente el modo de corriente.
4. **Pantalla de Modo Rampa:** Aquí se visualizan los valores de tiempo y tensión configurados, junto con los valores registrados en tiempo real y el tiempo transcurrido desde el inicio del modo de rampa.
5. **Pantalla de Carga Inválida:** Esta pantalla muestra un mensaje de error cuando los parámetros cargados no son válidos dentro de los límites constructivos de la fuente.
6. **Pantalla de Carga de Valores:** En esta pantalla se muestran los valores deseados de los parámetros. Se pueden cargar uno a la vez utilizando el teclado alfanumérico.

Bibliografía

- [1] «Plantilla Proyecto Eléctrico - Universidad de Costa Rica.» (2017), dirección: <https://es.overleaf.com/latex/templates/plantilla-proyecto-electrico/thtnrybqfsbf>. (Accedido: 13/11/2022).
- [2] T. Instruments, *TTL Data Book*. 1978.
- [3] «Tutoriales Latex usando texmaker.» (2017), dirección: https://youtube.com/playlist?list=PLKRmVEXGjGWc3IIKmo_0F1gxyNggVzdsI. (Accedido: 13/11/2022).
- [4] «Table Generator - LaTeX Tables.» (), dirección: https://www.tablesgenerator.com/latex_tables. (Accedido: 13/11/2022).
- [5] «Página oficial de JabRef.» (), dirección: <https://www.jabref.org/>. (Accedido: 13/11/2022).

Apéndice A

Apéndice de ejemplo

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

