



Trabajo de Diploma

Autor: Alejandro Cesar Dominguez
Rosales.

Tutores: MSc. Ing David Díaz Martínez.
MSc. Ing Ángela Giralt Sánchez.

Santiago de Cuba

2017



**UNIVERSIDAD
DE ORIENTE**

Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Control Automático

Trabajo de Diploma

Título: Diseño e implementación de una maqueta de laboratorio para la asignatura de Electrónica Digital en la carrera de Automática.

Autor: Alejandro Cesar Dominguez Rosales.

Tutores: MSc. Ing David Díaz Martínez.
MSc. Ing Ángela Giralt Sánchez.

Santiago de Cuba 2017

Pensamiento

Si no luchas por tus sueños, serás un instrumento para luchar por los sueños de otro.

Evelio

Dedicatoria

Dedicado:

A Dios mi Señor y mi Salvador, quien ha sido mi amigo y mi guía desde que lo conocí.

A mis padres quienes me apoyan siempre.

A mi hermanita, la mejor.

Agradecimientos

Agradezco:

A Dios por ser fiel, siempre fiel.

A mis padres por apoyarme en todo lo bueno que emprendo.

A mi hermanita quien me brinda ayuda con sus preguntas y estorbos.

A mi familia por estar siempre a mi lado.

A Yoennis por ser Fiel hermano y apoyarme siempre.

A Alí por ser hermano varón que no tuve.

A Raul y David por ayudarme en la confección de la maqueta.

Resumen

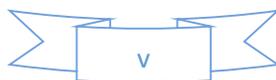
En la carrera Ingeniería en Automática estudiada en la Universidad de Oriente, la adquisición de habilidades teórico-prácticas en temas como la instrumentación y electrónica es un aspecto de vital importancia para la formación de un profesional capaz. Para cumplir tales objetivos se necesitan laboratorios y medios técnicos para el desarrollo de actividades prácticas y la adquisición de habilidades en el montaje de circuitos eléctricos. En este sentido, son las maquetas o entrenadores electrónicos los mejores medios para el fácil montaje, prueba y comprobación del funcionamiento de circuitos sin necesidad de montarlos sobre una placa impresa.

Al respecto, hay un factor que ha incidido negativamente en la realización de estas prácticas, específicamente en la asignatura de Electrónica Digital y es la limitada existencia de las maquetas electrónicas en el Departamento de Automática con su consecuente afectación al proceso de enseñanza. De ahí que en este trabajo se haya decidido, partiendo desde cero, diseñar e implementar un entrenador digital que cumpla los requisitos necesarios para la ejecución de dichas actividades. Se describen los principales bloques funcionales que la integran con la función que realiza cada uno, los circuitos electrónicos con una detallada explicación de su funcionamiento. Además, se muestran las simulaciones de la circuitería en el software Proteus y la programación de un microcontrolador PIC utilizado. De esta manera se logra un producto físico funcional y apto para su inmediata incorporación al proceso de enseñanza en la carrera.

Abstract

In the Automatic Engineering career studied at the Universidad de Oriente, the acquisition of theoretical-practical skills in subjects such as instrumentation and electronics is a vital aspect for the training of capable professional. To fulfill these objectives, laboratories and technical devices are needed for the development of practical activities and the acquisition of skills in the assembly of electrical circuits. In this sense, electronic trainers are the best way for easy assembly, testing and checking circuits without mount them on a printed board.

About that, there is a factor that has a negative impact on the performance of these practices, specifically in the subject Digital Electronics and is the limited existence of the electronic trainers in Automation Department with its consequent affectation to teaching process. Hence in this work it has been decided to design and implement a digital trainer that satisfy the necessary requirements for the execution of those activities. The main functional blocks that integrate it whit the function performed by each one and the electronic circuits with a detailed explanation of its operation are described. In addition, circuits simulations in Proteus software and programming of a PIC microcontroller are shown. In this way, a physical product is obtained that is functional and suitable for immediate incorporation into the teaching process in the Automation career.



Contenido

Capítulo 1: Generalidades de las maquetas electrónicas de laboratorio y sus principales funciones.....	6
Introducción.....	6
1.1 Historia de la evolución de la electrónica necesaria en la construcción de una maqueta. .	6
1.1.1 Contexto Actual.....	8
1.2 Estructura básica general de una maqueta electrónica de laboratorio.....	13
1.2.1 Generador de funciones.....	14
1.2.2 Voltímetro Digital.....	14
1.2.3 Fuente de Alimentación.....	14
1.2.4 Interruptores de tipo <i>push</i> , botón con circuito antirrebote.....	15
1.2.5 Interruptor de dos posiciones sin circuito antirrebote.....	16
1.2.6 Adaptadores para conexiones.....	16
1.2.7 Indicadores lumínicos de estado lógico.....	16
1.2.8 Conversor de código BCD a código de 7 segmentos.....	16
Conclusiones parciales.....	17
Capítulo 2: Diseño y montaje de la maqueta electrónica.....	18
Introducción.....	18
2.1 Concepción general de la maqueta.....	18
2.1.1 Módulos del hardware de la maqueta electrónica.....	18
2.2.1 Fuente de Alimentación.....	21
2.2.1.1 Transformador.....	23
2.2.1.2 Etapa de Rectificación y Filtrado.....	24
2.2.1.3 Regulación.....	25
2.2.2 Generador de Ondas.....	30
2.2.3 Bloque para visualización en Display 7 segmentos.....	42
2.2.4 Indicación Visual de las salidas mediante LEDs.....	46
2.2.5 Voltímetro digital.....	47
2.2.5.3 Implementación del código en el PIC para la conversión de niveles de voltaje. .	51
2.2.6 Placa de pruebas (<i>Protoboard</i>).....	52
2.2.7 Potenciómetros.....	53
2.2.8 Interruptores de tipo <i>on/off</i> y <i>push</i>	53

2.2.9 Display LCD.	54
2.3 Circuito para la conexión del microcontrolador.	56
2.3.1 MikroC para programación del PIC.	58
2.3.3 PICKit para la descarga física de la programación al PIC.	59
2.3.4 Emulación de compuertas lógicas.	60
2.4 Proteus. Software usado para la simulación de circuitos.	61
2.5 Diseño e implementación del PCB.	62
2.6 Cumplimiento de los requisitos de la maqueta en las prácticas de laboratorio de Electrónica Digital.	63
Valoración Económica.	64
Conclusiones parciales.	65
Conclusiones generales.	66
Bibliografía.	68
Anexos.	71

Introducción

La automatización y la electrónica ocupan un lugar importante en la vida actual, puesto que se encuentran presentes en casi todas las áreas de la vida moderna, alcanzando un desarrollo vertiginoso y fortaleciendo de manera significativa en las esferas industriales, empresariales y universitarias.

A partir de la segunda década del siglo pasado comienzan a desarrollarse nuevas tecnologías en varios campos de las ingenierías, aparecen los llamados microcontroladores con los cuales se logran equipos eléctricos, electrónicos e informáticos más compactos y versátiles. Algunos ejemplos de los avances de estas tecnologías son: el control automático de una línea de producción determinada, el desarrollo de equipos médicos, los sistemas para el control automático de la red de energía eléctrica, equipos reguladores del factor de potencia, así como el desarrollo de maquetas electrónicas para los laboratorios, entre otros.

Nuestro país no ha estado ajeno a estos avances tecnológicos y realiza arduos esfuerzos para lograr el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías en diferentes áreas del conocimiento. Hoy en día la utilización de las maquetas electrónicas de laboratorio se está generalizando en centros de investigación y desarrollo, así como en prestigiosas universidades. Además, pueden ser fabricados infinidad de prototipos y cada vez su uso se viene expandiendo más.

La carrera Ingeniería en Automática, perteneciente a las llamadas Ciencias Técnicas, está concebida como una carrera de perfil amplio, que persigue formar a un profesional capaz de desempeñarse en importantes áreas tales como la Instrumentación y el Control de procesos, la Electrónica y la Informática. De ahí que el objetivo formativo general de la carrera, consiste en lograr que los estudiantes sean capaces de: diseñar e implementar sistemas de medición, de control, electrónicos, e informáticos, utilizando criterios técnico-económicos y ecológicos, las normas de Protección e Higiene del Trabajo, así como las técnicas de dirección y organización de la producción, utilizando adecuadamente la Información Científico Técnica, tanto en idioma español como

inglés, haciendo un uso eficiente de la computación y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, siendo capaces de investigar y ejercer la docencia sobre su profesión.

Al realizar un análisis del Modelo del profesional de esta carrera se nota la importancia del diseño y de la utilización de las maquetas electrónicas para los laboratorios que permitan desarrollar el conocimiento sobre la electrónica y también los proyectos que complementen las competencias profesionales que adquieren estos ingenieros.

En la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba se estudia la carrera de Ingeniería en Automática y en el proceso docente educativo de la misma las prácticas de laboratorios juegan un papel fundamental, persiguiendo como principal objetivo el desarrollo de habilidades profesionales en los estudiantes. Al respecto, uno de los aspectos que ha incidido en tal situación es la limitada existencia de las mismas, así como su falta de actualidad lo que en ocasiones conlleva a desmotivación de los estudiantes e insuficiente comprensión de la importancia que tienen estas actividades prácticas en su formación.

En la Facultad de Ingeniería Eléctrica existen dos modelos de maquetas electrónicas de laboratorio para las clases prácticas de laboratorios. Las primeras, procedentes de la antigua Unión Soviética, fueron las utilizadas para tales funciones durante muchos años. Por el propio efecto de la degradación con el tiempo, actualmente se encuentran dañadas e inutilizables. Esto provocó una crítica situación con el desarrollo de las prácticas de laboratorio en la carrera. Afortunadamente, hace unos años la Facultad de Ingeniería Eléctrica recibió una importante donación de la República Popular China consistente en computadoras y equipamiento de laboratorio variado de tecnología moderna. Sin embargo, fue la carrera de Telecomunicaciones la beneficiada con las maquetas de laboratorio de Electrónica Digital. Desde entonces, los estudiantes de Automática se han visto en la necesidad de trasladarse y usar sus locales y equipamiento para la realización de las prácticas y esto provoca entre otras molestias la dependencia de personal ajeno y la coincidencia en tiempo de clases con los estudiantes de Telecomunicaciones y Biomédica por lo cual en ocasiones se ven

afectadas algunas de esas actividades con las consecuencias negativas que esto trae a la calidad del proceso docente educativo. Por lo tanto, el desarrollo de nuevas y actuales maquetas de electrónica de laboratorios propias de la carrera se convierte en una vía efectiva y necesaria para mejorar la motivación de los estudiantes, incidiendo, por ende, en el perfeccionamiento de la formación profesional.

En base a lo planteado anteriormente, se define como **problema de la investigación:** La ausencia en la carrera de Automática de la Universidad de Oriente de una maqueta electrónica de laboratorio propia para el desarrollo de los laboratorios de la asignatura Electrónica Digital.

El objeto de la investigación: Maqueta electrónica de laboratorio para la asignatura de Electrónica Digital en la carrera Automática.

Objetivo: Diseñar e implementar una maqueta electrónica de laboratorio para el desarrollo de los laboratorios prácticos de la asignatura de Electrónica Digital en la carrera Automática de la Universidad de Oriente.

Campo de Acción: Circuitos electrónicos usados en los laboratorios prácticos de la asignatura Electrónica Digital.

Hipótesis: Si se diseña e implementa una maqueta electrónica de laboratorio para la asignatura de Electrónica Digital, se mejoraría notablemente la docencia de dicha asignatura en la carrera Automática ya que se contaría con los medios propios que garanticen la realización con calidad de todas las actividades prácticas que son de vital importancia para la formación de los estudiantes.

Para el cumplimiento del objetivo propuesto se han tomados las siguientes **tareas de investigación:**

- 1- Revisar la bibliografía vinculada con las temáticas de diseños sobre maquetas para electrónica.
- 2- Investigar sobre la necesidad de las funcionalidades requeridas en la carrera de Automática para llegar al diseño correcto de la maqueta.
- 3- Identificar las diferentes partes y estructuras necesarias para cumplir con los requisitos de la maqueta.
- 4- Diseñar los esquemas de simulación en Proteus de los circuitos y componentes necesarios.
- 5- Realizar la interfaz y la programación para el PIC 18F4550 para la emulación de las compuertas lógicas.
- 6- Montaje de la estructura física y los circuitos de Maqueta de laboratorio
- 7- Comprobación de correcto funcionamiento del sistema.

Técnicas y métodos de investigación:

- Método de investigación documental y bibliográfica.
- Método de investigación experimental.
- Método práctico de observación científico y medición de variables.
- Método de investigación estadístico y técnicas computacionales.

Significación Práctica.

El presente trabajo permitirá fomentar los conocimientos en la realización de los laboratorios prácticos sobre la asignatura Electrónica Digital, podrá ser empleado como base para posibles diseños. Los resultados de este trabajo significaran un paso de avance en la carrera de Automática, mejorando el proceso docente-educativo.

Estructura del trabajo.

Este trabajo de diploma consta de 2 capítulos, los cuales se encuentran organizados por epígrafes para una mayor facilidad en su comprensión.

En el **capítulo 1** se presenta una descripción de los distintos tipos de maquetas electrónicas de laboratorio haciendo énfasis en el modelo IDL-800 de la marca Digital Lab. Además, se hace una descripción de las diferentes funciones de IDL-800 que son la básicas en los distintos modelos de maquetas electrónicas de laboratorio.

En el **capítulo 2** se describe el diseño, implementación y montaje de los circuitos electrónicos necesarios para el funcionamiento de la maqueta. Además, se describen los aspectos constructivos de la misma.

Capítulo 1: Generalidades de las maquetas electrónicas de laboratorio y sus principales funciones.

Introducción.

El rápido progreso y los constantes cambios que presentan los avances en la electrónica, obligan a que cada día sea más necesario tener la posibilidad de montar, probar y desmontar diferentes circuitos de manera rápida, eficiente y con el menor consumo de recursos posible. Son las maquetas electrónicas equipadas con *Protoboards* y otras facilidades las que han venido a darle solución a este problema. En este capítulo se da una panorámica histórica de su surgimiento y evolución hasta nuestros días y su uso en el ámbito científico-académico. Se describen, además, sus características técnicas, especificaciones, circuitería, y se muestran algunos modelos de los más significativos creados por diferentes fabricantes.

1.1 Historia de la evolución de la electrónica necesaria en la construcción de una maqueta.

La segunda mitad del siglo XX se caracterizó, entre otras cosas, por la denominada Revolución científico-técnica de la tercera revolución industrial, con avances de las tecnologías (especialmente la electrónica y la medicina) y las ciencias, que ha dado lugar al desarrollo de una numerosa serie de inventos de la electricidad y la electrónica en su diseño y funcionamiento, que transformaron la vida social, primero en las clases medias de los países desarrollados, y posteriormente en todo el mundo con el proceso de globalización, lo que permitió a Marshall Mc. Luhan hablar de la Edad de la Electricidad.

La introducción de los tubos de vacío en este siglo propició el rápido crecimiento de la electrónica moderna. Con estos dispositivos se hizo posible la manipulación de señales, algo que no podía realizarse en los antiguos circuitos telegráficos y telefónicos, ni con los primeros transmisores que utilizaban chispas de alta tensión para generar ondas de radio. Por ejemplo, con los tubos de vacío pudieron amplificarse

las señales de radio y de sonido débiles, y además podían superponerse señales de sonido a las ondas de radio. El desarrollo de una amplia variedad de tubos, diseñados para funciones especializadas, posibilitó el rápido avance de la tecnología de comunicación radial antes de la II Guerra Mundial, y el desarrollo de las primeras computadoras, durante la guerra y poco después de ella.

Hoy día, el transistor, inventado en 1948, ha reemplazado casi completamente al tubo de vacío en la mayoría de sus aplicaciones. Al incorporar un conjunto de materiales semiconductores y contactos eléctricos, el transistor permite las mismas funciones que el tubo de vacío, pero con un coste, peso y potencia más bajos, y una mayor fiabilidad. Los progresos subsiguientes en la tecnología de semiconductores, atribuible en parte a la intensidad de las investigaciones asociadas con la iniciativa de exploración del espacio, llevó al desarrollo, en la década de 1970, del circuito integrado. Estos dispositivos pueden contener centenares de miles de transistores en un pequeño trozo de material, permitiendo la construcción de circuitos electrónicos complejos, como los microordenadores o microcomputadoras, equipos de sonido y vídeo, y satélites de comunicaciones.

Con la incorporación de elementos semiconductores como el Silicio como elemento principal en los componentes electrónicos, nace el auge de la electrónica lo que genera un nuevo campo de estudio y entendimiento para el ser humano. Es allí donde surgen nuevas empresas distribuidoras y productoras de componentes electrónicos que adoptan una perspectiva de desarrollo en distintas líneas de producción, una de ellas, la fabricación de estructuras que facilitan el montaje de distintos componentes de la electrónica. A comienzos de la década de 1990 surgen los primeros módulos dedicados a la puesta en práctica de los conceptos básicos de la electrónica, estos se denominan entrenadores; una de las compañías pioneras de los entrenadores de electrónica es la empresa española Fadisel S.L, con su línea de productos de marca Cebekit, centrada exclusivamente al sector didáctico, estos entrenadores pese a que contaban con laboratorios de transistores muy cortos y básicos tuvieron una gran aceptación dentro de la comunidad educativa y tecnológica de España.

1.1.1 Contexto Actual.

Los entrenadores de electrónica son módulos equipados con diferentes componentes eléctricos y electrónicos que son acoplados por el usuario de acuerdo a sus necesidades, estos están diseñados para facilitar el ensamble y montaje de los circuitos de manera didáctica y sencilla.

Actualmente, existen los entrenadores de electrónica de Cebekit que son distribuidos por todo el mundo y abarcan gran cantidad de laboratorios de electrónica análoga y digital, una muestra de esto es el MX-909 (**Figura 1.1**), un entrenador que ofrece la posibilidad de realizar 500 prácticas de alto nivel e incluye todo el material necesario para llevar a cabo estas prácticas como son: integrados, *protoboard*, *displays*, LCD (del inglés *Liquid Crystal Display*), resistencias, LEDs, transistores, cable, diodos, etc. También están el MX-908 y MX-906 con 300 y 150 practicas respectivamente.



Figura 1.1: Entrenador MX-909.

Así mismo, los productos de Cebekit no solo se enfocan en los institutos o universidades donde se enseña electrónica, ellos han diseñado una serie de entrenadores muy didácticos orientado a jóvenes y niños; un ejemplo de esto es el Laboratorio Electrónico C-9753 para niños de 8 años (**Figura 1.2**); éste sin duda es un

método simple e intuitivo para iniciarse en los conocimientos básicos de los circuitos eléctricos ya que los componentes utilizados van montados en zócalos acoplables que contienen el esquema simbólico; igualmente, sus piezas permiten ser manipuladas sin ningún tipo de herramienta. También está el entrenador MX-903 para jóvenes de 14 años con 30 mini-laboratorios que permite introducir al joven en la experimentación de prácticas de electricidad y de electrónica básica (Cebek, 2012).



Figura 1.2: Entrenador C-9753.

Otra empresa de electrónica orientada al sector educativo es la estadounidense *Elenco® Electronics, Inc.* Esta, ha desarrollado entrenadores equipados con generadores de señales analógicas y diferentes fuentes de poder. El modelo XK700TK (**Figura 1.3**), es un entrenador de electrónica analógico/digital portable que permite generar señales fácilmente, sin embargo, este no tiene ningún componente autocontenido, por lo que el montaje de los circuitos es en *protoboard* (Williams, 2017).



Figura 1.3: Entrenador XK700TK.

Igualmente, la compañía taiwanesa K&H MFG. CO., LTD. Con el modelo ETS7000A y la estadounidense *Global Specialties* con PB-505LAB (**Figura 1.4**), desarrollan entrenadores similares a los de *Elenco®* ya que son plataformas que constan de un generador de señales análogo con fuentes variables de poder, interruptores, indicadores LEDs y una *protoboard* para el montaje de los circuitos.



Figura 1.4: Entrenador PB-505LAB.

SIDAC. S.A. es una empresa española que diseña y distribuye entrenadores de electrónica por todo el mundo, una característica es que separa en dos entrenadores distintos la electrónica análoga de la electrónica digital, en el entrenador de electrónica básica, el EEA 3050 (**Figura 1.5**), basa sus aplicaciones en el estudio de los amplificadores operacionales que se encuentran autocontenidos. El equipo incorpora diferentes fuentes de alimentación, así como dos generadores de funciones, componentes pasivos y diodos que facilitan el montaje de los circuitos sin necesidad instrumentación exterior (Sidac SA, 2012).

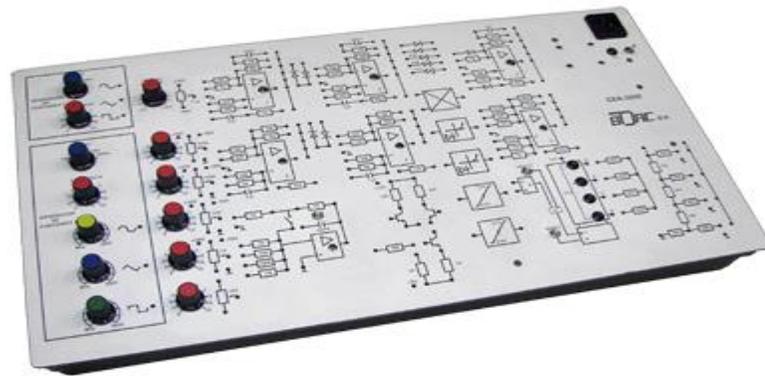


Figura 1.5: Entrenador EEA 3050.

Igualmente, el DET 2220 es el entrenador de electrónica digital de la empresa SIDAC S.A. que consta de funciones lógicas combinadas y secuenciales, a su vez, dispone de un reloj digital de frecuencia ajustable, indicadores LED de estado lógico, interruptores para salidas lógicas, indicadores de 7 segmentos con su decodificador además de un generadores de impulso sin rebote, así mismo, cuenta con protección contra sobrecargas; todo esto se encuentra autocontenido en el entrenador DET 2220 del (**Figura 1.6**), por lo que no se requieren instrumentos externos para su funcionamiento.



Figura 1.6: Entrenador DET 2220.

También la compañía *Knowledge & Hope* (K&H MFG. CO) consta con múltiples laboratorios vinculados con la comunicación de datos y redes, control de

microcomputadora, sistemas de medición biomédicos, control de automatización y equipo de educación y entrenamiento dentro de los que están los laboratorios de Circuitos Eléctricos y los de Lógica Digital. Ejemplo de esto son los: KL-300 y ETS-8000A.

KL-300 Laboratorio de Lógica Digital (**Figura 1.7**) es muy útil para el diseño y experimentación con lógica combinatoria, lógica secuencial, y microprocesadores, herramienta ideal para la puesta en práctica de los conceptos de circuito de lógica digital. Las fuentes de poder, señal y los instrumentos de medición son muy fáciles de utilizar con los módulos de experimentos, presenta protoboard universal incrementada, permite el diseño y experimentación con circuitos TTL, CMOS, NMOS, PMOS y ELC; sus instrumentos de medición están equipados con protección contra sobre carga (Cebek, 2012).

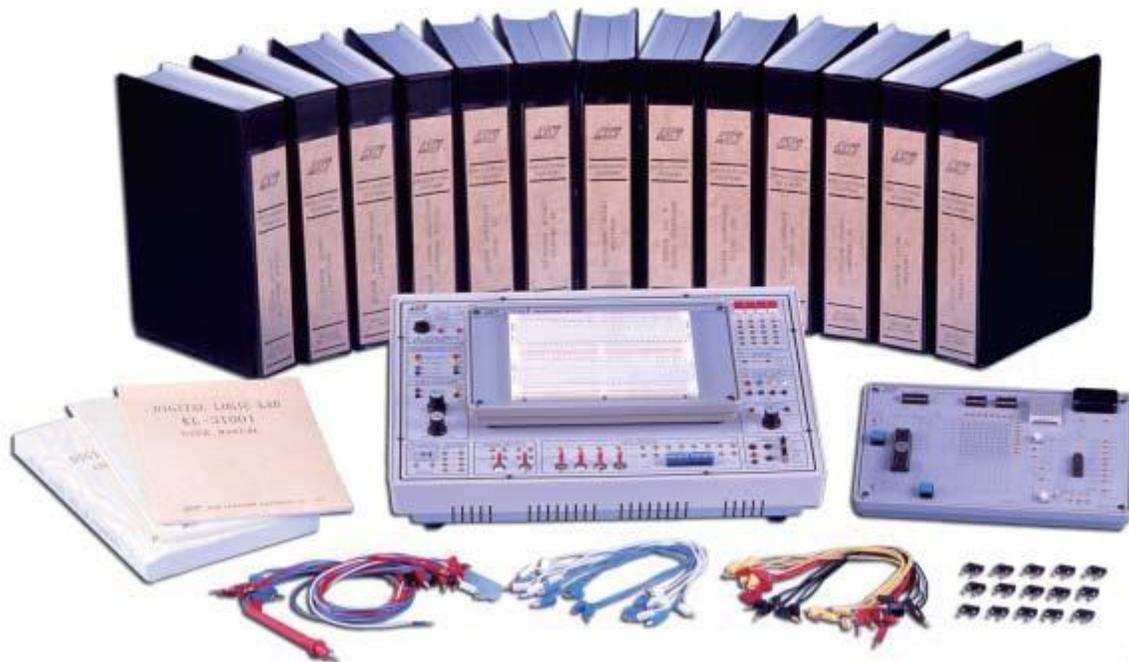


Figura 1.7: KL-300 Laboratorio de Lógica Digital.

- 6- Interruptores de dos posiciones si circuito antirrebote.
- 7- Adaptadores para conexiones.
- 8- Indicadores lumínicos de estado lógico.
- 9- Conversor de código BCD a código de 7 segmentos.

1.2.1 Generador de funciones.

El generador de funciones genera ondas eléctricas (señales) con forma sinusoidales, triangulares y cuadradas, de amplitud de frecuencia variable.

- Potenciómetro izquierdo: Permite regular la amplitud de la señal (V_{pp} valor pico a pico) ondas cuadradas y sinusoidales : $0 V$ a $8 V$; ondas triangulares: $0 V$ a $6 V$.
- Potenciómetro derecho y el conmutador rotativo izquierdo: Permiten regular la frecuencia de la señal (El valor de la frecuencia obtenido correspondiente al resultado del producto del valor de la escala por el potenciómetro por el factor multiplicativo del conmutador rotativo). El rango de frecuencia de trabajo: 1 Hz - 100 kHz .
- Conmutador rotativo derecho: Permite regular la forma de la onda (sinusoidal, triangular o cuadrada).

Los potenciómetros proporcionan una regulación continua del valor.

Los conmutadores rotativos proporcionan una regulación por escala.

1.2.2 Voltímetro Digital.

El voltímetro digital permite medir tensiones (diferencia de potencial) entre sus terminales + y - de $0 V$ - $200 V$. La posición del conmutador rotativo permite la precisión de lectura de acuerdo con los valores de tensión a medir.

1.2.3 Fuente de Alimentación.

La fuente de alimentación genera tensiones continuas de valor fijo o regulable.

Fuentes fijas de tensión continua: En las zonas superior e inferior se encuentra los puntos de unión a la fuente fijas de $+5\text{ V}$ ($+5 \pm 0,25\text{ V}$) en la unión, Tierra (GND) de (0 V) para la alimentación de circuitos integrados TTL. No se encuentran los puntos de unión de una fuente fija de tensión de -5 V ($+5 \pm 0,25\text{ V}$) y una unión a GND (0 V).

- Las fuentes fijas presentan como limitación la corriente de salida de un 1 A .

Fuente regulables de tensión continua: Se encuentran entre las fuentes fijas de tensión, presentan una gama completa y continua de tensión entre los -15 V y los $+15\text{ V}$:

- Fuente de tensión superior: 0 V a $+15\text{ V}$.
- Fuente de tensión inferior: 0 V a -15 V .

LA regulación de la tensión se realiza con el auxilio de dos potenciómetros, que permiten hacer una regulación continua de su valor, posee su limitación máxima en la corriente de salida de 3 A .

1.2.4 Interruptores de tipo *push*, botón con circuito antirrebote.

Los botones de presión (interruptores de tipo *push*) permiten introducir manualmente impulsos al circuito digital, pero serán utilizados como señales de entrada al circuito, en particular como señales de reloj.

Las señales complementarias A' y B' son obtenidas a través de dos inversores del circuito integrado CMOS 74HC14. Los valores lógicos 0 y 1, que corresponden a los niveles de tensión 0V y 5V que son obtenidos de la siguiente forma:

1. Botón libre: $A=0$; $A'=1$ ($B=0$; $B'=1$).
2. Botón oprimido: $A=1$; $A'=0$ ($B=1$; $B'=0$).

1.2.5 Interruptor de dos posiciones sin circuito antirrebote.

Los ocho conmutadores de dos posiciones permiten generar señales para un circuito digital a través de conmutaciones entre los valores lógicos 0 y 1, que corresponden a los valores de tensión de 0 V y 5 V respectivamente.

1.2.6 Adaptadores para conexiones.

Permiten la unión al módulo de señales generadas por fuente externas a través de los adaptadores para el empleo en el entrenador.

1.2.7 Indicadores lumínicos de estado lógico.

Los ocho indicadores lumínicos de estado lógico o LEDs (diodo emisor de luz, del inglés "*Light Emitter Diode*"), permiten observar el valor de ocho señales en el mismo tiempo, que pueden corresponder a salidas o estados intermedios del circuito. Los LEDs están configurados en la forma ánodo común (Los ánodos de los LEDs están unidos en el mismo nodo, unido a +5 V). Y los cátodos son los puntos de activación para la indicación lumínica activados por el circuito integrado CMOS 74HC49 (inversor). En el estado lógico 1 en el punto de unión se activan las indicaciones lumínicas.

1.2.8 Conversor de código BCD a código de 7 segmentos.

Este conversor permite ver en los displays 7 segmentos una representación decimal del valor introducido en sus entradas en código BCD (BCD, del inglés, "*Binary Coded Decimal*"). La conversión se realiza por un circuito integrado CMOS 4511 "BCD a 7 Segmento o *Latch/Decoder/Driver*".

Los displays 7 segmentos son activados a través de la unión de dos contactos D1 y/o D2 a GND. Los LEDs de los displays 7 segmentos están configurados mediante la unión cátodo común (Los cátodos de los LEDs están unidos en el mismo punto eléctrico a 0V, GND), pero los segmentos encienden cuando son activados mediante valores lógicos 1 (+5 V).

Entre el Circuito Integrado CI 4511 y los displays 7 segmentos se encuentra un *Switch* (“*Dual-Inline Package Switch*”) de 8 *bits*, o sea un dispositivo con 8 interruptores unidos, que permite inhibir individualmente el funcionamiento de los displays de 8 LEDs (7 segmentos y un punto decimal) de los dos *displays*.

Conclusiones parciales.

- En este capítulo se hizo un estudio sobre el surgimiento y evolución histórica hasta nuestros días de los entrenadores digitales.
- Se llevó a cabo un estudio sobre sus principales características, elementos que lo componen, requerimientos de potencia y diseño.
- Se muestran algunos de los más significativos modelos de maqueta electrónicas tanto como fines analógicos como digitales creados por diferentes fabricantes.
- Se hizo una descripción de los principales módulos presentes en los entrenadores, y como referencia el IDL-800.

Capítulo 2: Diseño y montaje de la maqueta electrónica.

Introducción.

Una manera óptima de agilizar los procesos de aprendizaje en los estudiantes es construir un sistema de desarrollo de laboratorios por módulos específicos en electrónica y circuitos lógicos con sus respectivas guías, lo que permite una mayor concentración en la aplicación y realimentación de conocimientos. Realizar prácticas de laboratorio con sistemas entrenadores en electrónica y circuitos lógicos, representaría una herramienta de alto impacto para la carrera Automática que permite enfrentar al estudiante a situaciones practicas donde debe desarrollar el ingenio y habilidades manuales. Con el desarrollo de un sistema entrenador de fácil acceso y diseñado como herramienta didáctica para el entendimiento de los jóvenes estudiantes universitarios, el proceso de aprendizaje sería más sencillo.

En este Capítulo se describen a fondo los pasos seguidos en el diseño de la maqueta para la asignatura de Electrónica Digital. Se muestran los resultados de las simulaciones en Proteus de cada uno de los circuitos que componen los diferentes bloques, así como su implementación física en una placa virgen. Los pasos de programación, descarga de la misma y comprobación de correcto funcionamiento del microcontrolador PIC que se una como multímetro y emulador de compuerta son también descritos.

2.1 Concepción general de la maqueta.

Para el diseño de la maqueta (**Figura 2.1**) se tomó los requerimientos docentes de la asignatura Electrónica Digital de la carrera de Automática, con el objetivo de darle solución a cada necesidad en los laboratorios prácticos.

2.1.1 Módulos del hardware de la maqueta electrónica.

- 1- Fuente de alimentación.
- 2- Generador de Ondas.
- 3- Indicación visual de un dato en BCD (Display 7 segmentos).

- 4- Indicación visual de un byte (diodos de indicador).
- 5- Voltímetro Digital.
- 6- Placas de pruebas (*Protoboards*).
- 7- Potenciómetros de 1 k Ω y 100 k Ω .
- 8- Interruptores de tipo *on/off* y *push*.
- 9- Displays LCD (indicación de control de la Maqueta Electrónica).
- 10- Emulador de compuertas Lógicas.
- 11- Circuito para la conexión del micro (PIC 18F4550).

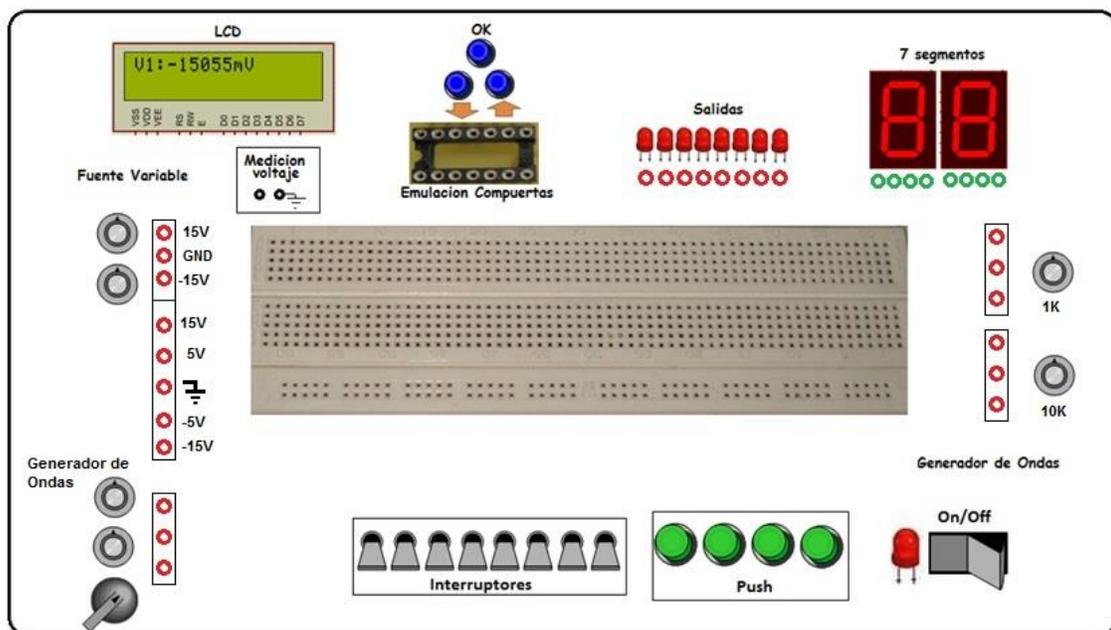


Figura 2.1: Estructura general de la maqueta.

La selección y posterior implementación de estos módulos se basa en el análisis realizado de los requisitos indispensables que deben cumplir todos los entrenadores digitales, específicamente para las practica de laboratorio Electrónica Digital.

La fuente de alimentación surte de voltaje y corriente a los demás módulos y a los circuitos implementados en los laboratorios prácticos. Se tuvo en cuenta que tuviera la capacidad de brindar directamente los valores lógicos de voltaje para las familias TTL y CMOS.

El generador de funciones se diseñó con el objetivo de brindar diferentes formas de ondas para propósitos muy variados: ondas sinusoidales, triangulares y cuadradas, estas últimas especialmente utilizadas como pulso de disparo para monoestables, biestables, registros y demás circuitos integrados sincrónicos, que utilizan señal de reloj para su funcionamiento.

Teniendo en cuenta que muchos de los CI tienen su salida en formato BCD (algunos contadores, comparadores, codificadores y otros), se implementó un módulo para la visualización en un Display 7 segmentos de este tipo de datos. También existe indicación visual de valores lógicos de voltajes mediante LEDs que se encienden para nivel lógico '1' y se apagan para nivel lógico '0'. La implementación de ocho LEDs posibilita la visualización de un byte de información, aunque el funcionamiento de cada LED sea independiente.

El voltímetro es una herramienta necesaria y muy útil a la hora de medir el voltaje de salida de cada uno de los circuitos que se implementen y comprobar si se obtienen los valores deseados, identificar si hay algún fallo y en qué etapa se produce el mismo, así como comprobar si los voltajes de entrada y salida de una compuerta se corresponden con los dados por el fabricante para esa familia. Los potenciómetros pueden ser usados entre otras funciones para variar determinados valores de voltaje, como divisores de voltaje, y sobre todo para formar parte de la red RC que necesitan los multivibradores astables y monoestables para su funcionamiento. Se dispone, además, de varios interruptores necesarios para hacer el cambio manual del estado lógico a la entrada de una compuerta.

El LCD es clave para la interacción con el usuario en el tema de las funciones que realiza el microprocesador. A través de él, se puede interactuar con el PIC para la selección de la función (multímetro o emulador de compuertas) así como la selección del tipo de compuerta a emular.

2.2 Descripción de los diferentes módulos de hardware.

En este epígrafe se hace una detallada descripción de todos los módulos y componentes que integran la maqueta, primeramente, se da una muy breve introducción teórica a cada tipo de circuito y luego la descripción, diseño, configuración, cálculo de valores y otros requisitos de cada uno de ellos.

2.2.1 Fuente de Alimentación.

En electrónica, la **fente de alimentación** o **fente de poder** es el dispositivo que convierte la Corriente Alterna (CA) en Corriente Continua (CC), que alimentan los distintos circuitos del equipo electrónico al que se conecta.

Clasificación: Las fuentes de alimentación para dispositivos electrónicos, pueden clasificarse básicamente como fuentes conmutadas y de alimentación lineal.

Una fente conmutada, de la misma potencia que una lineal, será más pequeña y normalmente más eficiente, pero será más compleja y por tanto más susceptible a averías. Transforma la energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Mientras que un regulador de tensión utiliza transistores polarizados en su región activa de amplificación, las fuentes conmutadas utilizan los mismos conmutándolos activamente a altas frecuencias (20-100 KHz típicamente) entre corte (abiertos) y saturación (cerrados). La forma de onda cuadrada resultante se aplica a transformadores con núcleo de ferrita para obtener uno o varios voltajes de salida de CA que luego son rectificadas (con diodos rápidos) y filtradas (inductores y condensadores) para obtener los voltajes de salida de CC. Las ventajas de este método incluyen menor tamaño y peso del núcleo, mayor eficiencia y por lo tanto menor calentamiento. Las desventajas comparándolas con fuentes lineales es que son más complejas y generan ruido eléctrico de alta frecuencia que debe ser cuidadosamente minimizado para no causar interferencias a equipos próximos a estas fuentes (Zetina, 2012).

Las lineales tienen un diseño relativamente simple, que puede llegar a ser más complejo cuanto mayor es la corriente que deben suministrar, sin embargo, su regulación de tensión es poco eficiente. Éstas siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. En primer lugar, el transformador adapta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico. El circuito que convierte la CA en CD pulsante se llama rectificador, después suelen llevar un circuito que disminuye el rizado como un filtro de condensador. La regulación, o estabilización de la tensión a un valor establecido, se consigue con un componente denominado regulador de tensión, que no es más que un sistema de control a lazo cerrado que sobre la base de la salida del circuito ajusta el elemento regulador de tensión que en su gran mayoría este elemento es un transistor. Este tipo de fuente es menos eficiente en la utilización de la potencia suministrada dado que parte de la energía se transforma en calor por efecto Joule en el elemento regulador (transistor), ya que se comporta como una resistencia variable. A la salida de esta etapa a fin de conseguir una mayor estabilidad en el rizado se encuentra una segunda etapa de filtrado (aunque no obligatoriamente) que puede ser simplemente un condensador. Esta corriente abarca toda la energía del circuito, para esta fuente de alimentación deben tenerse en cuenta unos puntos concretos a la hora de decidir las características del transformador (Sidac SA, 2012).

Para el diseño e implementación de la fuente de alimentación de la maqueta se tomó como patrón la estructura de una fuente lineal ya que presentan las siguientes ventajas:

- Fácil diseño e implementación.
- Mayor linealidad en la velocidad de regulación.
- Presentan mejor característica EMC
- No crean ruido ni afectan con interferencia a los restantes.

Estructura de la fuente de alimentación implementada.

- Transformador.
- Rectificación y Filtrado.
- Regulación y Salida.

2.2.1.1 Transformador.

La fuente de alimentación está compuesta por un transformador cuyo funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, su explicación matemática se resume en las ecuaciones de Maxwell (Zetina, 2006).

Al aplicar una fuerza electromotriz (diferencia de potencial) en el devanado primario o inductor producida por esta la corriente que lo atraviesa se produce la inducción de un flujo magnético en el núcleo de hierro. Según la Ley de Faraday, si dicho flujo magnético es variable, aparece una fuerza electromotriz en el devanado secundario o inducido. El circuito eléctrico primario y el circuito eléctrico secundario quedan acoplados mediante un campo magnético. La tensión inducida en el devanado secundario depende directamente de la relación entre el número de espiras del devanado primario y el secundario y de la tensión del devanado primario. Dicha relación se denomina relación de transformación. (González,2007).

El transformador de la Maqueta electrónica (**Figura 2.2**) con voltaje de entrada de trabajo de 100 V a 130 V, frecuencia 50 Hz y 60 Hz para generar salidas de 21 V y 42 V y esta última de fuente doble. El transformador fue seleccionado en base al criterio de disponibilidad. El existente cumplía con los requisitos de suministro de los niveles de voltaje adecuados para las funciones a realizar y con la corriente necesaria para alimentar todos los circuitos que están y pudieran ser agregados.

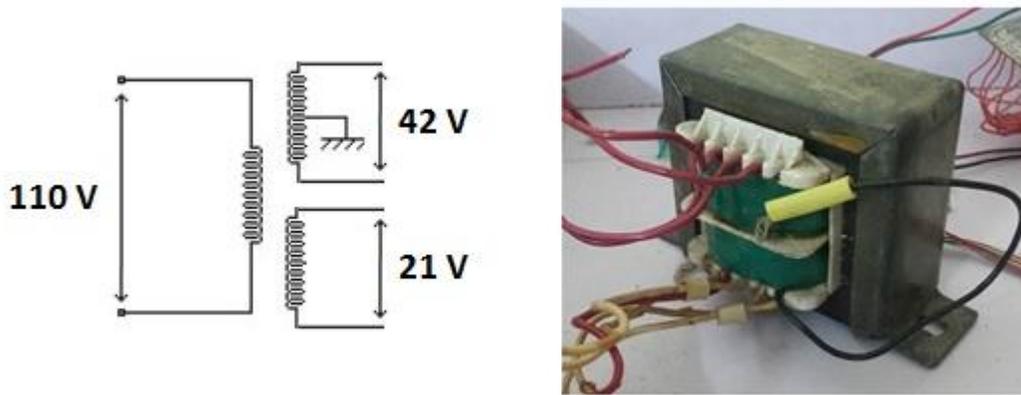


Figura 2.2: Transformador para la fuente de alimentación.

2.2.1.2 Etapa de Rectificación y Filtrado.

En una fuente convencional de suministro de voltaje, el principal objetivo es obtener un voltaje de corriente directa estable. Para ello es necesario en primera instancia convertir la señal alterna de entrada en otra de una sola polaridad. Esta función es realizada por el bloque rectificador, el cual está formado por uno o varios diodos semiconductores. Los tipos de rectificadores son: rectificador de media onda, rectificador de onda completa tipo puente (A) y rectificador de onda completa con devanado central (B) (Figura 2.3). Estos dos últimos fueron utilizados en la confección de dicha fuente y luego el filtrado para eliminar el rizado de la señal y lograr una entrada a los reguladores lo más lineal posible.

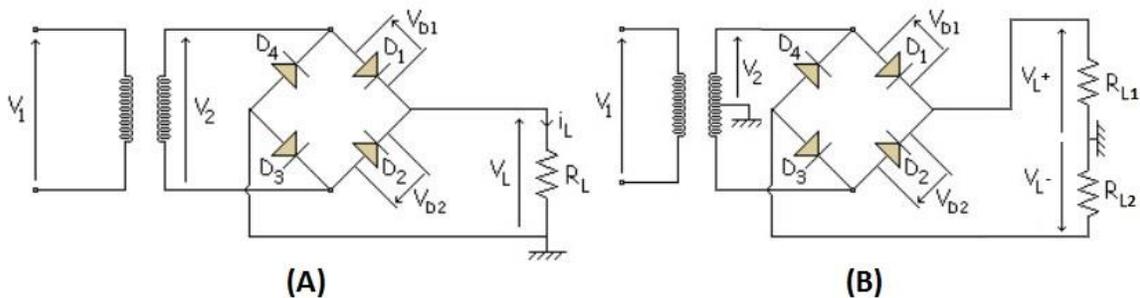


Figura 2.3: Esquema eléctrico de la etapa de rectificación.

Para la rectificación fueron usado 2 filtros de $1000 \mu\text{F}$ y 1 de $2200 \mu\text{F}$ para el rectificador de onda completa con devanado central y la rectificación de onda completa tipo puente. Los filtros de mayor capacidad demoran en cargarse más por lo que su carga demora más tiempo que el del proceso transitorio, pero elimina el rizado de voltaje con mayor facilidad permitiendo que la salida del voltaje contenga el menor rizado posible (Zetina, 2006).

2.2.1.3 Regulación.

Con el avance de la electrónica actual existen muchos circuitos que tienen ya integrados reguladores completos, que garantizan exactitud en la regulación y además de ser menos vulnerables a la temperatura, ayudan a reducir el tamaño de la fuente por su alto grado de integración de componentes.

Una familia de reguladores monolíticos muy utilizada es la 78xx y la 79xx, donde el 78 indica valores positivos y el 79 los valores negativos y las xx representan el voltaje de salida regulado. Ejemplo el 7805 es un regulador de $+5 \text{ V DC}$ y el 7905 un regulador de -5 V DC . Existen además reguladores monolíticos con salida variable, ejemplo LM317 con positiva y el LM337 con negativa.

La fuente como salida de voltaje fija ($+5 \text{ V}$, -5 V , $+15 \text{ V}$, -15 V), mediante reguladores monolíticos fijos de salida positiva y negativa (**Figura 2.4**).

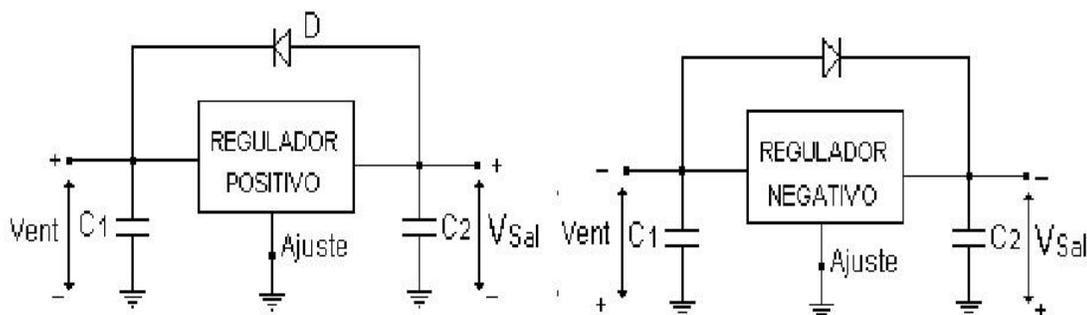


Figura 2.4: Configuración de los reguladores fijos.

Consideraciones.

- Hay que evitar que accidentalmente se levante el terminal de ajuste de GND pues si esto ocurre el voltaje de salida del regulador coincide con el voltaje de entrada no regulado provocando la inevitable destrucción de la carga, ya que está diseñada para trabajar con el voltaje regulado, fatal para el trabajo con la electrónica digital que precisa de valores lógicos para las familias de Circuito Integrados TTL y CMOS.
- El capacitor C1 se debe usar siempre que el regulador se ponga a una distancia mayor de 5 *cm* del filtro de la fuente no regulada su valor puede oscilar entre 100 *nF* a 200 *nF* de disco de cerámica, 2 μF de tantalio o 50 μF de aluminio.
- El capacitor C2 se debe usar para mejorar la respuesta transitoria y el rechazo al ruido, su valor puede ser 100 *nF*.
- El diodo es recomendable cuando se usa a la salida del regulador un capacitor de alto valor pues esto, garantiza que si accidentalmente se cortocircuita la entrada a GND el capacitor no se descargue a través del regulador sino a través del diodo externo.
- No deben usarse los reguladores con la mínima diferencia posible de entrada salida pues si en un regulador el voltaje de rizado de entrada se hace menor que el voltaje de salida, se podría destruir el regulador (Garrido, 2014).

Salida variable usando reguladores de voltaje ajustable.

Para el diseño de la maqueta electrónica se emplearon dos reguladores de voltaje ajustable con los circuitos LM317 y LM337 de salida positiva y negativa respectivamente (**Figura 2.5**). Funcionalmente estos reguladores son similares a los fijos e incluyen las mismas protecciones, pero se pueden lograr voltajes que oscilan entre 1.2 *V* y los 37 *V*.

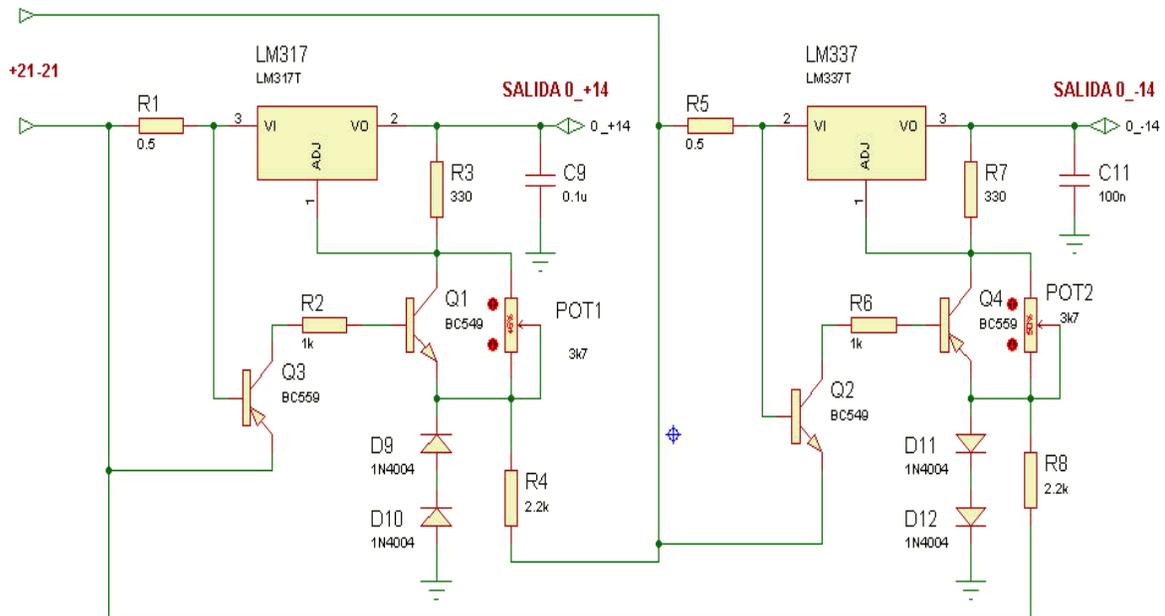


Figura 2.5: Esquema eléctrico de la fuente variable.

Para determinadas aplicaciones no basta tener un voltaje variable a la salida, es necesario lograr valores de voltaje inferiores al valor mínimo logrado por estos reguladores, para esto es necesario implementar un circuito exterior, preferencialmente diodos en posición contraria al voltaje regulado. Para el LM317 se coloca entre tierra (GND) y el pin de ajuste del regulador, un diodo zener en inversa de 1,2 V o dos diodos en inversa de voltaje umbral de 0,6 V para lograr restar el voltaje de referencia de 1,2 V (**Figura 2.6**) que tiene internamente el regulador garantizando que la salida mínima del regulador sea 0 V (Garrido, 2014).

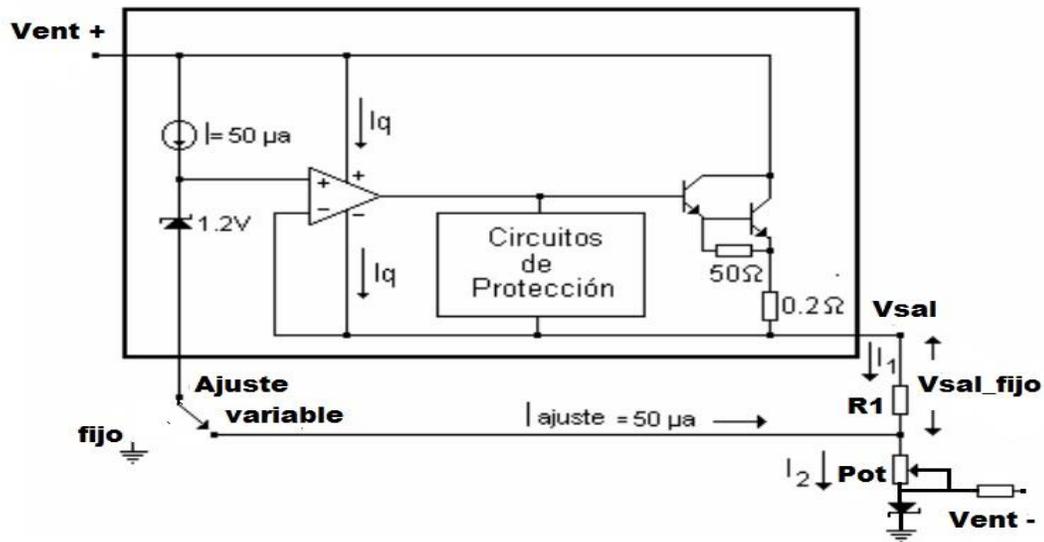


Figura 2.6: Configuración de la fuente variable.

Ecuaciones para el ajuste de la fuente variable

$$V_{sal} = V_{sal_fijo} + V_{pot} + V_{zener} \tag{2.1}$$

$$V_{sal_fijo} = 1,2 V \tag{2.2}$$

$$V_{zener} = -1,2 V \tag{2.3}$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.2 y 2.3 en la ecuación 2.1, se obtiene:

$$V_{sal} = 1,2 V + V_{pot} - 1,2 V$$

$$V_{sal} = V_{pot}$$

$$V_{sal} = I_2 R_{pot} \tag{2.4}$$

Cuando variamos la resistencia del potenciómetro $\approx 0\Omega$ y el voltaje a la salida es igual a cero es porque el voltaje en el pin de ajuste es de $-1.25 V$.

$$I_2 = I_1 + I_{ajuste} \tag{2.5}$$

$I_{ajuste} = 50 \mu A \approx 0$ por lo que la despreciamos para el cálculo.

$$I_2 \approx I_1 \tag{2.6}$$

$$V_{sal} - V_{zener} = V_{pot} + I_1 R_1 \quad (2.7)$$

$$V_{sal} = 0 V \quad (2.8)$$

$$V_{zener} = -1,2 V \quad (2.9)$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.8 y 2.9 en la ecuación 2.7, se obtiene:

$$0 V - -1,2 V = 0 + I_1 R_1$$

$$1,2 V = I_1 R_1 \quad (2.10)$$

Para el diseño de la fuente variable se debe fijar la resistencia entre el terminal de ajuste y el de salida para limitar la corriente, tomó como valor de $R_1 = 330 \Omega$.

Despejando la ecuación 2.10 para el cálculo de I_1 .

$$I_1 = \frac{1,2V}{330\Omega} = 3,63 mA \quad (2.11)$$

Como $I_2 \approx I_1$ podemos calcular el valor del voltaje a la salida del regulador para cualquier valor que tome R_{pot} .

Sustituyendo la ecuación 2.11 en la ecuación 2.4, se obtiene:

$$V_{sal} = (3.63 mA) R_{pot} \quad (2.12)$$

Los transistores complementarios S9014 y S9015 son utilizados con el propósito de limitar el voltaje en el pin de ajuste $\approx 12,75 V$ para que independientemente del voltaje de entrada, cumpliendo con los parámetros de trabajo del regulador, el voltaje en la salida no sobrepase a los $14 V$.

Es necesario mencionar que este y todos los demás circuitos electrónicos de la maqueta, antes de implementarse físicamente fueron simulados en el software Proteus 8.0 de *Labcenter Electronics* (Epígrafe 2.4) para comprobar que el funcionamiento fuera el adecuado. En el caso de la fuente en cuestión, el esquema eléctrico general de la fuente se puede ver en el Anexo 1. El circuito físico se puede ver en el Anexo 2.

Componentes.

Reguladores: 7805, 7905, 7815, 7915, LM317, LM337.

Capacitores: 2 de $1000 \mu F$ y 1 de $2200 \mu F$.

Condensadores: 6 de $100nF$.

Resistencias: 2 de $1 k\Omega$, 2 de $330 k\Omega$ y 2 de $2,2 k\Omega$.

Diodos: 8 Diodos Rectificadores IN4007 y 4 diodos IN4148.

Conectores: 2 de 3 salidas, 2 de 2 salidas, 1 de 6 salidas y 1 de 3 salidas.

Placa: de fibra con dimensiones ($7,5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$).

Características funcionales de la fuente.

Voltaje de entrada: $100 V - 130 V$.

Voltajes de salida fijo: $+15 V$, $-15 V$, $+5 V$ y $-5 V$, ($I_{SAL_{MAX}} = 500 \text{ mA}$)

Voltajes de salida variable: $-14 V$ a $0 V$ y $0 V$ a $+14 V$, ($I_{SAL_{MAX}} = 500 \text{ mA}$).

2.2.2 Generador de Ondas.

Un generador de señales, de funciones o de formas de onda es un dispositivo electrónico de laboratorio que genera patrones de señales periódicas o no periódicas tanto analógicas como digitales. Se emplea normalmente en el diseño, prueba y reparación de dispositivos electrónicos.

Hay diferentes tipos de generadores de señales según el propósito y aplicación que corresponderá con el precio. Tradicionalmente los generadores de señales eran dispositivos estáticos apenas configurables, pero actualmente permiten la conexión y control desde un PC (del inglés, *Personal Computer*) con lo que pueden ser controlados mediante software hecho a medida según la aplicación, aumentando la flexibilidad.

El generador de forma de onda de la Intersil ICL8038 (**Figura 2.7**) es un circuito integrado capaz de producir una onda sinusoidal de alta exactitud, formas de onda cuadradas, triangulares, diente de sierra y de pulso con un mínimo de componentes externos. La frecuencia puede ser seleccionada externamente de 0.001 Hz a 300 kHz usando ya sea resistencias o condensadores, y la modulación de la frecuencia y el barrido se pueden lograr con un voltaje externo. El ICL8038 es fabricado con tecnología monolítica adelantada, usando diodos de barrera *Schottky* y resistencias, y la salida es estable a pesar de las variaciones de temperatura y del suministro de alimentación. Este dispositivo pueden ser interconectado con sistema de circuitos de lazo de enganche de fase para reducirle el sentido de temperatura a menos de 250 ppm/°C.

Características

- Baja variación de frecuencia con la temperatura 250 ppm/°C
- Baja Distorsión. 1 % (Salida de la Onda Sinusoidal)
- Alta Linealidad. 0.1 % (Salida de la onda Triangular)
- Ancho del rango de frecuencia. 0.001 Hz para 300 kHz
- Ciclo de trabajo variable. 2 % a 98 %
- Nivel alto de las salidas. 28 V
- Salidas simultaneadas de la onda sinusoidal, cuadrada y triangular.
- Fácil uso - Simplemente requiere un grupo de componentes externos.

Pin 1 y 12: Ajuste de la forma de que toma la onda sinusoidal.

Pin 2: Salida de la onda sinusoidal.

Pin 3: Salida de la onda triangular.

Pin 4 y 5: Ajuste de la frecuencia útil de trabajo.

Pin 8: Barrido de la frecuencia entrante.

Pin 9: Salida de la onda cuadrada.

Pin 10: Para la unión con el condensador para la selección del rango de frecuencia.

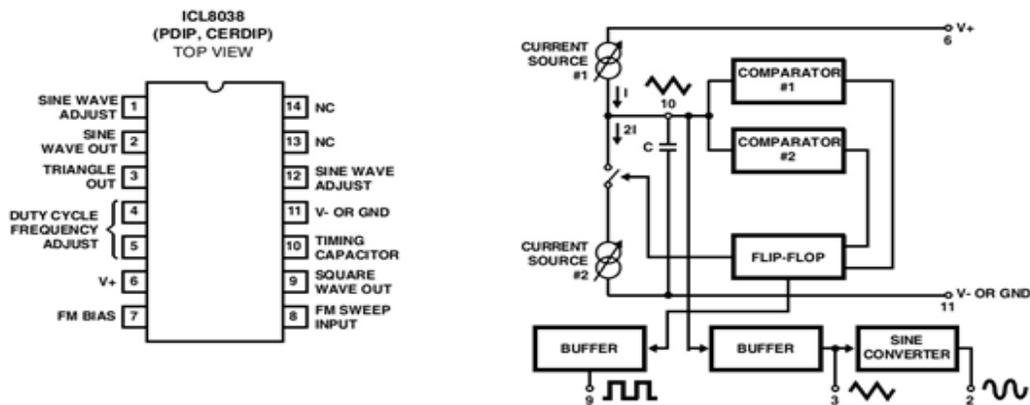


Figura 2.7: Diagrama de Pines y estructura del IDL8038.

Para el diseño e implementación del generador de funciones fue necesario conocer los requerimientos del fabricante para el correcto funcionamiento del CI ICL8038. El circuito presenta 14 pines entre alimentación, salidas y ajustes. Lo primero que se tuvo en cuenta es que el CI es un generador de funciones controlado por voltaje, el valor de la frecuencia de las salidas depende del valor del voltaje en el pin 8, por lo que para variar la frecuencia no se pudo fijar el terminal a un valor de voltaje fijo, el fabricante para comprobación del circuito de una manera sencilla recomienda cortocircuitar los terminales 7 y 8 creando una diferencia de potencial en el terminal 8 del 78 % de V_{CC} de $R_{DF} = 0,22$. Para la variación del voltaje se creó un divisor de voltaje (Figura 2.8) variable para cambiar el valor de la frecuencia en las salidas.

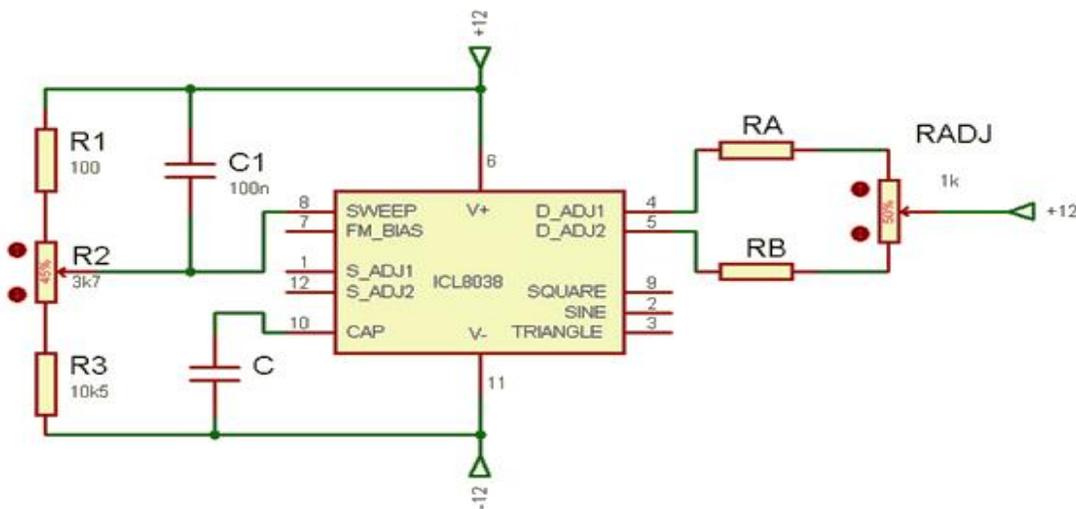


Figura 2.8: Esquema eléctrico de ajuste de la frecuencia y el ciclo útil.

Para el cálculo del valor R_{DF} del generador de la maqueta se plantea la siguiente ecuación.

$$R_{DF} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.13)$$

Aquí es necesario tener en cuenta que el valor de R_2 puede variar de 0 a $3.7 \text{ k}\Omega$, por lo que se hace necesario calcular un valor mínimo y uno máximo de R_{DF} .

$$R_{DF_min} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \text{ cuando } R_2 \approx 0.$$

$$R_{DF_min} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.14)$$

Sustituyendo los valores de las resistencias $R_1 = 500 \Omega$, $R_2 = 3,7 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10,1 \text{ k}\Omega$ en la ecuación 2.14, se obtiene:

$$R_{DF_min} = 0,0349653 \approx 0.035$$

$$R_{DF_max} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \text{ cuando } R_2 \approx 3,7 \text{ k}\Omega.$$

$$R_{DF_max} = \frac{R_1 + 3,7 \text{ k}\Omega}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.15)$$

Sustituyendo los valores de las resistencias $R_1 = 500 \Omega$, $R_2 = 3,7 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10,1 \text{ k}\Omega$ se obtiene :

$$R_{DF_max} = 0,29370629 \approx 0,294$$

Los tiempos en ON y OFF de la onda se calculan de la siguiente manera:

$$T_{ON} = \frac{C V}{I} \quad (2.16)$$

Donde C es valor del capacitor conectado en el terminal 10 del CI ICL8038, $V = \frac{1}{3} V_{CC}$, V_{CC} es la diferencia de potencial entre los voltajes de alimentación en este caso es $V_{CC} = 24 \text{ V}$, I es la corriente de descarga del capacitor.

$$T_{ON} = \frac{C \frac{1}{3} V_{CC} R_A}{R_{DF} V_{CC}} \quad (2.17)$$

Simplificado la ecuación se obtiene:

$$T_{ON} = \frac{C R_A}{3 R_{DF}} \quad (2.18)$$

Para el cálculo del tiempo en OFF se halla de la misma forma pero influye la resistencia R_B que afecta el valor de la corriente de descarga del capacitor:

$$T_{OFF} = \frac{C V}{I}$$

$$T_{OFF} = \frac{C \frac{1}{3} V_{CC}}{2 R_{DF} \frac{V_{CC}}{R_B} - R_{DF} \frac{V_{CC}}{R_A}} \quad (2.19)$$

Despejando y simplificado la ecuación 2.19, se obtiene:

$$T_{OFF} = \frac{C R_A R_B}{3 R_{DF} (2 R_A - R_B)} \quad (2.20)$$

Para que la frecuencia de salida de las ondas generadas trabaje con un 50 % de ciclo útil es necesario que $T_{OFF} = T_{ON}$, igualando las ecuaciones 2.17 y 2.20 se obtiene:

$$\frac{C V_{CC} R_A}{3 R_{DF} V_{CC}} = \frac{C R_A R_B}{3 R_{DF} (2 R_A - R_B)}$$

Simplificando los valores en común y despejando se obtiene que:

$$R_A = R_B = R \quad (2.21)$$

Para el cálculo de la frecuencia

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_{ON} + T_{OFF}}$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.17 y 2.20 teniendo presente la ecuación 2.21, se obtiene:

$$f = \frac{3 R_{DF}}{2 R C} \quad (2.22)$$

Como el valores R_{DF} varía entre uno máximo y uno mínimo, es necesario calcular el valor de la frecuencia para ambos valores, estos resultados brindan el límite de

frecuencia que se puede generar con el capacitor puesto en el terminal 8 del CI ICL8038.

Sustituyendo el resultado de la ecuación 2.14 en la ecuación 2.22, se obtiene:

$$f_{min} = \frac{3R_{DF_min}}{2RC} = \frac{0,0524}{RC} \quad (2.23)$$

Sustituyendo el resultado de la ecuación 2.15 en la ecuación 2.23 se obtiene:

$$f_{max} = \frac{3R_{DF_max}}{2RC} = \frac{0,441}{RC} \quad (2.24)$$

Para la selección de los valores R_A , R_B y C es necesario conocer los valores permitidos por el fabricante. Para cualquier frecuencia de salida dada, hay una amplia gama de combinaciones RC que funcionarán, sin embargo, ciertas limitaciones sobre la magnitud de la corriente de carga para rendimiento óptimo. En el extremo inferior, corrientes de menos de $1 \mu A$ son indeseables porque las fugas del circuito contribuirán a errores significativos a altas temperaturas. A corrientes más altas ($I > 5mA$), los $Betas$ del transistor y los voltajes de saturación contribuyen con errores cada vez mayores. Un rendimiento óptimo se obtendrá con corrientes de carga de $10 \mu A$ a $1 mA$.

$$I = R_{DF} \frac{(V_+ - V_-)}{R_A} \quad (2.25)$$

Despejando la ecuación anterior se obtiene:

$$R_A = \frac{R_{DF} V_{CC}}{I} \quad (2.26)$$

Para la selección correcta de R_A y que los valores de la corriente este dentro del rango adecuado $10 \mu A < I < 1 mA$ es necesario tener en cuenta los valores máximo y el mínimo de R_{DF} .

Para $R_{DF_min} = 0,0349$ se obtiene las siguientes ecuaciones.

$$R_A < \frac{R_{DF_min} V_{CC}}{I_{min}} = \frac{0,0349(24 V)}{10 \mu A} = 83,76 k\Omega$$

$$R_A > \frac{R_{DF_min} V_{CC}}{I_{max}} = \frac{0,0349(24 V)}{1 mA} = 83,76 \Omega$$

Para $R_{DF_max} = 0,2937$ se obtiene las siguientes ecuaciones.

$$R_A < \frac{R_{DF_max} V_{CC}}{I_{min}} = \frac{0,2937(24 V)}{10 \mu A} = 704,88 k\Omega$$

$$R_A > \frac{R_{DF_max} V_{CC}}{I_{max}} = \frac{0,2937(24 V)}{1 mA} = 704,88 \Omega$$

$$704,88 \Omega < R_A < 83,76 k\Omega$$

Teniendo el rango de valores de R_A se puede proceder a calcular su valor, pero se necesita fijar el valor del capacitor en el terminal 8 ya que los valores de capacitancia son menos comunes.

Para la selección de los capacitores los cuales serán conmutados mediante un *switches* de 5 posiciones, el cual necesario la selección del rango de frecuencia, se implementaron los rangos de frecuencia sabiendo que el CI puede generar frecuencias de 0 Hz – 300 kHz. Para la maqueta fueron implementados los siguientes rangos de frecuencia en potencia de 10.

- ✓ 1 Hz-10 Hz
- ✓ 10 Hz -100 Hz
- ✓ 100 Hz-1 kHz
- ✓ 1 kHz -10 kHz
- ✓ 10 kHz-100 kHz.

Para el primer rango se tomó un valor del capacitor de $4,7 \mu F$.

Sustituyendo los valores $C = 4,7 \mu F$ y el valor máximo del rango de la frecuencia en la ecuación (2.14) y (2.15) se obtiene:

$$R_{AR_{DF_min}} = \frac{0,441}{4,7 \mu f(10Hz)} = 9382 \Omega$$

$$R_{AR_{DF_max}} = \frac{0,0349}{4,7 \mu f(1Hz)} = 7425 \Omega$$

Para la selección de un valor fijo se halla la media de ambos valores.

$$R_A = \frac{R_{ARDF_{min}} + R_{ARDF_{max}}}{2} = \frac{9382\Omega + 7425\Omega}{2} = 8403 \Omega$$

Como no se fabrican resistencias con este valor específico, se toma una aproximada dentro del rango permitido para R_A .

Segundo Rango: se tomó un valor del capacitor de $0,47 \mu F$ con el objetivo de mantener el valor de la frecuencia en potencia de 10 y así sucesivamente para los demás rangos.

$C_{rango1} = 4,7 \mu f$ para frecuencias de 1 Hz – 10 Hz.

$C_{rango1} = 470 \text{nf}$ para frecuencias de 10 Hz – 100 Hz.

$C_{rango1} = 47 \text{nf}$ para frecuencias de 100 Hz – 1 kHz.

$C_{rango1} = 4700 \text{pf}$ para frecuencias de 1 kHz – 10 kHz.

$C_{rango1} = 470 \text{pf}$ para frecuencias de 10 kHz – 100 kHz.

Para la selección del valor de la resistencia R_A , es necesario tener en cuenta el valor de la resistencia de ajuste fijo para la selección del 50 % de trabajo útil de la frecuencia.

$$R_A + R_{AJUSTE} = R_B + R_{AJUSTE} \quad (2.27)$$

Tomando $R_{AJUSTE} = 1 \text{ k}\Omega$ se obtiene:

$$R_{AJUSTE} = R_{AJUSTE} + R_{AJUSTE} \approx 1 \text{ k}\Omega$$

Por lo tanto:

$$R_{AJUSTE} \approx R_{AJUSTE} \approx 500 \Omega$$

$$R_A + R_{AJUSTE} = 8403 \Omega \quad (2.28)$$

Despejando y sustituyendo los valores de R_{AJUSTE} en la ecuación 2.28, se obtiene:

$$R_A = 8403 \Omega - 500 \Omega = 7897 \Omega$$

El valor más cercano posible es de $R_A = R_B = 8,2 \text{ k}\Omega$

Para eliminar la distorsión de la onda sinusoidal, el fabricante recomienda utilizar una resistencia de ajuste de $82 \text{ k}\Omega$ entre el terminal 12 y V_- , esto eliminaría la distorsión en un rango de 1 % de la señal, pero para hacer ajustes de hasta 0,5 % es obligatorio implementar un circuito de cuatro resistencias (**Figura 2.9**), dos de ajuste y dos fijas para poder adecuar la señal a la prestación.

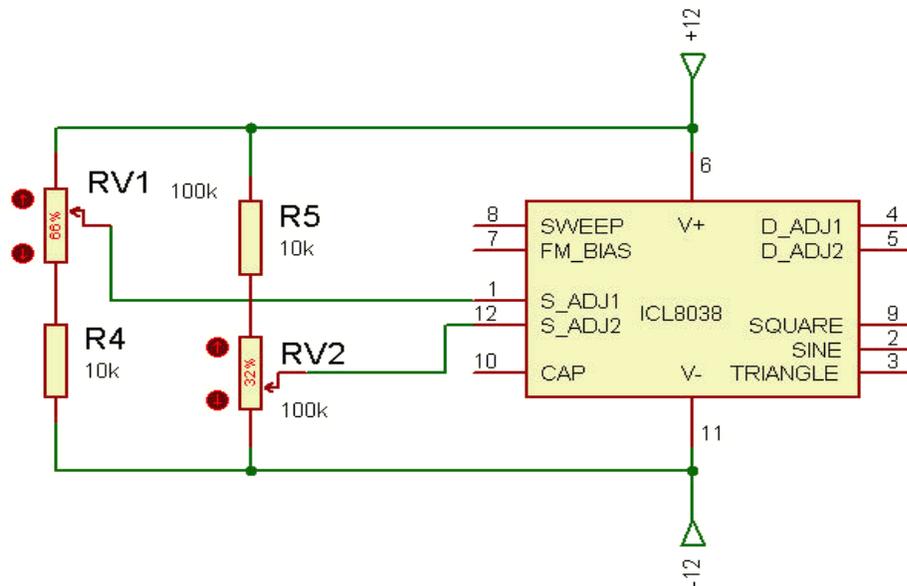


Figura 2.9: Ajuste de la distorsión de la onda sinusoidal.

Ecuaciones para el cálculo del voltaje aplicado al terminal 1.

$$V_{TERMINAL_1} = \frac{R_{V_1} V_{CC}}{R_{V_1} + R_4} \quad (2.29)$$

Cuando $R_{V_1} \approx 0 \Omega$ se obtiene:

$$V_{TERMINAL_1} = 12 \text{ V}$$

Cuando $R_{V_1} \approx 100 \text{ k}\Omega$

Sustituyendo los valores de $R_{V_1} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ y $V_{CC} = 24 \text{ V}$ en la ecuación 2.29 se obtiene:

$$V_{TERMINAL_1} = -9,818 V$$

Ecuaciones para el cálculo del voltaje aplicado en el terminal 12.

$$V_{TERMINAL_12} = \frac{R_{V_2} V_{CC}}{R_{V_2} + R_5} \quad (2.30)$$

Cuando $R_{V_2} \approx 0 \Omega$

Sustituyendo los valores de $R_{V_2} = 100 k\Omega$, $R_4 = 10 k\Omega$ y $V_{CC} = 24 V$ en la ecuación 2.30 se obtiene:

$$V_{TERMINAL_12} = 9,818 V$$

Cuando $R_{V_2} \approx 100 k\Omega$

$$V_{TERMINAL_12} = -12 V$$

Amplificación de la salida de la señal sinusoidal.

Debido a que el ICL8038 da como salida una onda con valores $V_{seno} = \frac{1}{4} V_{CC}$, para obtener voltajes mayores es necesario poner un amplificador no inversor (**Figura 2.10**). Para la implementación del amplificador no inversor es necesario un amplificador de señal de respuesta rápida para no introducir distorsión en la señal sinusoidal, el LM318D es un amplificador operacional con estas características, se utiliza en aplicaciones de amplificación de audio por lo que presenta buena respuesta ante los cambios de frecuencia.

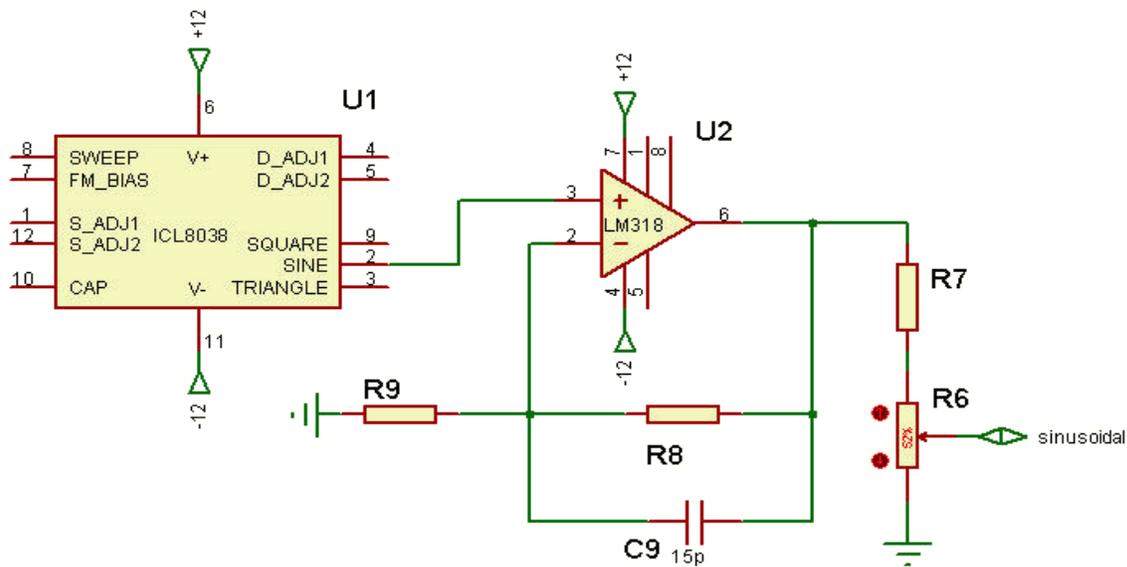


Figura 2.10: Amplificador no inversor con LM318D.

Consideraciones.

- El voltaje de salida máximo del amplificador (V_{SAL_MAX}) no debe superar al voltaje de saturación (V_{SAT}) del amplificador operacional.
- El V_{SAL_MAX} debe de ser aproximadamente 80 % de V_{CC} .

Teniendo en cuenta que la salida de la onda es de $V_{seno} = \frac{1}{4} V_{CC}$.

Entonces V_{SAL_AMP} debe ser 3,3 veces el voltaje de entrada, por lo que se toma como ganancia la del amplificador no inversor (G):

$$G = 3,3 = 1 + \frac{R_8}{R_9} \tag{2.31}$$

Despejando la ecuación anterior se obtiene:

$$R_8 = 2.3 R_9$$

Fijando el valor de $R_9 = 10 \text{ k}\Omega$ se obtiene que

$$R_8 = 23 \text{ k}\Omega$$

Con estos valores se puede calcular el voltaje de salida del amplificador.

$$V_{Sal} = 3.3V_{ent} \quad (2.32)$$

En la salida del amplificador no inversor fueron colocadas dos resistencias $R_7 = 100 \Omega$ en serie para evitar un cortocircuito limitando la corriente de salida y un potenciómetro (**Figura 2.10**) para el ajuste del voltaje pico a pico de la onda sinusoidal.

En los terminales 2 y 9 fueron colocadas resistencias de 100Ω (ver Anexo 3) en serie con el propósito de evitar un cortocircuito limitado la corriente de salida.

Para la **alimentación del generador** de funciones se utilizaron los reguladores de voltaje 7812 y 7912, regulador positivo y negativo respectivamente. Para su configuración se tuvo en cuenta las mismas consideraciones para los reguladores fijos del diseño de la fuente de alimentación de la maqueta (epígrafe 2.2.1).

Para la implementación del circuito físico (ver Anexo 4) se tuvo en cuenta las simulaciones en el Proteus, así como las conexiones del diagrama eléctrico (ver Anexo 3).

Componentes.

CI: ICL8038, LM318D.

Reguladores: 7812 y el 7912.

Diodos: 1N4007 (4).

Resistencias: 2 de $8,2 k\Omega$, 2 de ajuste de $100 k\Omega$, 1 de ajuste de $1 k\Omega$, 1 de $23 k\Omega$, 1 de 150Ω , 1 de 500Ω , 1 potenciómetro de $3,7 k\Omega$, 1 potenciómetro de 680Ω , 3 de 100Ω , 4 de $10 k\Omega$.

Condensadores: 1 de $4,7 \mu\text{F}$, 1 de 470 nF , 1 de 47 nF , 1 de 4700 pF , 1 de 470 pF , 1 de 15 pF .

Capacitores: 1 de $1 \mu\text{f}$.

Conectores: 2 de 6 terminales y 2 de 3 terminales.

Placa de fibra con dimensiones (7.5 cm X 8.5 cm).

2.2.3 Bloque para visualización en Display 7 segmentos.

Los circuitos decodificadores son de gran importancia para la interpretación de una señal, en el mundo digital la decodificación es una herramienta básica.

El **visualizador de siete segmentos** (llamado también *display* por asimilación del inglés) es una forma de representar caracteres en equipos electrónicos. Está compuesto de siete segmentos que se pueden encender o apagar individualmente.

El visualizador de 7 segmentos (**Figura 2.11**) es un componente que se utiliza para la representación de caracteres (normalmente números) en muchos dispositivos electrónicos, debido en gran medida a su simplicidad. Aunque externamente su forma difiere considerablemente de un LED típico, internamente están constituidos por una serie de LEDs con unas determinadas conexiones internas, estratégicamente ubicados de tal forma que forme un número '8'.

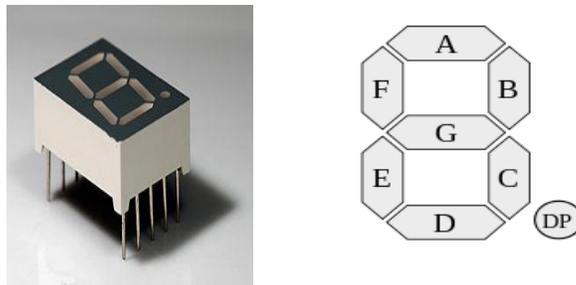


Figura 2.11: Display 7 segmentos.

Cada uno de los segmentos que forman la pantalla está marcado con las siete primeras letras del alfabeto ('a'-'g'), y se montan de forma que permiten activar cada segmento por separado, consiguiendo formar cualquier dígito numérico.

Muchas veces aparece un octavo segmento denominado *dp* (del inglés *decimal point*, punto decimal). Los LEDs trabajan a baja tensión y con pequeña potencia, por tanto, podrán excitarse directamente con puertas lógicas. Normalmente se utiliza un

decodificador que, activando un solo pin de la entrada del decodificador, activa las salidas correspondientes mostrando el número deseado (Serro, 2010).

Los hay de dos tipos: **ánodo común** y **cátodo común**.

En los de tipo de cátodo común, todos los cátodos de los LEDs o segmentos están unidos internamente a un terminal común que debe ser conectado a potencial negativo (nivel "0"). El encendido de cada segmento individual se realiza aplicando potencial positivo (nivel "1") por el pin correspondiente a través de una resistencia que limite el paso de la corriente (Dávila y otros, 2009).

En los de tipo de ánodo común, todos los ánodos de los LEDs o segmentos están unidos internamente a un terminal común que debe ser conectado a potencial positivo (nivel "1"). El encendido de cada segmento individual se realiza aplicando potencial negativo (nivel "0") por el pin correspondiente a través de una resistencia que limite el paso de la corriente, que oscila alrededor de los 10 mA (Dávila, 2012). Los segmentos pueden ser de diversos colores, aunque el visualizador más comúnmente utilizado es el de color rojo.

Control a través de circuitos integrados.

Para controlar un visualizador de siete segmentos normalmente se emplean circuitos integrados especialmente diseñados para este fin y que simplifican mucho el diseño del circuito. Un ejemplo de ellos es el circuito integrado 74LS47; con este circuito integrado podemos formar los números del 0 al 9 según conectemos las cuatro patas principales al polo positivo o negativo de nuestra fuente de alimentación. Existen otros circuitos para poder controlarlos, por ejemplo: el circuito integrado CD4511.

Para el diseño del circuito decodificador, fue puesto como Circuito Integrado (CI) el 74LS47 cuya corriente en nivel bajo es de 24 mA y en nivel alto 6 mA, y su alimentación de $V_{CC} = 5 V$, cuya función es interpretar una entrada BCD (4 bits) y convertirlo a la lógica de 7 bits interpretada por el displays, ver en la **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1: Tabla de la verdad del 74LS47.

BCD				7 segmentos							#
A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1		0	1	1	4
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9

En la asignatura de Electrónica Digital, la utilización de CI es vital para el desarrollo de las Prácticas de Laboratorio, dentro de la variedad de CI existen dos grandes familias que rigen el mundo de la digital, la TTL y la CMOS una de mayor rapidez y otra de menor consumo, cada una con características diferentes, pero ambas atienden a los valores lógicos de entrada ‘1’ y ‘0’ aunque difieren en los valores de voltaje para sus niveles lógicos, (ver **Tabla 2.2**). En determinados momentos se puede estar realizando una práctica de laboratorio en la que se trabaje con circuitos TTL y en otras con circuitos CMOS. Por esto es menester implementar un bloque que permita establecer una compatibilidad con los valores de entrada de las dos familias.

Tabla 2.2: Algunas especificaciones técnicas de las dos grandes familias digitales.

Familia	Características			
	$V_{I(L_max)}$	$V_{I(H_min)}$	$V_{O(L_min)}$	$V_{O(H_max)}$
CMOS	$30 \% V_{DD}$	$70 \% V_{DD}$	0 V	V_{DD}
TTL	0,8 V	2,2 V	0 V	$V_{CC}=5V$

Para la implementación del circuito de compatibilidad, fue utilizado un transistor B549 ($V_{ce_max} = 30 V$, $V_{be_max} = 5 V$, $I_{ce_max} = 100 mA$) como separador entre el voltaje de entrada y el voltaje que actúa en la entrada de del CI 74LS47 (**Figura 2.12**). En la base del transistor hay una resistencia de $10 k\Omega$ que permite limitar la corriente para que

trabaje en la zona de saturación independientemente del voltaje en la entrada correspondiente a una familia dada, el voltaje puesto en la entrada para el nivel alto ('1') será 4.75 V y el nivel bajo ('0') de $0,6\text{ V}$ como máximo.

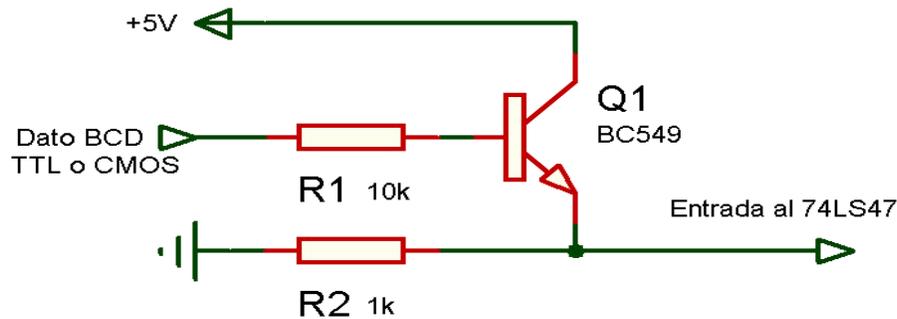


Figura 2.12: Esquema para introducir valores lógicos compatibles TTL y CMOS a la entrada de los decodificadores BCD-7 Segmentos.

Para el cálculo de la corriente de saturación de la base del transistor se usa la siguiente expresión:

$$I_{sat} = \frac{(V_{ent} + V_{sat})}{R_{base}} \quad (2.33)$$

V_{ent} corresponde al voltaje referente al estado lógico de entrada.

V_{sat} es el voltaje mínimo que debe haber en la base del transistor para que entre en conducción y ese valor es igual al voltaje umbral del diodo existente entre la base y el emisor del transistor que es de $0,7\text{ V}$.

Sustituyendo $V_{sat} = 0,7\text{ V}$ y $R_{base} = 10\text{ k}\Omega$ se obtiene:

$$I_{sat} = (V_{ent} - 0,7\text{ V}) / 10\text{ k}\Omega \quad (2.34)$$

El esquema en proteus de las conexiones generales, etapa de entrada-decodificador-*displays* se muestra en Anexo 5. El circuito físico real se puede ver en el Anexo 6.

2.2.4 Indicación Visual de las salidas mediante LEDs.

La indicación visual de estados lógicos mediante LEDs es un módulo importante ya que posibilita observar mediante un LED (**Figura 2.13**) el estado lógico de un terminal de cualquier CI, permitiendo también ver hasta un *byte* de información.

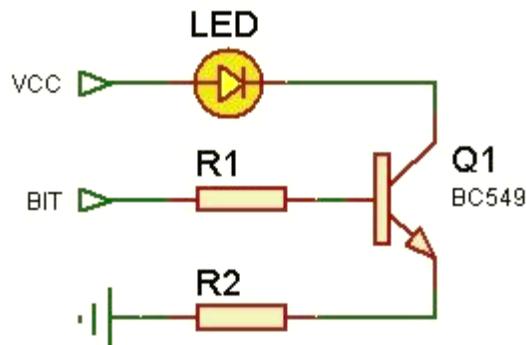


Figura 2.13: Esquema eléctrico de un LED de indicación visual.

Para el cálculo de la corriente de la base se procede igual que en el epígrafe 2.2.3 con la ecuación 2.34 ya que el transistor es el mismo por lo que $R_1 = 10\text{ k}\Omega$.

$$I_{sat} = (V_{ent} - 0,7V) / 10\text{ k}\Omega$$

Ecuaciones para limitar la corriente al LED.

$$V_{CC} = V_{LED} + I_{LED}R_2 \tag{2.35}$$

Sustituyendo $V_{LED} = 2,1\text{ V}$, $I_{LED} = 9\text{ mA}$ y $V_{CC} = 5\text{ V}$ en la ecuación 2.35 y despejando, se obtiene:

$$R_2 = 290\ \Omega$$

Debido a que este valor no es un valor fabricado fue utilizado un $300\ \Omega$ lo cual no afecta al LED porque trabaja con corrientes menores a los 9 mA .

El esquema eléctrico general de la indicación visual (Anexo 7) mediante LED presenta el mismo funcionamiento ya que son 8 LEDs con la misma configuración del circuito exterior.

2.2.5 Voltímetro digital.

Un voltímetro es un instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. Se pueden clasificar por los principios en los que se basa su funcionamiento:

Electromecánicos: En esencia, están constituidos por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en voltios. Existen modelos para corriente continua y para corriente alterna (Cebe, 2012).

Vectoriales: Se utilizan con señales de microondas. Además del módulo de la tensión dan una indicación de su fase (Cebe, 2012).

Digitales: Dan una indicación numérica de la tensión, normalmente en una pantalla tipo LCD. Suelen tener prestaciones adicionales como memoria, detección de valor de pico, del valor verdadero valor eficaz, auto-rango y otras (Cebe, 2012).

Para el diseño del circuito del voltímetro de la maqueta se utilizó un amplificador diferencial debido a su principio de funcionamiento que está basado en amplificar la diferencia de potencial de dos puntos eléctricos.

Un amplificador diferencial es un dispositivo con dos entradas cuya salida es proporcional a la diferencia de tensión entre ambas. Esto quiere decir que la salida crece a medida que lo hace la tensión aplicada en una entrada y decrece si aumenta la aplicada a la otra. Esto permite distinguir las entre sí pues la primera entrada se llama “entrada no inversora” en tanto que la segunda, “entrada inversora” (**Figura 2.14**).

En la gran mayoría de los casos, las señales de entrada son tensiones, pero la salida puede ser bien tensión o corriente. En el caso de que la salida sea tensión, ésta puede ser absoluta o diferencial. Finalmente, existe la posibilidad de que haya un terminal adicional, llamado “de referencia”, cuyo valor se suma directamente a la salida. Éste sería el caso de los amplificadores de instrumentación.

Uno de los usos más extendidos de los amplificadores diferenciales es la estabilización de sistemas. Así, una de las entradas puede utilizarse para realimentar el sistema convirtiendo la salida en una entrada más (Lamar, 2013). Evidentemente, la realimentación debe ser negativa para que el sistema no sea inestable. La otra entrada puede utilizarse para introducir la señal de interés. Básicamente, éste es el principio fundamental de trabajo de la mayor parte de los circuitos lineales con un amplificador operacional. En realidad, un amplificador operacional no es sino un amplificador diferencial con muy alta ganancia y alta impedancia de entrada.

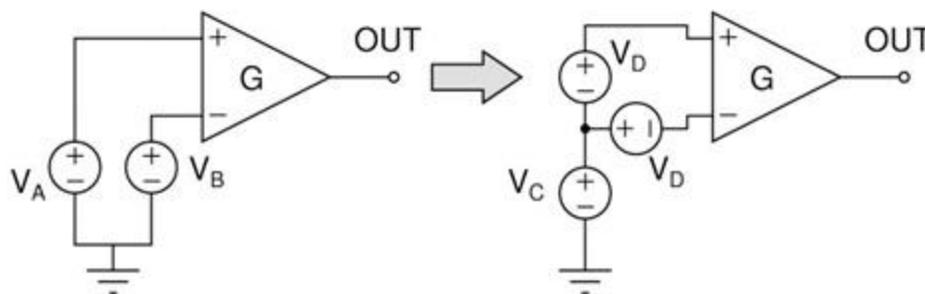


Figura 2.14: Circuito equivalente de la tensión común y diferencial.

Diseño e implementación del amplificador diferencial

Basado en el principio del funcionamiento de los amplificadores diferenciales, se diseñó el circuito para la medición de voltaje (**Figura 2.15**), en cualquier punto eléctrico del circuito que se implemente sobre las *Protoboards* de la maqueta electrónica.

Consideraciones para el diseño del amplificador diferencial.

- Voltaje máximo en la entrada analógica del microcontrolador PIC 18F4550 ($V_{ENT_MAX} = 5.1 V$).
- Voltaje máximo permitido a la entrada del amplificador operacional LM324 ($V_{ENT_MAX} = 32 V$).
- El V_{SAL_MAX} del amplificador diferencial sea igual o menor al voltaje de saturación ($V_{SAT} = 4.05V$).

- El voltaje a la salida del amplificador diferencial por la ganancia (G) de dicho amplificador no sobrepase estos valores de voltaje.

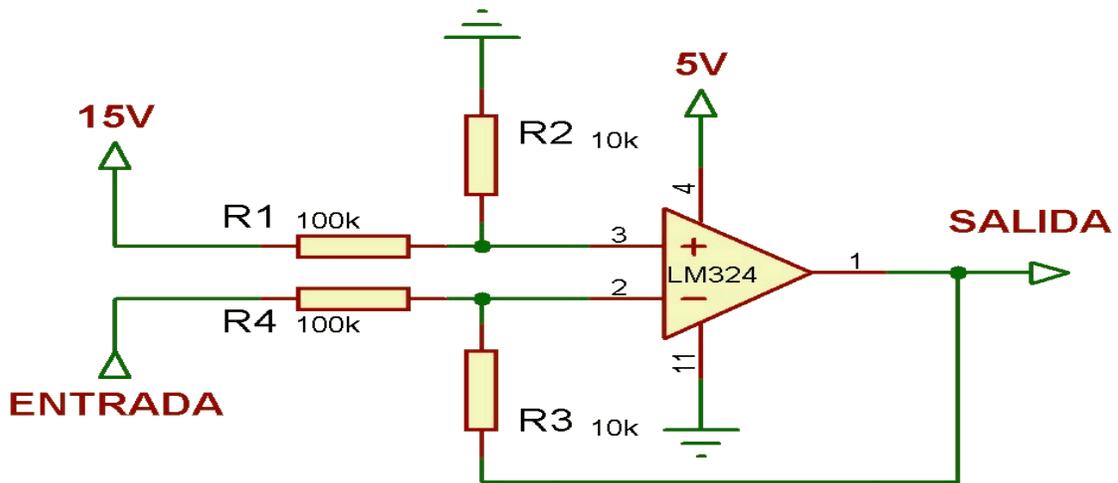


Figura 2.15: Esquema eléctrico del amplificador diferencial.

Ecuaciones para el cálculo del voltaje a la salida.

$$V_{SAL} = V_+ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_4} - V_- \frac{R_3}{R_1} \quad (2.36)$$

Si se cumple que $\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$ se obtiene:

$$V_{SAL} = \frac{R_2}{R_1} (V_+ - V_-) \quad (2.37)$$

Poniendo $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 110 \text{ k}\Omega$ se obtiene:

$$G = \frac{R_2}{R_1} = \frac{110 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega} = 1,1 \quad (2.38)$$

Al poner el terminal no inversor ($V_+ = 15V$) y el terminal inversor (V_-) disponible para medir el voltaje en cualquier punto eléctrico, garantiza que el voltaje de salida del amplificador diferencial vaya al pin de entrada analógica referenciado a tierra.

Sustituyendo la ecuación 2.38 en la ecuación 2.37, se obtiene:

$$V_{SAL} = 0,1 * (15 V - V_-) \quad (2.39)$$

Cuando se da el máximo el valor a la entrada (30 V), la salida del amplificador diferencial es $V_{SAL} \approx 3$. Este voltaje es interpretado por el microcontrolador mediante un código creado que se encarga de decodificarlo e interpretarlo para mostrar el valor del voltaje real en el *Display* LCD. El esquema general se muestra en la **Figura 2.16**.

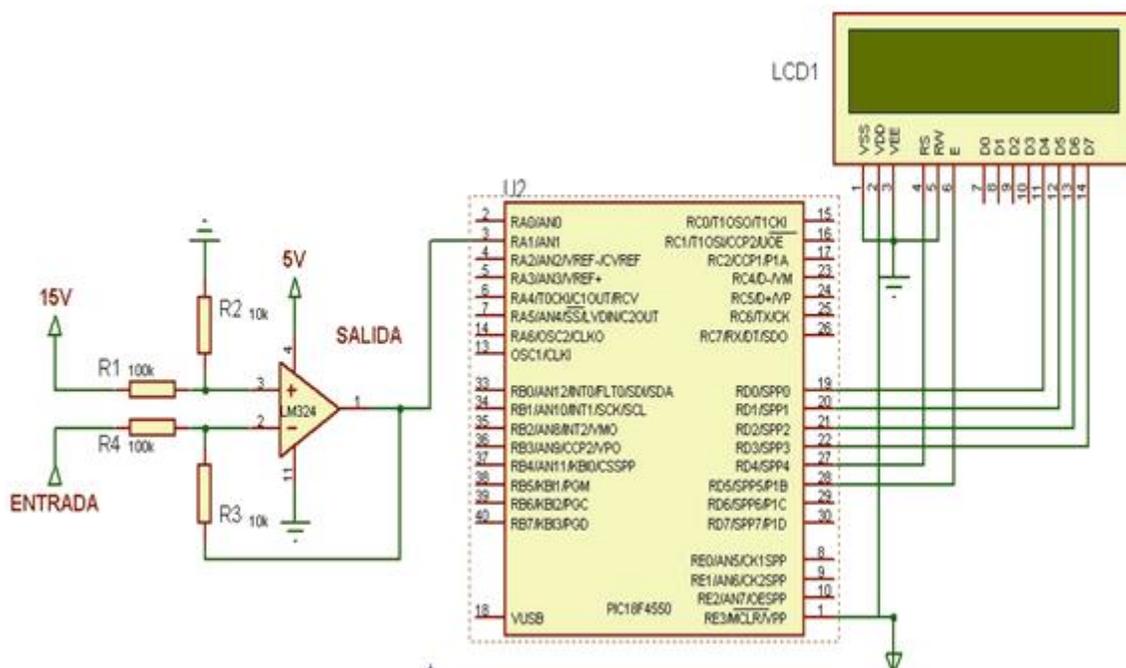


Figura 2.16: Esquema eléctrico general del voltímetro.

El circuito físico real para la medición de voltaje se encuentra en el Anexo 9.

Componentes.

Amplificador operacional de propósito general: LM324.

Resistencias: 2 de 100 kΩ 1% y 2 de 10 kΩ 1%.

Placa: de fibra con dimensiones (3,5cm X 5,5 cm).

2.2.5.3 Implementación del código en el PIC para la conversión de niveles de voltaje.

Para realizar la lectura del voltaje de salida del amplificador diferencial, se hace uso en el microcontrolador de uno de los Convertidores Analógico-Digital (CAD) con que cuenta dicho microcontrolador. De la ecuación 2.39 se obtiene que cuando la entrada al amplificador es de $V_- = -15V$ por ejemplo, su máxima salida es $V_{SAL_MAX} = 3V$. El valor de referencia positiva del convertidor análogo digital es de $V_+ = 5V$. Teniendo la referencia positiva a $V_{REF+} = 5V$, el convertidor entregará el código binario correspondiente a 1023 cuando el voltaje a convertir es $V_{CONV} = 5V$. Para el caso de este amplificador, se verá definido por las siguientes relaciones:

$$\frac{1023}{5V} = \frac{R_{ADC}}{V_{ADC}} \quad (2.40)$$

Donde R_{ADC} es el resultado binario de la conversión analógica-digital. De esta ecuación se puede deducir que el voltaje V_{ADC} , leído por el CAD, es:

$$V_{ADC} = \frac{(5V)(R_{ADC})}{1023} \quad (2.41)$$

Trabajando con la relación de ganancia del amplificador que es: 0,1 V por cada voltio de entrada, se puede plantear la siguiente ecuación:

$$\frac{0,1V}{1V} = \frac{V_{ADC}}{V_+ - V_-} \quad (2.42)$$

Donde V_{SAL} es el voltaje que sale del amplificador diferencial y que entra en el canal analógico, de esta ecuación se puede deducir que el V_{SAL} es:

$$V_+ - V_- = \frac{(1V)(V_{ADC})}{0,1V} \quad (2.43)$$

Sustituyendo la ecuación 2.42, en la ecuación 2.44, se obtiene la siguiente relación:

$$V_+ - V_- = \frac{(1V)(5V)(R_{ADC})}{0,1V \cdot 1023} \quad (2.44)$$

$$V_+ - V_- = 0,04887R_{ADC} \quad (2.45)$$

Este valor de voltaje daría la diferencia del valor de entrada en el amplificador diferencial, pero para la visualización del valor real de voltaje que se está midiendo (de entrada al amplificador diferencial) es necesario despejar la ecuación para obtener el voltaje introducido en el terminal inversor del amplificador y sustituir el voltaje en el terminal no inversor $V_+ = +15 V$ para obtener la siguiente ecuación:

$$V_- = 15 - 0,04887R_{ADC} \quad (2.46)$$

Básicamente, la implementación de estas ecuaciones es la base del código que fue descargado al PIC para la medición de voltaje y su visualización en Display LCD.

2.2.6 Placa de pruebas (*Protoboard*).

Una placa de pruebas (del inglés *protoboard*) es un tablero con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre sí de manera interna, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado y diseño de circuitos electrónicos y sistemas similares. Está hecho de dos materiales, un aislante, generalmente un plástico, y un conductor que conecta los diversos orificios entre sí. Uno de sus usos principales es la creación y comprobación de prototipos de circuitos electrónicos antes de llegar a la impresión mecánica del circuito en sistemas de producción comercial. Las líneas se cortan en la parte central del bloque para garantizar que dispositivos en circuitos integrados de tipo *Dual In-line Package* (DIP) puedan ser insertados perpendicularmente y sin ser tocados por el proveedor a las líneas de conductores. En la cara opuesta se coloca un forro con pegamento, que sirve para sellar y mantener en su lugar las tiras metálicas (Duran, 2010).

En la maqueta fueron usadas dos unidades de $4,5 \text{ cm}$ de ancho por $17,5 \text{ cm}$ de largo cada una. Como la gran mayoría de ellas, cuenta con dos matrices de conectores de 5 por 60 además de otras dos filas de conectores comunes en los laterales normalmente usados para la conexión de alimentación y tierra. Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los entrenadores digitales que existen en el mercado integran

solo una de estas *protoboards*, el hecho de haber dotado al desarrollado en este trabajo de dos de ellas, da un margen más que aceptable para que puedan ser probados circuitos de alta complejidad en caso de necesitarse (incluso para otros propósitos fuera de las prácticas de laboratorio propiamente dichas).

2.2.7 Potenciómetros.

Los potenciómetros de $100\text{ k}\Omega$ y $1\text{ k}\Omega$, ambos con una tolerancia del 1%, fueron implementados en el diseño de la maqueta electrónica (ver Anexo 10) con el propósito de poder realizar las prácticas de laboratorio con los CI NE555 y 74121 circuitos integrados que son temporizadores de tiempo integrado utilizados para el diseño de estables y monoestable así como generar ondas cuadradas.

2.2.8 Interruptores de tipo *on/off* y *push*.

Para la implementación de este módulo fue tenido en cuenta las características fundamentales de los interruptores, *on/off* para hacer un cambio de voltaje a la salida y este sea permanente hasta que sea conmutado nuevamente y del tipo *push* para crear un cambio de voltaje a la salida y retornar al valor anterior, estos interruptores presentan un problema grave en las aplicaciones de alta precisión, por lo que se le crea un circuito anti rebote con el CI 7400.

Para la confección de dichos interruptores no se implementó el circuito anti rebote, pero se utilizó una resistencia de $10\text{ k}\Omega$ (**Figura 2.17**) con el objetivo de al variar el valor de la salida entre las entradas no ocurra un cortocircuito.



Figura 2.17: Esquema eléctrico de los botones.

En el diseño físico de la maqueta fueron puestos 3 interruptores del tipo on/off y 4 del tipo *push*.

2.2.9 Display LCD.

Antes de aparecer los módulos LCD, se utilizaban los Displays de siete segmentos para poder mostrar la información. Tenían una gran limitación de poder mostrar los caracteres alfa numéricos y símbolos especiales, también consumían demasiada corriente y ocupaban demasiado espacio físico. Posteriormente aparecieron otros tipos de displays más complejos que podían mostrar algunos caracteres y símbolos; pero tenían de igual manera mucho consumo de corriente y espacio físico ocupaban también bastante espacio físico. Finalmente aparecieron los módulos LCD o pantallas de cristal líquido la cual tiene la capacidad de mostrar cualquier carácter alfa numérico. Estos dispositivos ya vienen con su pantalla y toda la lógica de control pre-programada en la fábrica y lo mejor de todo es que el consumo de corriente es mínimo y no hace falta realizar tablas especiales como se hacía anteriormente con los displays de siete segmentos (González, 2007).

Para su funcionamiento debe de estar conectado a un circuito impreso en el que estén integrados los controladores del Display y los pines para la conexión del display. Sobre el circuito impreso se encuentra el LCD en sí, rodeado por una estructura metálica que lo protege. La visualización de los caracteres es en dependencia del *display*, los más usados para el trabajo con los microprocesadores PIC y la Plataforma de Arduino son los de 16x2 y 16x4 (**Figura 2.18**) de 16 pines para el ajuste de la interfaz (ver **Tabla 2.1**). A pesar de que el display sólo puede visualizar 16 caracteres por línea, puede almacenar en total 40 por línea. Es el usuario el que especifica que 16 caracteres son los que se van a visualizar.



Figura 2.18: Display 1604A de 16x4.

Tienen un consumo de energía de menos de 5 *mA* y son ideales para dispositivos que requieran una visualización pequeña o media. El LCD dispone de una matriz de 5x8 puntos para representar cada carácter. En total se pueden representar 256 caracteres diferentes, 240 caracteres están grabados en la memoria del LCD y representan las letras mayúsculas, minúsculas, signos de puntuación, números, etc... Existen 8 caracteres que pueden ser definidos por el usuario para alguna prestación determinada.

Para el desarrollo de la maqueta fue necesario la utilización de un display LCD 16x4 para la interacción del usuario con dicho equipo para la indicación y selección del CI a emular, así como mostrar la medición del voltaje cuando se utilice dicha función (ver Anexo 12).

Tabla 2.1: Descripción de los pines del display LCD.

Pin LCD	Símbolo	Descripción
1	V_{SS}	Tierra
2	V_{CC}	Voltaje de alimentación (+5V+10%).
3	V_O	Ajuste del contraste.
4	RS	Instrucción (RS=0) Dato (RS=1).
5	R/W	Escritura (R/W=0) Lectura(R/W=1).
6	E	Activo (E=1) Inactivo (E=0).
7	DB0	
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	Bus de Datos Bidireccional.
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	LED_A	Terminal positivo de iluminación(+5V.)
16	LED_K	Terminal negativo de iluminación (Tierra).

2.3 Circuito para la conexión del microcontrolador.

Para la interconexión del microcontrolador (**Figura 2.19**) fue necesario revisar la hoja de datos del PIC18F4550 para consultar las funcionalidades y limitaciones de cada pin en cuanto a prestaciones. Para la conexión con el Display LCD se utilizaron 6 terminales, para el emulador de compuertas se utilizaron 16 terminales para emular CI de 14 y de 16 terminales, y para la medición de voltaje se empleó un terminal el canal analógico 6.

Descripción.

Las conexiones del display LCD (16x4) fue hecha al puerto digital A, para la comunicación con el LCD fue utilizado el protocolo de 4 líneas de datos, con el objetivo de reducir líneas de entrada y salida del micro, esta forma de interactuar con el display es más factible cuando solamente se usa el display para visualizar datos y no para adquirir información de él, para el ajuste del contraste fue usado un potenciómetro de 5 k Ω . El funcionamiento del display en la maqueta se basa en interactuar con el usuario dando la información del circuito integrado que se está emulando en ese instante, así también para la selección de dicho circuito integrado, también brinda la información de la medición del voltaje.

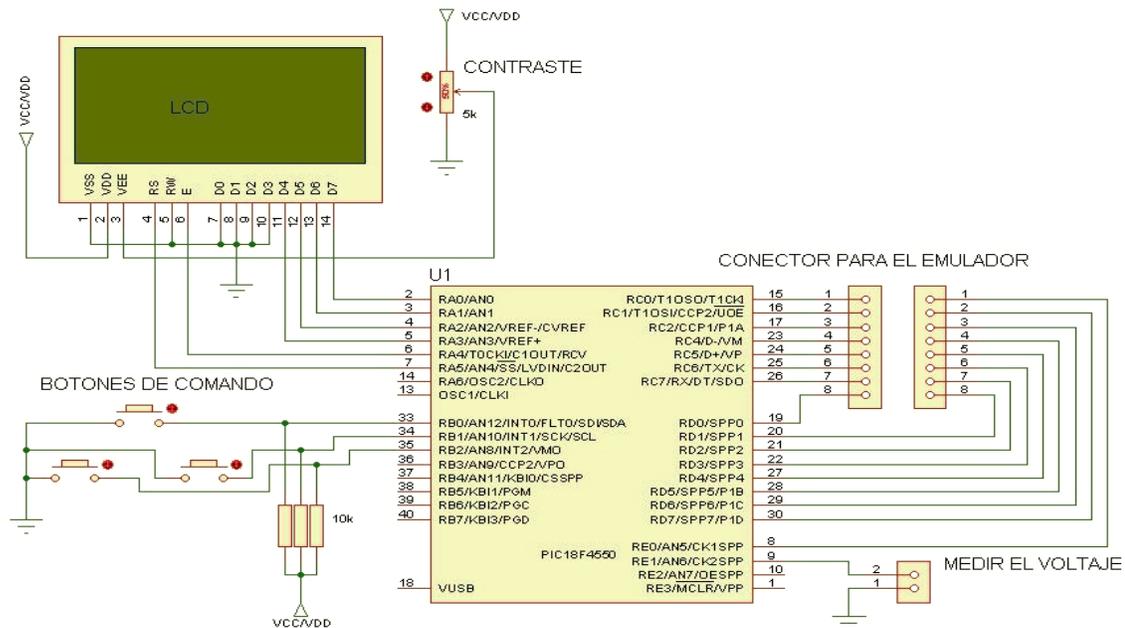


Figura 2.19: Circuito eléctrico general de interconexión con el PIC 18F4550.

Para la emulación de CI fueron utilizados los puertos C y D y el *bit* 0 del puerto E estos terminales fueron configurados de tal forma que de acuerdo con el CI emulado pasaba de entrada a salida y viceversa esto es en la función de emulación de cada CI. Para la medición de voltaje fue utilizado el canal analógico 6 del micro.

Para la entrada de comando al micro fueron utilizados interruptores del tipo *push*, con una resistencia de $10\text{ k}\Omega$ para evitar que la pulsación de un botón provoque un corte generando la posible destrucción del micro, diseñados de tal forma que cada una de ellas genere un flanco descendiente en una de las entradas (0,1,2) del puerto B configurado mediante la programación como interrupciones externas.

2.3.1 MikroC para programación del PIC.

El lenguaje MikroC desarrollado por Mikroelektronika. Este lenguaje es muy similar al C estándar, no obstante, en determinados aspectos difiere del ASCII estándar en algunas características. Algunas de estas diferencias se refieren a las mejoras, destinadas a facilitar la programación de los microcontroladores PIC, mientras que las demás son la consecuencia de la limitación de la arquitectura del hardware de los PIC.

Las numerosas ventajas, funcionalidades, facilidad de uso y el hecho de que es un software libre (que no requiere el pago de una licencia) hicieron que fuera MikroC la herramienta seleccionada para todo el trabajo con el PIC en esta tesis. Específicamente se usó la versión 6.0.0.

El proceso de compilación consiste en varios pasos (**Figura 2.20**) y se ejecuta automáticamente por el compilador. El archivo fuente contiene el código en MikroC que se escribe para programar el microcontrolador. El preprocesador se utiliza automáticamente por el compilador al iniciarse el proceso de la compilación. El compilador busca las directivas del preprocesador (que siempre empiezan por '#') dentro del código y modifica el código fuente de acuerdo con las directivas. En esta fase se llevan a cabo inclusión de archivos, definición de constantes y macros etc., lo que facilita el proceso. El analizador sintáctico (*parser*) elimina toda la información inútil del código (comentarios, espacios en blanco). Luego, el compilador traduce el código a un archivo binario denominado archivo.mcl. El enlazador (*linker*) recupera toda la información requerida para ejecutar el programa de los archivos externos y la agrupa en un solo archivo (archivo.dbg). Además, un proyecto puede contener más de un archivo fuente y el programador puede utilizar funciones predefinidas y agrupadas

dentro de los archivos denominados librerías. Por último, el generador .hex produce un archivo .hex que es el archivo que se va a cargar en el microcontrolador.

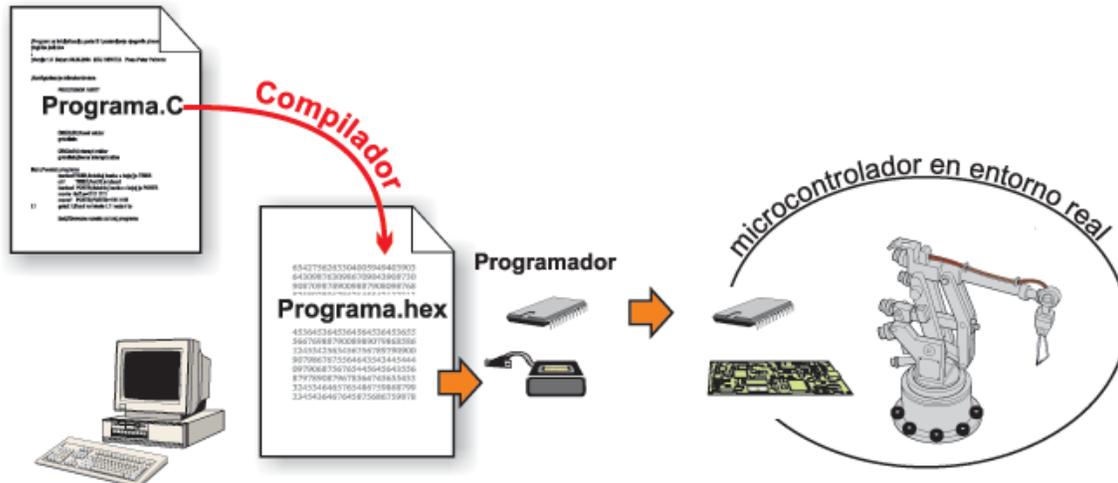


Figura 2.20: Fases en la programación de PIC.

2.3.3 PICKit para la descarga física de la programación al PIC

Es necesario destacar que como aporte adicional de este trabajo está la construcción de otro circuito para la descarga (físicamente) de los programas al microcontrolador (MC). Luego de una larga investigación sobre las diferentes variantes existentes para tales funciones, se decidió adoptar el diseño del *Kit* conocido como PICKit 2 que es abierto al público, incluyendo su esquema de hardware, código fuente del firmware (en lenguaje C) y programas de aplicación (en lenguaje C #). Los usuarios finales y terceros pueden modificar fácilmente tanto el hardware como el software para funciones mejoradas (ver Anexo 15).

El PICKit 2 (introducido en mayo de 2005) reemplazó al PICKit 1. La diferencia más notable entre los dos es que el 2 tiene una unidad programadora/depuradora separada que se conecta a la placa que lleva el chip a programar, PICKit 1 era una sola unidad. El PICKit 2 utiliza un PIC18F2550 interno con USB *FullSpeed*. El último firmware de PICKit 2 permite al usuario programar y depurar la mayoría de los miembros PICmicro y dsPIC de 8 y 16 bits de la línea de productos Microchip.

El PICkit 2 dispone de una función de programación para llevar (PTG), que puede descargar el archivo hexadecimal y las instrucciones de programación en la memoria integrada (128 kB I²C EEPROM o 256 kB I²C EEPROM), de modo que no se requiere PC al final de la solicitud.

2.3.4 Emulación de compuertas lógicas.

Por numerosas carencias materiales, en ocasiones no se dispone de los CI necesarios para la realización de las actividades proactivas. Pensando en esto, surge la idea de utilizar las facilidades que brinda un microcontrolador para emular o simular el comportamiento de varios de estos CI más usados en los laboratorios en caso de no disponer del componente físico. De esta manera no se ve afectado el proceso de enseñanza.

La programación del PIC 18F4550 para emular los CI, fue hecha teniendo en cuenta los *datasheet* de los respectivos CI. Se respeta la misma distribución de pines y funcionalidades de cada pin que la brindada por el fabricante. De esta manera se evitan confusiones y errores en las conexiones. Teniendo en cuenta que la distribución de pines de cada CI es diferente, en la implementación del código en el MC se declaran sus pines como entrada o salida en dependencia de la funcionalidad del CI.

Los CI sincrónicos, la señal de entrada de reloj no fue implementada de modo que si el CI funciona con un flanco ascendente en la emulación se pregunta si este terminal presenta un valor lógico 1, e igual si es un flanco descendente a 0. En los circuitos asincrónicos pero que presentan terminales de activación por flanco si se tuvo en cuenta principalmente en los contadores, ya que su correcto funcionamiento si depende de dicha activación.

Los CI NE555 y 74121 no se emularon debido a que en su estructura y su funcionalidad presenta entrada de valores analógico los cuales, si se podrían emular mediante la entrada analógicas del PIC 18F4550, pero las salidas no se pueden emular porque el MC no presenta salidas analógicas.

CI emulados: 7400, 7402, 7404, 7408, 7410, 7411, 7420, 7421, 7430, 7432, 74138, 74148, 7476, 7447, 7483, 7490, 7495 y 7425.

2.4 Proteus. Software usado para la simulación de circuitos.

El **Proteus 8.0 sp2** es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción. Soporta más de 6000 modelos analógicos y digitales además de los microcontroladores (MC): PIC, 8051, AVR, HC11, MSP430, ARM7/LPC2000 y otros procesadores populares. Funciona con la mayoría de los compiladores y ensambladores.

1. Puede conectarse a través de la cadena " " a un teléfono celular gratis *COM-port* y depurar el dispositivo en el MC, que deberán gobernar.
2. Puede conectarse al puerto COM de cualquier dispositivo real con el que ha creado el dispositivo se comunicará la realidad.
3. Funciona perfectamente con el popular compilador de C para los MC:
 - *CodeVisionAVR* (IC para AVR)
 - IAR (para cualquier MC)
 - ICC (por IC AVR, MSP430, ARM7, Motorola)
 - WinAVR (IC para AVR)
 - *Keil* (para el MC 8051 de la arquitectura y ARM)
 - *HiTech* (por IC 8051 y la arquitectura PIC de Microchip)
4. El Proteus es el programa ideal para los principiantes que han decidido iniciar el estudio de los micro controladores.

Por todas estas características y ventajas respecto a otros softwares similares, se decidió hacer el montaje y simulación de todos los circuitos de la maqueta en esta herramienta.

Módulo ISIS: El *Intelligent Schematic Input System* (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea

realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en ISIS pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

Módulo VSM: Una de las prestaciones de Proteus, es el *Virtual System Modeling* (Sistema Virtual de Modelado), una extensión integrada con ISIS, con la cual se puede simular, en tiempo real, con posibilidad de más rapidez; todas las características de varias familias de microcontroladores, introduciendo nosotros mismos el programa que controlará el microcontrolador y cada una de sus salidas, y a la vez, simulando las tareas que se quiera que ejecute el programa.

Módulo ARES: El *Advanced Routing and Editing Software* (Software de Edición y Ruteo Avanzado); es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficial (*Top Copper*), y de soldadura (*Bottom Copper*).

2.5 Diseño e implementación del PCB.

El diseño de los circuitos en el Proteus brindó la posibilidad de simular los circuitos y comprobar su correcto funcionamiento. Para la implementación del circuito físico fue necesario elaborar el PCB (del inglés *Printed Circuit Board*) en el ARES herramienta para diseñar y corregir las dimensiones de las placas a utilizar para la confección física de los circuitos referentes a los módulos de la maqueta electrónica. Fueron obtenidos los diseños de los circuitos impresos para revelación utilizando Ácido Nítrico (HNO_3) un agente oxidante potente capaz de reaccionar con diferentes metales, como el cobre metal que presenta las placa sin diseño.

2.6 Cumplimiento de los requisitos de la maqueta en las prácticas de laboratorio de Electrónica Digital.

Como se dijo al inicio del capítulo, los módulos que componen la maqueta fueron seleccionados para que la misma cumpla con los requisitos indispensable para la realización de las prácticas de laboratorio de Electrónica Digital I y II. Asimismo, se garantizó que dentro de los CI que se consideraron para emulación, no faltara ninguno de los usados en estas actividades. A continuación, se describen los objetivos de estas prácticas y los componentes que se usan para su ejecución.

Electrónica Digital I.

Práctica de Laboratorio 1: Álgebra de conmutación y compuertas lógicas, con el objetivo de que los estudiantes adquieran habilidades en la simplificación, montaje y prueba de circuitos lógicos expresados por una función de conmutación o con compuertas lógicas.

CI: 7400, 7402, 7404, 7408, 7410, 7411, 7420, 7421, 7430 y 7432.

Práctica de Laboratorio 2: Diseño de Sistemas Digitales Combinacionales, con el objetivo de que los estudiantes adquieran habilidades en el diseño de Sistemas Digitales Combinacionales sencillos haciendo uso de:

CI: 74138, 74148, 7447 y 7483, Display 7 segmentos ánodo común.

Electrónica Digital II

Práctica de Laboratorio 1: Multivibradores. Tiene como objetivo comprobar el funcionamiento de circuitos multivibradores Astables, Monoestables y Schmitt Trigger.

CI: 7414, 74 121-123, NE555.

Práctica de Laboratorio 2: Registros y contadores. Como objetivo tiene comprobar y diseñar sistemas secuenciales sencillos con registros y contadores.

CI: 7476, 7490, 7495, 7400, 7404, 7420.

Para la emulación de CI (ver Epígrafe 2.3.4) se tuvieron en cuenta todos los CI mencionados anteriormente, a excepción de: NE555 y 74121-123, que son integrados con una estructura complicada que tienen características especiales mezclando señales analógicas y digitales, comparaciones de voltaje, trabajo con redes RC externas, etc. y estas funcionalidades no son del todo posibles con el PIC 18F4550.

Valoración Económica.

Para tener una concepción general del costo económico de la maqueta construida se realizó un estudio de los precios en el mercado de cada uno de los componentes a utilizar (ver **Tabla 2.3**). Teniendo en cuenta que el precio de las maquetas oscila alrededor de los 150 USD como mínimo en el mercado internacional, la propuesta aquí planteada con un costo aproximado de 60 USD le supone a la universidad y al ministerio de educación un ahorro sustancial de 90 USD. De esta manera se garantiza la rentabilidad de una inversión en la implementación de varias unidades de esta maqueta para suplir las necesidades de la carrera Automática y su extensión a otras.

Tabla 2.3: Listado de componentes y precios.

Componentes	Cantidad	Precio (USD)	Total
Reguladores	8	1	200
PIC	1	12	300
ICL 8038	1	5	125
Im 318D	1	2	50
Lm324	1	1	25
Resistencias	65	0.025	1.625
Capacitores	5	0.2	1
condensadores	13	0.12	1.56
Diodos	20	0.08	1.6
Conectores	15	0.12	1.8
Transformador	1	4	4
LCD	1	5	5
LEDS	8	3	24
Placa	1(15 cm X 30 cm)	150	150
74LS47	2	25	50
Display_7segmentos	2	15	30
	Total		1393

Conclusiones parciales.

- Se logró diseñar y simular el funcionamiento de los esquemas eléctricos de cada módulo de la maqueta electrónica en el Proteus de manera satisfactoria.
- Las pruebas del funcionamiento de los circuitos físicos finalizados se corresponden a las simulaciones hechas en el Proteus.
- Fue construido un programador para el PIC 18F4550 con el cual se le descargo la programación satisfactoriamente.
- Se describieron las características de cada uno de los módulos y circuitos que componen el entrenador digital.

Conclusiones generales.

Las conclusiones del presente trabajo de curso son las siguientes:

- Se llevó a cabo un estudio sobre los entrenadores digitales, sus principales características, elementos que lo componen, requerimientos de potencia y diseño.
- Se eligieron cuidadosamente los bloques funcionales y componentes electrónicos necesarios para realizar todas las funciones indispensables que demanda una maqueta electrónica para prácticas de laboratorio.
- Se diseñó y construyó una maqueta para la ejecución de las prácticas de laboratorio de Electrónica Digital que es más versátil que las anteriores, permitiendo emular por software el funcionamiento de compuertas y circuitos integrados que no se dispongan en la práctica.
- Fueron elegidos adecuadamente los materiales constructivos (principalmente melamina y aluminio) y los componentes electrónicos de manera que el resultado final fuera un sistema considerablemente más económico que los anteriores con lo que se logra mitigar las carencias actuales en el Departamento de Automática con la realización de prácticas de laboratorio.
- El sistema de desarrollo descrito cumple con los requisitos necesarios para llevar a cabo un completo curso de laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales con el fin de que al alumno adquiriera conocimientos prácticos en la manipulación de circuitos integrados y un mejor aprovechamiento del tiempo de las prácticas.
- Finalmente, la elaboración de las guías prácticas y manuales, abarca la teoría necesaria para profundizar los temas estudiados a lo largo de la carrera, simbologías, fundamentos, metodologías de solución y aplicación de conceptos básicos en electricidad y matemática, que ayudan a que el estudiante genere conocimiento, se capacite más rápido y logre mejores resultados de aprendizaje.

Recomendaciones

Al culminar este trabajo de diploma, y desarrolladas todas las tareas propuestas en el mismo sugerimos:

- Incorporar un sistema de protección contra corto circuito en caso de mala manipulación por los estudiantes.
- Hacer extensiva la construcción de varios entrenadores más como este para mejorar aún más la calidad de la enseñanza a otras carreras que también lo necesiten.
- Incluir de nuevas temáticas, le da una mejor utilidad al entrenador dentro y fuera de la Asignatura de Electrónica Digital.

Bibliografía

Aledo, A, &, Sáenz, J. (1996) *Placas didácticas para el estudio de los microcontroladores de la Familia MC-51 y MC-96*, Actas TAEE´96, Universidad de Sevilla.

Aranguren, G, &, Nozal, L. (1996). *Prácticas con Microcontroladores PIC*, Actas TAEE´96, Universidad de Sevilla.

Barrón, M, &, Martínez, J. (1998). *Equipo Didáctico para la Familia de uC 8051*, Actas AEE´98, Publicaciones UPM

Cebek, (2012). Entrenador Cebekit con 500 practicas MX-909. Consultado: 2017, Mayo 13. Disponible: http://www.cebek.com/educativo-cebekit/escuela-electronica-edu/entrenador-cebekit-con-500-practicass-mx-909_r_333_574.aspx

Dávila, L. (2009). *Sistema para la realización de prácticas de Electrónica Digital asistida por ordenador*. Actas de las II Jornadas ID+TIC. Alcalá de Henares.

Dávila, L. (2013). *Un laboratorio interactivo y portable de Electrónica Digital*. Dpto. Electrónica e Informática industrial. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad politécnica de Madrid. España

Dávila, L, &. Debu, R. (2006). *Banco de pruebas demostrativo para la enseñanza de electrónica digital*. Actas del Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE). Madrid.

Dávila, L, &, Santos, C, &, Castedo, L, &, López, S, & González, R. (2009) *Plataforma interactiva para la realización de prácticas de Electrónica Digital*. Actas del XVII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia.

Duran, E & Granja, D. (2010). *Diseño y construcción de un kit didáctico de experimentación científica-tecnológica*. Universidad politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Garrido, I, & Guillán, E. (2014). *Aplicaciones de la Electrónica*. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.

González, P (2007). *Desarrollo de maquetas para prácticas de electrónica*. Proyecto fin de carrera: Dpto. de Tecnología Electrónica, UPCT.

González, P, (2007). *Desarrollo de maquetas para prácticas de electrónica*. Departamento de tecnología electrónica. Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Universidad politécnica de Cartagena.

Gutiérrez, J. (2000). *Amplificadores Operacionales y Filtros Activos*. Tercera Edición. Brasil: Editorial Mc Graw-Hill, 200. Págs 3-11. Teoría Amplificadores operacionales.

Gutiérrez J y Zuccardi, G. (n.d.). <http://pegasus.javeriana.edu.co/>. Consultado 23 oct, 2017, from:

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~edigital/Docs/Informatica%20Forense/Informatica%20Forense%20v0.6.pdf>

Jones, A, &, Valli, C. (2009). *Building a Digital Forensic Laboratory Establishing and Managing a Successful Facility*. USA: Elsevier.

Lamar, S. (2013). *Metodología para el diseño de medios de medición de temperatura con termopar*. Tesis de Maestría en Automática en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Martín, B, &, Bernal, C. (1998). *Visual 11 y Kit11: Herramientas para el aprendizaje del MC86HC11 de Motorola*, Actas TAEE '98, Publicaciones UPM.

Martin, M. (2011). *El Algebra de Boole*. [Consultado: 2017, marzo 03]. Disponible: http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas_tecnicas/electronica/contenido/electronica/Tema6_AlgebraBOOLE.pdf

Rivera, G, & López, S, &, González, I, &, Venegas, C, &, Garrido, J, &, Boemo, E. (2002). *GP_Bot: Plataforma Hardware para la enseñanza de robótica en la titulación de Ingeniería Informática*. Actas TAEE , pg 67 a 70. Las Palmas de Gran Canaria.

Santiago, J, & Valderrama, C. (2013). *Diseño y construcción de un entrenador de electrónica análoga y digital para los estudiantes de ingeniería mecatrónica de la universidad tecnológica de Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Ingeniería Mecatrónica.

Santos, A, &, Boemo, E, &, Faura, J, &, Meneses, J. (1984). *Microcontrollers in Education*, Proc. IEEE 24th Frontiers on Education Conference, San José. Disponible en <http://www.ii.uam.es/~ivan>

Serro, C & Arroz, G. (2010). *Sistemas Digitales: Manual de Laboratorio*. Instituto superior Técnico. Departamento de Ingeniería Electrónica y Computadoras.

Sidac S.A. (2012). *Entrenador de Electrónica Analógica EEA 3050*. [Consultado: 2017, mayo 26]. Disponible: http://www.sidac.com/p_electronica_EEA3050.php?idioma=es

Valverde, J, &, García, J. (2006). *Enlace entre la Electrónica Digital y los Microprocesadores*. Actas del Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE). Madrid.

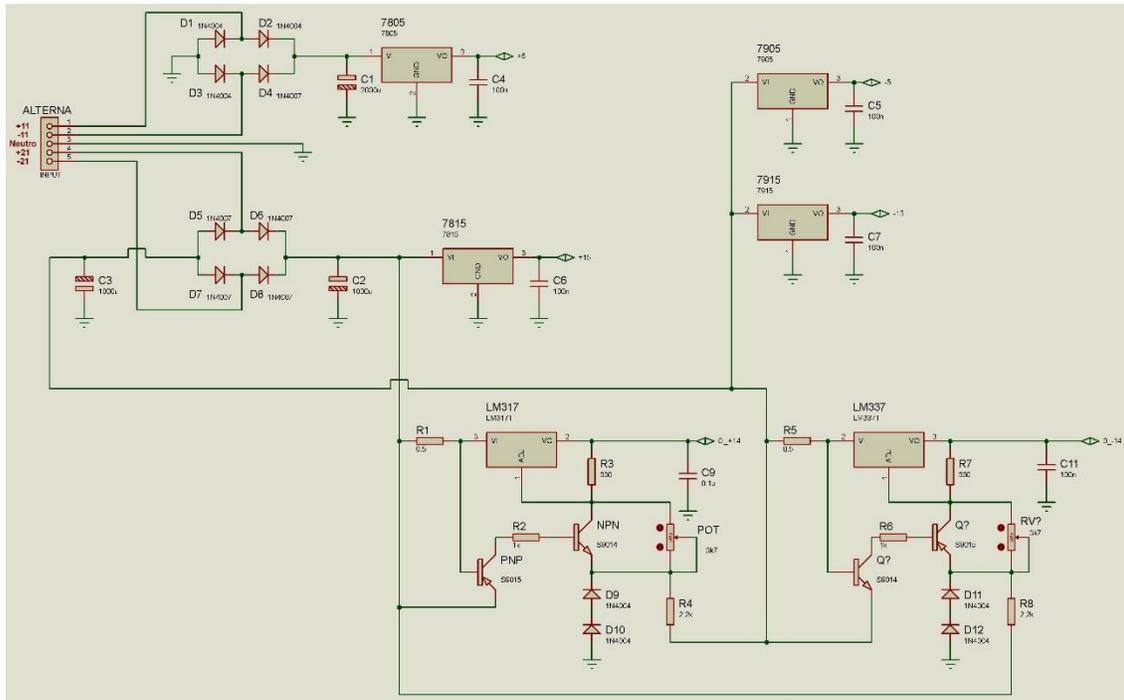
Williams, P. Electronic Journal of the U.S. Department of State. (s.f.) Consultado: 2017, Abril 26. Disponible:

<https://www.ncjrs.gov/App/abstractdb/AbstractDBDetails.aspx?id=191389>

Zetina, A. (2006). *Electrónica Básica*. Edición Única. México. Editorial Limusa S.A., 2006. Pág 253.

Anexos

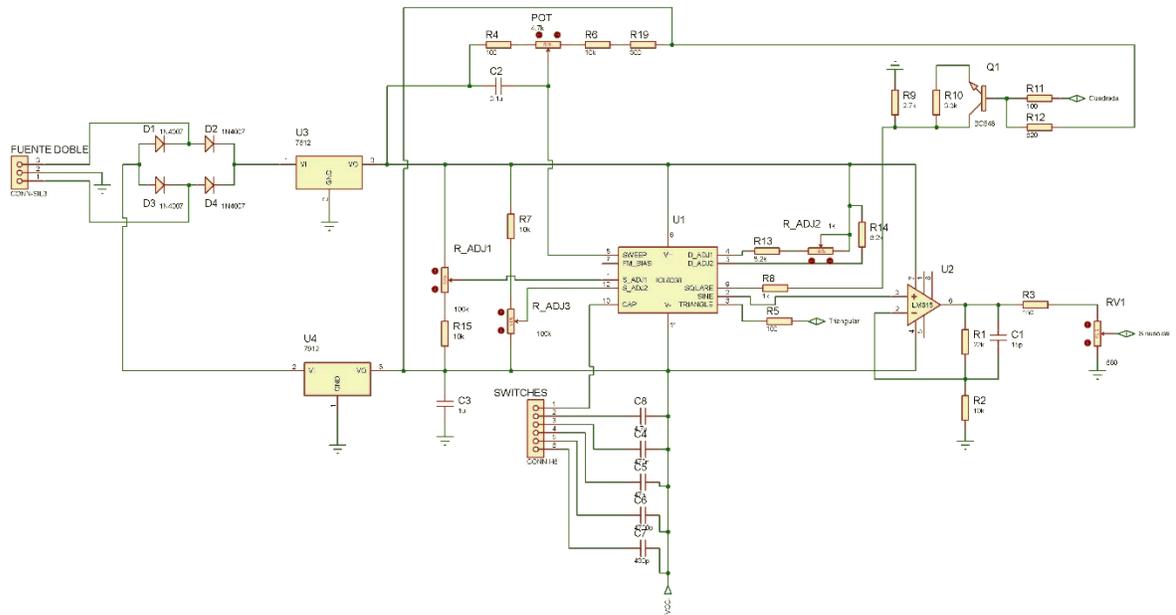
Anexo 1: Esquema eléctrico general de la fuente de alimentación.



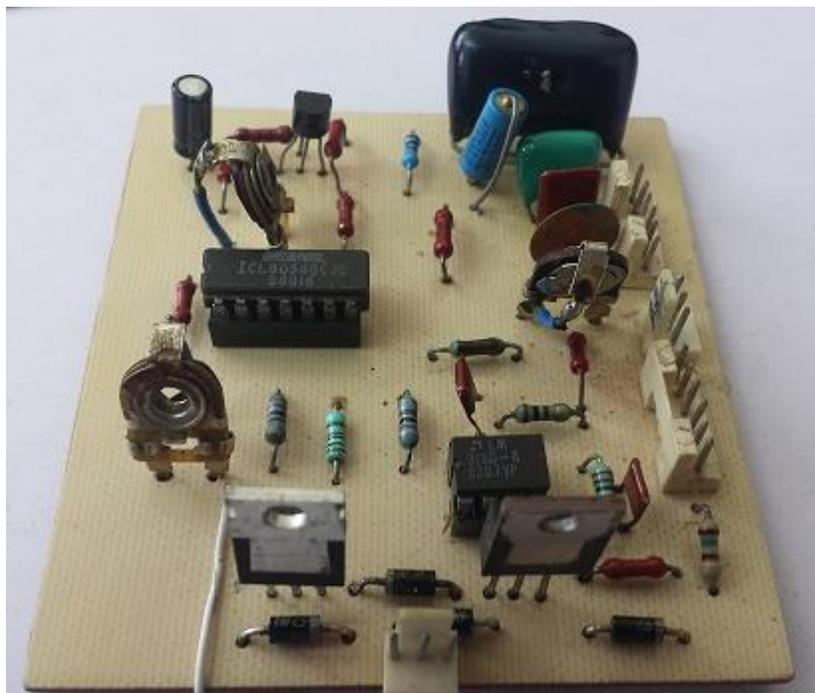
Anexo 2: Circuito físico de la fuente.



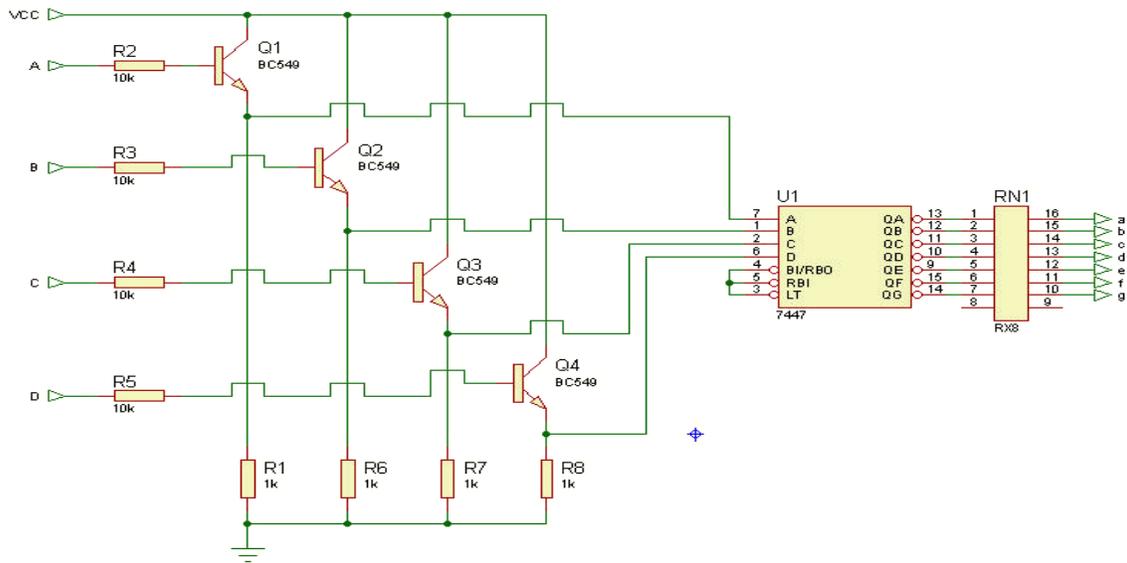
Anexo 3: Esquema eléctrico general del generador de ondas.



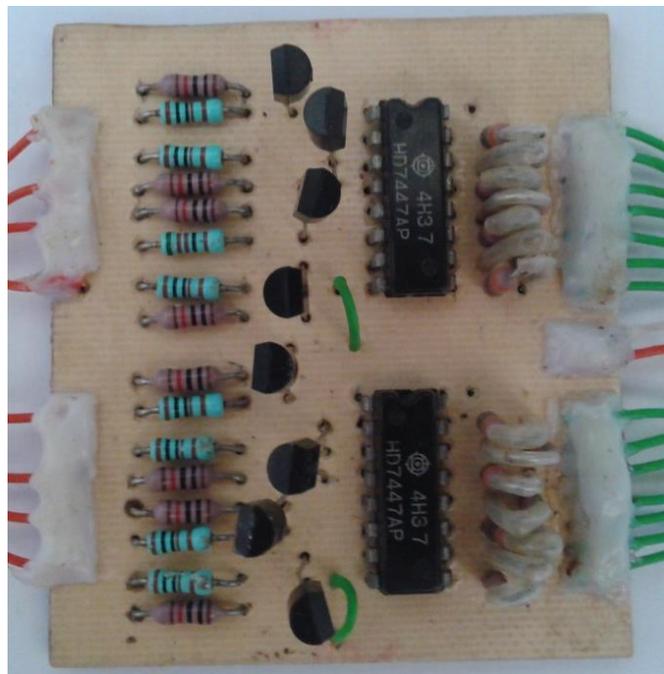
Anexo 4: Circuito físico del generador de ondas.



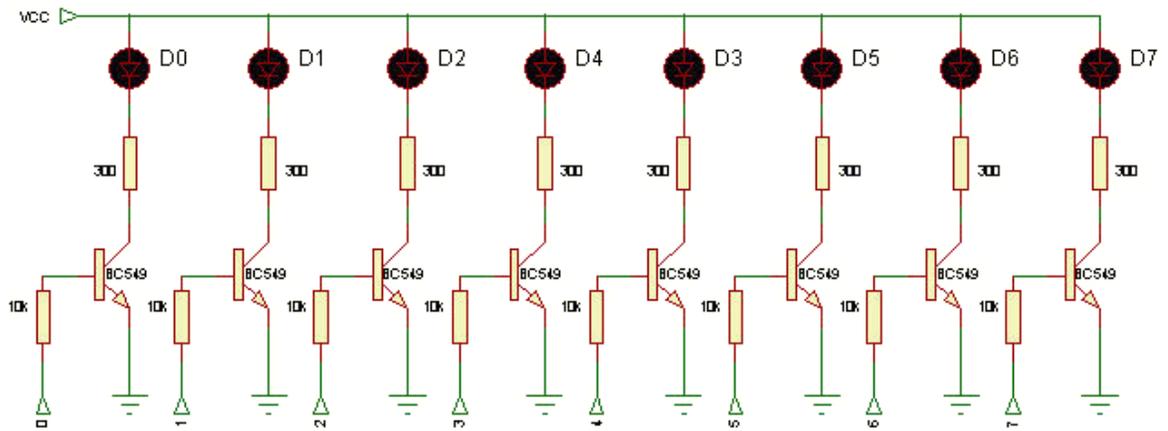
Anexo 5: Esquema eléctrico general para la visualización en 7 segmentos.



Anexo 6: Circuito físico para la visualización en 7 segmentos.

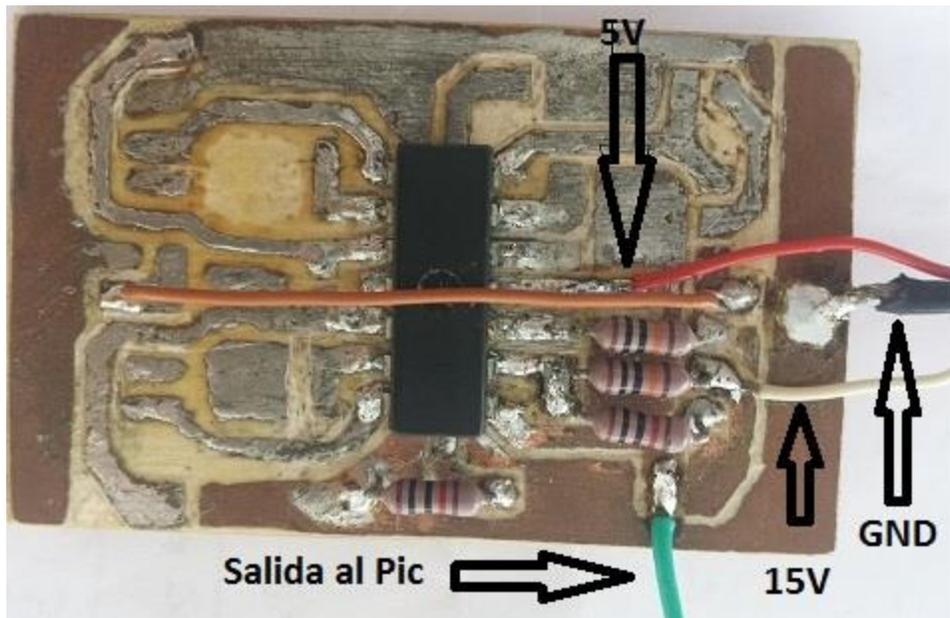


Anexo 7: Esquema eléctrico general de la indicación visual mediante LEDs.



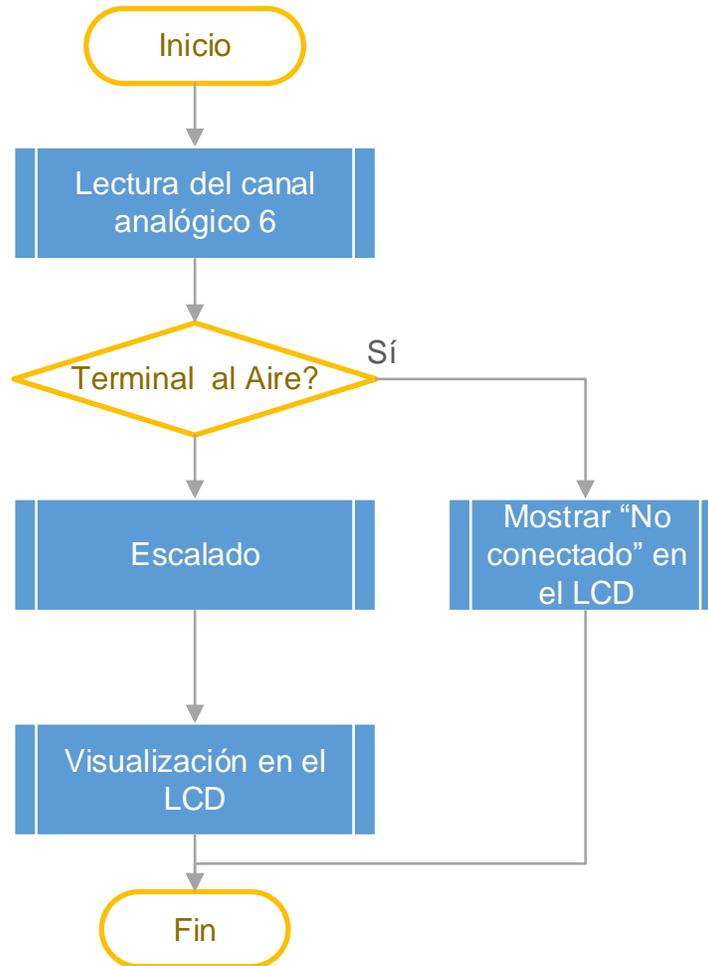
Anexo 8: Circuito físico de la indicación visual mediante LEDs.

Anexo 9: Circuito físico para la medición de voltaje.



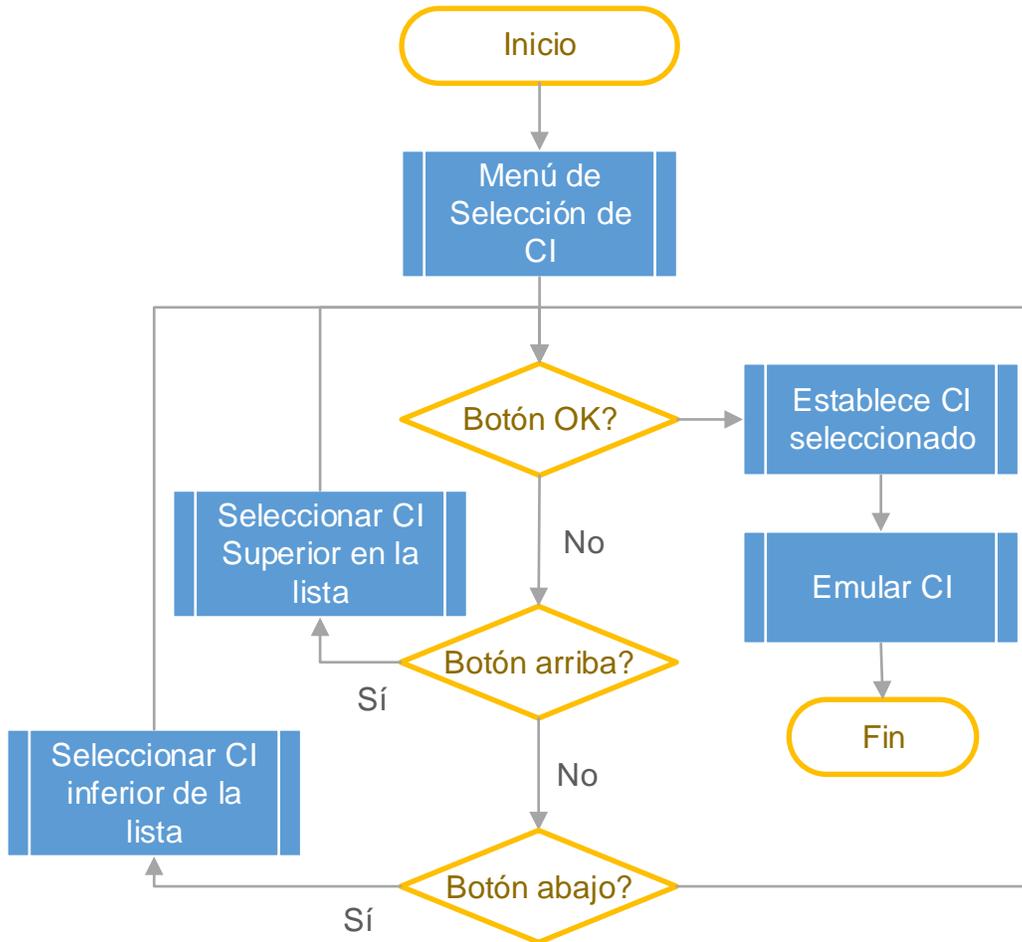
Anexo 10: Esquema de montaje general de la maqueta.

Anexo 11: Diagrama en bloques de la programación para la medición de voltaje.



Anexo 12: Código de la programación para la medición de voltaje.

Anexo 13: Diagrama en bloques de la programación para la emulación de compuertas.



Anexo 14: Código de la programación de las compuertas

Anexo 15: Código de la programación general