

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

**Diseño y construcción de un potencióstato
para su uso en investigación de películas delgadas**

TRABAJO RECEPCIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTA

ALFREDO VELASCO ESCOBAR

DIRECTOR

Dr. José Lorenzo Calzado López

Ciudad de México, febrero 2018.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Agradecimientos

A mis padres, por confiar en mí, por su apoyo, esfuerzo, amor y dedicación en todos estos años.

A mis hermanos, familiares y amigos por su apoyo en todo momento.

Al Dr. José L. Calzado López por confiar en mí y por su apoyo incondicional en todo momento.

Contenido

1	Introducción	1
1.1	Resumen.....	1
1.2	Motivación y justificación	1
1.3	Planteamiento y definición del problema.....	1
1.4	Objetivos	2
1.4.1	Objetivo general.....	2
1.4.2	Objetivos específicos.....	2
2	Preliminares a la electroquímica.....	3
2.1	Introducción a la electroquímica.....	3
2.1.1	Celda electroquímica.....	3
2.1.2	Conducción de una celda	3
2.1.3	Celda galvánica y celda electrolítica.....	4
2.1.4	Cátodo y ánodo de una celda electroquímica.....	4
2.1.5	Electrodo estándar de hidrogeno.....	4
2.2	El potencióstato	4
2.3	Películas delgadas	5
2.4	El potencióstato como instrumento de laboratorio de películas delgadas	7
2.5	Voltamperometría cíclica	9
2.6	Voltamogramas cíclicos.....	10
3	Planteamiento del sistema.....	11
3.1	Principio básico del potencióstato	11
3.2	Requerimientos	12
3.3	Planteamiento del problema.	13
4	Componentes del sistema.....	16
4.1	Amplificadores operacionales.....	16
4.1.1	Modos de la señal de entrada de un opamp	17
4.1.2	El amplificador operacional ideal.....	18
4.1.3	Configuraciones con amplificador operacional.....	19
4.2	Fuente de alimentación	22
4.2.1	Transformador	23

4.2.2	Rectificador	24
4.2.3	Filtro	27
4.2.4	Regulador	29
4.3	Amplificador push - pull	30
4.3.1	El transistor	31
4.4	Microcontrolador pic16f887	32
4.4.1	Elementos de un microprocesador	32
4.4.2	Características del pic16f887	33
4.5	Displays lcd	33
4.5.1	Pines de lcd de 16 x 2	33
4.6	Arduino.....	34
4.6.1	Elementos de Arduino uno.....	35
4.7	Labview.....	36
4.7.1	Instrumento virtual	36
4.8	Arduino y Labview	37
4.8.1	Complementos para Labview y Arduino	38
4.8.2	Algunas funciones básicas de Labview para Arduino.....	38
4.9	Generador de funciones.....	39
4.9.1	Componentes principales externos.....	40
4.10	Relevadores o relays	40
4.10.1	Esquemático de un relevador básico	41
4.10.2	Principales características de los módulos de relevadores.....	42
5	Diseño, simulación y construcción	43
5.1	Circuito de simulación de potencióstato.....	43
5.1.1	Simulación realizada a -5V, 0V y +5V	44
5.2	Diseño e Implementación física	46
5.3	Control potencióstático.....	46
5.3.1	Bloque de comparación de voltaje.....	46
5.3.2	Bloque de convertidor I-V	48
5.3.3	Acondicionamiento de la señal para Arduino	49
5.3.4	Simulación y diseño de pcb	52
5.4	Fuente de alimentación	52
5.4.1	Diseño y simulación de pcb	53
5.5	Generador de señales	54

5.6	Control fuente de c.d	55
5.6.1	Seguidor de tension.....	55
5.6.2	Restador de voltaje	55
5.6.3	Atenuador	56
5.6.4	Inversor	56
5.7	Control de señal triangular.....	57
5.7.1	Seguidor de tensión.....	58
5.7.2	Restador de voltaje	58
5.7.3	Atenuador	58
5.7.4	Inversor	59
5.8	Diseño de programación grafica en Labview	60
6	Pruebas y resultados	64
6.1	Pruebas con una onda triangular	64
6.2	Prueba con una onda de corriente directa	66
7	Conclusiones y trabajo a futuro	68
7.1	Conclusiones.....	68
7.2	Trabajo a futuro	68
8	Bibliografía	70
9	ANEXOS.	71
9.1	Programa en c	71
9.2	Hojas de especificaciones datashet	72

1 Introducción

1.1 Resumen

En este trabajo se hace una investigación bibliográfica sobre el instrumento de laboratorio denominado potencióstato. A partir de dicha investigación, así como de los requerimientos solicitados se diseña un dispositivo basado en amplificadores operacionales, así como un microcontrolador Arduino que envía los datos experimentales a un pc. El diseño fue implementado y probado, encontrándose una adecuada precisión dentro de los rangos de operación definidos en el diseño. Las características del dispositivo construido son: rango de frecuencia 12 Hz, rango de voltaje de +/-12 V y una corriente de celda de 0.5 A.

1.2 Motivación y justificación

Dentro de la amplia gama de instrumentación en ciencias de materiales, y específicamente en el área de películas delgadas, el potencióstato es uno de los pocos instrumentos que pueden ser utilizados tanto para sintetizar, como para caracterizar nuevos materiales. Así, por ejemplo, con el potencióstato se pueden depositar películas delgadas en un sustrato conductor, lo que corresponde a un proceso de síntesis de materiales experimentales. Por el otro lado, con el potencióstato se pueden identificar moléculas, medir la masa de la película o construir la curva corriente vs potencial que proporciona información sobre los procesos de oxidación y reducción en la película, es decir, ser usado como instrumento de caracterización. Además, el potencióstato es un componente importante en dispositivos de medición biomédica de parámetros como glucosa o colesterol, así como en dispositivos detectores de gases en industrias como la minería o de protección civil.

La idea que surgió para la realización de un potencióstato es básicamente que el costo de estos equipos es muy elevado en el mercado, además de que las funciones que este presenta no son de gran utilidad para la docencia, ya que no todas las funciones son utilizables en un laboratorio.

El diseño que se realizará estará basado para la realización de varios tipos de pruebas en diferentes tipos de celdas electroquímicas. Por lo que surge la idea de llevar a cabo la realización de un potencióstato, el cual debe tener las funciones básicas de un potencióstato, así como un bajo costo en su construcción.

El dispositivo que aquí se plantea construir será usado en investigación y desarrollo de películas delgadas en el laboratorio de calidad del agua de la UACM SLT. La investigación aquí reportada servirá de guía a usuarios del equipo y a quienes, en futuros proyectos dentro del laboratorio, se propongan realizar nuevas versiones del potencióstato con diferentes fines.

1.3 Planteamiento y definición del problema

El siguiente trabajo está enfocado al diseño, desarrollo y construcción de un potencióstato, para su uso en un laboratorio de películas delgadas. Por ejemplo, en la electro-depositación química. Dicho potencióstato nos deberá permitir llevar a cabo un control de la diferencia de potencial que se tenga entre dos terminales (celda electro-química) y mantener constante este potencial a pesar de las variaciones en impedancia que se puedan tener entre estas dos terminales (electrodo de referencia y electrodo de trabajo), es decir, a pesar de las reacciones de reducción y oxidación que se tengan en la celda electro-química. Esto se logra por medio de circuitos amplificadores

operacionales como componentes principales del instrumento que se desea construir. Cómo se explica con detalle en la introducción, realizar esto es complicado, porque en dichas reacciones redox, puede haber umbrales de ionización, que al cruzarse modifican por completo la naturaleza de las moléculas del medio entre electrodos, modificando de golpe la conductividad de la celda por varios ordenes de magnitud.

1.4 Objetivos

Los objetivos de esta tesis van más allá del diseño y construcción del instrumento. La investigación teórica que se realiza busca establecer el estado del arte en el área desde una perspectiva de la instrumentación y de la tecnología disponible.

1.4.1 Objetivo general

Mediante la construcción de un potenciostato básico, se busca establecer una base instrumental para que en el laboratorio de Agua de la UACM se realice investigación y desarrollo en diversas aplicaciones tecnológicas de la electroquímica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigación bibliográfica que desde el campo de la instrumentación describa el estado del arte en la investigación y desarrollo de aplicaciones tecnológicas de la electroquímica.
- Diseño de un potenciostato básico, es decir, que funcione con potenciales estáticos y proporcione una precisión media, que sirva de diseño base de futuras adecuaciones para ampliar su gama de aplicaciones.
- Análisis y selección de las diversas configuraciones y tipos de amplificadores operacionales para su mejor desempeño.
- Selección de alguna tarjeta de adquisición de datos o de alguna plataforma de hardware y software libre que nos permita realizar la adquisición de nuestros datos censados en los electrodos.
- Investigación sobre el diseño de un generador de funciones el cual debe cumplir con las especificaciones que estén dentro del rango de operación antes mencionadas en 1.1 , simulación y realización de su PCB (por sus siglas en inglés Printed Circuit Board) placa de circuito impreso.
- Diseño de una fuente de alimentación la cual debe alimentar a todo nuestro sistema, así como también la simulación y realización de su PCB.
- Llevar a cabo el acondicionamiento adecuado de las señales de excitación del potenciostato para que puedan ser adquiridas por nuestra plataforma de software libre (Arduino Uno), dichas señales pueden ser una señal de corriente directa y la otra, una señal periódica de tipo triangular.
- Diseño de un VI (instrumento virtual) en el software LABVIEW, la cual realizará la recopilación de nuestros datos adquiridos para poder llevar a cabo la gráfica de corriente vs voltaje (I vs V), la cual es uno de nuestros principales objetivos, así como también realizar el control del tipo de señal con la cual se va alimentar el potenciostato.
- Construcción del dispositivo diseñado y su evaluación experimental.

2 Preliminares a la electroquímica

En este capítulo se revisan los principales conceptos de la electroquímica. También se revisa el principio de control potencioestático, incluyendo una descripción de los circuitos potencioestáticos básicos, aplicaciones electroquímicas y algunas observaciones sobre los electrodos y el diseño de celdas electroquímicas.

2.1 Introducción a la electroquímica

La electrolisis es un fenómeno en el cual se lleva a cabo una reacción química, donde dicha reacción química es desencadenada a través de la aplicación de un potencial eléctrico, en dicha reacción se llevan a cabo los procesos de oxidación y reducción.

Uno de los campos, es la electroquímica, la cual se dedica al estudio de diferentes procesos y factores, los cuales llegan a afectar al transporte de carga a través de los diferentes tipos de interfaces, las cuales son formadas entre dos fases, dichas fases son generalmente un electrodo y una disolución, la cual este en contacto con él [1].

Puesto que en estos sistemas se estudia el flujo de electrones y corrientes se puede modelar el sistema químico como una serie de impedancias y conectarlas a un circuito eléctrico y así poder observar los cambios que suceden en ella. El potencioestato es el instrumento que nos permite realizar todo esto [2].

2.1.1 Celda electroquímica

Una celda electroquímica es aquella, la cual está conformada por varios conductores llamados electrodos, y cada uno de estos electrodos se encuentra sumergido en una solución adecuada de electrolito. Para que en una celda pueda haber una circulación de corriente eléctrica, es necesario que se cumplan los siguientes términos:

- Que los electrodos se puedan conectar externamente mediante un conductor metálico,
- Que las soluciones de electrolito se encuentren en contacto para así permitir el libre movimiento de los iones de uno a otro.

2.1.2 Conducción de una celda

Básicamente se refiere a que la carga es conducida mediante tres procesos importantes los cuales son:

- En los electrodos de cobre y de zinc, al igual que en el conductor externo, los electrones sirven de portadores, moviéndose desde el zinc a través del conductor hasta el cobre. En nuestro caso se utilizará platino o plata.
- En la solución o electrolito, el flujo de electricidad implica la migración tanto de iones (iones positivos) como de aniones (iones negativos).
- En las superficies de los electrodos ocurre un tercer proceso, el cual, en este caso, ocurre una reacción de oxidación o una reacción de reducción las cuales proporcionan al mecanismo por el cual la conducción iónica de las soluciones se acopla con la conducción electrónica de los electrodos para dar un circuito completo de movimiento de carga.

2.1.3 Celda galvánica y celda electrolítica

Cuando una celda se encuentra en operación de modo que produce energía eléctrica, se le suelen llamar celdas galvánicas. Mientras que, por el contrario, las celdas electrolíticas son aquellas que en modo de operación consume energía eléctrica [3].

Aquella celda en la que se puede llegar a invertir la dirección de la corriente se invierten las reacciones en los electrodos [3].

2.1.4 Cátodo y ánodo de una celda electroquímica

El cátodo de una celda electroquímica es el electrodo en que tiene lugar la reducción, mientras que el ánodo es el electrodo donde ocurre la oxidación.

2.1.5 Electrodo estándar de hidrogeno

Con el objeto de desarrollar un listado útil de semiceldas o potenciales de electrodos relativos, es necesario tener un electrodo de referencia cuidadosamente definido, que sea aceptado por toda la comunidad química. Esta semicelda es el electrodo estándar de hidrogeno (SHE) o el electrodo normal de hidrogeno (NHE).

2.2 El potenciostato

En los años 50's metalúrgicos y fisicoquímicos intentaban aportar algo de luz en un fenómeno electroquímico de importancia industrial. Si se baña un alambre de hierro en una solución de ácido sulfúrico, al instante comenzara a disolverse, se corroe. Si ahora se inserta otro electrodo que no será corroído, como, por ejemplo, platino, y se conecta el electrodo de hierro en el polo negativo (cátodo) de una fuente de corriente, y al alambre de platino al polo positivo (ánodo), la disolución de hierro se llevará en mayor tiempo o incluso se detendrá, en función del voltaje aplicado. Por otro lado, si se conecta el electrodo de hierro en el polo positivo, y se eleva el voltaje desde valores muy bajos a los más altos, la disolución crece exponencialmente con el aumento de la tensión. Sin embargo, por encima de un cierto límite de corriente, (que depende del área del electrodo, la composición del electrolito y la temperatura), se encuentra que la corriente cae de repente a valores muy bajos, y el electrodo de hierro deja de disolverse. Una mejor comprensión del fenómeno solo fue posible después de la invención del potenciostato.

La ruta de investigación, de acuerdo a los métodos electroquímicos, era obtener la curva de tensión corriente, como se muestra en la Figura 1, característica de la disolución del hierro en el electrolito.

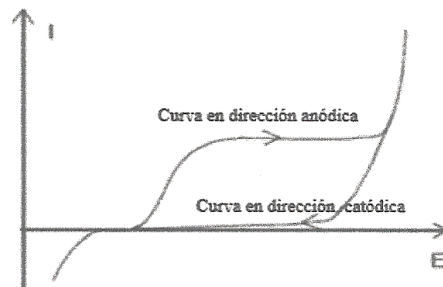


Figura 1. Curva tensión vs corriente.

Sin embargo, se presentó una dificultad: los resultados variaron fuertemente según la dirección de barridos del potencial. Si se controla la corriente utilizando una fuente de corriente adaptada, y mide la tensión entre el electrodo de hierro y un electrodo de referencia, se encuentra que, en función de la dirección elegida para registrar la curva, obtendrá resultados diferentes como se puede ver en la Figura 2, lo cual generó un problema.

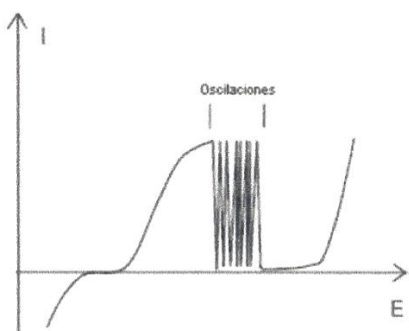


Figura 2. Tensión corriente.

Por otro lado, al controlar el potencial entre el electrodo de referencia y el electrodo de hierro mientras la corriente era medida, producida oscilaciones en un intervalo de algunos cientos de milivoltios.

La razón de estas oscilaciones podría ser explicada porque la corriente en la región activa, es decir donde el hierro cede electrones al oxidarse, es mayor en cinco órdenes de magnitud que en la región pasiva. Una fuente de voltaje con resistencia óhmica baja, con una resistividad de fuente de solo 1Ω , no puede soportar la caída de 5 órdenes de magnitud en la corriente. La fuente con entrada óhmica baja puede producir un desplazamiento de potencial de 100mV cuando la corriente cae de 100mA a $1\mu\text{A}$. Un estado estable no puede ser alcanzado.

De esta manera no fue posible, con fuentes de voltaje manualmente controladas, encontrar la verdadera curva corriente-potencial, que hubiera podido ayudar a clarificar los mecanismos de pasividad. Además, el estado de los amplificadores DC de 1950 que podrían brindar una solución, eran todavía amplificadores de tubo, los cuales además de tener problemas de estabilidad, registraban también errores sistemáticos.

El problema persistió hasta que un joven físico llamado Hans Wenking se unió al grupo electroquímico de Geottingen y se familiarizó con los problemas de los electroquímicos y, analizando los amplificadores disponibles, desarrolló el primer potencióstato que trabajaba como debía. La diferencia de tensión entre una referencia estable del elemento, se forma entre el electrodo de trabajo aterrizado a tierra y un electrodo de referencia. El primer potencióstato construido por Hans Wenking ya mostraba las características que se encuentran hoy en día en un amplificador operacional común de estado sólido. Este principio básico potencióstato se utiliza en muchos instrumentos hoy.

2.3 Películas delgadas

En una gran cantidad de dispositivos tecnológicos avanzados fabricados en la actualidad por cualquier rama de la industria, en algún momento de su construcción requiere de el acoplamiento

sucesivo de pequeñas capas de materiales sólidos de espesores inferiores a una micra (10^{-3} mm), que se conoce como películas delgadas. Estas películas delgadas requieren ser soportadas sobre otros sólidos de mayor grosor y distintas propiedades físicas o químicas que se denominan sustratos. En términos generales las películas delgadas se emplean en dos formas distintas. Por un lado, su uso más simple, para optimizar una o varias de las propiedades de los sustratos a los que recubren o incluso dotarlos de propiedades nuevas. En este caso, nos solemos referir a las películas delgadas con el término “recubrimiento”. La segunda aplicación general es la fabricación de dispositivos con propiedades fisicoquímicas específicas. En este caso lo típico es que el sustrato solo es el soporte estructural por una sucesión estratificada de películas delgadas, para que una película delgada cumpla con su cometido, ya sea empleada como recubrimiento o formando parte de una multicapa estratificada, es necesario que durante su fabricación o “deposito” se tenga control, entre otras, de las siguientes características:

- a) Su grosor, que podrá variar desde una sola capa de átomos ($\approx 10^{-9}$ m), hasta varias micras ($\approx 10^{-6}$ m).
- b) Su composición química con estequiometrias que pueden ser muy complejas y control de impureza que en los casos más exigentes pueden llegar a ser de una parte en varios millones.
- c) Su estructura cristalina amorfa, mono o policristalina, así como su microestructura, orientación, textura, etc.

Estas características determinaran las propiedades de cada capa y por ende del conjunto, como, por ejemplo:

- I. Su naturaleza eléctrica conductor, aislante, semiconductor, piezoeléctrico, etc.
- II. Su comportamiento frente a la luz, como espectros de absorbancia y transmitancia.
- III. Su comportamiento mecánico duro, blando, frágil, tenaz, etc.
- IV. Su comportamiento magnético ferro magnético, anti ferromagnético, paramagnético, etc.
- V. Su comportamiento químico reactivo, inerte, catalítico, sensor, biocompatible, biocida, etc.

Como consecuencia de la delgadez de las películas y de las exigencias anteriores, se precisan para su fabricación reactores y técnicas especiales que se hallan en continua evolución y progreso dado el interés de la industria por desarrollar dispositivos mejorados, aumentar su producción y abaratar su precio. Igualmente, se necesitan instrumentos y técnicas de caracterización muy sofisticados para lograr la determinación precisa de las propiedades requeridas.

Entre los campos tecnológicos en donde se hace en uso extensivo de películas delgadas podemos destacar por su relevancia los siguientes:

- En la fabricación de máquinas, motores y herramientas de corte, para aumentar su dureza y su resistencia a la abrasión, evitar la corrosión y el deterioro térmico de piezas sujetas a desgaste brocas, fresas, rodamientos, engranajes, sierras, pistones, turbinas, etc.
- En la fabricación de componentes ópticos lentes, espejos, filtros, vidrios planos, para mejorar las propiedades de reflexión y transmisión de la luz de los mismos y evitar su corrosión atmosférica.

- En la fabricación de dispositivos electrónicos de estado sólidos transistores, memorias, condensadores, resistores, superconductores, diodos, fotodiodos, etc., que constituyen la base de la electrónica.
- En la construcción de celdas fotovoltaicas y colectores térmicos solares, para el aprovechamiento de la energía solar.

2.4 El potenciostato como instrumento de laboratorio de películas delgadas

El potenciostato es uno de los pocos instrumentos que pueden ser utilizados para sintetizar y caracterizar películas delgadas. Con el potenciostato se pueden depositar películas delgadas en un sustrato conductor. Con el potenciostato se pueden identificar moléculas, medir la masa de la película o construir la curva corriente vs potencial que proporciona información sobre los procesos de oxidación y reducción en la película. Esta versatilidad lo convierte en un instrumento de uso cotidiano en diferentes laboratorios. Es por eso que se ha decidido construir un instrumento propio acorde a las necesidades que aquí se describen.

El dispositivo que aquí se plantea construir será usado en investigación y desarrollo de películas delgadas en campos como:

- Dispositivos electrocrómicos.
- Celdas fotovoltaicas.
- Detectores de gases y
- Biosensores amperométricos.

Dentro de estos temas de investigación, los potenciostatos tienen al menos tres aplicaciones en un laboratorio de películas delgadas:

1.- Dispositivo de síntesis.

Es decir, por medio de una celda electroquímica se deposita una película, como se muestra en la Figura 3. En este caso, como electrodo de trabajo se usa el sustrato sobre el cual se depositará la película, mientras que la materia a depositarse se encuentra en solución dentro del electrolito. Durante la operación del potenciostato, por ejemplo, las reacciones redox hacen crecer las moléculas poliméricas de materiales orgánico-conductores. En el caso de óxidos metálicos (WO_3 , óxido de estaño dopado con flúor, etc.) la película de iones se deposita por atracción de Coulomb.

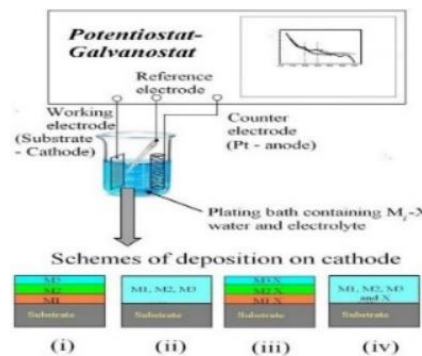


Figura 3. Celda electroquímica aplicada como dispositivo de síntesis.

2.- Dispositivo de caracterización.

En este caso, como se muestra en la Figura 4, el electrodo de trabajo es la película que se quiere caracterizar su comportamiento electroquímico. El potenciostato funciona como un instrumento experimental que proporciona un voltaje conocido para censar la corriente con que responde el sistema estudiado. La información así obtenida proporciona información sobre la respuesta a procesos de oxidación y reducción del material estudiado. Existen múltiples técnicas de caracterización electroquímicas. El dispositivo aquí construido sirve para desarrollar una gama de técnicas en que el voltaje de la celda es un parámetro experimental controlado, mientras que la corriente en la celda es el parámetro que se desea medir. En particular, el dispositivo podrá efectuar la técnica voltamperometría cíclica, descrita en la siguiente sección.

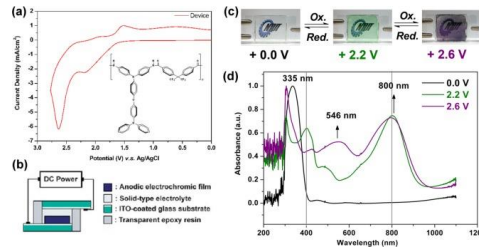


Figura 4. Ejemplo de uso de un potenciostato como técnica de investigación. En la parte izquierda (a) es un ejemplo de un voltamograma cíclico de una película delgada orgánica de uso electrocromico. El voltamograma es obtenido con un potenciostato. En b), c) y d) se muestra el dispositivo construido y sus características ópticas.

3.- Como parte del dispositivo detector.

En este caso, como se puede ver en la Figura 5, el electrolito (solido o líquido) juega el papel del sensor, ya que su conductancia varía según la composición del medio.

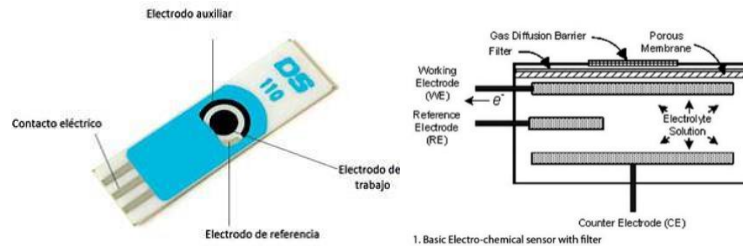


Figura 5. Ejemplos de uso de un potenciostato en a) tarjeta serigrafiada como sensor en un medidor de glucosa y b) un detector de gases, como podría ser una nariz electrónica.

Para las dos primeras aplicaciones existe una amplia gama de potenciostatos comerciales. Estos dispositivos permiten desarrollar múltiples modos de operación para diversas técnicas de síntesis y/o caracterización. Funcionan sobre una amplia gama de condiciones, incluyendo voltajes, corrientes y frecuencias altas. Operan, además, como galvanostatos, es decir dispositivos que mantienen fija la corriente de celda mientras monitorean los cambios en el voltaje (en contraposición con el potenciostato que, básicamente, es un dispositivo que mantiene un control en el voltaje de celda mientras monitorea la corriente). Sin embargo, los potenciostatos comerciales pueden ser sustituidos por diseños económicos si se limita el rango de operación del instrumento, sacrificando algunas aplicaciones. Por otro lado, para un potenciostato dedicado en

un dispositivo detector, se requiere un potenciostato lo más básico posible y enfocado para un reducido rango de variables.

2.5 Voltamperometría cíclica

Este tipo de técnicas voltamperométrica se caracteriza por la aplicación al electrodo de trabajo de una señal de potencial triangular. El potenciostato aplicado va desde un potencial inicial (E_0) hasta un potencial final (E_f), en el cual se produce una inversión en el sentido de barrido, como se muestra en la Figura 6, volviendo a su valor original de E_0 . Este ciclo suele aplicarse varias veces, y los potenciales en los que se da esta inversión de la dirección reciben el nombre de potenciales de inversión.

El intervalo de potencial de inversión para cada experimento es aquel en el que tiene lugar la oxidación o la reducción de uno o varios analíticos. La corriente de celda suministrada por el potenciostato es una variable experimental que no se puede controlar y depende de los procesos de oxidación – reducción en el electrodo de trabajo y la solución electrolítica. El resto de los parámetros experimentales, como números de ciclos o la frecuencia de ciclo, dependen de las características del experimento.

En el estudio de películas delgadas la CV es la técnica más común para el depósito de películas, en cuyo caso el electrodo de trabajo es el substrato sobre el cual crecerá la película. Por otro lado, la CV como técnica de caracterización proporciona información sobre las propiedades electroquímicas de la película que, en este caso, es el electrodo de trabajo. La CV es particularmente útil en el estudio sobre películas, para aplicaciones eléctricas o fotónicas, como pueden ser baterías celdas fotovoltaicas, ventanas inteligentes, etc.

En el estudio de películas delgadas los voltajes de inversión son del orden de un volt. Para el diseño que aquí se presenta, el potenciostato funcionara entre -3 y 3 volts. La frecuencia y el número de ciclos son variables por el usuario.

Algunas aplicaciones de las curvas I-E reversibles son:

- A partir de la altura de la onda se obtiene información acerca del número de electrones, del área del electrodo, del coeficiente de difusión del electrolito, de la concentración de especie electroactiva (bien por calibración o por adición de estándar), y la dimensión crítica del electrodo.
- A partir de la forma de la onda de salida se obtiene información del número de electrones de la reacción redox (que es útil a su vez para el estudio de los mecanismos y cinéticas de los procesos óxido/reducción), y de si el sistema es reversible. A menudo, los voltamperogramas cíclicos revelan la presencia de intermedios en las reacciones de óxido/reducción.

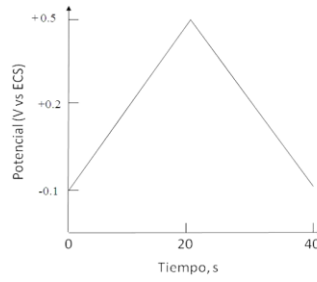


Figura 6. Potencial triangular.

2.6 Voltamogramas cíclicos.

Se conoce como voltamograma cíclico, o simplemente voltamograma, a la forma de representar la onda de salida a que se hace referencia en la sección anterior. Una onda de salida por cada dirección del barrido del potencial. El voltamograma no es otra cosa que una gráfica voltaje contra corriente con la característica de ser una curva cerrada, debido a la forma triangular de la onda de entrada, la Figura 7 se muestra un voltamograma típico.

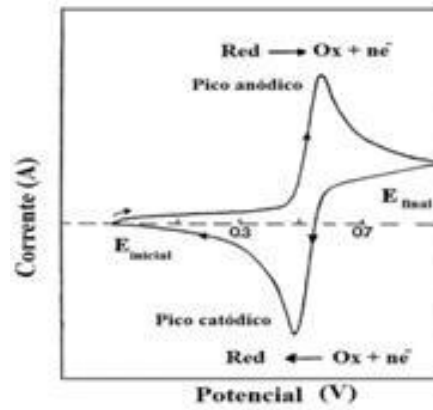


Figura 7. Voltamograma típico.

3 Planteamiento del sistema

En este capítulo se plantea a partir de la investigación realizada como se partirá para la elaboración del potencióstato, teniendo en cuenta el principio básico de funcionamiento de este, y llevando a cabo un diagrama el cual será de gran utilidad

3.1 Principio básico del potencióstato

Los potencióstatos son amplificadores, que se utilizan en celdas electroquímicas, para controlar y mantener constante el voltaje entre dos electrodos, el electrodo de trabajo y el electrodo de referencia. Sin embargo, tan pronto como la corriente pasa por un electrodo, éste se polariza, lo que indica que sufre cambios electroquímicos y su potencial cambia. Por lo cual, no debe pasar corriente por el electrodo de referencia. Para lograr esto, se introduce un tercer electrodo, lo que llamamos electrodo auxiliar o contra electrodo. Una es forzada entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, lo suficientemente alta y en la polaridad correcta para mantener el potencial del electrodo de trabajo en un valor constante con respecto al electrodo de referencia como se muestra en la Figura 8.

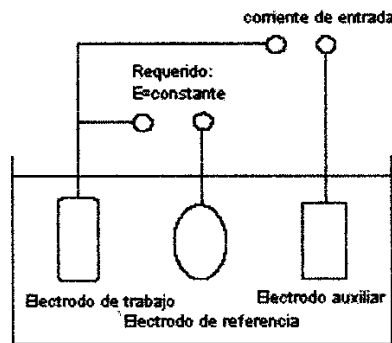


Figura 8. Potencióstato básico.

La corriente de la celda va desde el electrodo auxiliar hacia el electrodo de trabajo. Esta corriente se controla mediante el potencióstato de manera que el potencial real del electrodo de trabajo (por el cual pasa la corriente) en relación con el electrodo de referencia (por el cual no pasa corriente), se mantiene constante a su valor instantáneo con independencia de los procesos electroquímicos.

El potencióstato debe mantenerla relación de entrada y salida de voltaje a pesar de cambios en las características de la carga, por lo que requiere una ganancia muy alta y opera de manera que la diferencia entre la tensión real y la de control (nominal) desaparece sin que ningún ruido o perturbación sea introducido.

Es decir que un potencióstato, en su acción electrónica, es idéntico a un amplificador operacional restador (como se muestra en la Figura 9), cuyo potencial de salida proporciona tensión y corriente en la celda, como parte del bucle de retroalimentación.

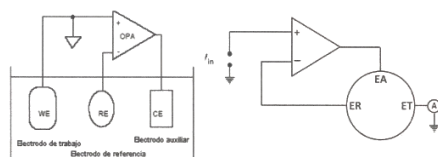


Figura 9. Potenciostato visto como un amplificador restador.

A diferencia de la aplicación habitual de amplificadores operacionales en la que el bucle de retroalimentación es determinado por componentes eléctricos separados, en su uso como potenciostato se incluye una celda electroquímica en el bucle de control, cuya impedancia varía fuertemente con el potencial y el tiempo.

Existe un circuito eléctrico equivalente a la celda, que puede ser sustituido en el bucle de control para poder dimensionar adecuadamente el potenciostato. Sin embargo, la información sobre las características del circuito eléctrico equivalente en el bucle de control es disponible solo después de que se han obtenido resultados experimentales con potencial controlado. Por lo tanto, es importante que el potenciostato proporcione un control lo suficientemente preciso y estable del potencial a través de una gama amplia de corrientes, para poder responder a fuertes variaciones en el circuito de retroalimentación. Y además debe funcionar dentro de un intervalo suficientemente pequeño de tiempo.

Por otro lado, una función extra del potenciostato es proporcionar una medida de la corriente que pasa por el electrodo de trabajo. De esta forma, al controlar el voltaje de celda y medir la corriente de celda, un solo instrumento permite hacer las gráficas de polarización, corriente contra voltaje, de la celda electroquímica. Si bien la corriente que pasa por el electrodo auxiliar es la misma que pasa por el electrodo de trabajo, es en ese último donde ocurren los fenómenos físicos – químicos de interés, por lo cual el sensor de corriente se coloca entre el electrodo de trabajo y tierra.

Desde el punto de vista de la celda electroquímica, el amplificador operacional trabaja como un buffer de corriente eléctrica, es decir, este amplificador suministra la corriente eléctrica entre el electrodo de trabajo ET y el electrodo auxiliar EA, cuando el campo eléctrico a través de la solución es tal, que activa una reacción redox. Los electrones implicados en esta reacción redox los proporciona el amplificador.

3.2 Requerimientos

Las siguientes son las características requeridas del potenciostato que se va a construir:

- Electrodo de titanio u otro metal poco reactivo. No se requiere de un electrodo de referencia estandarizado, ya que solo interesan valores relativos de potencial y las escalas de los experimentos o aplicaciones no requieren limitar el flujo de materia con tubos capilares o membranas semipermeables.
- Baja potencia. A diferencia de potenciostatos usados en estudios metalúrgicos de corrosión, el dispositivo aquí construido, tiene límites en cuanto al voltaje y la corriente que puede suministrarse a la celda. De las tres aplicaciones descritas en el capítulo 2, la que requiere mayor potencia es el dispositivo de síntesis, en este caso, se han tomado como parámetros máximos de trabajo un voltaje de celda de ± 5 V y una corriente de celda de 50mA. Por otra parte, cuando el potenciostato es parte de un dispositivo detector, los

máximos parámetros de operación se encuentran en $\pm 2V$ y 1 mA . Como dispositivo de caracterización, los parámetros de operación varían según el material y la técnica de caracterización. Sin embargo, para efectos de establecer parámetros de operación para el usuario final se han escogido como máximos $\pm 5V$ y 500mA .

- Bajas frecuencias de operación. En algunas aplicaciones se requiere que el potencióstato proporcione un voltaje variable a la celda. Aun en estos casos, las frecuencias máximas usadas son del orden de Hertz. Debido a esto, poca atención habrá que ponerse al ancho de banda de los componentes electrónicos usados.

3.3 Planteamiento del problema.

Para llevar a cabo la realización del potencióstato nos apoyaremos en el siguiente diagrama, el cual se muestra en la Figura 10, el que será de gran ayuda en la elaboración de cada una de sus etapas.

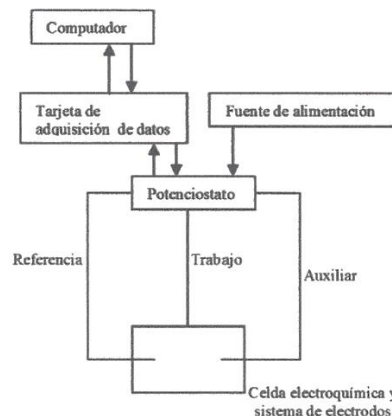


Figura 10. Esquema básico de un potencióstato.

Primeramente, se debe tomar en cuenta el tipo de electrolito que se va a tener, así como un tipo y calibre de electrodos que se van a utilizar, y el acondicionamiento de los electrodos a la celda electroquímica.

Posteriormente se tiene la etapa de hardware, la cual consiste en el acondicionamiento de las señales originales, es decir, de las señales que provienen de la celda electroquímica y que van a ser adquiridas para su posterior control y manipulación. Esta etapa de acondicionamiento consiste en llevar la señal original censada a unos valores normalizados, los cuales puedan ser procesados a través de una tarjeta de adquisición de datos o a través de una plataforma de hardware libre, así como también de tratar de tener unas mediciones lo más puras que se puedan, es decir, quitándole o llevándole a un valor mínimo los valores de ruido y de offset, los cuales puedan alterar nuestras señales originales debido al medio en el que se encuentran o al propio proceso sin olvidar también aquí se va a llevar a cabo el control del voltaje. Esta etapa se llevará a cabo con amplificadores operacionales.

Posteriormente se diseñará la fuente de alimentación, la cual se llevará a cabo como una fuente lineal de corriente directa, la cual será fija a $+12V$ con un rango de corriente máxima de 500mA a

1000mA ya que en la celda no se alcanzan los 0.5Amperes y los otros 0.5 Amperes con la cual se plantea alimentar a todo el prototipo.

Posteriormente, una vez que ya se tiene la señal acondicionada y que se introduce a la tarjeta de adquisición de datos, se llevara a cabo la recolección de las medidas, las cuales se van a mostrar en la PC gráficamente para posteriormente hacer su análisis, en donde se realiza toda la parte de software, es decir, se realizara la programación adecuada para que muestre dichas mediciones gráficamente y su visualización en una tabla de datos.

En la Figura 11 se puede apreciar el diagrama general a considerar para el diseño y construcción del potencióstato, el cual se basa en la idea generalizada de la Figura 10. La Figura 11 consta básicamente de una bloque de alimentación, el cual alimentara a todas las placas que se utilicen, dichas placas serán controladas mediante un módulo de relevadores los cuales se controlaran mediante Labview, es decir, se mandaran señales lógicas (0,1) desde Labview hacia Arduino Uno (el cual toma el papel de tarjeta de adquisición de datos) para activar solamente dos de las tres placas, es decir una placa debe ser la señal de C.D o la señal triangular, y por otra parte la placa en la cual se tienen la medición de la corriente en la celda electrolítica.

Una vez que se tiene el control de la alimentación, se pasa a la adquisición de los datos analógicos mediante Arduino Uno, y una vez que sean adquiridos los valores se le hará su debido acondicionamiento para poderlas visualizar en un gráfico en Labview de cómo son físicamente esas señales analógicas.

Una de las principales variables a medir es la corriente que se consume en el sistema y la otra variable es una de las tres posibles señales de entrada, ya sea de corriente directa, una periódica triangular o de un generador externo.

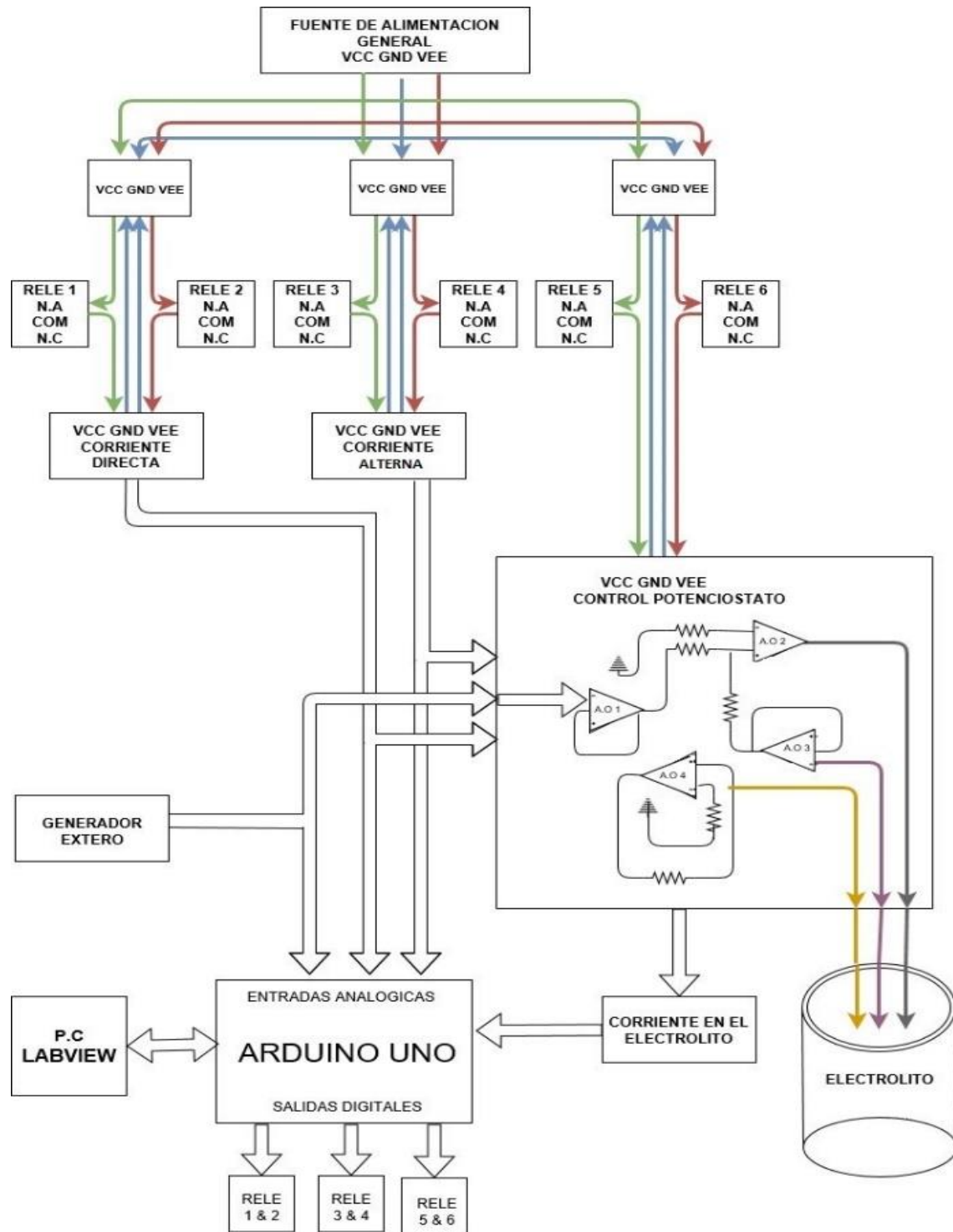


Figura 11. Diagrama general del potenciostato a construir, en donde VCC es el voltaje de +12V, GND es la referencia y VEE es el voltaje -12V.

4 Componentes del sistema

En este capítulo se abordarán conceptos básicos sobre sus principales características, funcionamiento y configuraciones de los componentes que se utilizan para la elaboración del potencióstato.

4.1 Amplificadores operacionales

Los amplificadores operacionales, también llamados OpAmp's por sus siglas en inglés, son elementos de circuitos activos con los cuales se pueden realizar algunas operaciones matemáticas como pueden ser la suma, la resta, la multiplicación, la división, la diferenciación y la integración, los cuales están integrados y constituidos por muy diversas y complejas configuraciones las cuales dependen de sus componentes y de los objetivos del diseño. Tradicionalmente un amplificador operacional está conformado por tres tipos de circuitos y conectados comúnmente en cascada como se muestra en Figura 12, estas etapas son: un amplificador diferencial, un amplificador de voltaje y un amplificador del tipo Push-Pull [4] [5].

En la actualidad se tienen dos tipos de amplificadores operacionales, los que están contruidos con tecnología bipolar y los que están contruidos con tecnología bifet, esta tecnología nos proporciona un mayor rendimiento en comparación con la tecnología bifet, es decir, se puede obtener un mayor ancho de banda, una mayor potencia en la salida, un slew rate más alto, una impedancia de entrada mucho más alta y una corriente de polarización menor la cual es muy importante cuando se tienen medidas muy pequeñas en las entradas de los amplificadores operacionales.

En la etapa diferencial se tiene básicamente los voltajes de entrada con los cuales va a trabajar el amplificador operacional, es decir, va a trabajar con la diferencia de voltaje que se tenga entre estas dos entradas. En la etapa de amplificador de voltaje se trabaja con un amplificador clase A que es que se encarga de darle una ganancia de voltaje adicional o suplementario. Finalmente se tiene la etapa de salida, la cual consiste en un amplificador tipo Push Pull, es decir en términos muy generales que se encuentra constituido por dos transistores una para cada fase, esto con el objetivo de tener una polarización constante independientemente de la señal con la que se esté trabajando.

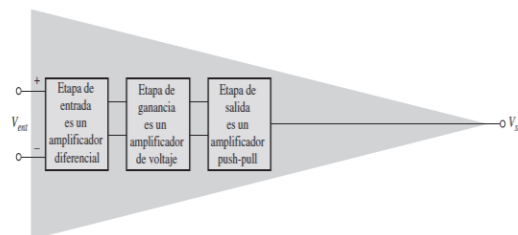


Figura 12. Etapas de un amplificador operacional

En la Figura 13 se puede ver el símbolo esquemático más generalizado de un amplificador operacional, como se observa este consta de dos entradas a las cuales se les denomina entrada

inversora y no inversora, la entrada inversora suele simbolizarse con el signo (-) y la entrada no inversora con el símbolo (+).

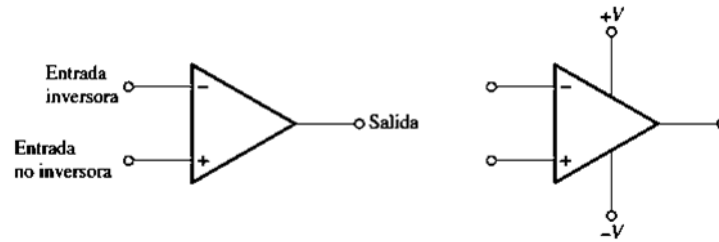


Figura 13. Símbolo esquemático de un amplificador operacional, así como también su alimentación.

Comúnmente a los amplificadores operacionales suelen alimentarse de dos formas: la primera es con una fuente de voltaje de alimentación positivo (+12V), este tipo de alimentación se da solo en algunos amplificadores operacionales con lo cual nos limita un poco el rango de voltajes de salida que se pudiesen tener (solamente se tiene voltajes positivos); y la otra es con una fuente de voltaje bipolar simétrica como se muestra en la Figura 14 ($\pm 12V$), es decir, al tener una alimentación bipolar nos va a permitir obtener en la salida valores los cuales pueden abarcar desde valores positivos a valores negativos dependiendo de las relaciones de voltajes que se tengan en la entrada del amplificador operacional.

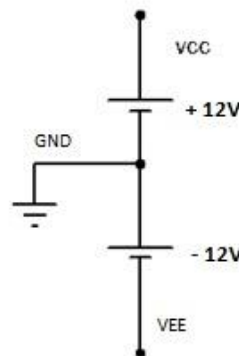


Figura 14. Esquema de fuente de alimentación bipolar.

4.1.1 Modos de la señal de entrada de un opamp

En un amplificador operacional se tienen dos tipos de entradas, como se mencionó en el apartado 3, se tiene una etapa de entrada, esta etapa puede variar de dos modos como se observa en la Figura 15:

- Modo diferencial: en este caso se aplican entradas diferentes al amplificador operacional, por lo que el resultado será la diferencia de estas dos señales de entrada, es decir, en modo diferencial se tiene una mayor flexibilidad en el momento de diseñar con retroalimentación.
- Modo común: en el modo común se da cuando ambas señales de entrada son iguales

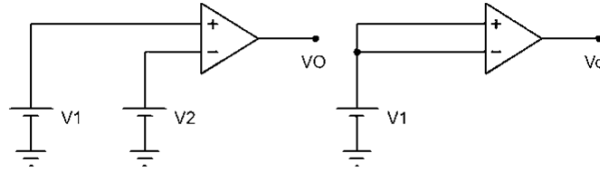


Figura 15. Circuito equivalente en modo diferencial y en modo común.

4.1.2 El amplificador operacional ideal

En el momento en que se habla de un amplificador operacional ideal, se hace referencia a un dispositivo en el cual solamente se involucran su entrada inversora, la no inversora y su salida como se puede observar en la Figura 16, sin importar el cómo está constituido internamente y básicamente va a responder solamente a la diferencia de voltajes que se tenga en su entrada y se multiplicara por una ganancia A_o , entregando un voltaje en la salida.

Para que un amplificador operacional ideal funcione o se comporte como tal, este debe de regirse por las siguientes características las cuales son básicas, como se pueden observar en la Figura 17 y las cuales se enlistan a continuación:

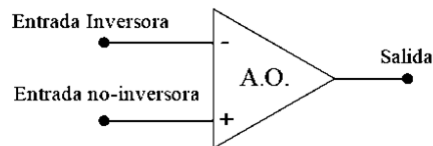


Figura 16. Esquemático del modelo ideal de un amplificador operacional.

- Tener una ganancia en lazo abierto infinita, al tener esta característica de la ganancia infinita hace que el amplificador solo dependa de las entradas y del tipo de retroalimentación, así se tenga un voltaje de entrada muy pequeño o muy cercano a cero.
- Una resistencia de entrada infinita, esta es una característica muy importante ya que así se asegura que no fluya una corriente en las terminales de entrada y que pueda verse afectado en el voltaje de salida.
- Un ancho de banda infinito, lo que se obtiene o se quiere conseguir es que el amplificador pueda operar desde un rango de frecuencias las cuales van desde CC hasta una frecuencia infinita.
- una resistencia de salida cero, esta resistencia con característica de valor nulo nos va asegurar que el opam no se vea afectado por la resistencia de carga.
- un voltaje de offset igual a cero. Básicamente con esta característica lo que se pretende es el de asegurarnos que cuando tengamos un voltaje de entrada de valor cero, ese voltaje de cero se vea también en la salida.

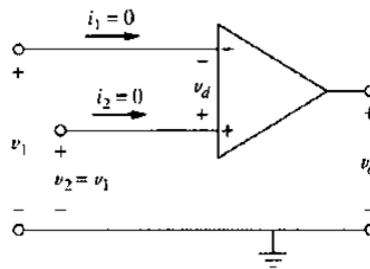


Figura 17. Características de un amplificador operacional ideal.

4.1.3 Configuraciones con amplificador operacional

Ahora después de haber citado algunas de las características de los amplificadores operacionales anteriormente. A continuación, se mostrarán algunos tipos de configuraciones más comunes con amplificadores operacionales, así como sus ecuaciones las cuales caracterizan a dichas configuraciones.

4.1.3.1 Configuración inversora

El amplificador en su configuración como inversor se muestra en la Figura 18. En este circuito, como se puede observar en la entrada inversora se conecta el voltaje de entrada V_i a través de una resistencia R_i y la resistencia R_f que conecta la retroalimentación entre las terminales de la salida V_o y la terminal inversora.

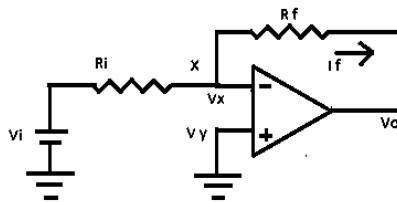


Figura 18. Configuración del amplificador inversor.

En términos de la ganancia nos queda finalmente como:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (4.1)$$

Y en términos de V_o

$$V_O = -\frac{R_f}{R_i} V_i \quad (4.2)$$

La ganancia que se tiene para esta configuración se puede variar mediante los valores de las resistencias R_f y R_i , aunque lo ideal es cambiar mantener fijo el valor de R_i y variar solamente R_f .

4.1.3.2 Configuración no inversora

El amplificador en su configuración no inversora se muestra en la Figura 19. En este circuito el voltaje de entrada V_i es aplicada directamente a la terminal de entrada no inversora del amplificador, por otro lado, el resistor R_1 está conectado entre la tierra y la terminal de entrada inversora. El resistor R_2 está conectado entre la salida y la terminal de entrada inversora.

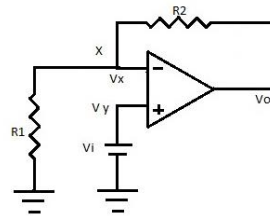


Figura 19. Configuración del amplificador no inversor.

Obtenerlo en términos de V_o , nos queda finalmente:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \quad (4.3)$$

Bien como se observa en la ecuación (4.3) la ganancia nos da un voltaje positivo, y al igual que en la configuración anterior, la ganancia puede ser variada por medio de R_2 .

4.1.3.3 Configuración seguidora de voltaje

El amplificador en su configuración como seguidor de voltaje o buffer se muestra en la Figura 20, el objetivo de dicha configuración consiste en tener una salida idéntica a la señal de entrada, es decir no debe de sufrir alguna alteración en su fase y amplitud.

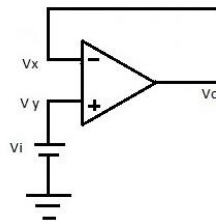


Figura 20. Configuración del amplificador seguidor de voltaje.

dando como resultado:

$$V_o = (1 + 0)V_i \rightarrow V_o = V_i \quad (4.4)$$

4.1.3.4 Configuración sumadora

El amplificador operacional en su configuración como sumador se muestra en la Figura 21, en dicho circuito se puede observar que se puede combinar varias entradas de voltaje y obtener como resultado un solo voltaje, es decir, la suma ponderada de dichas entradas.

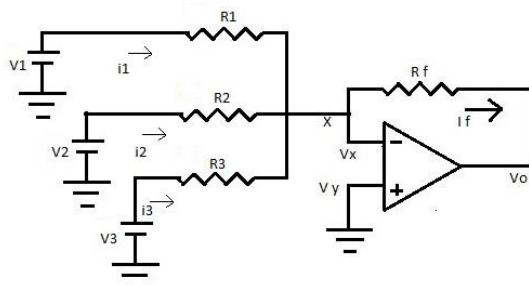


Figura 21. Circuito sumador.

Nos queda de la siguiente manera:

$$V_0 = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 \right) \quad (4.5)$$

Como se puede observar en la ecuación (4.5) el voltaje de salida es una inversión de la suma ponderada de las entradas.

4.1.3.5 Configuración restador o de diferencia

El amplificador en su configuración como restador o diferencia de voltaje se muestra en la Figura 22, en el cual se obtiene a la salida un voltaje que es la diferencia entre ambas entradas de voltaje.

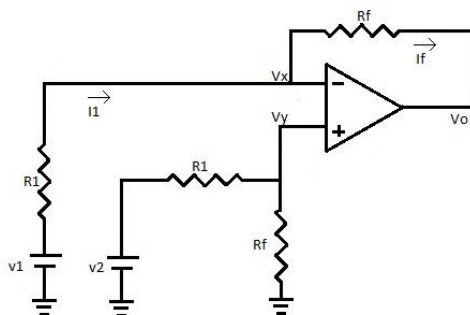


Figura 22. Circuito restador.

Nos queda:

$$V_0 R_1 = (V_2 - V_1) R_f, \quad V_0 = (V_2 - V_1) \frac{R_f}{R_1} \quad (4.6)$$

Pero también se puede hacer que R_f sea igual R_1 , nos queda:

$$V_O = V_2 - V_1 \quad (4.7)$$

4.1.3.6 Configuración convertidor de corriente a voltaje

El amplificador operacional en su configuración como convertidor corriente – tensión se muestra en la Figura 23, en la cual se observa una realimentación negativa.

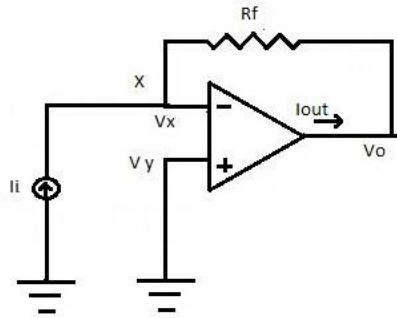


Figura 23. Configuración convertidor corriente – tensión.

Nos queda:

$$V_{OUT} = -I_i R_f \quad (4.8)$$

4.2 Fuente de alimentación

En la mayoría de los circuitos electrónicos se hacen necesarias de una o varias fuentes de energía eléctrica, en forma de tensión continua estabilizada. Las cuales pueden ser utilizadas en la alimentación de equipos electrónicos, ordenadores y sistemas basados en microprocesadores, sistemas de audio y de telecomunicaciones, etc. [6], [7].

Generalmente la tensión de continua se caracteriza por tener un nivel elevado de calidad, es decir, bajo nivel de rizado, posibilidad de la variación de la tensión, estabilidad, etc.

La fuente de energía primaria, en la mayoría de las fuentes de alimentación, suele ser la red de distribución eléctrica, de tensión alterna.

Si la fuente de energía utilizada es la red eléctrica, entonces se tendrá que necesitar convertidores que transforman a la tensión alterna en continua. Esta transformación se lleva a cabo mediante los circuitos rectificadores. Las características de la señal de salida de estos circuitos se mejorarán con la utilización de un filtro adecuado, obteniendo una tensión de salida.

En este capítulo se diseñará la fuente de alimentación a partir de la señal de c.a. pasando por cada una de las etapas necesarias para obtener una corriente continua adecuada para así alimentar al sistema potenciostático.

A continuación, se muestra en la Figura 24 el diagrama de bloques de una fuente de alimentación, la cual parte desde la toma de la red eléctrica de alterna, hasta llegar a tener un voltaje de corriente directa, los cuales se explicarán más adelante con más profundidad.

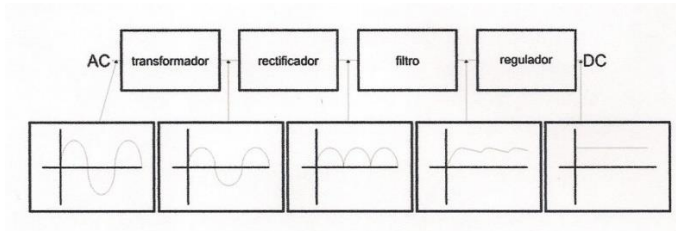


Figura 24. Diagrama de bloques de una fuente de C.D.

4.2.1 Transformador

Un transformador (como se observa en la Figura 25) es básicamente una maquina estática de inducción electromagnética encargada de recibir en su devanado primario la energía eléctrica proveniente de la línea (corriente alterna) y el cual entrega en su devanado secundario una tensión ya sea elevada o reducida con respecto a su devanado primario, dependiendo si el transformador es elevador o reductor. Además de adaptar los niveles de tensión de la red de suministro a los valores requeridos dependiendo las necesidades requeridas, este nos proporciona un aislamiento galvánico entre la tensión de salida y la red eléctrica, es decir, entre el devanado primario y el devanado secundario.

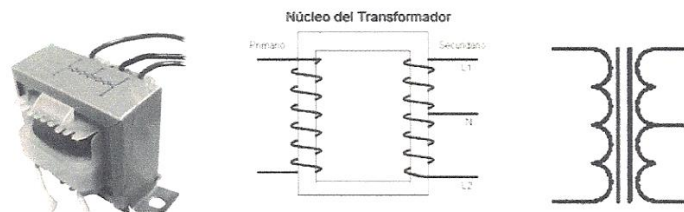


Figura 25. Dibujo de un transformado, su representación eléctrica y su símbolo.

Para la elección de un transformador se debe tomar en cuenta las especificaciones que este debe entregar de acuerdo a las necesidades, como por ejemplo la carga sobre la que se pretende actuar, la corriente que va a consumir dicha carga y su voltaje.

4.2.1.1 Funcionamiento de un transformador

El funcionamiento de un transformador se basa en el fenómeno de inducción electromagnética, produciendo así en el secundario una f.e.m. como consecuencia de la variación de flujo magnético.

La corriente que circula por el arrollamiento primario (el que se encuentra conectado a la red) genera una circulación de corriente magnética por el núcleo del transformador. Esta corriente magnética será más fuerte cuantas más espiras o vueltas tenga el arrollamiento primario, mientras que el arrollamiento secundario ocurre el proceso inverso, la corriente magnética que circula por el núcleo genera una tensión que será tanto mayor cuanto mayor sea el número de espiras del secundario y cuanto mayor sea la corriente magnética que circula por el núcleo (la cual depende del número de espiras del primario).

Por lo tanto, la tensión de salida depende de la tensión de entrada y del número de espiras o arrollamientos en el primario y en el secundario, por lo cual se deduce que:

$$V_1 = V_2 \frac{N_1}{N_2} \quad (4.9)$$

Donde:

- N_1 y N_2 son el número de espiras del devanado primario y secundario respectivamente.
- V_1 y V_2 son el voltaje de entrada del primario y voltaje de salida del secundario respectivamente.

Por el primario y por el secundario pasan corrientes distintas, la relación de dichas corrientes también dependen de la relación de espiras, pero al revés, y la cual se expresa como:

$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} \quad (4.10)$$

4.2.2 Rectificador

La etapa de convertidor de alterna a directa, es la encargada de recibir la tensión que se obtiene en el secundario del transformador, y la convierte en continua pulsante, para así cubrir la necesidad de disponer solamente de una corriente en un solo sentido, para lograr dicho propósito se utilizara un diodo de propósito general ya que este solo permite el flujo de corrientes en un solo sentido.

4.2.2.1 Diodo

Un diodo es un dispositivo no lineal, de dos terminales (como se observa en la Figura 26), el cual está diseñado para que la corriente fluya en un solo sentido, la corriente circula por el terminal denominado ánodo hasta el terminal cátodo.



Figura 26. Símbolo del diodo y su forma física.

4.2.2.2 Aproximaciones del diodo

- Aproximación del diodo ideal: esta es la primera aproximación del diodo. El circuito equivalente es un interruptor cerrado cuando este se encuentra polarizado en directa, y como un interruptor abierto cuando este se encuentra polarizado en inversa, como se muestra en la Figura 27.

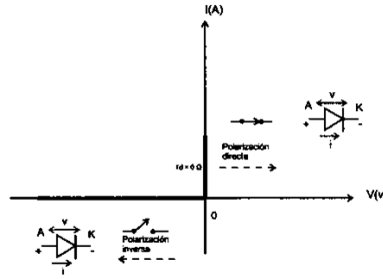


Figura 27. Primera aproximación del diodo.

- Segunda aproximación: en esta aproximación se visualiza un diodo de silicio como un interruptor en serie con una tensión umbral de 0.7V. Si la tensión de Thevenin que ve el diodo es mayor que este valor, el interruptor se cierra como se muestra en la Figura 28.

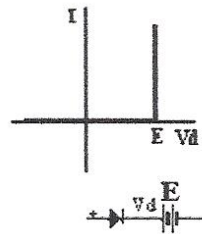


Figura 28. Segunda aproximación del diodo.

- Tercera aproximación del diodo: rara vez se emplea esta aproximación, porque normalmente la resistencia interna es lo suficientemente pequeña y se puede ignorar. En esta aproximación el diodo es equivalente a un interruptor en serie con una tensión umbral y una resistencia en serie como se muestra en la Figura 29.

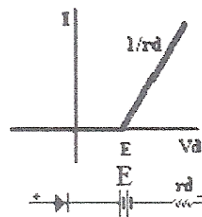


Figura 29. Tercera aproximación del diodo.

4.2.2.3 Rectificación

La rectificación es un proceso por el cual se obtiene corriente y tensión unidireccional, la cual parte de una tensión alterna, para dicho proceso se utilizan los diodos, ya que los mismos conducen corriente en un solo sentido.

En un circuito rectificador es preciso definir lo siguiente:

- La forma de onda de la corriente y la tensión sobre la carga.
- La eficiencia del sistema rectificador, que es la relación de potencia de salida, a la potencia tomada de la fuente.
- El valor máximo o de cresta de la corriente por el diodo.

- El valor máximo de la tensión a través del elemento rectificador en el sentido inverso (tensión de pico o cresta inversa).

4.2.2.4 Rectificador de onda completa

En la Figura 30 se muestra el circuito rectificador de onda completa compuesta por puente de diodos.

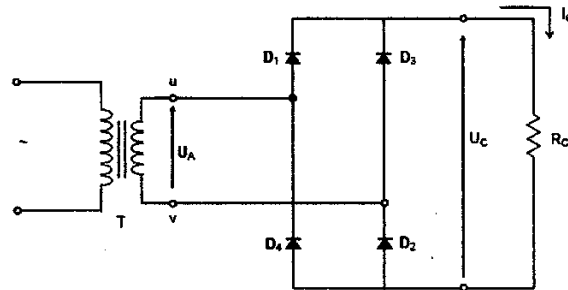


Figura 30. Circuito Rectificador de onda completa con puente de diodos.

Para el semiciclo positivo como se puede ver en la Figura 30, el borne 'U' del secundario del transformador es más positivo que el borne 'V', es decir los diodos 'D1' y 'D2' se encuentran polarizados ambos en directa por lo que están en condiciones de conducción y los diodos 'D3' y 'D4' se encuentran polarizados inversamente por lo que no están en condiciones de conducir o se encuentran bloqueados como se observa en la Figura 31. En el semiciclo positivo la corriente circula saliendo del 'U', pasa por el diodo 'D1' siguiendo por la carga RC y a través del diodo 'D2' para después retornar al transformador por el borne 'V'.

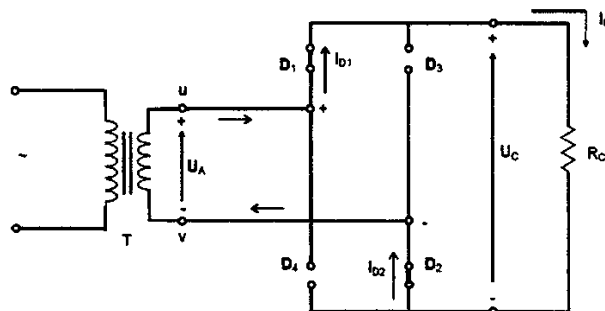


Figura 31. Circuito rectificador de media onda semi ciclo positivo.

Para el semi ciclo negativo observamos de la Figura 30, que el borne 'V' es más positivo que el borne 'U', con el cual el proceso es similar al del semi ciclo positivo, pero los diodos que conducen ahora son 'D3' y 'D4', y los diodos que se encuentran bloqueados ahora son 'D1' y 'D2' dando como resultado el circuito de la Figura 32.

- Zona B: el diodo no conduce, pues la tensión del ánodo, la del secundario, es inferior a la de su cátodo, que es la del condensador. El condensador comienza a descargarse a través de la carga R_c según una exponencial con constante de tiempo $T=R_cC$.
- Zona C: el diodo vuelve a conducir y el condensador se carga otra vez hasta el valor pico a partir de este punto se vuelve a repetir el proceso como se puede observar en la Figura 34.

Como se puede observar en la Figura 33 y en la Figura 34 la carga tiene un voltaje de rizado menor y se va acercando más a la tensión continua que deseamos.

El diodo tiene que abastecer toda la corriente en la zona c, por lo que este debe de estar calculado y diseñado para dar picos de corrientes muy elevados.

También se puede observar que cuanto mayor sea la capacidad C del condensador, mayor será la constante de tiempo T , es decir, que más lentamente caerá la exponencial del diodo y dará como resultado un menor voltaje de rizado.

Para el cálculo del condensador ' C ' se partirá de un método aproximado tomando en cuenta lo siguientes suposiciones: si T es mucho mayor que el periodo T de la tensión de la red, entonces se consideran los tramos de los exponenciales rectos; y, si la exponencial llega hasta el centro de la señal de entrada.

A partir de la Figura 35, se efectuaran los cálculos de C , en dicha figura se puede observar que el voltaje de rizo tiende a una forma similar a la de diente de sierra y que el voltaje de rizado tiene un valor pico – pico V_r y T_2 que son los valores en los que aproximadamente los diodos se encuentran bloqueados o que no están en conducción.

De la figura deducimos que:

$$V_{DC} = V_{LP} - \frac{V_r}{2} \quad (4.11)$$

De acuerdo con la suposición es que los tramos exponenciales se consideran rectos, entonces el condensador se carga con una intensidad constante, por lo que queda:

$$dV = \frac{dQ}{C} = \frac{1}{C} i dt \quad (4.12)$$

Pasando a incrementos finitos,

$$\Delta V = \frac{1}{C} I_{DC} \Delta t, \therefore V_r = \frac{1}{C} I_{DC} T_2, \quad \text{siendo} \quad T_2 = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} \quad (4.13)$$

Sustituyendo T_2 en V_r , y posteriormente en (4.11):

$$V_r = \frac{I_{DC}}{2fC}, \quad V_{DC} = V_{LP} - \frac{I_{DC}}{4fC}$$

(4.14)

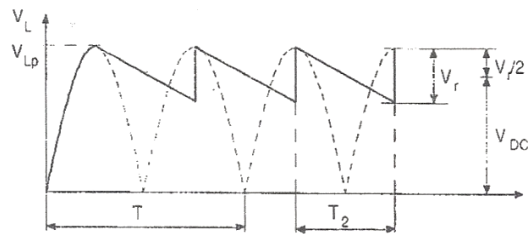


Figura 35. Forma de onda para el cálculo de C.

De la ecuación (4.14) hay que tomar en cuenta que: que el voltaje de rizado V_r , va aumentar proporcionalmente a la corriente que le sea suministrada por la fuente, el voltaje de rizado resulta ser inversamente proporcional al valor de la capacidad.

4.2.3.2 Factor de rizo

Para la relación de factor de rizado R, se tienen la ecuación (4.15).

$$R = \frac{1}{4\sqrt{3}fR_cC} \quad (4.15)$$

Dónde: R es el factor de rizado, f es la frecuencia de la red, R_c es la carga que se alimenta y C es el valor del capacitor

4.2.4 Regulador

Un regulador o estabilizador es un circuito el cual se encarga de reducir el rizado y de proporcionar una tensión de salida de la tensión exacta que queremos.

4.2.4.1 Regulador en serie.

Para la regulación en serie, como se observa en el diagrama de bloques de la Figura 36, una fracción de salida KV_o , es comparada con una tensión de referencia V_{ref} , la diferencia entre ambas es amplificada por el amplificador de error y aplica al bloque de control.

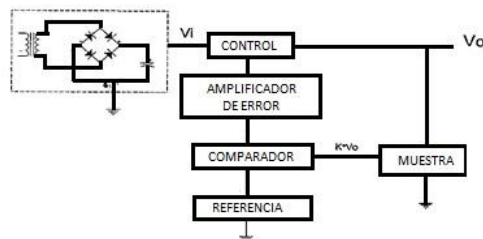


Figura 36. Diagrama de bloques de un regulador.

En la regulación en serie el elemento de control soporta toda la corriente de la carga y está a una diferencia de potencial en extremos igual a la diferencia de potencial entre entrada y salida $V_i - V_o$.

Por lo cual podemos decir que la regulación en serie es apropiada para pequeñas corrientes de carga y/o grandes tensiones de salida.

4.2.4.2 Reguladores integrados de tres terminales

Los reguladores integrados de tres terminales como se pueden observar en la Figura 37 pueden proporcionar corrientes de carga desde 100mA hasta más de 5A. Comúnmente los reguladores que se encuentran en circuitos integrados nos proporcionan voltajes fijos: positivos y negativos y también variables

En una serie de reguladores de tensión fija se tienen tres terminales: entrada, referencia o tierra y salida.

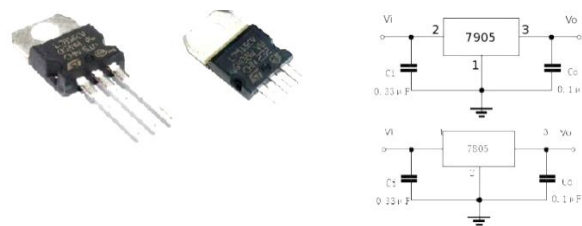


Figura 37. Reguladores integrados L7805 y L7905.

La serie de reguladores 78XX proporcionan tensiones positivas fijas mientras que la serie 79XX lo hace con tensiones negativas, en ambas series los dos últimos dígitos, marcados como XX son los que indican la tensión regulada. Los valores comerciales para los reguladores positivos como negativos son los siguientes: 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18 y 24 volts.

Los reguladores de tensión abarcan una amplia clase de circuitos integrados de amplio uso. Estas unidades contienen los circuitos para la fuente, como se observa en el diagrama de la Figura 36, de referencia, el amplificador de error, el dispositivo de control y la protección de sobrecarga, todo esto se encuentra integrado en un chip de circuito integrado.

4.3 Amplificador push - pull

En la Figura 38 se muestra un amplificador de potencia el cual está constituido por un par de transistores. Un transistor pnp y otro npn, en la cual la entrada de la señal es común o llega a la base de ambos transistores, en otras palabras, cuando se tiene un voltaje, pero se requiere de una mayor capacidad de corriente se utiliza este tipo de amplificador de potencia, denominado Push Pull [5].

Una salida configurada como Push – Pull es un tipo de circuito el cual puede impulsar una corriente eléctrica ya sea positiva o negativa sobre la carga según lo requiera.

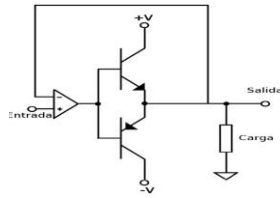


Figura 38. Configuración de un amplificador de potencia.

4.3.1 El transistor

El transistor es un dispositivo electrónico el cual consta de tres capas internas de semiconductores así como de terminales, dos capas de material tipo N y una capa intermedia de material tipo P, a esta configuración se le llama NPN; así como también se tienen semiconductores con dos capas de material P y una capa de material N, a esta configuración se le llama PNP, como se muestra en la Figura 39.

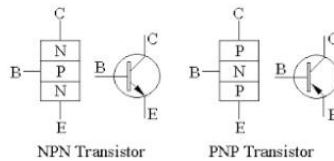


Figura 39. Tipos de transistores.

Como se observa estos constan de tres terminales como se mencionan a continuación base: de las tres capas esta es la más delgada con la capa de emisor y colector, así como también esta capa es la que está menos dopada por lo que su conductividad es baja, por lo tanto, hay menor cantidad de portadores de carga libre. Colector: esta capa es la más grande con respecto a la del emisor y base, y por lo tanto esta ligeramente menos dopada que la del emisor, su función básicamente es la de recolectar los portadores mayoritarios que salen de la capa de emisor y por lo tanto como este concentra una mayor área es aquí donde se disipa la mayor parte de la potencia. Emisor: en esta capa la dimensión es mayor que la base, así como también es la que se encuentra mayormente dopada.

4.3.1.1 Configuración push pull

Como ya se ha mencionado anteriormente esta configuración se basa en dos en dos transistores uno NPN y otro PNP de las mismas características ambos, como se observa en la Figura 40.

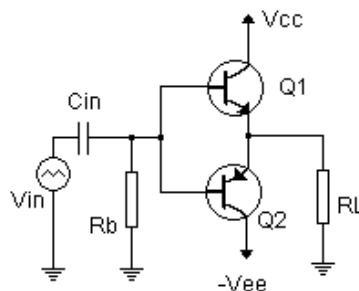


Figura 40. Configuración Push – Pull.

Como se observa la entrada es común a la base de los transistores Q1 y Q2, donde Q1 y Q2 trabajaran en diferentes semiciclos, es decir, Q1 estará polarizado en directa para los semiciclos positivos de la señal de entrada y a su vez por RL para los semiciclos negativos Q1 se pone en corte dando lugar a que el transistor Q2 se quede polarizado en directa para los semiciclos negativos de la señal de entrada y Q2 nuevamente se queda en corte para el semiciclo positivo de señal de entrada.

4.4 Microcontrolador pic16f887

El pic16f887 es un microcontrolador encapsulado en un circuito integrado como se muestra en la Figura 41, el cual es programable y que tiene todos los componentes de un computador. Un microcontrolador es un computador dedicado, es decir, que internamente en su memoria solo reside un programa el cual va a ser destinado a gobernar una aplicación determinada.

Un microcontrolador tiene además las capacidades de procesamiento, almacenamiento de datos e instrucciones (memoria) y la de comunicación con el entorno (E/S) todo integrado en un solo chip, además de que normalmente los microprocesadores tienen la arquitectura clásica de Von Neumann, mientras que un microcontrolador tiene una arquitectura Harvard, es decir, que en un microcontrolador tiene la unidad central de proceso (CPU) conectada a dos memorias una memoria de instrucciones y otra memoria de datos por medio de diferentes buses.



Figura 41. PIC16F887 y su patillaje.

4.4.1 Elementos de un microprocesador

- Memoria: para poder manejar la memoria debemos indicar la localidad mediante una dirección (direccionamiento) y así poder mandar o recibir los datos que se deseen leer o escribir solamente basta poner un 1 o un 0 en la línea de lectura escritura (R/W).
- CPU: el CPU es el que se encarga de llevar a cabo las operaciones aritméticas lógicas a partir de unas pocas localidades de memoria para tal fin a las cuales se les llama registros. En estos registros se almacenan los datos a procesar por la unidad aritmética – lógica (ALU) así como los resultados todo esto se lleva a cabo mediante un bus de datos este bus sirve para transmitir direcciones entre el CPU y la memoria, depende del ancho de los datos, que normalmente son de 8 bits.
- Bus: el microcontrolador cuenta con dos tipos de buses uno de datos y otro de direcciones (físicamente 8 o 16 cables o pistas conductoras), en donde el número de pistas del bus de direcciones depende de la capacidad de memoria del microcontrolador y el bus depende del ancho de los datos (normalmente 8 bits).

- Entradas y salidas: las localidades mencionadas anteriormente se llaman pines y pueden ser de diferente tipo de entrada, de salida o bidireccionales. El puerto es manejado como si fuese una localidad de memoria, se mandan o reciben datos a través de los pines del microcontrolador.
- Comunicación serial: aquí el microcontrolador trabaja en modo full dúplex con un protocolo serial NRZ (non – return to zero), el cual requiere de tres líneas de transmisión.
- Temporizador: este otro bloque es para manejar el tiempo, la unidad básica del timer es un contador de carrera libre el cual se incrementa a diferentes intervalos.
- Perro guardián (watch-dog): este nos permite reiniciar el microcontrolador y que de igual manera puede ser un contador de carrera libre ya que este escribe un cero cada vez que se realiza con éxito un programa y cuando dicho programa se atasca este no puede escribir un cero por lo cual el guardián reinicia el microcontrolador.
- Convertidor analógico – digita: este bloque se encarga de convertir una señal analógica que en ocasiones es proveniente de sensores a una señal digital la cual es comprendida por el CPU del microcontrolador.

4.4.2 Características del pic16f887

El PIC16f887 es un producto de la compañía Microchip, por su bajo precio y amplio rango de aplicaciones es una buena opción para aplicarlo en el control de diferentes procesos aplicados en la industria, para medir variables de procesos, en dispositivos de control de máquinas, etc.

Algunas de sus características principales son las siguientes: cuenta con 35 instrucciones diferentes, frecuencia de operación de 0 a 20 MHz, oscilador interno de alta precisión, voltaje de alimentación de 2.2 a 5.5 V, consumo de corriente de 50nA (en modo de espera) a 220 nA (a 4MHz), 35 pines de entrada/salida, memoria ROM de 8K, soporta comunicaciones seriales, módulo PWM incorporado, referencia de voltaje fija y programable, temporizador perro guardián, dos comparadores analógicos, tres temporizadores/contadores independientes, resolución de 10 bits, 368 bytes de memoria RAM, 256 bytes de memoria EEPROM y los datos se pueden grabar más de 1, 000, 000 de veces.

4.5 Displays lcd

LCD que son las siglas en ingles de “liquid Cristal display” que significa pantalla de cristal liquida como se muestra en la Figura 42, son utilizadas para mostrar mensajes que nos puede indicar el estado de una máquina, mostrar valores de algún sensor, para dar alguna instrucción, y así tener una comunicación entre maquina/humano.

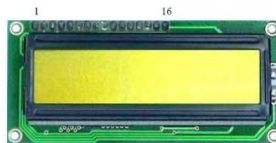


Figura 42. LCD 16 X 2.

4.5.1 Pines de lcd de 16 x 2

Las LCD constan de una pantalla con una matriz de caracteres de 16 x 2. en la Figura 43 se puede observar la estructura de sus pines los cuales se pueden dividir en pines de alimentación, pines de

control y los pines de bus de datos bidireccional, así como también se encuentran los pines de ánodo y cátodo de led.

- Pines de alimentación:
VSS: GND
VDD: +5v
VEE: este pin corresponde al contraste de la LCD que normalmente se regula mediante un potenciómetro de 10K.
- Pines de control:
RS: pin de selección del registro de control de datos (0) o para registro de datos (1).
RW: correspondiente a la escritura /lectura, 0 para establecer una escritura y 1 para establecer una lectura, es decir, que nos permite escribir un dato o leer un dato desde la pantalla.
E: pin de Enable o de habilitación, si E toma el valor de 0 esto quiere decir que la LCD no está activado para escribir algún tipo de dato, pero si E toma el valor de 1 esto nos permite escribir o leer desde el LCD.
- Pines de bus de datos: el bus de datos comprende desde el pin D0 a D7. Para poder realizar la comunicación con la LCD podemos hacerlo utilizando todos los bits del bus de datos o solamente emplear los 4 bits más significativos del bus de datos, es decir, del D4 al D7.

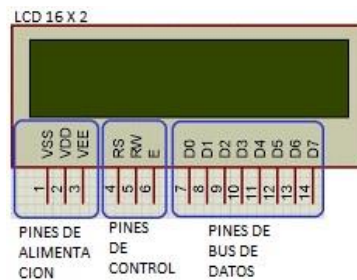


Figura 43. Pines de LCD 16X2.

Para poder visualizar los símbolos o caracteres en una LCD es necesario contar con una librería, la cual es necesario incluir a la hora de la elaboración del código fuente en C. La librería más común es la "LCD.C", una vez que se tiene esta librería principal se puede encontrar todas las demás estructuras necesarias que nos permiten utilizar la LCD. Dichas librerías extras son:

- Lcd_init: inicializa la LCD.
- Lcd_gotoxy: establece la posición del puntero de la lcd.
- Lcd_putc: imprime un dato en la posición establecida en la instrucción lcd_gotoxy.
- Lcd_getc: establece el carácter en la posición establecida originalmente en lcd_gotoxy.

4.6 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre con microcontrolador Atmel como se muestra en la Figura 44 , es decir que su diseño y distribución pueden usarse libremente para el diseño o desarrollo de cualquier tipo de proyecto, sin necesidad de adquirir una licencia [8].

En la placa Arduino es donde se pueden conectar las entradas y salidas de nuestros sensores y actuadores, así como nuestra comunicación vía USB con una PC.

Alguna de sus especificaciones importantes son: controlador Atmega 328, voltaje operativo de 5V, voltaje de entrada recomendado (7 a 12 V), voltaje de entrada limite (de 6 a 20 V), pines digitales E/S 14 de los cuales 6 proporcionan PWM, 6 pines de entrada analógica, corriente continua de 40Ma para pines de E/S, una corriente continua de 50mA para pines de 3.3V, memoria flash de 32 KB, una EEPROM de 1KB y una velocidad de reloj de 16MHz.

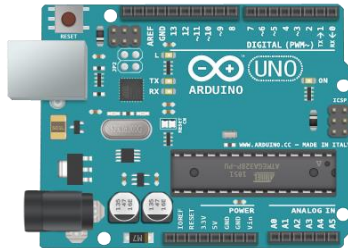


Figura 44. Placa Arduino uno.

4.6.1 Elementos de Arduino uno

En la Figura 45 se observan los componentes más importantes de una placa Arduino Uno los cuales se describen a continuación:

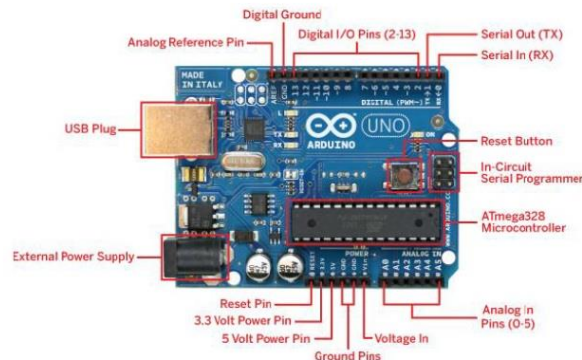


Figura 45. Componentes de placa Arduino Uno.

- Referencia de pines analógicos: es la tensión de referencia para las entradas analógicas la cual suele utilizarse con la función `analogReference()`.
- Pin de tierra: masa general para pines, es decir, la referencia es de 0V.
- Pines de E/S (2-23): en todos estos pines se conectan los datos de los sensores o actuadores de los cuales se puede leer la información de un sensor o la activación de algún actuador.
- Conector USB: conector USB tipo B hembra, por consiguiente, ocupa un cable USB tipo A macho, la placa se alimenta con la tensión de 5V que es la que se proporciona con el bus USB. Cuando se carga un programa en la placa desde el software de Arduino este se realizará del ordenador por el bus.
- Botón reset: con este botón de reset se puede reiniciar la ejecución del código del microcontrolador.

- ICSP: este conector es utilizado en los dispositivos pic para así programarlos sin tener la necesidad de retirar el chip del circuito del que forma parte.
- Microcontrolador Atmega 328: este es uno de los elementos más importantes de la placa, es decir, pues aquí se instalará y ejecutará el código que se haya diseñado. Este microcontrolador contiene 14 pines digitales como entrada y salida, 6 pines analógicos los cuales están conectados directamente a los pines de la placa
- Fuente de alimentación externa: se puede alimentar a la placa con una fuente de corriente continua la cual es suministrada por el conector Jack de 3.5 mm que podrá recibir entre 7 y 20 V.
- Pin de reset: se puede imitar el botón de reset suministrando un valor bajo (0V) para reiniciar el controlador.
- Pin de 3.3V: se puede suministrar 3.3V a dispositivos en los cuales sea necesario esta alimentación con una corriente de 50mA.
- Pin de 5V: se suministra 5V del regulador de la placa.
- Pin de Vin: es el voltaje que se tiene de entrada cuando se está administrando una alimentación externa, se puede proporcionar voltaje a la placa por medio de este pin.
- Pines analógicos: se tienen 6 pines de entrada analógica.

4.7 Labview

Labview por sus siglas en inglés (Laboratory virtual instrument engineering workbench) este es un lenguaje de programación gráfico el cual está enfocado al diseño de adquisición de datos, la instrumentación y el control. Este lenguaje de programación permite diseñar una interface con el usuario por medio de una consola interactiva basada en software. Labview se aplica comúnmente en sistemas de medición, en el monitoreo de procesos, así como su control e interpretación de sus variaciones o resultados esperados [9], [10].

4.7.1 Instrumento virtual

Un instrumento virtual es básicamente la simulación virtual por medio de un módulo el cual da la apariencia de un panel frontal como si fuese un instrumento de medición real, como, por ejemplo, un osciloscopio o un multímetro, en la Figura 46 se muestra un multímetro físico digital y un multímetro como el diseño final de un instrumento virtual.

Para la funcionalidad de un instrumento virtual, se requiere de los recursos de hardware los cuales se puede acceder por medio de un ordenador, estos recursos son tarjetas de adquisición, tarjetas DSP, instrumentos vía rs-232, USB, Ethernet, para así poder realizar mediciones como se haría con un aparato de medición real. Labview cuenta con una amplia gama de herramientas para llevar a cabo dicha adquisición o medición, análisis, despliegue y almacenamiento de datos; los cuales se visualizarán en la pantalla de un ordenador y así este pueda interactuar como lo haría físicamente.



Figura 46. Instrumento analógico y virtual (VI).

Para la realización de un VI, se tienen dos ventanas, como se ilustra en la Figura 47 :

- Panel frontal: también suele llamarse interface de usuario y se construye por medio de una librería en la cual se encontrarán diferentes tipos de controles e indicadores. Los controles son textos, botones de acción, interruptores entre otros dispositivos de entrada y los indicadores se visualizan como gráficos, LED'S, objetos en los cuales se puede mostrar texto o números.

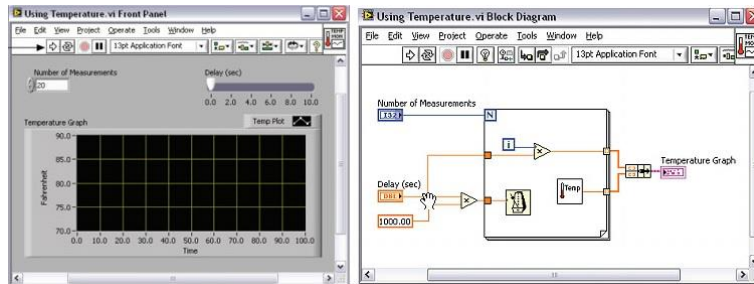


Figura 47. Panel frontal y diagrama de bloques.

- Diagrama de bloques: como se observa en la Figura 47, este contiene un código fuente el cual es gráfico, como ya se había mencionado anteriormente, los objetos que se encuentran en el panel frontal se van a aparecer como terminales En el diagrama de bloques. Aquí también se van a encontrar una amplia gama de funciones y estructuras las cuales se encuentran incorporadas en las bibliotecas de Labview para poder complementar nuestro diseño, en otras palabras, haciendo una analogía con una placa de circuito impreso, en donde los componentes del panel frontal se cablean a bloques funcionales (circuitos integrados en la placa) los cuales se interconectan para poder visualizar una salida.

4.8 Arduino y Labview

Al tener una comunicación entre Arduino y Labview, como se observa en la Figura 48, es decir, poder observar mediante el panel frontal de Labview y modificar o realizar un acondicionamiento extra a las variables que se están procesando desde el diagrama de bloques.

Arduino en este caso se puede utilizar como si fuese una tarjeta de adquisición de datos haciendo un análogo con una de las tarjetas de NI y Labview el software en el cual realizaremos toda la programación para el procesamiento de dichas señales que entren a Arduino.

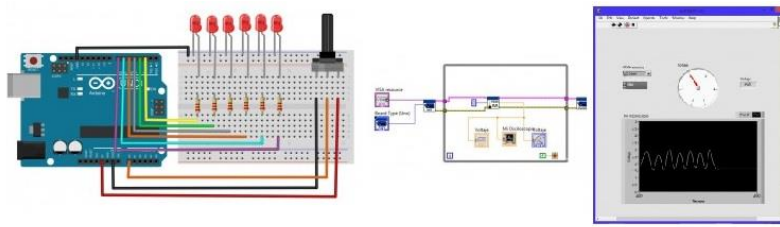


Figura 48. Interacción entre Arduino y Labview.

4.8.1 Complementos para Labview y Arduino

- LIFA. Es la interface de Labview para Arduino es una herramienta gratuita y desarrollada por National Instrument la cual es gratuita y que se puede descargar desde la página de NI (National Instrument). Lifa es un conjunto de herramientas el cual permite adquirir los datos desde el microcontrolador Arduino y posteriormente procesarlo en Labview. Para sketch de Lifa es necesario instalar VI Package Manager el cual es el encargado de administrar de los contenidos y descargas de las librerías y diversos toolkits para Labview. Una vez que se tiene instalado VI Package Manager se carga a la tarjeta Arduino Uno para así poder manipular desde Labview, dicha librería se encuentra en donde fue instalado Labview con el nombre de “LIFA_base.ino”, procedemos a cargar el Sketch a nuestro Arduino, una vez ejecutado y checando que este no tiene errores se procede a cargar lista para ser usado.
- NI VISA: así como la paquetería para descargar VI Package de igual manera es gratuita, y se descarga desde el sitio NI. Esta paquetería nos sirve para para así trabajar y poder habilitar los puertos e interfaces de comunicación desde Labview.

4.8.2 Algunas funciones básicas de Labview para Arduino

Una vez que se ha instalado los paquetes necesarios para interactuar entre Labview y Arduino, a continuación, se visualizara algunas de las funciones (Figura 49) que se añadieron a las librerías Labview.

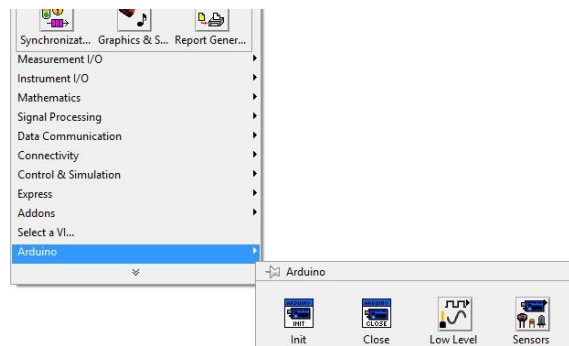


Figura 49. Función de Arduino.

4.8.2.1 Función “Arduino init” (función de inicio de Arduino).

Esta función nos permite inicializar y abrir las conexiones como se muestra en la Figura 50, así como configurar algunos de los parámetros para la correcta ejecución de Arduino como son:

puerto de comunicación, velocidad de transmisión, tipo de tarjeta Arduino a trabajar, número de bits de los paquetes de comunicación, tipo de puerto de comunicación.

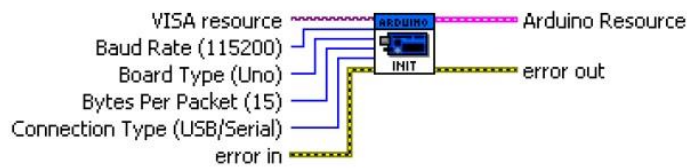


Figura 50. Bloque de Inicialización de Arduino.

4.8.2.2 Función "analog read pin" (función de pin de lectura analógico).

En este bloque, como se muestra en la Figura 51, se selecciona el canal que se desea leer como pin de entrada analógica y en su salida se tiene un valor correspondiente a la lectura de entrada.



Figura 51. Analog Read Pin.

4.8.2.3 Función "arduino close" (función de fin de Arduino).

Este bloque, como se muestra en la Figura 52, se utiliza para cerrar la comunicación entre Arduino, hay que recordar que las terminales de "Arduino Resource" y "Error in" son los buses de conexión entre cada bloque que se use de Arduino.

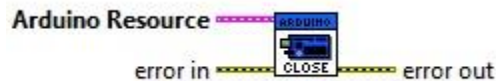


Figura 52. Bloque de Arduino Close.

4.9 Generador de funciones

Básicamente un generador de funciones tiene un número muy grande de aplicaciones ya que es considerado de uso general. El ICL8038 como se muestra en la Figura 53 es un generador de onda capaz de producir una señal sinusoidal, cuadrada y triangular con pocos componentes externos.

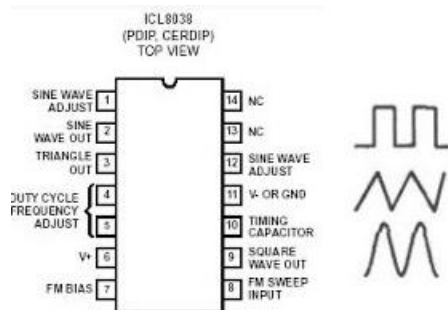


Figura 53. Circuito integrado icl8030 y sus formas de onda de salida.

4.9.1 Componentes principales externos

A continuación, se hace un listado de los componentes externos que se utilizan para la generación de una onda triangular como se muestra en la Figura 54, así como la adaptación para la realización de la placa pcb.

- Alimentación del circuito integrado ICL8038 con un voltaje de + - 12V.
- Alimentación de amplificador operacional TL082 de + - 12V.
- El ajuste de frecuencia se lleva a cabo por medio de un potenciómetro de 10K Ω (AJ FRECUENCIA) este ajuste es el ajuste fine de la frecuencia, ya que, el rango de dichas frecuencias esta dado por los capacitores C2, C3 y C4.
- El Control de la amplitud se lleva cabo con un selector de un divisor de tensión como selector de 2 niveles diferentes que posteriormente será ajusta de manera más precisa con un potenciómetro de 50K Ω (AJ VOLTAJE).
- El Ajuste de distorsión, la cual se presenta cuando se lleva el diseño a una placa PCB se calibra mediante dos potenciómetros de 100K Ω (DIS_1 y DIS_2).
- Simetría de la señal, esta es causada por la tolerancia que tienen los componentes, y se disminuye con un potenciómetro de 1K Ω (SIMETRIA).
- Tensión de offset la cual es ajustada mediante un potenciómetro de 10K Ω (OFFSET).

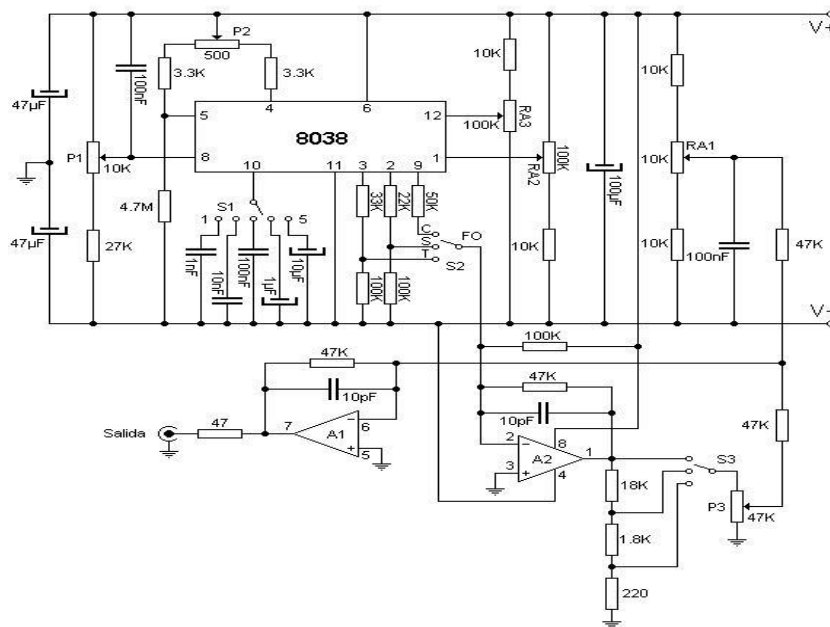


Figura 54. Diagrama de generador de onda ICL8030 y sus componentes externos.

4.10 Relevadores o relays

Un relé o relevador, como se muestra en la Figura 55, es un componente de tipo electromagnético, el cual funciona como un interruptor controlado por medio de un circuito eléctrico en el que por medio de una bobina y de un electroimán se permite accionar un contacto que permite abrir o cerrar circuitos eléctricos independientes con la finalidad de controlar un circuito eléctrico el cual puede ser de mayor potencia que el de entrada. El relevador se puede

activar o desactivar dependiendo del tipo de conexión que se tenga, es decir, si este está conectado en el borne de normalmente abierto o en el borne de normalmente cerrado.



Figura 55. Relevador o relé de un polo dos tiros.

4.10.1 Esquemático de un relevador básico

En la Figura 56. Se puede observar las principales partes de las cuales consta un relé o relevador básico de un polo dos tiros.

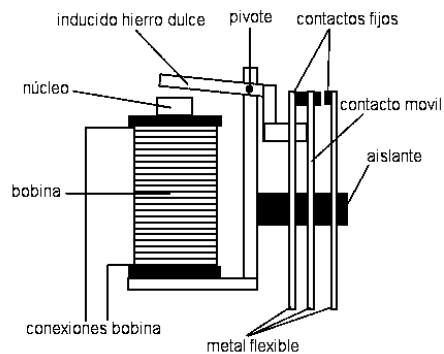


Figura 56. Partes principales de un relevador.

- Bobina: este es un arrollamiento de cable de cobre y que está compuesto por un gran número de espiras y que al aplicarle tensión genera un campo magnético.
- Núcleo: esta es una parte metálica, el cual está constituido de un material ferromagnético el cual se encuentra fijo en la carcasa. Una de sus principales funciones es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina (colocada en la columna central del núcleo).
- Contactos: estos son elementos conductores el cual su principal función es el de establecer o interrumpir el paso de corriente en cuanto la bobina se encuentre energizada. El contacto en general está compuesto por tres elementos dos partes fijas y una móvil la cual se encuentra colocada en la armadura para poder establecer o interrumpir el paso de la corriente entre las partes fijas.
- Armadura o inducido de hierro dulce: es el elemento móvil cuya construcción es muy similar a la del núcleo, pero con la diferencia de que esta no tiene espiras, su función es cerrar el circuito magnético una vez que se encuentra energizada la bobina, ya que esta debe de estar separada del núcleo.

4.10.2 Principales características de los módulos de relevadores

El circuito básico de cada módulo de un solo relevador es el que se muestra en la Figura 57. Para el módulo de 4 relevadores se tiene que constan de las siguientes características:

- Se tienen cuatro canales cada uno independiente y protegidos individualmente con opto acopladores.
- Consta de cuatro relevadores de cada uno de un polo dos tiros.
- Se tiene un voltaje de activación en las bobinas de cada relé de 5V.
- Cada relevador consta de un led indicador de estado.

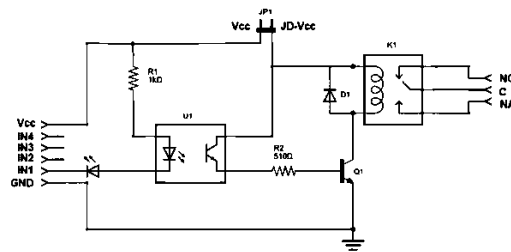


Figura 57. Esquema básico de un solo módulo de rele.

5 Diseño, simulación y construcción

Para la realización de la simulación de nuestro sistema en general se tomaron varios aspectos: el amplificador operacional a trabajar, el tratamiento de la señal para poder adquirir la señal a una tarjeta de adquisición de datos; de la realizada investigación se tomó a los electrodos de trabajo de referencia y el electrodo auxiliar como resistencias variables, es decir como potenciómetros los cuales nos simulan la resistencia que varía cuando estos tres electrodos se encuentran en el electrolito. A partir de la simulación se procederá a realizar los diseños de los circuitos impresos de cada una de nuestros diseños simulados, para así finalmente realizar pruebas con las pcb's hechas y realizar nuestros experimentos finales.

5.1 Circuito de simulación de potencióstato

El amplificador operacional que se utilizara para la simulación del potencióstato es el TL081 de propósito general, como se muestra en la Figura 58, de las cuales tienes las características básicas para las configuraciones y necesidades de este proyecto, además de que es de bajo costo. Algunas de sus características son:

- Encapsulado dip con 8 pines y con 1 amplificador operacional.
- Tiene un amplio rango de alimentación de voltaje de $\pm 18V$.
- Un bajo consumo de potencia.
- Ancho de banda de 3MHz.
- Alto slew rate $13V/\mu s$.
- Impedancia de entrada alta.
- Corriente de polarización y de offset bajas.
- Entradas de ajuste de offset.
- Salida protegida contra corto circuito.

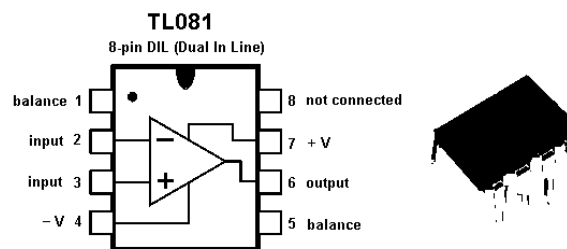


Figura 58. Patillaje de C.I TL081 y encapsulado físico.

Para llevar a cabo la simulación se alimentó a los amplificadores operacionales con 12V y así poder analizar su comportamiento para posteriormente tomar una decisión a la hora de llevar a cabo la implementación física. En lo que respecta al sistema de tres electrodos este se simulara como una resistencia variable, ya que su comportamiento es como una resistencia variable la cual depende del electrolito en el que se encuentren estos electrodos.

El valor que se toma para los potenciómetros es alrededor de 150K Ω y que al simularse dan como resultado los siguientes resultados los cuales se mostraran por medio de imágenes tomadas en diferentes lapsos de la simulación.

En la simulación del potencióstato se llevó a cabo mediante el diagrama que se muestra en la Figura 59, en el cual se observará el comportamiento de nuestro sistema a una impedancia entre los electrodos con un valor aproximado de 300 K Ω (donde RV2 y RV3 toman el papel de los electrodos), valor aproximadamente muy alto de impedancia que se puede llegar a esperar en las terminales de los electrodos, y con una alimentación general de $\pm 12V$; así, como el barrido de voltaje de corriente directa, es decir, se realiza la prueba con los valores críticos de -5V, 0V, y +5V mediante el potenciómetro RV1.

El voltaje que se visualiza en V1 es el voltaje que entra al electrolito proveniente de RV1 y el voltaje V2 es la comparación con respecto al V1, es decir que V2 tiene que ser aproximadamente igual a V1. El voltaje V3 es la conversión de la corriente consumida en el electrodo de trabajo a voltaje, el cual juega el papel de administrar la corriente que se consume sin ser afectados los electrodos de referencia y el electrodo auxiliar a que estos se polaricen.

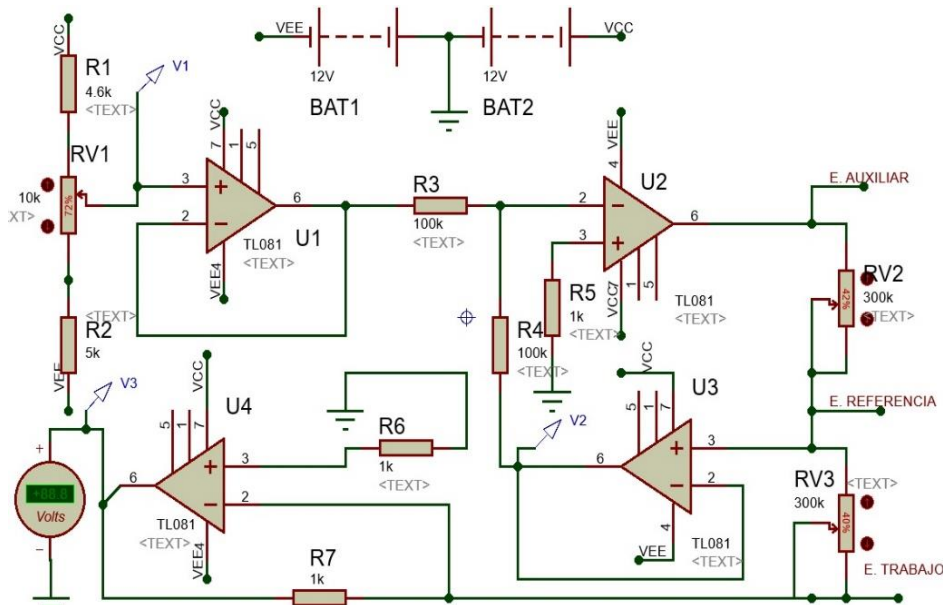


Figura 59. Esquema general con el cual se realizará la simulación del potencióstato.

5.1.1 Simulación realizada a -5V, 0V y +5V

A continuación, se muestra en la Figura 60, la simulación realizada con una impedancia entre electrodos de 150 K Ω y un voltaje de -5V.

Como se puede observar en V1 y V2 los voltajes son casi idénticos en valor absoluto lo cual nos indica que a voltajes negativos el sistema tiene un comportamiento adecuado o similar al que se espera, así como también se observa que el valor de V3 es un valor negativo de -0.03V, ya que, si se tiene un voltaje negativo en la celda electrolítica, entonces, se espera que este consuma una corriente de igual forma negativa.

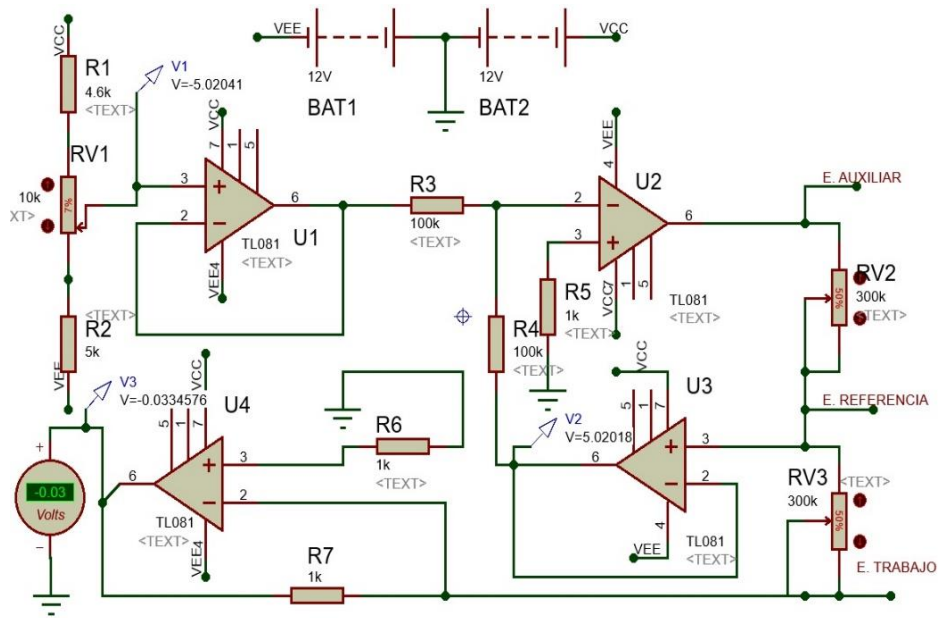


Figura 60. Simulación realizada con un voltaje de -5V.

En la Figura 61, la simulación realizada con una impedancia entre electrodos de 150 K Ω y un voltaje de aproximado de 0V. Como se puede observar en V1 y V2 los voltajes son casi idénticos lo cual nos indica que a 0V el sistema tiene un comportamiento adecuado o similar al que se espera, esto dado que si se observa V3 se muestra un voltaje de 0v, es decir que este voltaje está relacionado con la corriente que se consume, en otras palabras, como se aplica un voltaje aproximado de 0V entonces se espera que la corriente consumido en el sistema sea también de 0A.

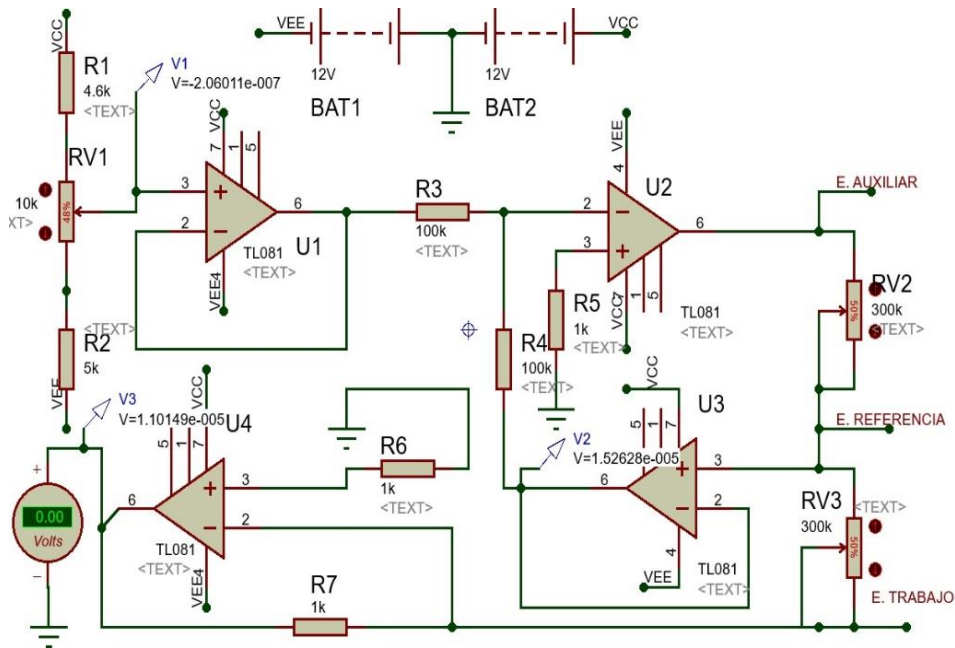


Figura 61. Simulación realizada a un voltaje aproximado de 0V.

A continuación, se muestra en la Figura 62, la simulación realizada con una impedancia entre electrodos de 150 K Ω y un voltaje de +5V.

Como se puede observar de igual forma que las simulaciones realizadas con -5V y 0V, en V1 y V2 los voltajes son casi idénticos lo cual nos indica que a voltajes positivos el sistema tiene un comportamiento adecuado o similar al que se espera, así como también se observa que el valor de V3 es un valor positivo de 0.03V, ya que si se tiene un voltaje positivo en la celda electrolítica, entonces, se espera que este consuma una corriente de igual forma positiva.

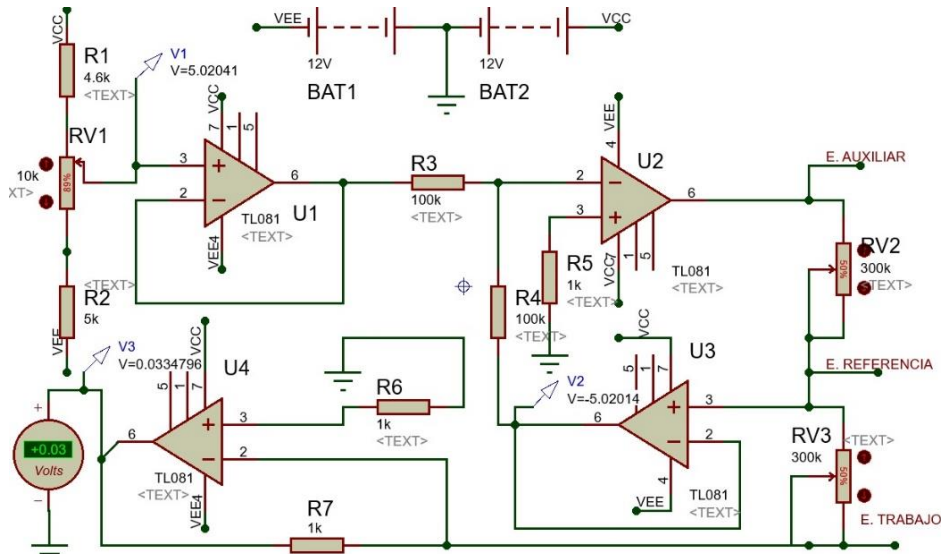


Figura 62 Simulación realizada con un voltaje de +5V.

5.2 Diseño e Implementación física

Para el desarrollo, se tienen las siguientes etapas las cuales se abordarán a continuación, en las cuales se lleva a cabo algunos cálculos para poder llevar a cabo la adquisición de nuestros valores en Labview.

5.3 Control potenciostatico

Este es el bloque principal, ya que se conectarán los electrodos, los cuales estarán en el electrolito para realizar las mediciones necesarias para la obtención de las gráficas a interpretar.

5.3.1 Bloque de comparación de voltaje

A continuación, se realizará el cálculo para el funcionamiento del potenciostato por lo cual se basará en la Figura 63, en el cual se muestra el esquema básico de un potenciostato del cual se partirá.

Así como también se puede visualizar en el diagrama general del potenciostato (Figura 71), esta etapa de comparador de voltaje entre el electrodo auxiliar y el electrodo de referencia está representada por los amplificadores operacionales U1, U2 y U3 como se observa en la (Figura 71); así como sus respectivas resistencias de acuerdo a la configuración que se realizó.

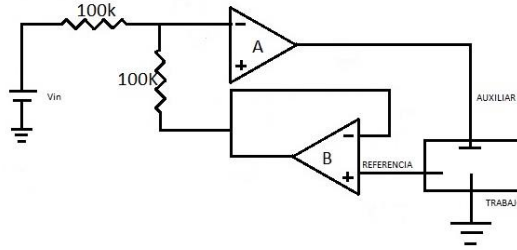


Figura 63. Sistema de un potenciostato básico.

Como se observa en la Figura 63, el amplificador B tiene la función de informar cual es la diferencia de tensión que se tiene entre el electrodo de referencia y el electrodo de trabajo (tierra). En el amplificador B el cual contiene al electrodo de referencia está configurado como seguidor de tensión, lo cual quiere decir que la tensión en su terminal positiva (no inversora) va a ser igual a la tensión de salida del amplificador B.

En la Figura 64 se observa que el circuito original en donde se conecta el electrodo de trabajo y que del cual se va a deducir por qué en la Figura 63 el electrodo de trabajo se representa como una referencia a tierra en la Figura 63.

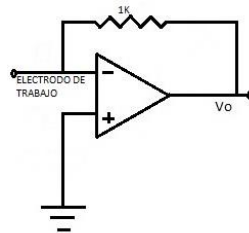


Figura 64. Convertidor I-V tierra virtual.

En la Figura 64 en donde está el electrodo de trabajo, se observa que el electrodo se encuentra conectado en la entrada inversora del amplificador operacional, así como también se observa que la terminal no inversora se encuentra aterrizada a tierra por lo tanto el electrodo se encuentra conectado virtualmente a tierra, esto se debe a que cuando se tiene una entrada del amplificador operacional referenciada a tierra y por teorema se sabe que ambas entradas del amplificador operacional tendrán el mismo valor.

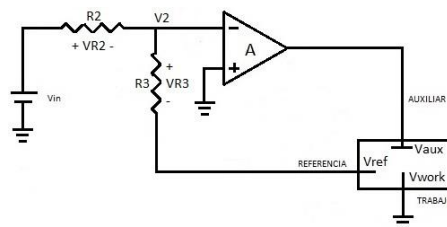


Figura 65. Potenciostato básico a analizar.

Para la realización del análisis se parte De la Figura 65, tomando en cuenta que al electrodo de trabajo normalmente suele nombrarse en inglés (work) con el cual se plantean las siguientes ecuaciones.

$$V_2 = \frac{R3}{R2 + R3} * V_{in} + \frac{R2}{R2 + R3} * V_{ref}$$

Si de la ecuación anterior hacemos $R2=R3$, nos queda:

$$V_2 = 0.5V_{in} + 0.5V_{ref}$$

Como se observa en la Figura 65 el amplificador operacional se encuentra retroalimentado negativamente por medio del electrodo auxiliar y el electrodo de referencia. Ahora bien, si se aplica el cortocircuito virtual a tierra del electrodo de trabajo, entonces queda que:

$$V_{ref} = -V_{in}$$

Si en V_2 el voltaje es igual a cero a consecuencia del corto circuito virtual, entonces se tendrá una caída de voltaje en R_2 igual a V_{in} y por consiguiente analizando el voltaje en la R_3 nos queda:

$$-V_{in} + V_{in} + V_{R3} + V_{ref} = 0; \quad V_{R3} = -V_{in} + V_{in} - V_{ref}; \quad V_{R3} = V_{in}$$

Ahora haciendo a $R_3= R_2 =100 \text{ K}\Omega$, entonces las corrientes que atraviesan a dichas resistencias serán iguales.

5.3.2 Bloque de convertidor I-V

Para este bloque se tiene un convertidor de corriente a voltaje, Este bloque se puede visualizar en la Figura 71 en el amplificador operacional U_4 y además de una configuración Push Pull por medio de los transistores Q_1 y Q_2 , es decir que la corriente que se espera manejar de acuerdo a la investigación realizada en los primeros capítulos es de alrededor de 0.500A.

Eso es una aproximación muy elevada ya que pueden ser las corrientes del orden de decenas de mili amperes a centenas de mili amperes, por tal motivo se lleva a cabo una amplificación por mil para así poder llevar a cabo un tratamiento a dicha medición y llevarla a su representación gráfica, el cual es uno de los objetivos principales. La función que realizara el amplificador operacional en este bloque es el de suministrar la corriente que se demande en el bloque comparador debe de tener una corriente de polarización muy baja para tener una medición lo más pura que sea posible. También este amplificador operacional debe ser capaz de soportar la corriente que se demande en el bloque comparador, pero como el amplificador no puede suministrar o demandar mucha corriente se recurre a un arreglo extra el cual se trata de una configuración Push Pull, como se muestra en la Figura 66, dicha configuración Push Pull va a ser la encargada de suministrar esa corriente que se demande en el bloque de comparación al tener una variación en el electrolito que puede variar desde la unidad, decenas o centenas de unidades en su resistividad.

Como se mencionó anteriormente este amplificador debe tener una corriente de polarización lo más pequeña posible, por lo tanto, se recurre a la colocación de una resistencia de $1\text{K}\Omega$, como se muestra en la ya que las corrientes de polarización en las terminales de entrada de un amplificador operacional ideal son de cero, pero en un amplificador operacional real esto no sucede, es decir estas corrientes son diferente de cero, es por eso que se añade una resistencia de $1\text{K}\Omega$ para minimizar dicho efecto

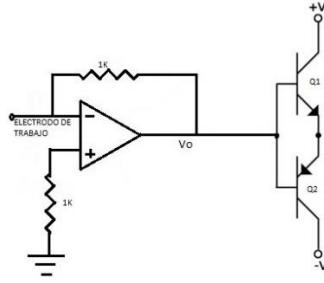


Figura 66. Convertidor I-V con etapa de potencia.

5.3.3 Acondicionamiento de la señal para Arduino

En este bloque de acondicionamiento de la señal se da tratamiento a la señal de salida del bloque convertidor I-V para que esta señal sea adquirida por Arduino uno el cual va a simular como nuestra tarjeta de adquisición de datos. Los componentes utilizados en este se pueden visualizar en la Figura 71 cuyos componentes principales son U5, U6, U7, U8, U9, U10 Y U12 cada uno con sus respectivas resistencias de acuerdo a la configuración que se tenga.

5.3.3.1 Atenuación de la señal de entrada

En esta etapa se tiene una atenuación para tener valores entre 5V y -5V, analizando el circuito de la Figura 67.

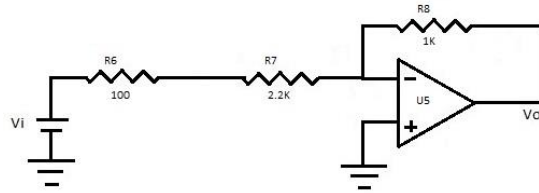


Figura 67. Atenuador inversor.

De la ecuación siguiente se tiene la ganancia A_V , la cual en este caso será de 0.4347

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

Estableciendo $R_f = R_8 = 1k\Omega$ y que $R_i = R_6 + R_7$ y estableciendo que se quiere una atenuación de la mitad del voltaje de entrada, es decir, de 0.5.

De la ecuación anterior despejamos a R_i , lo cual nos queda:

$$R_i = -\frac{R_f}{A_V}; \quad R_i = \frac{1000}{0.5}; \quad R_i = 2000\Omega;$$

Bien ahora estableciendo un acomodo con los valores comerciales de resistores se tiene que este valor se aproxima a una resistencia de $1.8k\Omega$ y otra en serie 220Ω .

5.3.3.2 Restador de voltaje

En este bloque de restador de voltaje lo que se pretende es desplazar a la señal de entrada que tiene valores positivos como negativos a solo valores positivos, por lo que en el bloque anterior ya

se llevó a cabo la atenuación de voltaje para que, al momento de realizar el desplazamiento de esta señal, esta quede dentro de un rango de 0 a 5V.

Para llevar a cabo el desplazamiento de la señal se va a ser uso de una referencia de voltaje fija la cual tiene que ser simétrica, es decir, si se tiene un rango de 0 a 5V, entonces esta referencia tiene que ser la mitad de 5V es decir 2.5V. Para lograr los 2.5V se utiliza un regulador de tensión fija, este regulador tiene que ser de 5V para que al momento de aplicarle un divisor de tensión este nos de los 2.5V que se necesitan como referencia. En este caso en particular no se recurrió a otro regulador ya que no se ajustaría tan preciso a las necesidades que se tienen de los 2.5V.

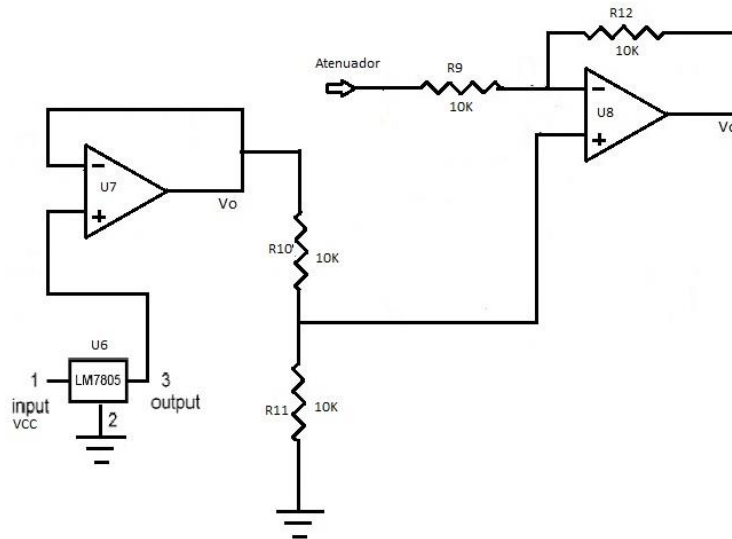


Figura 68. Desplazado de nivel con referencia en 2.5V.

De la Figura 68 se observa que la salida del regulador 7805 entra a la entrada no inversora del amplificador operacional el cual se encuentra configurado como seguidor de voltaje, la salida de este seguidor de voltaje alimenta a un divisor de voltaje por medio de las resistencias R10 y R11 las cuales deben ser del mismo valor ya que en este divisor se quiere obtener la mitad del voltaje que sale del seguidor de voltaje.

Por lo tanto, se tiene que: $R10 = R11 = 10K$;

La salida del divisor de voltaje que son los 2.5V a su vez entran en la entrada no inversora de U8, estos 2.5 van a ser nuestra referencia.

En la entrada inversora se encuentra la señal que queremos desplazar o restar a la referencia de 2.5V dicha entrada tiene una ganancia $A0$ de 1, es decir, no se amplificara ni atenuara, por medio de las resistencias $R9$ y $R12 = 10K$.

5.3.3.3 Segundo atenuador de voltaje

En este bloque se lleva a cabo una atenuación para obtener voltajes en el rango de 0 a 5V. los amplificadores operacionales que se usan en esta etapa son el U9 con sus respectivas resistencias como se observa en la Figura 69.

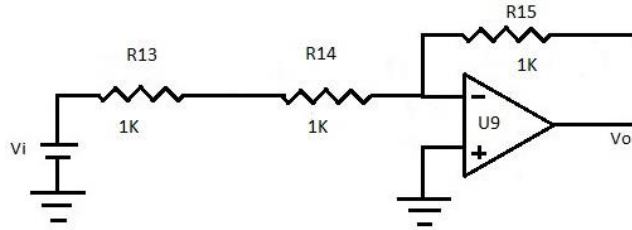


Figura 69. Atenuador de voltaje dos.

De la ecuación siguiente se tiene la ganancia A_V , la cual en este caso será de 0.5

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

Estableciendo $R_f = R_8 = 1K\Omega$ y que $R_i = R_{13} + R_{14}$ y estableciendo que se quiere una atenuación de la mitad del voltaje de entrada, es decir, de 0.5.

De la ecuación anterior despejamos a R_i , lo cual nos queda:

$$R_i = -\frac{R_f}{A_V}; \quad R_i = \frac{1000}{0.5}; \quad R_i = 2000\Omega;$$

5.3.3.4 Inversor de voltaje

En este bloque lo que se hace es invertir la señal del amplificador operacional U9 ya que estos valores son negativos y lo que se quiere es a estos valores positivos para que puedan ser adquiridos por Arduino Uno, como se observa en la Figura 70.

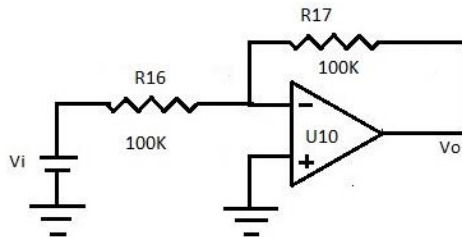


Figura 70. Inversor de salida hacia Arduino uno.

Se tiene la siguiente ecuación.

$$A_V = -\frac{R_{17}}{R_{16}}; \quad A_V = \frac{10K}{10K}; \quad A_V = 1;$$

5.3.4 Simulación y diseño de pcb

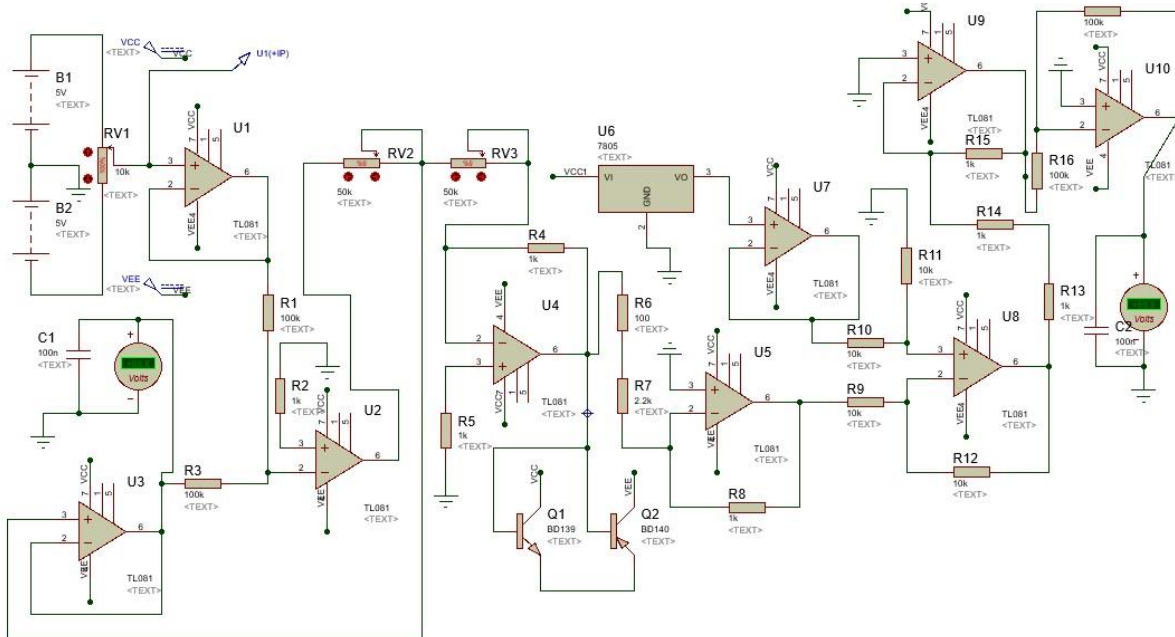


Figura 71. Esquema general del circuito potenciostático simulado.

5.4 Fuente de alimentación

Para la realización de cálculos se necesita de la siguiente información: voltaje de salida de 12V, @ 1A. La corriente de 1A es debido a que se va a alimentar a todo el sistema, es decir todas las placas se van alimentar a esta única fuente.

$$V_{max} = V_p = V_{Cmin} + V_r + 2V_D; \quad V_{Cmin} = V_{reg} + 3; \quad V_{Cmin} = 12 + 3; \quad V_{Cmin} = 15V$$

$$V_r = 2; \quad V_D = 1.1;$$

$$V_{max} = 15 + 2.0 + 2 * 1.1; \quad V_{max} = 19.2V$$

El voltaje pico mínimo que se debe obtener a la salida del secundario del transformador debe ser de 19.2V. El transformador que se asemeja a las medidas calculadas anteriormente se encontró el siguiente modelo: TR24-1.2A, Entrada: 127V @ 60Hz, Salida: 24V @ 1.2A.

Realizando mediciones con multímetro de cada extremo con respecto a la derivación se observaron las siguientes medidas: V1s=15.6Vrms, V2s=15.6Vrms.

Los valores de las medidas anteriores en valor pico son:

$$V_{pico} = V_{rms} * \sqrt{2}; \quad V_{pico} = 15.6 * \sqrt{2}; \quad V_{pico} = 22.06V$$

Por lo tanto, el transformador seleccionado está dentro del rango mínimo que es de 19.2V pico.

Para la etapa de rectificación se realizó por medio de un rectificador en puente RS204L el cual su presentación es en un encapsulado tipo carcasa RS-2, con una tensión de retorno máxima de 200V, una corriente de trabajo de 2A.

Para la etapa de filtrado se tiene que para tener el mínimo voltaje de rizo permitido se aplica la regla del 10%.

$$C = \frac{5 * I}{2(F * V_{max})}; \quad C = \frac{5 * 1}{2(60 * 19.7)}; \quad C = 4230.110\mu F.$$

El valor próximo para nuestro capacitor próximo al valor comercial es de 4700 μ F a un voltaje de 25V.

Para la estabilización del voltaje se eligieron los siguientes reguladores de voltaje fijo 7812 y 7912, además de que se le añaden un diodo de propósito general 1N4001 a cada regulador que, dicho diodo va de la terminal de salida a la terminal de entrada de cada regulador, para evitar corrientes inversas en los reguladores.

También como se observa en la Figura 72 se añaden un par de capacitores para cada regulador, los cuales son propuestos por el fabricante en las hojas de especificaciones, uno en la entrada de 47nF el cual sirve para eliminar los posibles efectos inductivos los cuales pueden ser producidos por conductores largos, así como para cuando se tiene el condensador de la alimentación la cual no está regulada está muy alejado del regulador. El condensador de 1 μ F se coloca en la salida para una mejor estabilidad del montaje y así evitar posibles oscilaciones en la salida.

5.4.1 Diseño y simulación de pcb

A continuación, se muestra el diseño y la simulación los cuales se realizaron en el software de Proteus, así como su implementación física.

Ahora se tiene la simulación con los valores anteriormente calculados en Proteus Isis, como se muestra en la Figura 72.

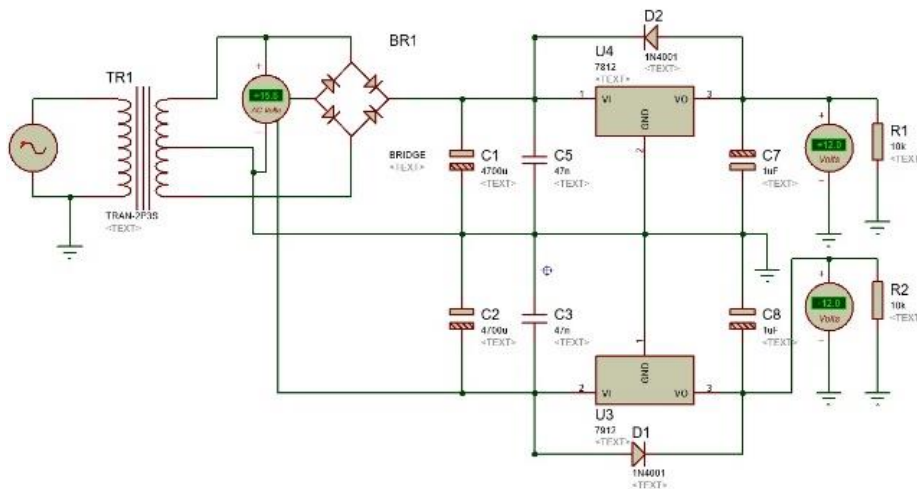


Figura 72. Simulación de fuente de +12V y -12V.

Una vez que se ha simulado el circuito en Proteus Isis, se llevó a cabo el diseño de la pcb en Ares como se muestra en la Figura 73.

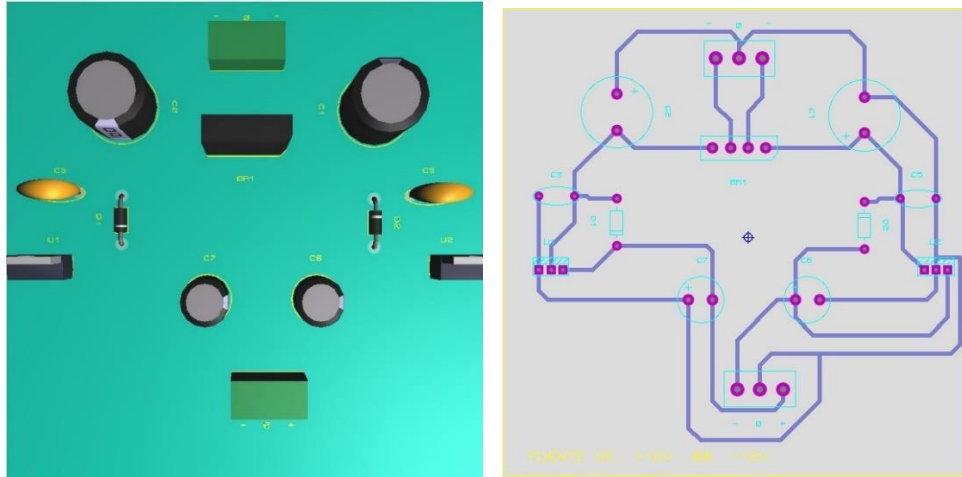


Figura 73. Diseño de PCB simulada.

5.5 Generador de señales

Para la generación de una onda triangular con polo positivo y negativo que es con la que se va a alimentar el potencióstato nos basamos en el circuito integrado ICL8038, el cual se mostrara a continuación en la Figura 74 su diseño y su implementación en pcb Figura 75.

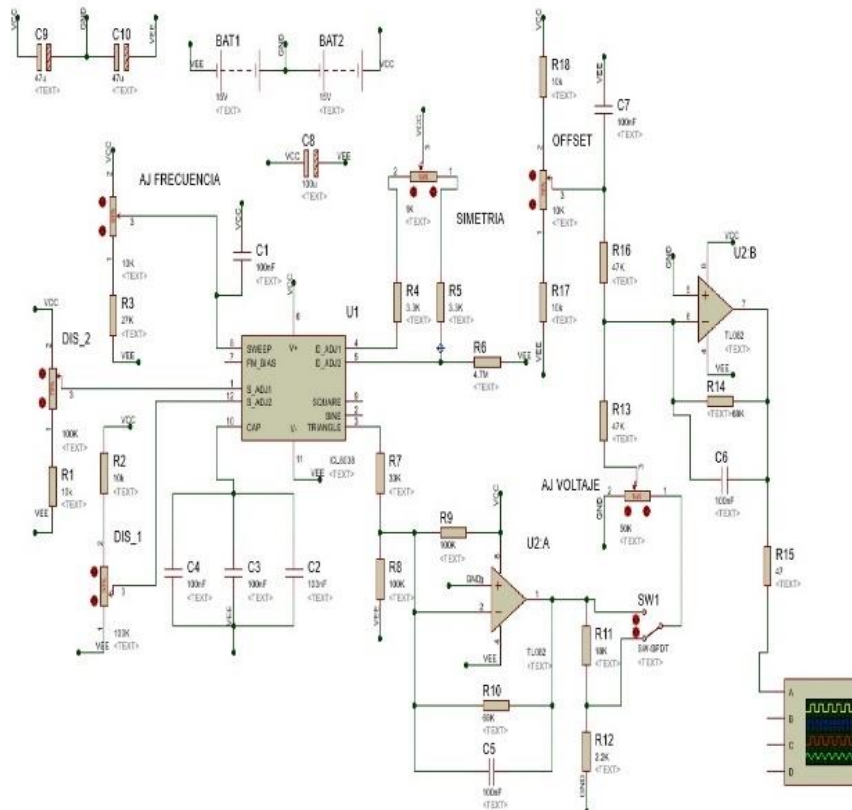


Figura 74. A) Circuito propuesto para el generador de señales. B) esquemático simulado en Proteus.

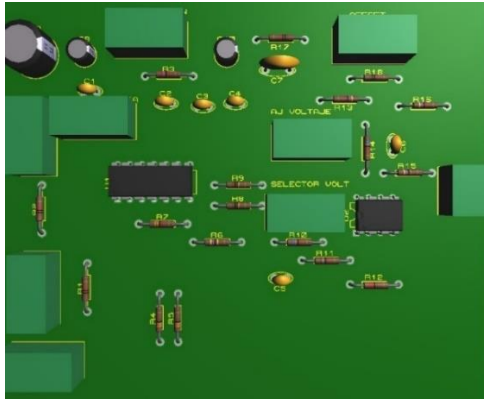
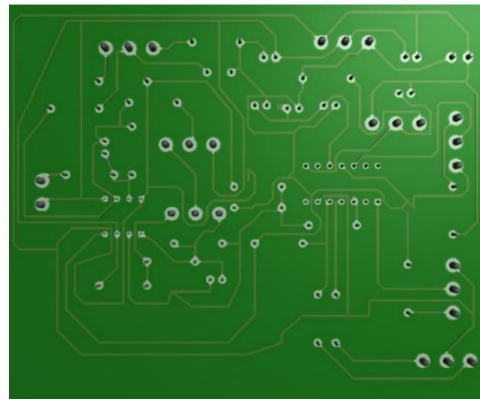


Figura 75. A) Diseño terminado en Proteus



B) Vista inferior de la placa pistas.

5.6 Control fuente de c.d

A continuación, se muestra el diseño que se realizó para llevar a cabo el barrido de voltaje de C.D para la entrada al potencióstato como una las opciones de señal de excitación y su propuesta en PCB como se muestra en las Figura 80 y Figura 81.

5.6.1 Seguidor de tensión

Para el acoplamiento de la señal de entrada se utiliza la configuración seguidora de tensión por medio del amplificador U3 como se muestra en la Figura 76.

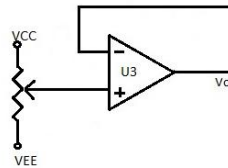


Figura 76. Seguidor de voltaje para el acoplamiento de entrada.

5.6.2 Restador de voltaje

Se tiene un desplazamiento hacia el eje positivo es decir en vez de tener el rango de 5 a -5V, este se va a desplazar teniendo un rango de 0 a 10V. Los amplificadores en esta etapa son U4 y U5, como se observa en la Figura 77. El amplificador U4 está en configuración restador el cual parte de una referencia diferente de cero, esta referencia viene dada por el regulador de voltaje fijo lm7805 que a su vez entra a un divisor de voltaje para así obtener 2.5V de referencia.

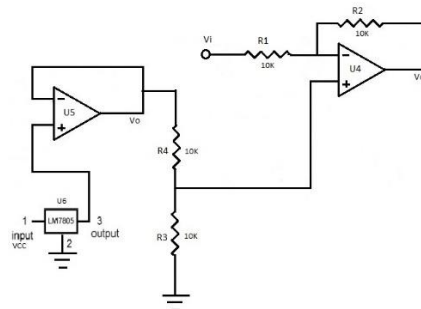


Figura 77. Desplazar de nivel o restador.

Como se observa en la Figura 77, los valores de las resistencias son todas de 10KΩ por consiguiente se tiene una ganancia unitaria y solo se restará el valor de Vi a los 2.5V que se tiene como referencia.

5.6.3 Atenuador

En esta etapa se tiene como objetivo reducir el voltaje de 0 a 10V a un rango de 0 a 5V, como se observa en la Figura 78.

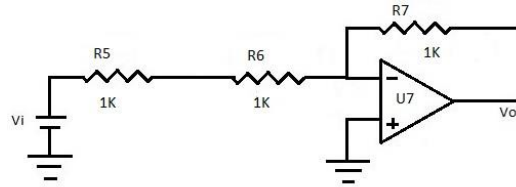


Figura 78. Atenuador a nivel de 0 a 5V.

Teniendo la siguiente relación

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

En donde se tiene que $R_f = R_7$ y $R_i = R_5 + R_6$. Todas con un valor 1KΩ, una ganancia de $A_V = 0.5$.

5.6.4 Inversor

En esta etapa se invierte el signo de la señal resultante en el bloque anterior, como se observa en la Figura 79.

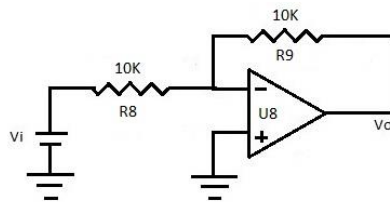


Figura 79. Inversión de signo de la señal de entrada.

De la ecuación

$$V_O = -\frac{R_f}{R_i} V_i$$

Tenemos que $R_f = R_9 = 10k$ y $R_i = R_8 = 10K\Omega$, se tiene una ganancia de -1.

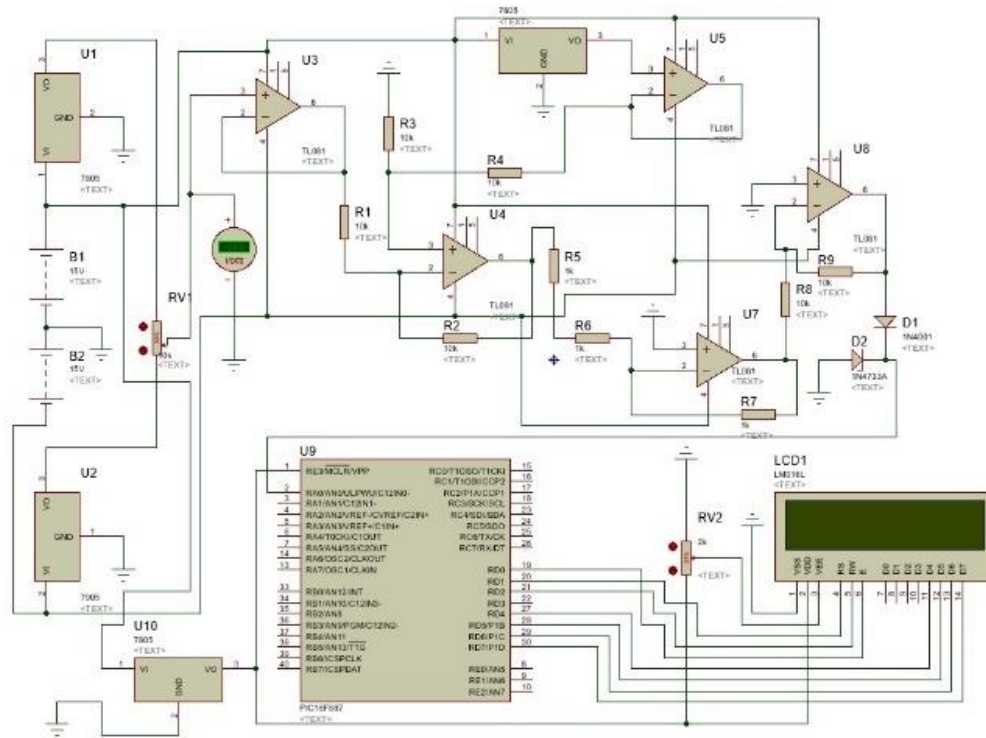


Figura 80. Circuito simulado en proteus para el control del barrido de C.D.

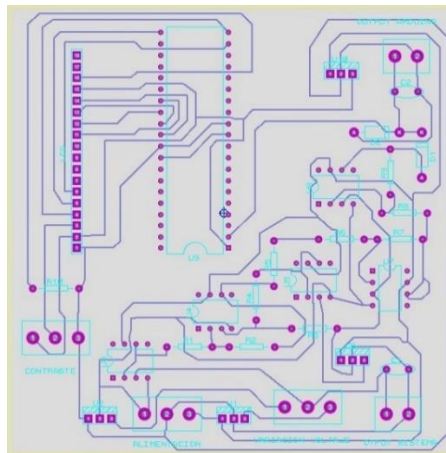
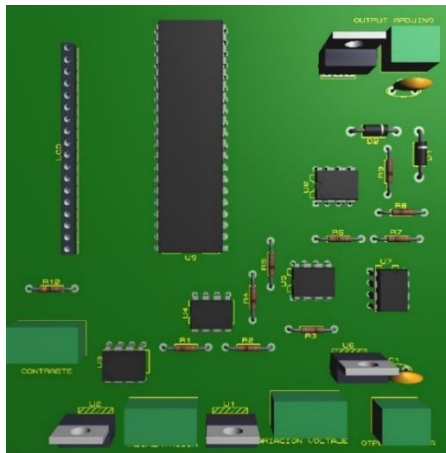


Figura 81. A) Pcb propuesta en ISIS

B) Pistas de la pcb de control de voltaje

5.7 Control de señal triangular

En este bloque lo que se realizó fue un acondicionamiento de la señal triangular la cual nos entrega el generador de funciones con un rango de voltaje de +5V a -5V para así poder introducirla a Arduino Uno (la cual figura como tarjeta de adquisición de datos, y que solo acepta voltajes positivos de 0 a 5V.)

A continuación, se muestra el diseño que se realizó para llevar a cabo el barrido de voltaje de C.D para la entrada al potencióstato como una las opciones de señal de excitación.

5.7.1 Seguidor de tensión

Para el acoplamiento de la señal de entrada se utiliza la configuración seguidora de tensión por medio del amplificador U3 como se muestra en la Figura 82.

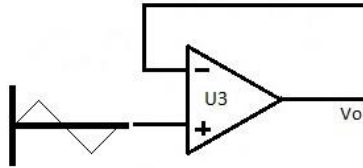


Figura 82. Seguidor de voltaje para la señal triangular.

5.7.2 Restador de voltaje

Se tiene un desplazamiento hacia el eje positivo es decir en vez de tener el rango de 5 a -5V, este se va a desplazar teniendo un rango de 0 a 10V. Los amplificadores en esta etapa son U4 y U5, como se observa en la Figura 83. El amplificador U4 está en configuración restador el cual parte de una referencia diferente de cero, esta referencia viene dada por el regulador de voltaje fijo lm7805 que a su vez entra a un divisor de voltaje para así obtener 2.5V de referencia.

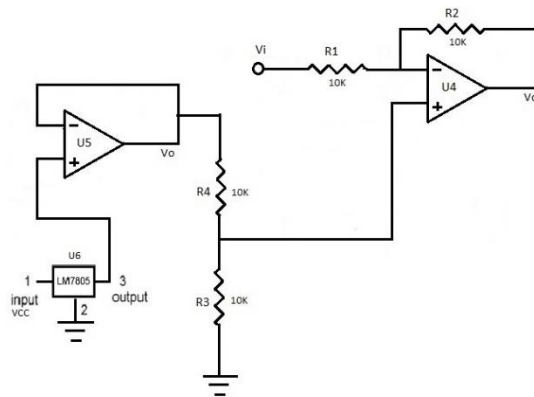


Figura 83. Restador de voltaje para entrada triangular.

Como se observa en la Figura 83, los valores de las resistencias son todas de 10KΩ por consiguiente se tiene una ganancia unitaria y solo se restará el valor de Vi a los 2.5V que se tiene como referencia.

5.7.3 Atenuador

En esta etapa se tiene como objetivo reducir el voltaje de 0 a 10V a un rango de 0 a 5V, como se observa en la Figura 84, hay que tener en cuenta que el voltaje de la señal triangular pico - pico es de 10V.

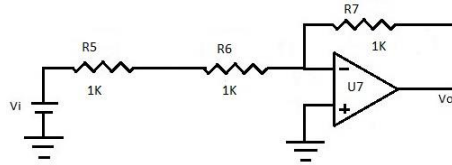


Figura 84. Atenuación de señal triangular.

Teniendo la siguiente relación

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

En donde se tiene que $R_f = R_7$ y $R_i = R_5 + R_6$. Todas con un valor $1K\Omega$, una ganancia de $A_V = 0.5$.

5.7.4 Inversor

En esta etapa se invierte el signo de la señal resultante en el bloque anterior, como se observa en la Figura 85.

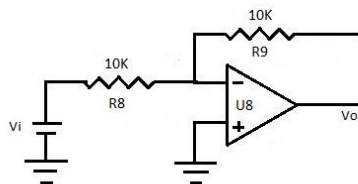
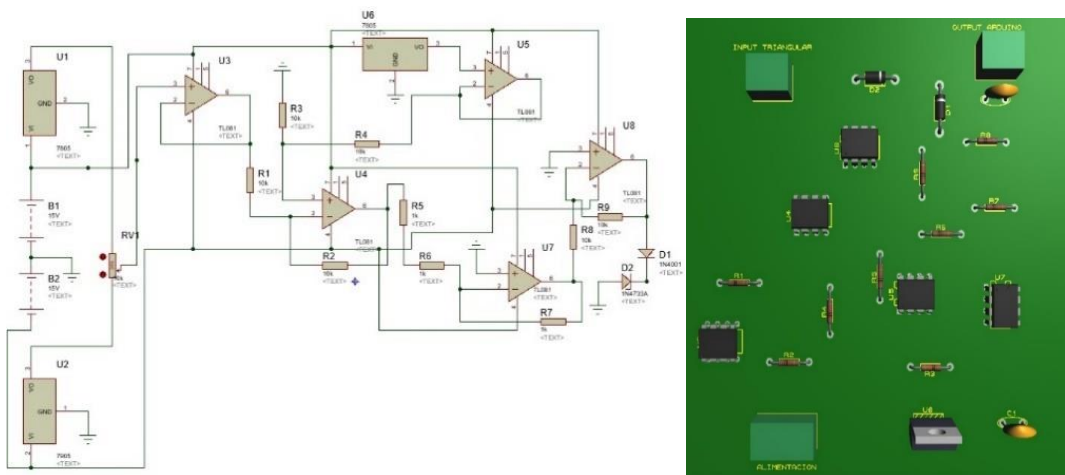


Figura 85. Inversión de la señal triangular.

De la ecuación

$$V_O = -\frac{R_f}{R_i} V_i$$

Tenemos que $R_f = R_9 = 10k$ y $R_i = R_8 = 10K\Omega$, se tiene una ganancia de -1 .



5.8 Diseño de programación grafica en Labview

En este apartado se diseña la parte de programación grafica en el software LABVIEW de National Instruments mediante el cual realizaremos el control desde aquí de cada una de las placas que constituyen al potencióstato como es la placa de corriente directa, la placa de corriente alterna, placa de control del potencióstato, así como el registro de dichos datos en una hoja de Excel y la realización de la gráfica de voltaje contra corriente.

También se llevará a cabo el control de nuestro módulo de relevadores los cuales son parte importante ya que estos relevadores nos permitirán llevar a cabo la acción de mantener en estado apagado o en estado encendido las placas físicamente.

Como se puede observar en la Figura 86 se tiene el diagrama general de nuestro diagrama de bloques en el cual se explicará con más adelante con detalle el funcionamiento de este.

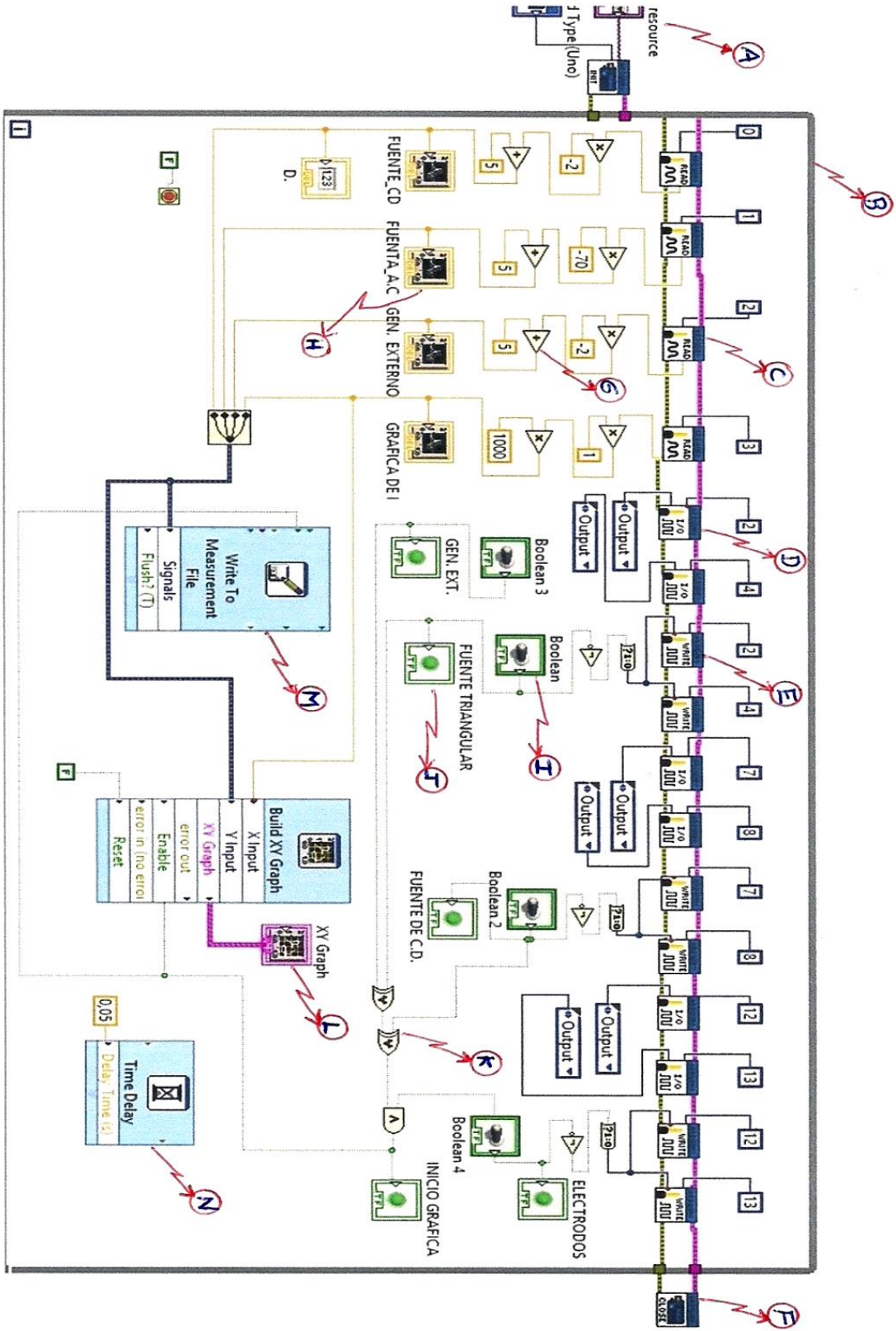


Figura 86. Esquema de panel de control general.

Como se puede observar en la Figura 86, se tienen etiquetados de la letra “A” a la letra “M” cada una de los elementos que se utilizaron en la programación grafica de Labview.

- Letra A: se tiene la función “Arduino Init” la cual nos permite inicializar y abrir las conexiones, así como también configurar algunos de los parámetros para una correcta ejecución de Arduino como son: puerto de comunicación, velocidad de transmisión de 115200 baudios, tipo de tarjeta, en este caso “Arduino uno” y tipo de puerto de comunicación USB.
- Letra B: Se tiene un bucle “While Loop” (etiquetado con la letra B) este bucle repite todo lo que se encuentra dentro de él mientras que una cierta condición sea cierta, esta condición es que de su valor booleano pase de verdadero a falso.
- Letra C: este es el bloque “Analog Read Pin” en el cual se va a seleccionar los canales que se desean leer como pin de entrada analógica de nuestro Arduino Uno (entradas analógicas A0, A1, A2, y A3) y en consecuencia su valor de salida es igual al de lectura de entrada. Se utilizan los canales “0” para la lectura de una señal de corriente directa, el canal “1” para la lectura de una señal de tipo triangular, el canal “2” para la lectura de una señal triangular procedente de un generador de señales externo y finalmente el canal “3” para la lectura del voltaje de celda.
- Letra D: este es un bloque “Set Digital Pin Mode” en el cual se seleccionan los canales digitales del Arduino Uno que se deseen ocupar ya sean de lectura o de salida (D2, D4, D7, D8, D12 y D13), en este caso se configuran como canales de salida ya que estos van a realizar la acción de activar a un relevador de 5V.
- Letra E: este es un bloque de “Digital Write Pin” el cual contiene los mismos pines que en la letra “D” pero con la diferencia de que en este se le escribe el valor de la salida digital; estado alto 5V o estado bajo 0V. Este valor dependerá de una entrada booleana la cual se mostrará en el panel frontal y será activada por el usuario en el estado alto o en bajo.
- Letra F: este es un bloque de “Arduino Close” con el cual se cerrará la comunicación entre la placa Arduino.
- Letra G: en esta etapa se tienen varios bloques con los cuales se realizan operaciones matemáticas como multiplicar, restar y dividir, los cuales se usarán para poder visualizar las señales adquiridas por los pines analógicos de Arduino y acoplarlas para poderlas ver en su forma original en el panel frontal de Labview.
- Letra H: este es el bloque “Waveform chart”, como se observa en la Figura 87 es un indicador numérico que se visualiza en el panel frontal por medio de una gráfica, se coloca después de que se han realizado algunas operaciones matemáticas después de la lectura de los pines analógicos para poder visualizar la señal tal y como es físicamente.
- Letra I: este es un botón booleano el cual es manipulado desde el panel frontal por el usuario, en otras palabras, el usuario indicara que tipo de señal será la que se introduzca al potenciómetro, así como también indicara que tarjeta se energizara, ambos casos serán controlados por medio de los pines digitales los cuales irán a unos relevadores para alimentar o no alimentar a las tarjetas seleccionadas. Este botón se repite cuatro veces una para la señal de corriente directa, una para la señal triangular, una para la señal de

generador exterior y la otra para activar la placa principal en donde se encuentran los electrodos.

- Letra J: este es un indicador booleano el cual nos indicara mediante un led verde que opción se ha seleccionado, es decir, que tipo de entrada se ha seleccionado para el potencióstato a, así como también nos indicara que se está iniciando la lectura del voltaje (que se convierte a corriente por medio una división asumiendo la Ley de Ohm) y que este a su vez también actica los “Enable” habilitadores de los bloques “Build xy graph” y “Write to measurement file” para que se inicie la gráfica de voltaje vs corriente y también para que se inicie el registro de los valores en un archivo txls.
- Letra K: esta es una compuerta lógica “OR EXCLUSIVA” con la cual nos permitirá seleccionar solamente dos opciones; una es el tipo de señal que va a alimentar al potencióstato y la otra es la selección de “electrodos” en el panel frontal, así como el inicio de la gráfica y de escritura de mediciones en Excel.
- Letra L: este es el bloque “Build XY Graph” por el cual se pueden representar dos funciones mediante un conjunto de coordenadas X e Y, es decir que no son funciones dependientes del tiempo y que por lo tanto nos sirve para representar nuestra grafica final de “voltaje vs corriente”.
- Letra M: este es el bloque “Write to measurement file” el cual básicamente nos permite grabar datos en un archivo en una hoja de Excel con una ruta y nombre de archivo configurables en dicho bloque.
- Letra N: Este es un bloque “time delay” el cual nos permite temporizar el tiempo de ejecución con el cual se garantiza un retraso de ejecución del bucle con un periodo de tiempo de 0.05s.

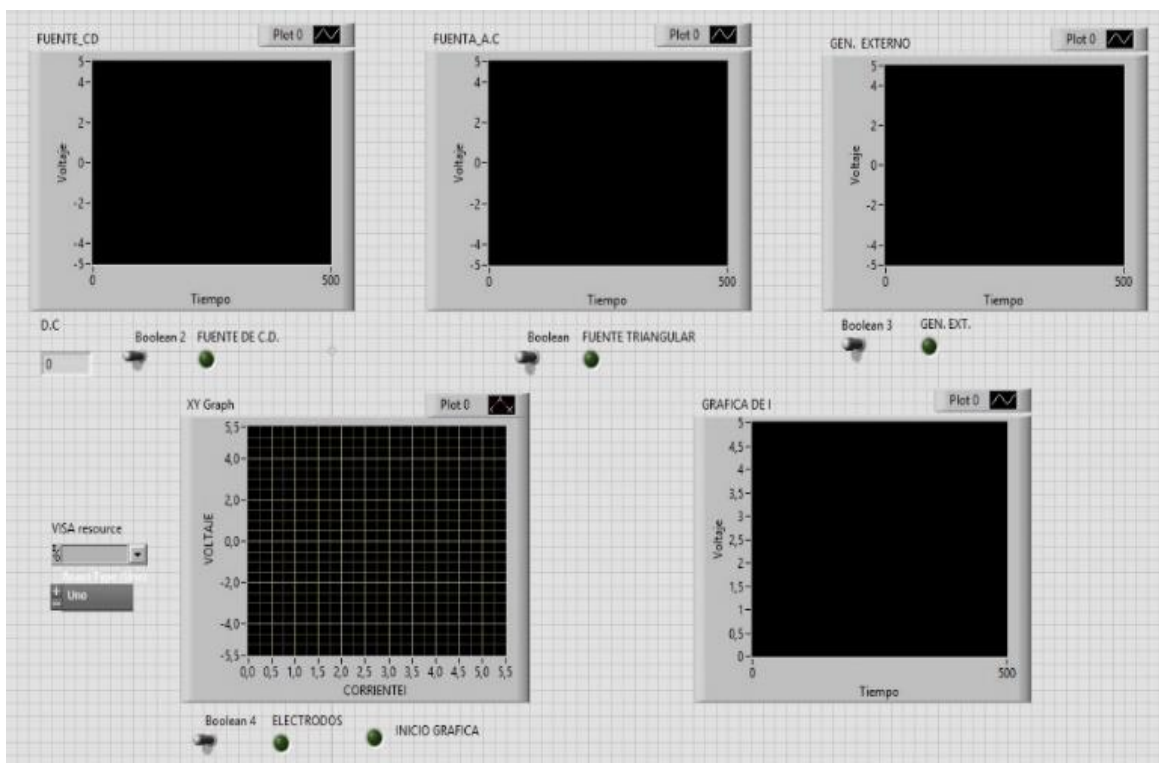


Figura 87. Esquema de panel frontal general.

6 Pruebas y resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al hacer una prueba con usando como electrolito una solución de cloruro de hidrogeno y anilina, como electrodo de trabajo una lámina de acero y como electrodo de referencia y auxiliar dos alambres de plata.

Como se puede observar en la Figura 88 en el inciso a) se muestra la celda electroquímica la cual está compuesta por cloruro de hidrogeno y anilina el electrolito y los alambres de plata, en el inciso b) se muestra el circuito general armado con el cual se lleva a cabo el control del potencióstato y en el inciso c) se tiene la aplicación de una señal triangular aplicada a la entrada del potencióstato.

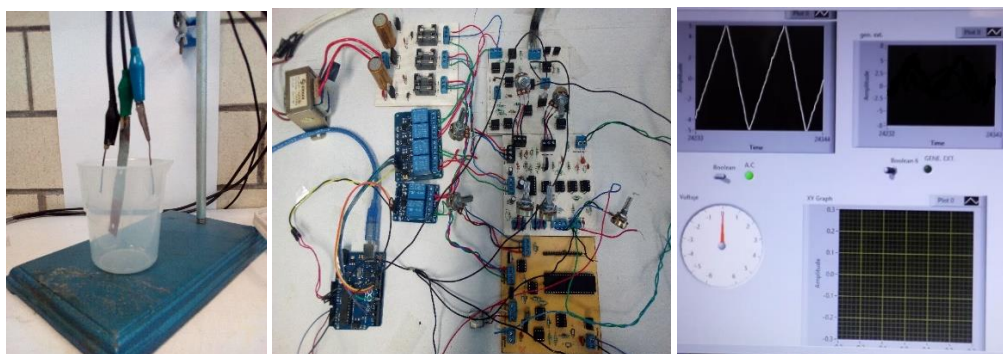


Figura 88. A) Celda electroquímica con electrodos de plata, b) circuito físico y c) señal triangular que se aplica

6.1 Pruebas con una onda triangular

En la siguiente Figura 89 se muestra la señal triangular muestreada, es decir, la que entra al sistema potencióstato.

Esta señal se captó por medio del osciloscopio en el cual se puede corroborar la señal de entrada que entra al sistema potencióstático, la cual es adquirida por el canal "CH1", así como también se puede observar el tratamiento de la señal que es tratada para poder ser adquirida por el Arduino uno, por medio del canal "CH2" la cual muestra la forma real de la señal que entra al sistema y en la figura b) se muestra el potencióstato final en el cual se coloca el circuito electrónico dentro de un gabinete.

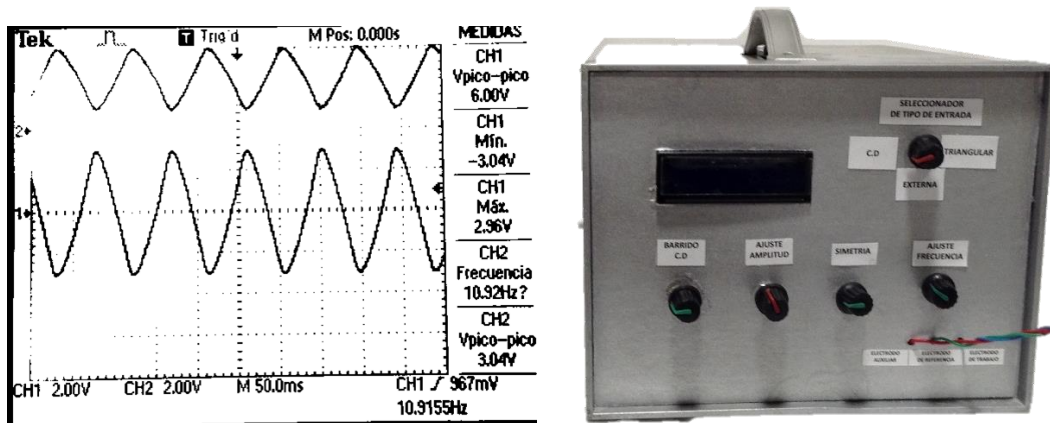


Figura 89. a) Onda triangular generada con el integrado ICL8038.b) potencióstato físicamente

El primer experimento consiste en obtener la curva de polarización de un metal en una celda electroquímica. La Figura 90 muestra la gráfica de corriente contra voltaje obtenida con una señal de entrada triangular de frecuencia 10 Hz y que varía de -2.5 mV a 2.5 mV. Como se mencionó en la sección 2.6, a estas gráficas se les llama voltamogramas. En este caso el electrolito es una solución de agua con 10% de ácido fosfórico. Como electrodos de referencia y auxiliar se usaron alambres de plata, mientras que para el electrodo de trabajo se usó un alambre de cobre. La forma de la gráfica es la típica curva de polarización de un metal.

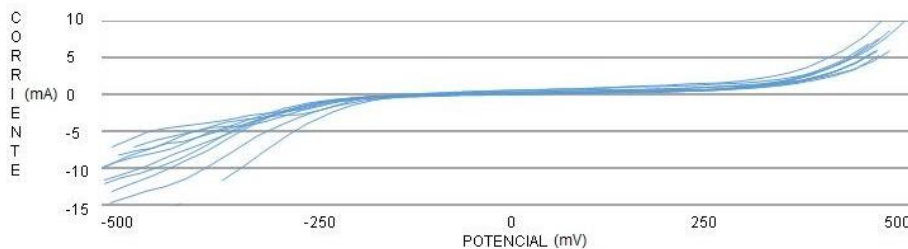


Figura 90. Curva de polarización de un metal.

El siguiente experimento consiste en electrodeposición de una película delgada de polianilina. La polianilina es un polímero conductor con potenciales aplicaciones en ventanas inteligentes, pues dependiendo del voltaje que se le aplica varía su color (material electrocrómico). Este material se obtiene por oxidación de la anilina, un reactivo de uso en la industria textil como colorante. En este experimento queremos pintar con polianilina una lámina conductora, que será el electrodo de trabajo, y obtener un voltamograma que muestre el pico de corriente en la oxidación de la anilina. La Figura 91 muestra la gráfica de corriente contra voltaje obtenido con la misma señal de entrada del experimento anterior, pero en este caso se adicionó al electrolito un 10% de anilina. Se observa el pico de oxidación reportado en investigaciones sobre aplicaciones de la polianilina [11].

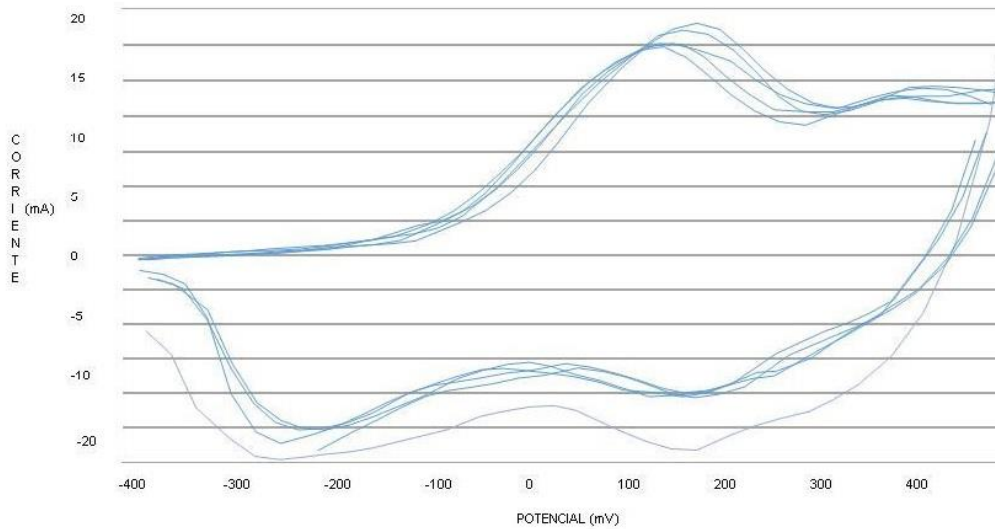


Figura 91. Voltamograma.

6.2 Prueba con una onda de corriente directa

En la siguiente se muestra la señal de corriente directa muestreada, es decir, la que entra al sistema potencioestado, que como se puede observar en la Figura 92, esta comprende un rango de entre los 5V positivos a los 5V negativos, y en el eje horizontal se tiene el número de muestras que se tomaron durante el experimento en lugar de tiempo.

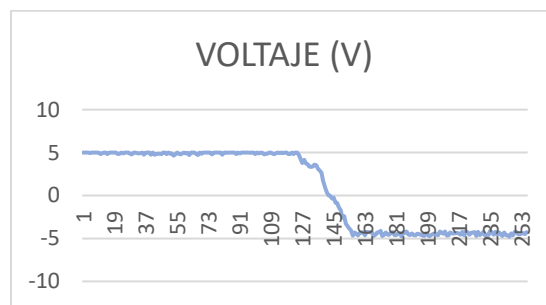


Figura 92. Señal de corriente directa con rango de entre 5V a -5V.

La siguiente Figura 93, se muestra la grafica de la corriente que es consumida y medida en el electrolito. En la Figura 93 se muestra una vez mas la grafica realizada en Excel y que en el eje horizontal se tiene el numero de muestras en lugar de el tiempo.



Figura 93. Grafica de la corriente consumida por el sistema.

La siguiente Figura 94, se muestra la grafica llamada curva de polarizacion, obtenida para este sistema. Se obtiene la tipica grafica de polarizacion de un metal.

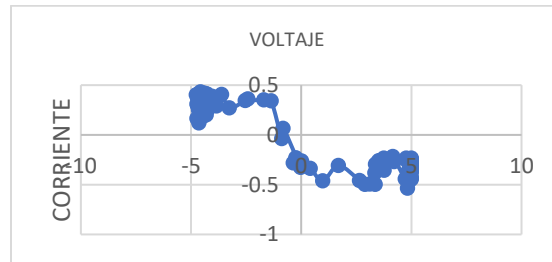


Figura 94. Curva de polarización.

7 Conclusiones y trabajo a futuro

Bien en este capítulo se da por terminado el diseño del potencióstato, así como las pruebas y resultados esperados. También se hace mención a algunas ideas de realización de trabajo a futuro.

7.1 Conclusiones

Se llevó a cabo una investigación bibliográfica en fuentes especializadas de instrumentación, finalizado la realización de un potencióstato basado en amplificadores operacionales y una fuente de corriente Push Pull, además el control del potencióstato se realizó a cabo mediante el software Labview como la interface con el usuario, así como la utilización del software libre el cual toma el papel de la tarjeta de adquisición de datos Arduino Uno. Todo alimentado a un voltaje bipolar de 12V.

Se logró dimensionar adecuadamente el potencióstato para los requerimientos especificados. Incluso con la fuente de corriente Push Pull se logró proporcionar una corriente de celda superior a lo especificado. Se cumplieron las especificaciones para el generador de señales con frecuencias bajas de 12 Hz.

- Se lograron los objetivos de llevar a cabo el diseño y construcción de un potencióstato a partir de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en Ingeniería en Sistemas Electrónicos Industriales en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- Se logró una electrodeposición de una película delgada por medio del potencióstato diseñado
- Se logró hacer el control con amplificadores operacionales de tal modo que el presupuesto no fuese tan elevado ya que este es uno de los principales objetivos.
- Se lograron las adquisiciones de las señales por medio de Arduino Uno, la cual fue utilizado como tarjeta de adquisición de datos, además de que se llevó a cabo el acondicionamiento de las señales para poder adquirirlas mediante Arduino Uno y así poder sustituirla por una tarjeta de National Instruments (DAQ).
- Se logró la generación de una señal triangular mediante el circuito integrado ICL8038, con el cual se puede hacer un barrido en frecuencia del orden de Hertz, como en amplitud que puede ser desde $\pm 1V$ pico-pico hasta $\pm 10V$ pico - pico.
- Se logró el barrido también de una fuente de corriente directa la cual se puede hacer un barrido de -5V a +5V y que se despliega en una LCD para poder monitorear el voltaje que se está variando.
- Se logró realizar los diseños de PCB'S para cada una de las etapas que se diseñaron

7.2 Trabajo a futuro

Dado que se tiene una amplia gama de aplicaciones para un potencióstato, se tienen varias cuestiones de trabajo futuro como se mencionará a continuación:

- Modificación del diseño: aquí se deberá tomar en cuenta el diseño ya que el realizado en el presente trabajo está orientado u películas delgadas, para así poder ampliar su gama de aplicaciones.
- Ajuste de señal triangular: se tendrá que modificar la circuitería del generador de señal triangular para tener un rango más amplio de frecuencias es decir de 0.001 Hz A 10 Hz.
- Realización de filtros para eliminar posibles perturbaciones para corriente directa y para la señal triangular.
- Realización de PCB's con métodos más precisos y de mayor calidad.

8 Bibliografía

- [1] « AIP Review of Scientific Instruments,» [En línea]. Available: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1143795?journalCode=rsi>. [Último acceso: 16/07/2017 JULIO 2017].
- [2] UAM. [En línea]. Available: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/lhh345a/Electroanalecc1.pdf.
- [3] M. Wilches Zúñiga, L. F. Ruiz Monzalve y M. Hernández Valdivieso, Bioingeniería VI. Fundamentos de instrumentación para la química clínica y las radiaciones ionizantes, Colombia: Universidad de Antioquia, 2007.
- [4] J. Forcada G., El amplificador Operacional, México: Alfaomega, 1996.
- [5] A. P. Malvino y D. J. Bates, Principios de electrónica, España: McGraw-Hill, 2007.
- [6] S. Segui Chilet, C. Sanchez Diaz y J. Ibañez Cibero, Fuentes de alimentación lineales (Análisis, diseño y simulación), Universidad Politécnica.
- [7] J. A. Maciel Suárez, Fuentes de alimentación., México: Limusa Noriega.
- [8] F. Reyes Cortés y J. Cid Monjaraz, Arduino aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías., México: Alfaomega, 2015.
- [9] J. Del Rio Fernández, S. Shariat Panahi, D. Sarriá Gandul y A. Manuel Lázaro, Labciew, programación para sistemas de instrumentación., México: Alfaomega, 2011.
- [10] J. M. Molina Martínez y M. Jiménez Buendía, Programación gráfica para ingenieros, Barcelona, España: Marcombo, 2012.
- [11] C. L., «Macromex II proceeding,» *Electropolymerization and electrochromic characterization of polyaniline*, pp. 321 - 325, 2011.
- [12] «INTECH,» [En línea]. Available: <https://www.intechopen.com/books/electroplating-of-nanostructures/electrodeposition-of-thin-films-for-low-cost-solar-cells>. [Último acceso: 17 JULIO 2017 JULIO 2017].

9 ANEXOS.

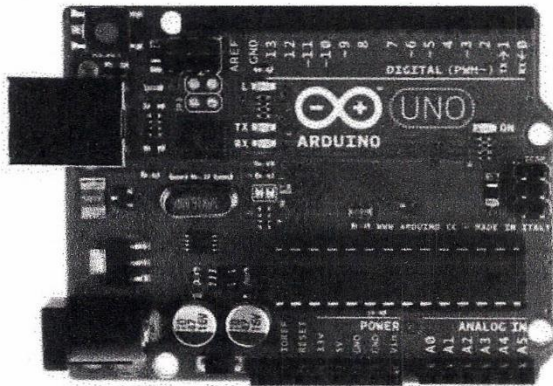
9.1 Programa en c

A continuación, se muestra el código programado en CCS en lenguaje c el cual nos permite visualizar el voltaje que se aplica al potenciómetro por medio de una LCD.

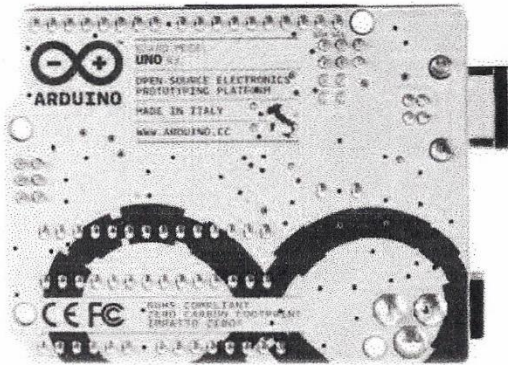
```
#include <16F887.h> // Directiva del procesador que se va a utilizar, PIC16F887.
#device ADC=10 //Se establece el ADC con un valor de 10.
#use delay(clock=8000000) // Directiva del procesador, la cual especifica la velocidad del reloj.
#include <lcd.c> // Se llama a la librería de la LCD.
void main() { //Lazo de función principal.
    int16 q; // Variable en la que se almacena el valor analógico de tipo entero.
    int16 z; // Variable en la que se almacena el valor del ADC multiplicado por el voltaje máximo.
    float p; // Variable en la que se realiza la relación con el número de bits (10).
    float t; // Variable en la que se guarda el resultado final.
    setup_adc_ports (sAN0|VSS_VDD); // Se establecen los pines del ADC.
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); // Se habilita el módulo del ADC así como también se
        Establece el reloj en el reloj interno del ADC.
    set_adc_channel(0); // Se especifica el canal '0' para la lectura del ADC.
    lcd_init(); // Se inicializa las funciones para la LCD.
    WHILE (true) // Instrucción de bucle la cual se lleva a cabo mientras sea verdadera.
    {
        q = read_adc(); // Se lee el valor analógico del ADC.
        delay_us(20); // Se establece un retardo de 20 mili segundos.
        z = 5 * q; // El valor analógico se multiplica por nuestro voltaje 5V.
        p = z/1024.0; // Variable en la que se divide entre los bits el valor analógico de z.
        t = ((p-2.5)*2); // Variable de valor final aplicando un offset y multiplicando por dos.
        lcd_gotoxy(1,1); // Se inicializa el cursor en la posición (1,1).
        printf(lcd_putc, " V1 = %01.2f V",t); // se imprime el valor final.
        delay_ms(100); // Se establece un retardo de 100 mili segundos.
    }
}
```

9.2 Hojas de especificaciones Datasheet

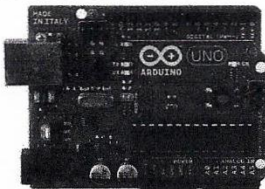
Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



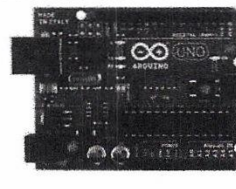
Arduino Uno R3 Back



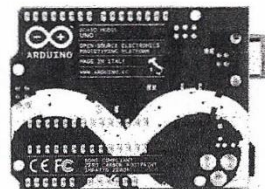
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the ATmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available . The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data. The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

Precision Waveform Generator/Voltage Controlled Oscillator

The ICL8038 waveform generator is a monolithic integrated circuit capable of producing high accuracy sine, square, triangular, sawtooth and pulse waveforms with a minimum of external components. The frequency (or repetition rate) can be selected externally from 0.001Hz to more than 300kHz using either resistors or capacitors, and frequency modulation and sweeping can be accomplished with an external voltage. The ICL8038 is fabricated with advanced monolithic technology, using Schottky barrier diodes and thin film resistors, and the output is stable over a wide range of temperature and supply variations. These devices may be interfaced with phase locked loop circuitry to reduce temperature drift to less than 250ppm/°C.

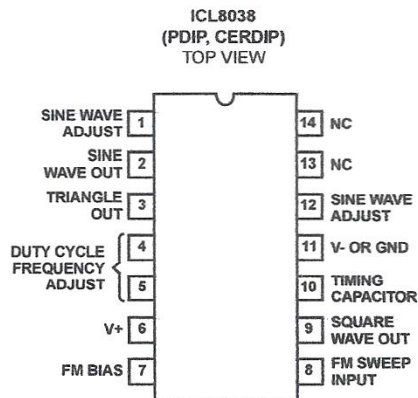
Features

- Low Frequency Drift with Temperature250ppm/°C
- Low Distortion 1% (Sine Wave Output)
- High Linearity 0.1% (Triangle Wave Output)
- Wide Frequency Range 0.001Hz to 300kHz
- Variable Duty Cycle 2% to 98%
- High Level Outputs TTL to 28V
- Simultaneous Sine, Square, and Triangle Wave Outputs
- Easy to Use - Just a Handful of External Components Required

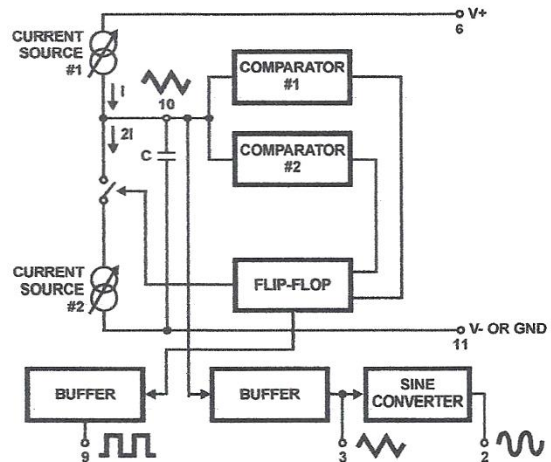
Ordering Information

PART NUMBER	STABILITY	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL8038CCPD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
ICL8038CCJD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038BCJD	180ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038ACJD	120ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3

Pinout



Functional Diagram



ICL8038

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V- to V+)	36V
Input Voltage (Any Pin)	V- to V+
Input Current (Pins 4 and 5)	25mA
Output Sink Current (Pins 3 and 9)	25mA

Operating Conditions

Temperature Range	0°C to 70°C
ICL8038AC, ICL8038BC, ICL8038CC	0°C to 70°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
CERDIP Package	75	20
PDIP Package	115	N/A
Maximum Junction Temperature (Ceramic Package)	175°C	
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C	

Die Characteristics

Back Side Potential V-

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 10V$ or $+20V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, Test Circuit Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC			ICL8038AC			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage Operating Range	V_{SUPPLY}											
	V+	Single Supply	+10	-	+30	+10	-	+30	+10	-	+30	V
	V+, V-	Dual Supplies	±5	-	±15	±5	-	±15	±5	-	±15	V
Supply Current	I_{SUPPLY}	$V_{SUPPLY} = \pm 10V$ (Note 2)		12	20	-	12	20	-	12	20	mA
FREQUENCY CHARACTERISTICS (All Waveforms)												
Max. Frequency of Oscillation	f_{MAX}		100	-	-	100	-	-	100	-	-	kHz
Sweep Frequency of FM Input	f_{SWEEP}		-	10	-	-	10	-	-	10	-	kHz
Sweep FM Range		(Note 3)	-	35:1	-	-	35:1	-	-	35:1	-	
FM Linearity		10:1 Ratio	-	0.5	-	-	0.2	-	-	0.2	-	%
Frequency Drift with Temperature (Note 5)	$\Delta f/\Delta T$	0°C to 70°C	-	250	-	-	180	-	-	120	-	ppm/°C
Frequency Drift with Supply Voltage	$\Delta f/\Delta V$	Over Supply Voltage Range	-	0.05	-	-	0.05	-	-	0.05	-	%/V
OUTPUT CHARACTERISTICS												
Square Wave												
Leakage Current	I_{OLK}	$V_g = 30V$	-	-	1	-	-	1	-	-	1	μA
Saturation Voltage	V_{SAT}	$I_{SINK} = 2mA$	-	0.2	0.5	-	0.2	0.4	-	0.2	0.4	V
Rise Time	t_R	$R_L = 4.7k\Omega$	-	180	-	-	180	-	-	180	-	ns
Fall Time	t_F	$R_L = 4.7k\Omega$	-	40	-	-	40	-	-	40	-	ns
Typical Duty Cycle Adjust (Note 6)	ΔD		2		98	2		98	2		98	%
Triangle/Sawtooth/Ramp												
Amplitude	$V_{TRIANGLE}$	$R_{TRI} = 100k\Omega$	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	$\times V_{SUPPLY}$
Linearity			-	0.1	-	-	0.05	-	-	0.05	-	%
Output Impedance	Z_{OUT}	$I_{OUT} = 5mA$	-	200	-	-	200	-	-	200	-	Ω

ICL8038

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 10V$ or $+20V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, Test Circuit Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC			ICL8038AC			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Sine Wave												
Amplitude	V_{SINE}	$R_{SINE} = 100k\Omega$	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	xV_{SUPPLY}
THD	THD	$R_S = 1M\Omega$ (Note 4)	-	2.0	5	-	1.5	3	-	1.0	1.5	%
THD Adjusted	THD	Use Figure 4	-	1.5	-	-	1.0	-	-	0.8	-	%

NOTES:

2. R_A and R_B currents not included.
3. $V_{SUPPLY} = 20V$; R_A and $R_B = 10k\Omega$, $f \approx 10kHz$ nominal; can be extended 1000 to 1. See Figures 5A and 5B.
4. $82k\Omega$ connected between pins 11 and 12, Triangle Duty Cycle set at 50%. (Use R_A and R_B .)
5. Figure 1, pins 7 and 8 connected, $V_{SUPPLY} = \pm 10V$. See Typical Curves for T.C. vs V_{SUPPLY} .
6. Not tested, typical value for design purposes only.

Test Conditions

PARAMETER	R_A	R_B	R_L	C	SW_1	MEASURE
Supply Current	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Current Into Pin 6
Sweep FM Range (Note 7)	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Open	Frequency at Pin 9
Frequency Drift with Temperature	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 3
Frequency Drift with Supply Voltage (Note 8)	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 9
Output Amplitude (Note 10)						
Sine	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 2
Triangle	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 3
Leakage Current (Off) (Note 9)	10k Ω	10k Ω		3.3nF	Closed	Current into Pin 9
Saturation Voltage (On) (Note 9)	10k Ω	10k Ω		3.3nF	Closed	Output (Low) at Pin 9
Rise and Fall Times (Note 11)	10k Ω	10k Ω	4.7k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Duty Cycle Adjust (Note 11)						
Max	50k Ω	$\sim 1.6k\Omega$	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Min	$\sim 25k\Omega$	50k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Triangle Waveform Linearity	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 3
Total Harmonic Distortion	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 2

NOTES:

7. The hi and lo frequencies can be obtained by connecting pin 8 to pin 7 (f_{HI}) and then connecting pin 8 to pin 6 (f_{LO}). Otherwise apply Sweep Voltage at pin 8 ($\frac{2}{3} V_{SUPPLY} + 2V$) $\leq V_{SWEEP} \leq V_{SUPPLY}$ where V_{SUPPLY} is the total supply voltage. In Figure 5B, pin 8 should vary between 5.3V and 10V with respect to ground.
8. $10V \leq V^+ \leq 30V$, or $\pm 5V \leq V_{SUPPLY} \leq \pm 15V$.
9. Oscillation can be halted by forcing pin 10 to +5V or -5V.
10. Output Amplitude is tested under static conditions by forcing pin 10 to 5V then to -5V.
11. Not tested; for design purposes only.

ICL8038

Test Circuit

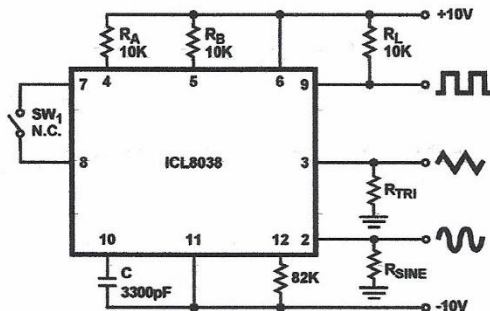
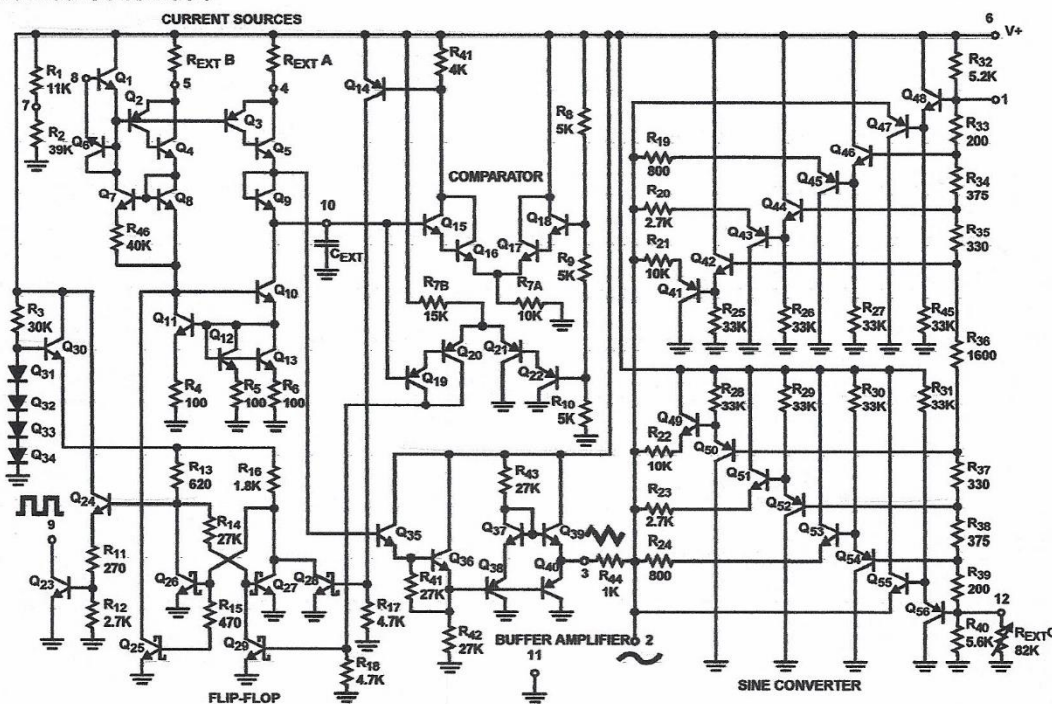


FIGURE 1. TEST CIRCUIT

Detailed Schematic



Application Information (See Functional Diagram)

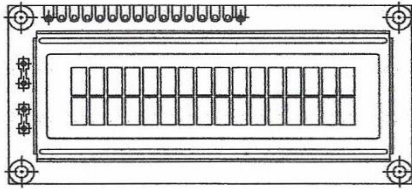
An external capacitor C is charged and discharged by two current sources. Current source #2 is switched on and off by a flip-flop, while current source #1 is on continuously. Assuming that the flip-flop is in a state such that current source #2 is off, and the capacitor is charged with a current I, the voltage across the capacitor rises linearly with time. When this voltage reaches the level of comparator #1 (set at 2/3 of the supply voltage), the flip-flop is triggered, changes states, and releases current source #2. This current source normally carries a current 2I, thus the capacitor is discharged with a

net-current I and the voltage across it drops linearly with time. When it has reached the level of comparator #2 (set at 1/3 of the supply voltage), the flip-flop is triggered into its original state and the cycle starts again.

Four waveforms are readily obtainable from this basic generator circuit. With the current sources set at I and 2I respectively, the charge and discharge times are equal. Thus a triangle waveform is created across the capacitor and the flip-flop produces a square wave. Both waveforms are fed to buffer stages and are available at pins 3 and 9.



16 x 2 Character LCD



FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA	

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

LCD-016M002B

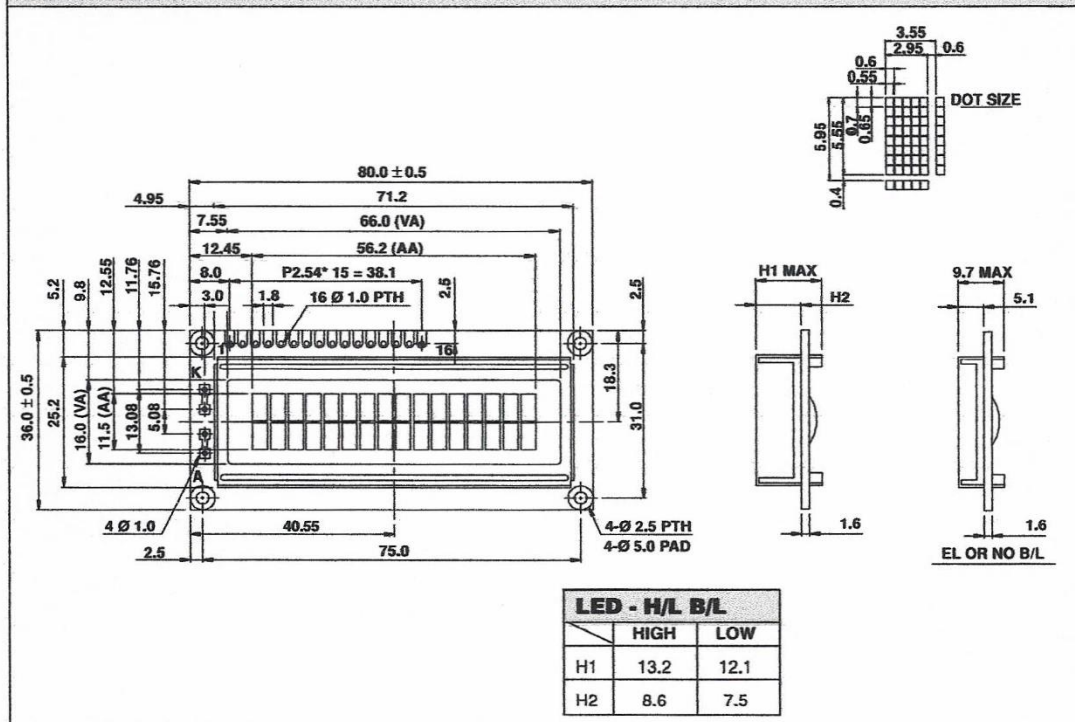
Vishay

16 x 2 Character LCD



PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+3V or +5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

DIMENSIONS in millimeters



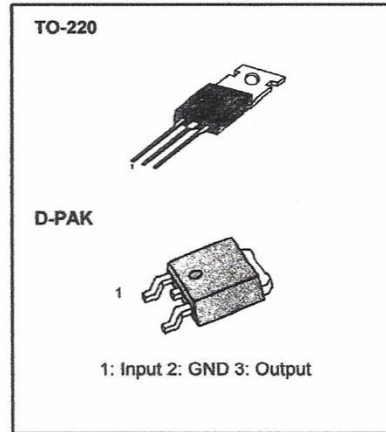
LM78XX (KA78XX, MC78XX) FIXED VOLTAGE REGULATOR (POSITIVE)

3-TERMINAL 1A POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

The LM78XX series of three-terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

FEATURES

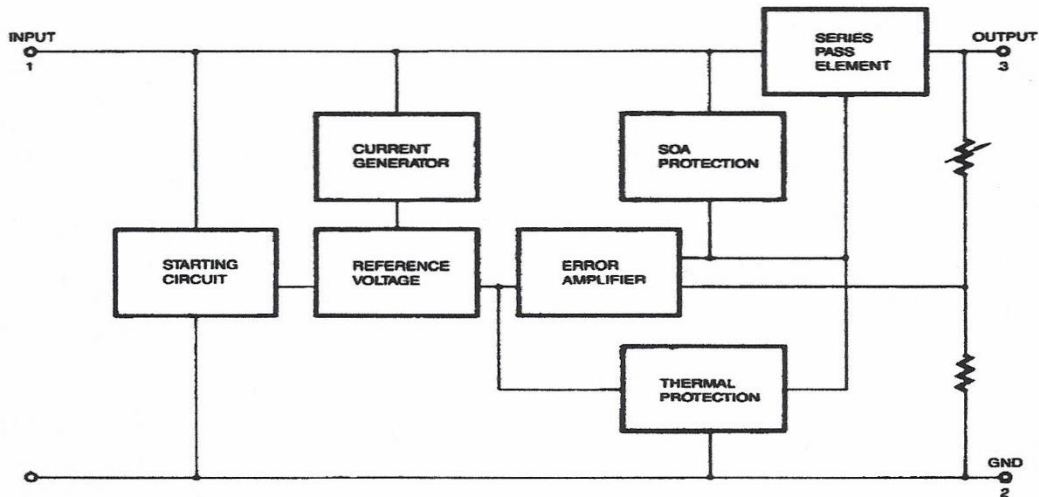
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor SOA Protection



ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Packag	Operating Temperature
KA78XXCT	± 4%	TO-220	0 ~ +125 °C
KA78XXAT	± 2%		-40 ~ +125 °C
KA78XXIT	± 4%	D-PAK	0 ~ +125 °C
KA78XXR	± 2%		-40 ~ +125 °C
KA78XXAR	± 4%		-40 ~ +125 °C

BLOCK DIAGRAM



LM79XX

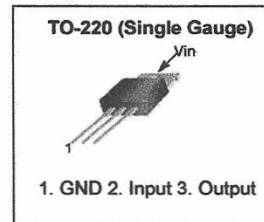
3-Terminal 1A Negative Voltage Regulator

Features

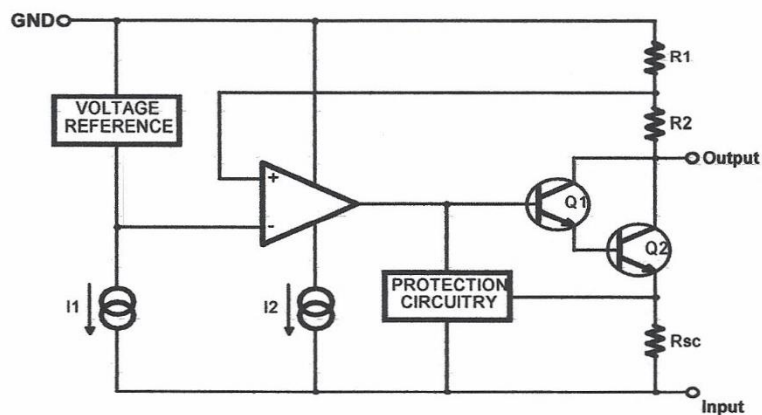
- Output Current in Excess of 1A
- Output Voltages of -5, -6, -8, -9, -10, -12, -15, -18 and -24V
- Internal Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Compensation

Description

The LM79XX series of three terminal negative regulators are available in TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible.



Internal Block Diagram





PIC16F882/883/884/886/887

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 Instructions to Learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt Capability
- 8-Level Deep Hardware Stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide Operating Voltage Range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature Range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with Software Control Option
- Enhanced Low-Current Watchdog Timer (WDT) with On-Chip Oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with Pull-up/Input Pin
- Programmable Code Protection
- High Endurance Flash/EEPROM Cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Program Memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 11 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

- 24/35 I/O Pins with Individual Direction Control:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pin
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator Module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of VDD)
 - Fixed voltage reference (0.6V)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Programmable Prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ Module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM Module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART Module:
 - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave Modes with I²C Address Mask

PIC16F882/883/884/886/887

Pin Diagrams – PIC16F882/883/886, 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP

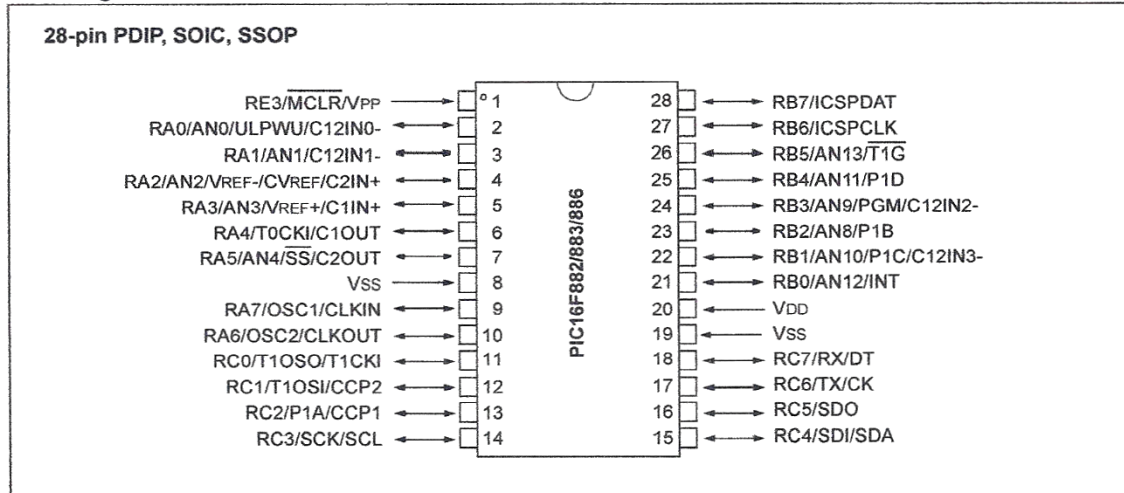


TABLE 1: PIC16F882/883/886 28-PIN SUMMARY (PDIP, SOIC, SSOP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	10	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	9	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	21	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	22	AN10	C12IN3-	—	P1C	—	—	IOC	Y	—
RB2	23	AN8	—	—	P1B	—	—	IOC	Y	—
RB3	24	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	25	AN11	—	—	P1D	—	—	IOC	Y	—
RB5	26	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	27	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	28	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	11	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	12	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	13	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	14	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	15	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	16	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	17	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	18	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	MCLR/VPP
—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	19	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

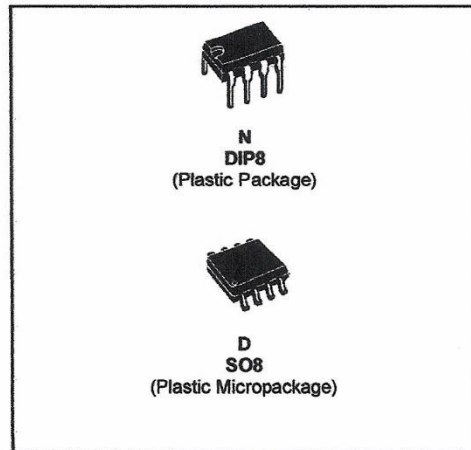
Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.



TL081 TL081A - TL081B

GENERAL PURPOSE J-FET SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)

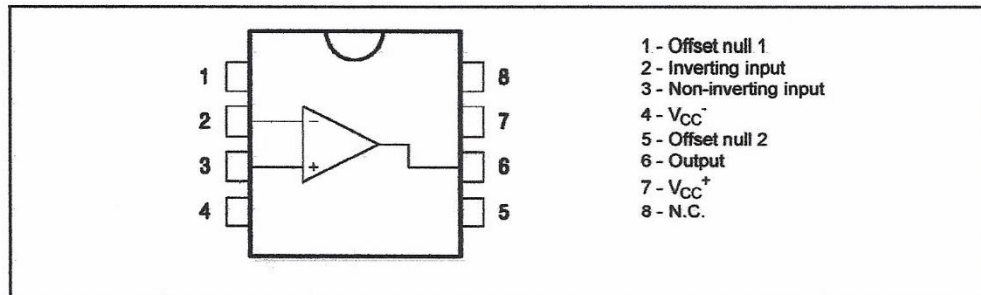


DESCRIPTION

The TL081, TL081A and TL081B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)



ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL081M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL081I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL081C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Example : TL081CD, TL081IN

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

General Description

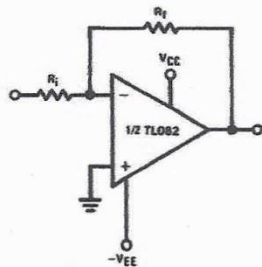
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL082 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and most LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

Features

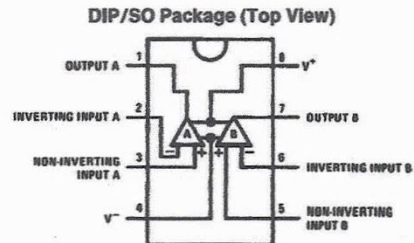
- Internally trimmed offset voltage 15 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 16nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 3.6 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20 V_p - p$, $BW = 20 \text{ Hz} - 20 \text{ kHz}$ <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



TL/H/8357-1

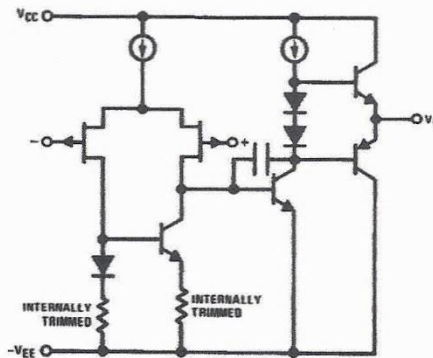
Connection Diagram



TL/H/8357-3

Order Number TL082CM or TL082CP
See NS Package Number M08A or N08E

Simplified Schematic



TL/H/8357-2

BI-FET II™ is a trademark of National Semiconductor Corp.