

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

Noviembre de 2024

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	xii
Índice de fotografías	xii
Índice de tablas	xii
Nomenclatura	xv
1 Introducción	1
2 Uso de esta plantilla en L^AT_EX	3
2.1. Estructura del Informe	3
2.1.1. Datos generales	5
2.1.2. Resumen	6
2.1.3. Abstract	7
2.1.4. Agradecimientos	7
2.1.5. Nomenclatura	7
2.1.6. Índices	7
2.1.7. Modificaciones extras	8
2.1.8. Agregar un capítulo	9
2.2. Figuras	11
2.3. Fotografías	13
2.4. Tablas	14
2.5. Números y Unidades	18
2.6. Ecuaciones	19
2.7. Código fuente	20
2.8. Bibliografía	22
3 Conclusiones	23
4 Estrategia de control	25
4.1. Principio de estrategia de control.	25
4.1.1. Lazo de tensión	25
4.1.2. Lazo de corriente.	25
5 Control digital	27
5.1. Diagrama de bloques de la etapa digital	27
5.2. Componentes de la etapa digital.	27
5.2.1. dsPIC30F4011. High-Performance, 16-Bit Digital Signal Controllers.	27
5.2.2. Teclado de membrana 4x4.	28
5.2.3. Display OLED SSD1306.	29
5.2.4. Aislador I2C capacitivo.	29
5.2.5. Convertidor analógico digital. AD.	29

5.2.6. Modos de funcionamiento.	30
6 Instrucciones de uso.	31
6.1. Ciclo de funcionamiento.	31
Bibliografía	33
A Apéndice de ejemplo	35

Índice de figuras

2.1. Estructura de archivos de la plantilla.	4
2.2. Creación de nuevo capítulo	9
2.3. Creación de nuevo capítulo	10
2.4. Diagrama de bloques del sistema mínimo	11
2.5. Una figura con varias subfiguras, utilizando el paquete subfig	12
(a). Transistor (texto que aparece en el índice)	12
(b). LED	12
(c). Fotoconductor	12
(d). Circuito integrado	12
5.1. Estructura de archivos de la plantilla.	27
5.2. Logo MPLAB IDE.	28
5.3. Estructura de archivos de la plantilla.	29
5.4. Display OLED SSD1306.	29
5.5. Aislador capacitivo I2C ISO1540.	29
5.6. Convertidor AD ADS1115.	30

Índice de fotografías

2.1. Sistema medio construido	13
---	----

Índice de tablas

2.1. Numeración decimal, binaria y hexadecimal	14
2.2. Códigos de estado	14

2.3. Lista de componentes del sistema final 15

Nomenclatura

I	Corriente eléctrica
R	Resistencia eléctrica
V	Tensión eléctrica
V_{EEEEE}	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

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].

Uso de esta plantilla en L^AT_EX

En este capítulo, en gran parte, se demostrará con ejemplos el uso de esta plantilla, y en general el uso de L^AT_EX. 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 L^AT_EX, 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.

2.1. Estructura del Informe

En la figura 2.1 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 “imagenes”, 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 `proyecto.tex`, el cual es el documento principal, el cual se compila para generar el archivo .pdf del informe.

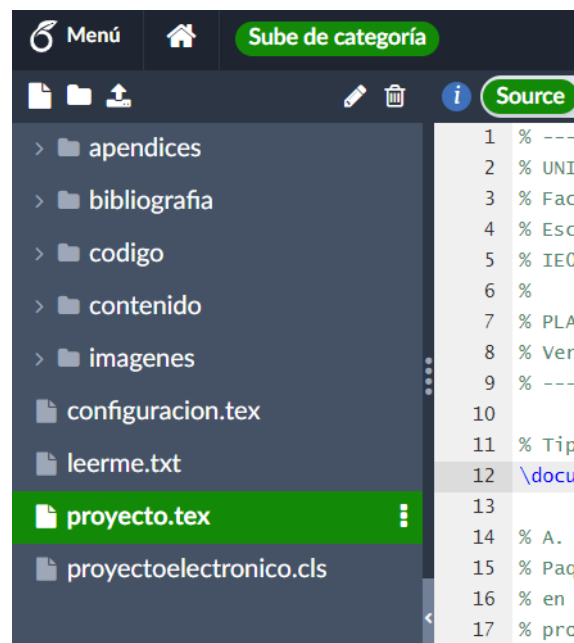


Figura 2.1: Estructura de archivos de la plantilla.

2.1.1. 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 `proyectoelectronico.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
```

2.1.2. 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 rellenar 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.

2.1.3. 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.

2.1.4. Agradecimientos

Para agregar los agradecimientos es necesario simplemente modificar el archivo: `./contenido/agradecimientos.tex`.

2.1.5. 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.

2.1.6. 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`.

2.1.7. Modificaciones extras

La idea de utilizar una plantilla es precisamente poder simplemente escribir el documento sin tener que molestarse con los detalles de formateo del mismo. Sin embargo, si es de interés para el alumno realizar modificaciones, mencionamos que en el archivo `proyectoelectronico.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 }
{
...
}
```


2.1.8. 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 2.2.

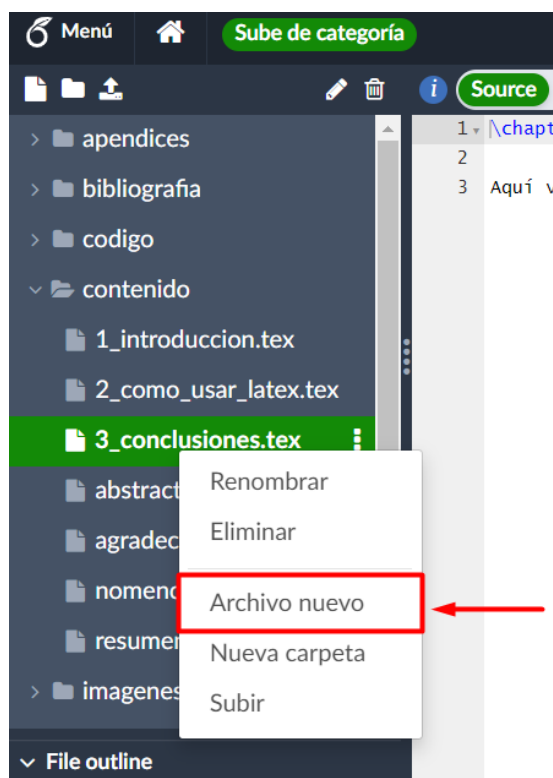


Figura 2.2: Creación de nuevo capítulo

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

```
\chapter{Nombre del nuevo capitulo}

% Texto de mi nuevo capitulo...
```

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 2.3, 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 2.3: Creación de nuevo capítulo

2.2. Figuras

```

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

```

En la figura 2.4 puede observarse el diagrama de bloques del sistema mínimo.

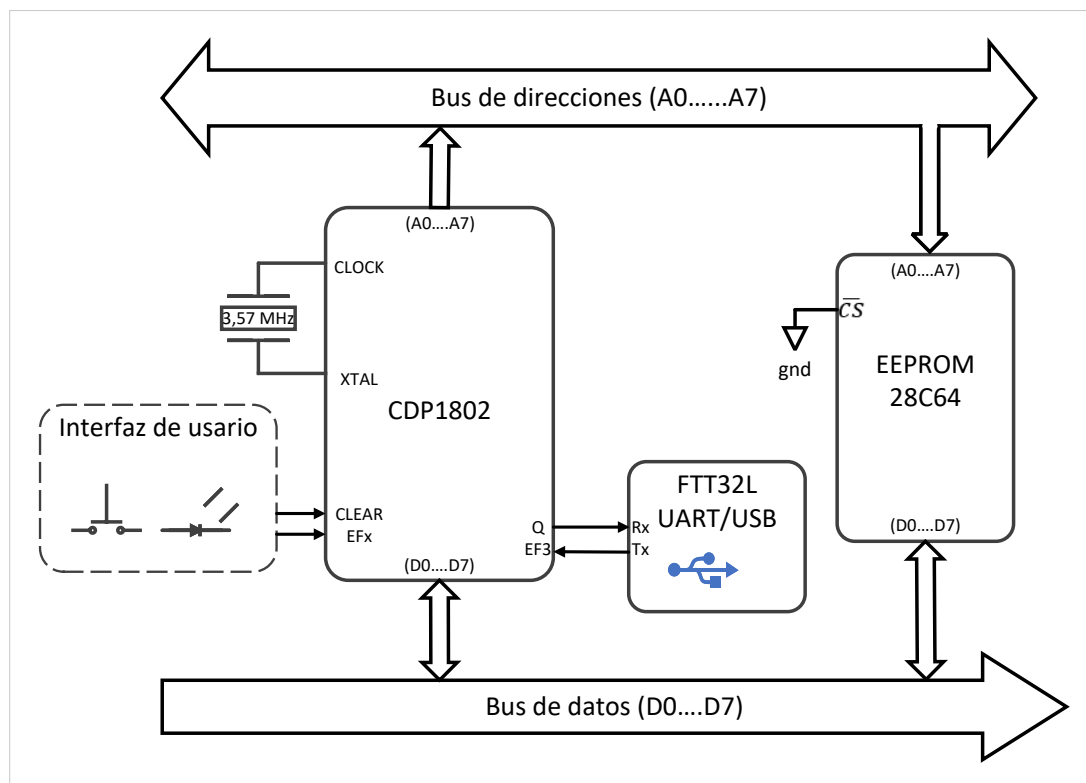
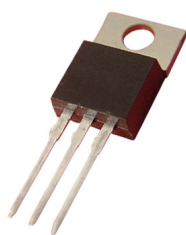


Figura 2.4: Diagrama de bloques del sistema mínimo

```

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

```



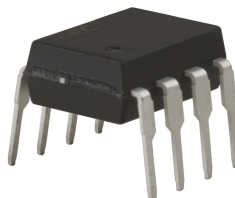
(a) Transistor en encapsulado TO-220



(b) LED blanco de baja potencia



(c) Fotoconductor



(d) Circuito integrado en encapsulado DIP-8

Figura 2.5: Una figura con varias subfiguras, utilizando el paquete subfig

2.3. Fotografías

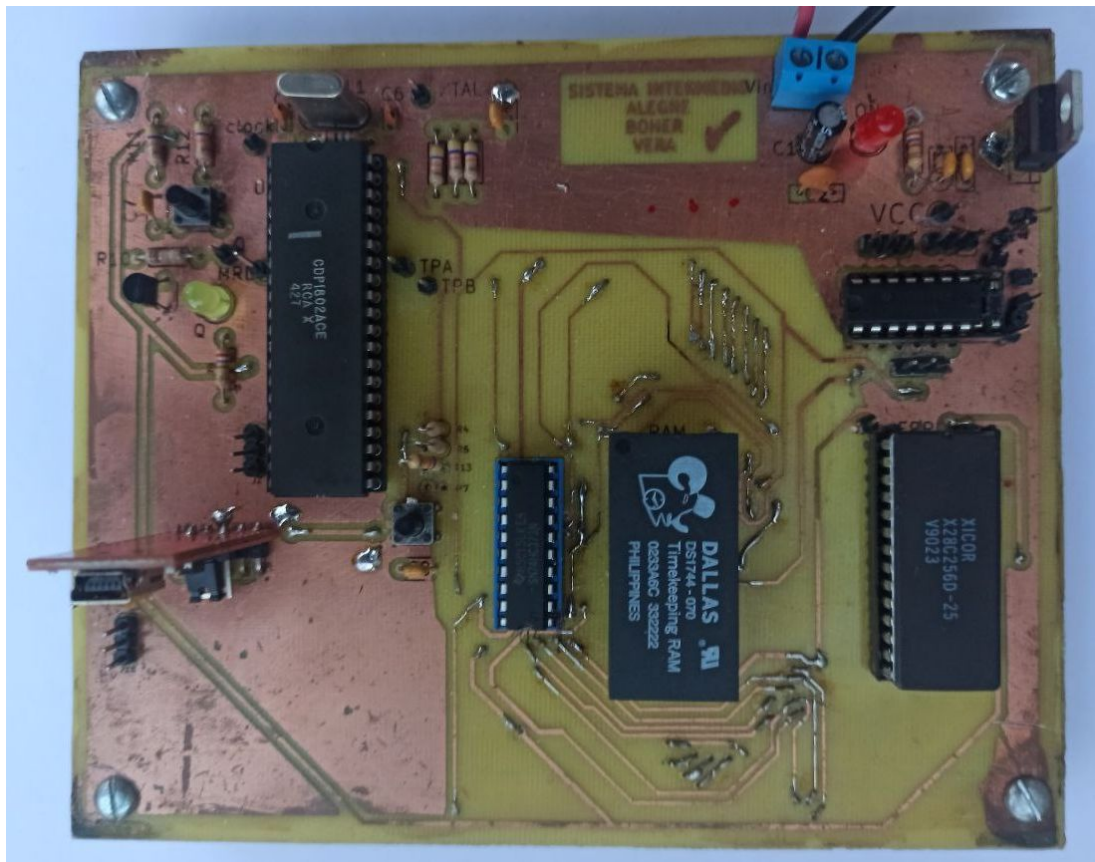
A pedido de la cátedra se incluyó un entorno distinto al de figuras para presentar fotografías. El mismo se utiliza de igual manera que el entorno de figuras, con la única diferencia de que este entorno se llama “foto”, como se muestra a continuación.

```

1 En la fotografia~\ref{F:foto_sistema_med} puede verse el sistema medio
  construido.
2
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 2.1 puede verse el sistema medio construido.



Fotografía 2.1: Sistema medio construido

2.4. 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 2.1: 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 2.2: 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 2.3 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 2.3: 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	Cuadruple compuerta NAND de dos entradas	Texas Instrument	SN74HC00N
1	U17	Cuadruple compuerta NAND de dos entradas con Schmitt-Trigger	Texas Instrument	SN74HC132N
2	U18,U30	Cuadruple 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 k Ω 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 k Ω 1/8 W	Varios	Varios
5	R19, R20, R24, R25, R26	Resistor 100 k Ω 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 k Ω 1/8 W	Varios	Varios
8	R44, R45, R48, R49, R50, R51, R58, R59	Resistor 1 M Ω 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 μ F 50 V	Varios	Varios
1	C11, C17	Capacitor electrolítico 4700 μ F 25 V	Varios	Varios
2	C12, C16	Capacitor cerámico 0,33 μ F 50 V	Varios	Varios
1	C13	Capacitor electrolítico 10 μ F 25 V	Varios	Varios
1	C19	Capacitor electrolítico 0,01 μ F 25 V	Varios	Varios
1	C20	Capacitor electrolítico 4,7 μ F 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 <i>Male Header Pin</i>)	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

2.5. 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 tambien 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 tambien 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 tambien ser así: 2,2 kΩ.

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

2.6. Ecuaciones

```

1 En la ecuación~\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 (2.1) se encuentra la fórmula de Euler.

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x \quad (2.1)$$

```

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}

```

$$u(x) = \begin{cases} \exp x & \text{si } x \geq 0 \\ 1 & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

```

1 \begin{subequations}
2 \begin{equation}
3 r_1^2 = (h_T - h_R)^2 + d^2
4 \label{eq: r1_tierra_plana}
5 \end{equation}
6 \begin{equation}
7 r_2^2 = (h_T + h_R)^2 + d^2
8 \label{eq: r2_tierra_plana}
9 \end{equation}
10 \end{subequations}

```

$$r_1^2 = (h_T - h_R)^2 + d^2 \quad (2.3a)$$

$$r_2^2 = (h_T + h_R)^2 + d^2 \quad (2.3b)$$

2.7. 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
   = {L:codigo_ejemplo}]{codigo/codigo_ejemplo.m}
5 \normalsize

```

En el listado 2.1 puede verse en código de ejemplo en Octave.

Listado 2.1: 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 resaltado 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 `proyectoelectronico.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}
\normalsize
```

Listado 2.2: 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 ;              ; / /
5      LDI CONT1BT     ; 2-Byte / 2-Cliclos Maq / 1 vez
6      PLO R1          ; 1-Byte / 2-Cliclos Maq / 1 vez
7 TIMER ;              ; / /
8      DEC R1          ; 1-Byte / 2-Cliclos Maq / CONT1BT veces
9      GLO R1          ; 1-Byte / 2-Cliclos Maq / CONT1BT veces
10     BNZ TIMER       ; 2-Byte / 2-Cliclos Maq / CONT1BT veces
11     BR BACK         ; 2-Byte / 2-Cliclos Maq / 1 vez
```

2.8. 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]`.

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.

Estrategia de control

4.1. Principio de estrategia de control.

4.1.1. Lazo de tensión

4.1.2. Lazo de corriente.

Control digital

5.1. Diagrama de bloques de la etapa digital

Para la etapa digital se propone el diagrama de bloques de la figura 5.1. 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.

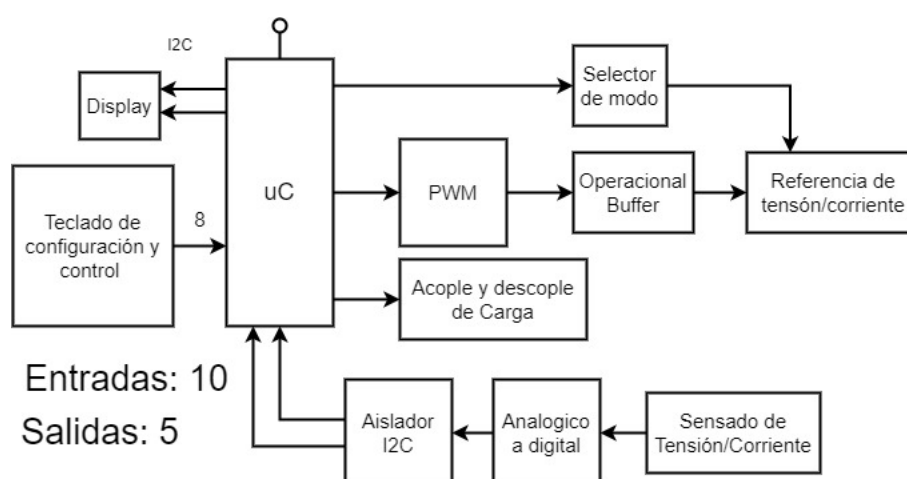


Figura 5.1: Estructura de archivos de la plantilla.

5.2. Componentes de la etapa digital.

5.2.1. dsPIC30F4011. High-Performance, 16-Bit Digital Signal Controllers.

El dsPIC30F4011 es un controlador digital de señales de 16 bits, reconocido por su alto rendimiento y sus amplias capacidades. Diseñado por Microchip Technology, este dispositivo se destaca por su versatilidad, lo que lo convierte en una opción ideal para una variedad de aplicaciones en el ámbito industrial, comercial y de consumo. Con su arquitectura avanzada y su conjunto completo de características, el dsPIC30F4011 ofrece un rendimiento excepcional en aplicaciones que requieren un control preciso y eficiente de señales digitales. Su capacidad para manejar operaciones complejas en tiempo real lo hace adecuado para una amplia gama de proyectos, desde sistemas de control hasta aplicaciones de procesamiento de señales. Esta también se destaca por su tamaño compacto y su diseño robusto, lo que lo hace fácil de integrar en una variedad de dispositivos y sistemas electrónicos. Además, su amplio rango de temperatura de funcionamiento y su bajo consumo de energía lo hacen adecuado para aplicaciones en entornos exigentes.

programación La programación del dsPIC30F4011 se lleva a cabo utilizando el software MPLAB IDE v8.91, desarrollado por Microchip Technology Incorporated en los Estados Unidos. MPLAB IDE proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) que facilita la creación, depuración y programación de aplicaciones para microcontroladores de la familia dsPIC. Este software ofrece una variedad de herramientas y características que simplifican el proceso de desarrollo de software para el dsPIC30F4011, incluyendo un editor de código, compilador, depurador y simulador. Además, MPLAB IDE es compatible con una amplia gama de dispositivos de Microchip, lo que lo convierte en una opción versátil para los desarrolladores de sistemas embebidos. El código utilizado en el dsPIC30F4011 está disponible en [insertar referencia aquí], que es un enlace a un repositorio en GitHub. Este repositorio contiene el algoritmo desarrollado en los capítulos anteriores, permitiendo a los interesados examinar y comprender el funcionamiento del sistema implementado. La disponibilidad del código fuente en un repositorio público facilita la colaboración, revisión y mejora continua del proyecto, además de proporcionar una referencia para futuros desarrollos y aplicaciones relacionadas con el dsPIC30F4011.

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 dsPIC30F4011, 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 dsPIC30F4011 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. CAN (Controller Area Network): Es un protocolo de comunicación serial diseñado para aplicaciones de control en tiempo real, especialmente en entornos automotrices e industriales. Para este proyecto en particular, se optará por emplear el protocolo I2C debido a su compatibilidad con los componentes utilizados en la fuente. 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.



Figura 5.2: Logo MPLAB IDE.

5.2.2. 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.

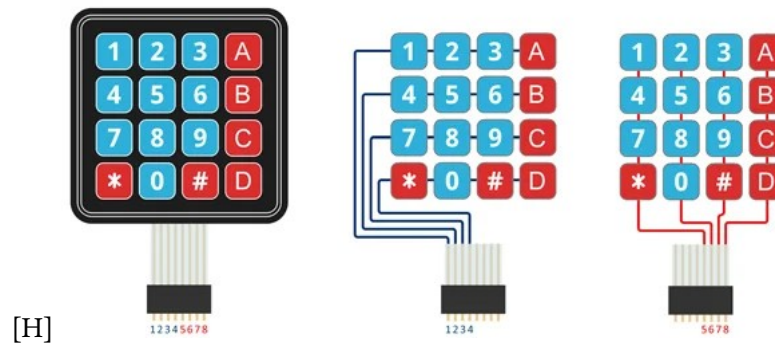


Figura 5.3: Estructura de archivos de la plantilla.

5.2.3. 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 5.4: Display OLED SSD1306.

5.2.4. 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, aíslan 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 5.5: Aislador capacitivo I2C ISO1540.

5.2.5. 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 5.6: Convertidor AD ADS1115.

5.2.6. Modos de funcionamiento.

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: 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. 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. 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.

Instrucciones de uso.

6.1. Ciclo de funcionamiento.

Esta sección del informe será dedicada a comentar cómo y cuál es el correcto modo de emplear el equipo en una situación normal de uso. Energización de los transformadores. Carga de la pantalla de inicio del menú. Selector de modo. Tensión. Corriente. Rampa Cargar Valores. Poner en marcha el modo. Desactivar el modo. Opcional: Conectar carga.

Uso de teclado. A: Editar valores. B: Moverse sobre el menú. C: Confirmar. D: Volver atrás. *: Conectar la carga. : Poner en marcha el modo.

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 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.

