



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FUENTE MÚLTIPLE Y UN  
GENERADOR DE ONDAS PARA LA EJECUCIÓN DE  
PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LA CARRERA DE ING.  
MECATRÓNICA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**FRANCISCO ANTONIO TAHHAN SALVADOR**

**DIRECTOR: PhD DANIEL MIDEROS**

**Quito, abril 2017**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2017  
Reservados todos los derechos de reproducción.

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172535859-0
APELLIDO Y NOMBRES:	Tahhan Salvador Francisco Antonio
DIRECCIÓN:	10 de Agosto N48-54 y Cap. Ramos
EMAIL:	<a href="mailto:tsfa89@outlook.com">tsfa89@outlook.com</a>
TELÉFONO FIJO:	2812-686
TELÉFONO MOVIL:	0995087233

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño e implementación de una fuente múltiple y un generador de ondas, para la ejecución de prácticas de laboratorio de la carrera de Ing. Mecatrónica
AUTOR O AUTORES:	Tahhan Salvador Francisco Antonio
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	3 de Abril del 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	PhD. Daniel Mideros
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Mecatrónico
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	Se realizó el análisis, diseño y construcción de una fuente regulada múltiple (voltaje y corriente) y un generador para señales (ondas) cuadrada, triangular y sinusoidal, a partir de esquemas seleccionados, para la implementación en los laboratorios de Ing. Mecatrónica. El estudio se realizó utilizando el modelo - V; este modelo está compuesto por siete fases: especificaciones técnicas (definición de valores requeridos para

el diseño de los circuitos y modelado), requerimientos (determinación del tipo de elementos necesarios para el diseño y potencia de cargas aplicadas a la salida de los equipos, en base a las prácticas de laboratorio), parámetros de borde (definición de condiciones externas de trabajo de los equipos, como temperatura o ruido). Se ejecutaron las fases de diseño electrónico de los circuitos (análisis matemático), esquema y simulación CAD (diseño del esquemático y PCB de las placas para los equipos con ayuda de Proteus) y prototipo físico (construcción de placas y ajuste de estabilización de circuitos para comprobación de las fases anteriores). Los resultados obtenidos de los diferentes análisis, presentan la funcionalidad de los equipos de acuerdo al diseño y pruebas de ajuste realizadas para los mismos. En cuanto la fuente, tenemos una variación de voltaje de 0-30V, sin pérdidas de tensión a la salida, al conectar la carga. Así mismo, se consigue regular mediante los elementos de potencia, una corriente de hasta 3A para diversas aplicaciones. El generador de Ondas permite regulación tanto de frecuencia y amplitud, dentro de rangos admisibles en la práctica, comparados con los teóricos. Las señales son claras al momento de presentarse en un osciloscopio, puesto que se consigue estabilizar la señal, regulando la distorsión de la misma.

**PALABRAS CLAVES:**

**Fuente Regulable, Generador de Señales,  
Esquemático, Modelo V, PCB.**

**ABSTRACT:**

Has been performed the analysis, design and construction of a multiple regulated source (voltage and current) and a signal generator for square, triangular and sinusoidal waves, from selected schemes, for the implementation in the laboratories of Mechatronics. The study was performed using the -V model; This model consists of seven phases: technical specifications (definition of values required for the design of the circuits and modeling), requirements (determination of the type of elements necessary for the design and power of loads applied to the output of the equipment, based on laboratory practices), edge parameters (definition of external working conditions of equipment, such as temperature or noise). The electronic circuit design (mathematical analysis), schematic and CAD simulation (design of the schematic and PCB of the plates for the equipment with the help of Proteus) and physical prototype phases (construction of plates and adjustment of stabilization of circuits for verification of the previous phases), were executed. The results obtained from the different analyzes, present the functionality of the equipment, according to the design and adjustment tests performed on them. As for the regulated source, we have a voltage variation of 0-30V, without voltage loss at the output, when connecting the

<b>KEYWORDS</b>	load. Also, it is possible to regulate through the power elements, a current of up to 3A for different applications. The wave generator, allows regulation of both frequency and amplitude, within ranges allowable in practice, compared with theoretical ones. The signals are clear when showing on the oscilloscope, since it is possible to stabilize the signal, regulating the distortion of the same one.
	<b>Regulated Source, Signal Generator, Schematic, V Model, PCB.</b>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f.   
TAHHAN SALVADOR FRANCISCO ANTONIO

172535859-0

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **TAHHAN SALVADOR FRANCISCO ANTONIO**, CI. 172535859-0 autor/a del proyecto titulado: **“Diseño e implementación de una fuente múltiple y un generador de ondas, para la ejecución de prácticas de laboratorio de la carrera de Ing. Mecatrónica”** previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 3 de Abril de 2017

f:   
TAHHAN SALVADOR FRANCISCO ANTONIO  
172535859-0

## DECLARACIÓN

Yo **TAHHAN SALVADOR FRANCISCO ANTONIO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

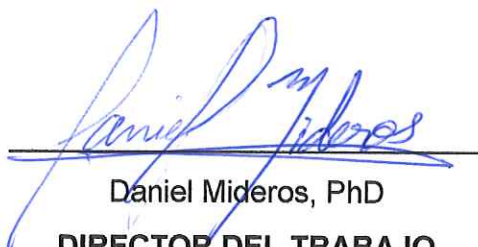
TAHHAN SALVADOR FRANCISCO ANTONIO

172535859-0



## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño e implementación de una fuente múltiple y un generador de ondas para la ejecución de prácticas de laboratorio de la carrera de Ing. Mecatrónica**", que, para aspirar al título de INGENIERO MECATRÓNICO fue desarrollado por FRANCISCO ANTONIO TAHHAN SALVADOR, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Daniel Mideros, PhD

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

171317732-5

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN .....	4
1.2 GENERADORES DE SEÑAL .....	15
1.2.1 Generadores de señal integrados .....	16
<b>2 METODOLOGÍA Y DISEÑO</b> .....	3
2.1 DISEÑO DE FUENTE REGULADA .....	20
2.1.1 El transformador .....	21
2.1.2 Rectificador .....	21
2.1.3 Condensador de Filtro .....	22
2.1.4 Análisis del circuito .....	23
Tensión de Referencia .....	23
Regulación de Voltaje .....	25
<b>2.2 DISEÑO DE UN GENERADOR DE ONDAS</b> .....	30
2.2.1 Alimentación .....	31
2.2.2 Ajuste de la frecuencia del ciclo de trabajo .....	32
2.2.3 Capacitores de temporización .....	32
2.2.4 Tensión para Barrido de Frecuencia .....	34
2.2.5 Ganancia para amplificación .....	35
2.2.6 Integración del ruido de alta frecuencia .....	37
2.2.7 Atenuación de la señal .....	37
2.2.8 Reducción de la distorsión .....	37
2.2.9 Ajuste del nivel de continua y ganancia de salida .....	38
2.3 CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS .....	38
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	21
3.1 Pruebas Fuente Regulable .....	42
3.2 Pruebas Generador de Señales .....	45
<b>4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	21
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Requerimientos para Fuente Regulable y Generador de Señales	18
<b>Tabla 2.</b> Valores de Capacitores para diferentes rangos de frecuencias	34
<b>Tabla 3.</b> Valores de Resistencias para la atenuación de la Señal	37
<b>Tabla 4.</b> Valores de Cargas para Tensión de Fuente Regulable	42
<b>Tabla 5.</b> Cargas resistivas para pruebas de corriente en fuente regulable	43
<b>Tabla 6.</b> Datos de voltaje s/c carga a la salida del Generador de Señales	47

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de bloques de una fuente de regulación lineal	5
<b>Figura 2.</b> Rectificador Media Onda (A) y Onda Completa (B).	6
<b>Figura 3.</b> a) Estabilización en paralelo, b) Estabilización en serie	8
<b>Figura 4.</b> Fuente regulada con diodo Zener	9
<b>Figura 5.</b> Diagrama de bloques de un estabilizador en serie.	9
<b>Figura 6.</b> Regulador en Serie simple	10
<b>Figura 7.</b> Diagrama de Bloques en Serie con realimentación	10
<b>Figura 8.</b> Fuente Regulable en serie con transistor como comparador	11
<b>Figura 9.</b> Circuito básico de limitación de corriente para regulador	12
<b>Figura 10.</b> Amplificador Darlington	13
<b>Figura 11.</b> Fuente de alimentación con regulador integrado	14
<b>Figura 12.</b> Circuito limitador de corriente con regulador integrado	14
<b>Figura 13.</b> Tensiones para reguladores de la serie 78XX	14
<b>Figura 14.</b> Oscilador	15
<b>Figura 15.</b> Diagrama de bloque de un Oscilador	16
<b>Figura 16.</b> Bloque de funcionamiento: (A) XR2206 (B) ICL8038	17
<b>Figura 17.</b> Ejemplo de Circuito Generador de Señales para un XR2206	18
<b>Figura 18.</b> Modelo en V como macro-ciclo	18
<b>Figura 19.</b> Diseño Conceptual Fuente Regulable	19
<b>Figura 20.</b> Diseño Conceptual Generador de Señales	20
<b>Figura 21.</b> Fuente Regulable	21
<b>Figura 22.</b> Características de Ruptura Zener	25
<b>Figura 23.</b> RX para saturación de transistor Q5	26
<b>Figura 24.</b> RX para corte de transistor Q5	27
<b>Figura 25.</b> Características instantáneas típicas en directa del rectificador 1N5408	29
<b>Figura 26.</b> Generador de Ondas con ICL8038	30
<b>Figura 27.</b> Fuente de Alimentación para ICL8038 y componentes	31
<b>Figura 28.</b> Posible conexión para las resistencias de temporización externas	32
<b>Figura 29.</b> Ilustración para cálculo de voltajes para el barrido de frecuencia	35
<b>Figura 30.</b> Conexión para mínima distorsión de la onda senoidal	38
<b>Figura 31.</b> Esquemático para simulación, fuente regulable	39
<b>Figura 32.</b> Esquemático para simulación, generador de señales	39
<b>Figura 33.</b> PCB Fuente Regulable y Componentes	40
<b>Figura 34.</b> PCB Generador de Señales y Componentes	40
<b>Figura 35.</b> A) Placa para fuente regulable, B) Alimentación de ventilador y medidor digital	40
<b>Figura 36.</b> A) Placa Generador de Señales, B) Alimentación para el Generador	41
<b>Figura 37.</b> Equipo Final Generador de Señales	41

<b>Figura 38.</b> a) Voltaje mínimo, b) Voltaje máximo	42
<b>Figura 39.</b> Medición de corriente y Voltaje en lector digital para carga resistiva de $10\Omega/5\text{Watts}$	43
<b>Figura 40.</b> Motor DC utilizado para pruebas	43
<b>Figura 41.</b> Cable puente 22 AWG de punta sólida	44
<b>Figura 42.</b> a) Montaje 2N3055 b) Montaje 2SC1061	44
<b>Figura 44.</b> Placa base para pruebas de Generador de Señales	45
<b>Figura 45.</b> Formas de Ondas en pines 2, 3 y 9 del ICL8038 respectivamente	45
<b>Figura 46.</b> Conexión de los dos generadores de señal a un osciloscopio de doble canal	46
<b>Figura 47.</b> a) Señal Triangular, b) Señal Senoidal, c) Señal Cuadrada	47

## RESUMEN

Se realizó el análisis, diseño y construcción de una fuente regulada múltiple (voltaje y corriente) y un generador para señales (ondas) cuadrada, triangular y sinusoidal, a partir de esquemas seleccionados, para la implementación en los laboratorios de Ing. Mecatrónica. El estudio se realizó utilizando el modelo -V; este modelo está compuesto por siete fases: especificaciones técnicas (definición de valores requeridos para el diseño de los circuitos y modelado), requerimientos (determinación del tipo de elementos necesarios para el diseño y potencia de cargas aplicadas a la salida de los equipos, en base a las prácticas de laboratorio), parámetros de borde (definición de condiciones externas de trabajo de los equipos, como temperatura o ruido). Se ejecutaron las fases de diseño electrónico de los circuitos (análisis matemático), esquema y simulación CAD (diseño del esquemático y PCB de las placas para los equipos con ayuda de Proteus) y prototipo físico (construcción de placas y ajuste de estabilización de circuitos para comprobación de las fases anteriores). Los resultados obtenidos de los diferentes análisis, presentan la funcionalidad de los equipos de acuerdo al diseño y pruebas de ajuste realizadas para los mismos. En cuanto la fuente, tenemos una variación de voltaje de 0-30V, sin pérdidas de tensión a la salida, al conectar la carga. Así mismo, se consigue regular mediante los elementos de potencia, una corriente de hasta 3A para diversas aplicaciones. El generador de Ondas permite regulación tanto de frecuencia y amplitud, dentro de rangos admisibles en la práctica, comparados con los teóricos. Las señales son claras al momento de presentarse en un osciloscopio, puesto que se consigue estabilizar la señal, regulando la distorsión de la misma.

### Palabras Claves

Fuente Regulable, Generador de Señales, Esquemático, Modelo V, PCB.

## **ABSTRACT**

Has been performed the analysis, design and construction of a multiple regulated source (voltage and current) and a signal generator for square, triangular and sinusoidal waves, from selected schemes, for the implementation in the laboratories of Mechatronics. The study was performed using the -V model; This model consists of seven phases: technical specifications (definition of values required for the design of the circuits and modeling), requirements (determination of the type of elements necessary for the design and power of loads applied to the output of the equipment, based on laboratory practices), edge parameters (definition of external working conditions of equipment, such as temperature or noise). The electronic circuit design (mathematical analysis), schematic and CAD simulation (design of the schematic and PCB of the plates for the equipment with the help of Proteus) and physical prototype phases (construction of plates and adjustment of stabilization of circuits for verification of the previous phases), were executed. The results obtained from the different analyzes, present the functionality of the equipment, according to the design and adjustment tests performed on them. As for the regulated source, we have a voltage variation of 0-30V, without voltage loss at the output, when connecting the load. Also, it is possible to regulate through the power elements, a current of up to 3A for different applications. The wave generator, allows regulation of both frequency and amplitude, within ranges allowable in practice, compared with theoretical ones. The signals are clear when showing on the oscilloscope, since it is possible to stabilize the signal, regulating the distortion of the same one.

### **Keywords**

Regulated Source, Signal Generator, Schematic, V Model, PCB.

# **1 INTRODUCCIÓN**



La mayoría de circuitos electrónicos para sistemas de control utilizan voltajes no mayores a 24VDC para su activación y correcto funcionamiento. Son diversas las fuentes de alimentación que pueden ser utilizadas para poner en funcionamiento a los distintos elementos electrónicos como micro-procesadores, transistores, registros, motores DC, etc. Los diferentes medios de alimentación proponen el uso de pilas conectadas en serie, uso de baterías de 9V o fuentes de alimentación diseñadas bajo diversas características de acuerdo a la necesidad del circuito (uso de diodos Zener, Transistores, Reguladores de Voltaje, etc.).

No sólo el voltaje y corriente son necesarios controlar cuando se trata de alimentar un sistema de control, la capacidad y calidad de la fuente también es muy importante para el correcto funcionamiento de los elementos, ya que una caída de tensión muy alta o un paso de sobre-corriente podría perjudicar de manera absoluta al sistema, más aún si este no posee la seguridad necesaria para prevenir este tipo de daños. Para lograr este objetivo, se debe tener en cuenta ciertas protecciones para los circuitos electrónicos como, por ejemplo, el sobre-dimensionamiento de capacitores o diodos para la rectificación de las ondas, diodos en paralelo para evitar contra-corrientes o conexión a tierra para evitar corrientes parásitas.

Para técnicos, estudiantes y aficionados de la electrónica, una fuente de alimentación no resulta ser el único equipo indispensable de trabajo. En el diseño de circuitos electrónicos, la necesidad tanto del análisis como el uso de las señales análogas y digitales, también es necesario. En el caso de prácticas de laboratorios de electrónica, en carreras de ingeniería -por ejemplo-, el uso de diversos tipos de onda (cuadrada, triangular, diente de sierra) se vuelve un requisito en cuanto calibración de equipos, medición de la respuesta de un circuito, activación por pulsos de un sistema dado, etc. Por lo cual, el uso de un generador de funciones (o señales), como se mencionó anteriormente, se vuelve también indispensable. Este permite generar las diferentes formas de onda, controlando su frecuencia y magnitud, así como la generación de señales TTL, que se pueden utilizar como señales de prueba o referencia en circuitos digitales.

Los generadores de señal y fuentes regulables para las prácticas, en la mayoría de universidades, son equipos elaborados por distintas compañías, listos para ser utilizados, adquiridos bajo un costo, en el que su uso, no justifica verdaderamente el fin para el cual fueron diseñados y construidos. A su vez, quienes operan estos equipos, sólo aprenden a manipularlos de manera correcta, pero desconocen (en gran mayoría) el funcionamiento interno de los mismos.

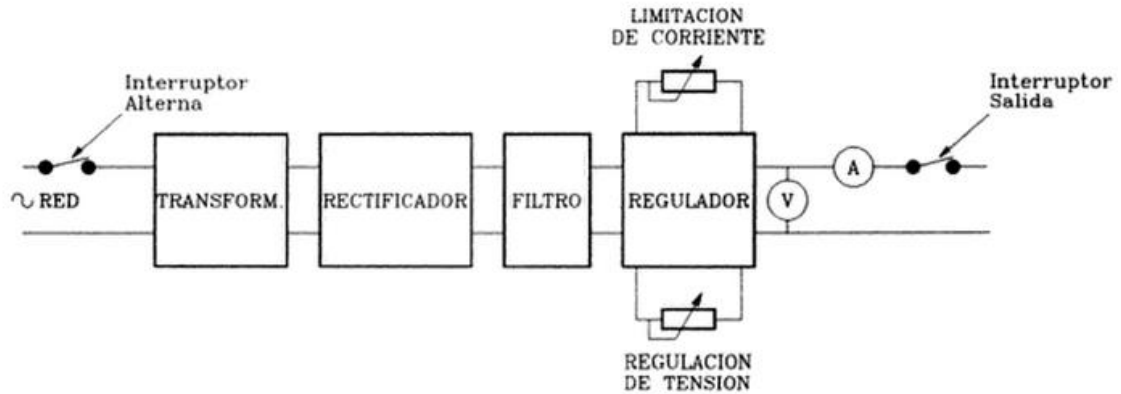
El diseño y construcción de estos equipos, es importante entonces, por el beneficio que genera a los estudiantes al momento de llevar a cabo sus prácticas, así como a la Universidad al momento de adquirirlos. Primero, son equipos diseñados con elementos fáciles de conseguir en el país y, al estar detallados tanto su diseño, como su funcionamiento, dan la oportunidad a cualquier persona de repararlos y estudiarlos. Son de bajo costo, por lo cual, la universidad (o los estudiantes) pueden permitirse la reproducción de los mismos. A su vez, las prestaciones que ofrecen, permiten abarcar, en su mayoría, los requerimientos para diversos circuitos electrónicos. El estudiante posee más tiempo de práctica, puesto que los equipos no pasan a ser únicamente parte de las instalaciones de la institución, por el contrario, permiten al estudiante “fabricar” su laboratorio en casa.

Así, como objetivo general del trabajo se propone, el análisis, diseño y construcción de equipos de laboratorio (fuente regulable y generador de señales) para su implementación dentro de las instalaciones de la Universidad y como material de apoyo para los estudiantes, permitiendo llevar a cabo las prácticas respectivas, de las diferentes asignaturas relacionadas con la electrónica.

## **1.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN**

Las fuentes de alimentación de laboratorio, son equipos electrónicos que suministran energía eléctrica continua para alimentar los prototipos de los sistemas electrónicos que se encuentran en la fase de desarrollo en un laboratorio. Para ello, deben permitir al usuario controlar sus diferentes parámetros mediante los elementos de medida y maniobra adecuados. Las fuentes de laboratorio reguladas linealmente, se dividen en simples (poseen una salida) y dobles (poseen dos salidas). (Españeira, Pérez, Ferreiro. 1995).

Para un correcto funcionamiento en fuentes de alimentación, se requieren ciertos elementos, que combinados, forman el circuito electrónico para satisfacer las diferentes características para los cuales fueron diseñados, tal como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 1.



**Figura 1.** Esquema de bloques de una fuente de regulación lineal  
(Pérez, Espiñeira, Ferreiro, 1995)

## El transformador

El transformador es un elemento eléctrico, encargado de aumentar o disminuir la tensión o corriente de un circuito de corriente alterna, manteniendo la potencia entre el primario y secundario de sus devanados. (Pérez, Ávila, 2012)

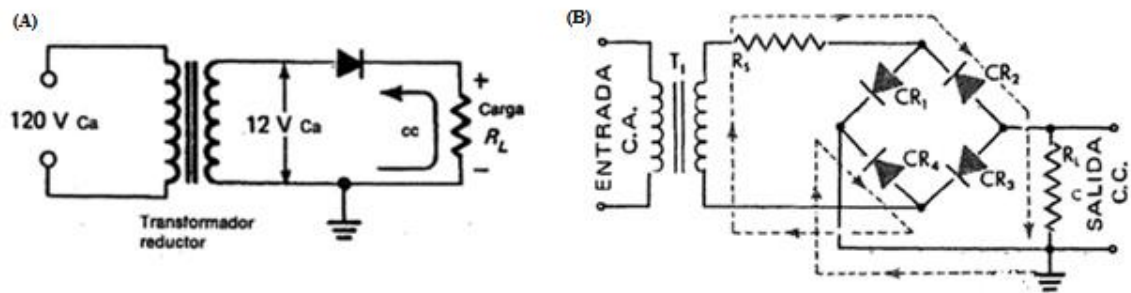
Un transformador monofásico cuenta con una fase y un neutro (tierra). El devanado primario, se lo conecta de forma directa a la red para obtener la señal de corriente alterna, que posteriormente, mediante inducción por campo magnético, reducirá la amplitud de esta señal a valores necesarios para cumplir con las especificaciones del circuito de alimentación. Cabe resaltar que un transformador es reversible, es decir, cualquiera de los dos devanados puede ser conectado a la tensión mayor y obtendríamos la tensión del otro. (Pérez, Ávila, 2012)

## El rectificador

La mayoría de los circuitos electrónicos emplean corriente DC, pero las compañías eléctricas suministran al consumidor final corriente alterna de 110/120/208/240 V dependiendo el país en el que se encuentre. El objetivo de una fuente de alimentación, es transformar, mediante la rectificación, la señal AC en DC, es decir, “bloqueando” la parte negativa de la onda AC y permitiendo el paso únicamente de la parte positiva, ya que la señal DC se mueve en un solo sentido, mientras que la AC se mueve tanto en positivo como negativo. (Schuler, 1996).

Existen dos tipos de rectificadores, el de media onda y el de onda completa. El primero trabaja para una frecuencia igual a la de la señal, al

conseguir el paso únicamente del primer semiciclo de la misma y sirve para aplicaciones de baja potencia, debido al bajo aprovechamiento de la onda rectificadora. El segundo, se lo puede conseguir mediante la conexión de dos diodos, o de cuatro diodos, siendo este último conocido como “puente rectificador”. Este trabaja para el doble de la frecuencia, al utilizar los dos semiciclos de la onda, puesto que, al ciclo negativo, lo invierte. Al aprovecharse toda la señal, este tipo de configuración resulta mejor para aplicaciones de media y alta potencia.



**Figura 2.** Rectificador Media Onda (A) y Onda Completa (B).  
(Seippel, 1977)

## El Filtro

Como se menciona repetidamente, la mayoría de circuitos electrónicos utilizan corriente continua, es decir, una señal de determinado valor, invariante en el tiempo. Al rectificar la señal alterna obtenida de la red, se obtiene una señal pulsante en DC, pero la carga no puede ser alimentada con una señal de este tipo, por lo tanto, es necesario colocar elementos que eliminen en la mayor cantidad posible, la componente de alterna todavía existente en la señal rectificadora. Esta componente de alterna, se la conoce como rizado. Para reducir el rizado al mínimo, acercando esta señal a una continua lo más similar posible, tal como se la obtiene de una batería, se debe colocar elementos que filtren la misma, es decir, se debe obtener a la salida del filtro, una señal “alisada” (Schuler, 1986).

Se pueden utilizar tanto filtros capacitivos como inductivos para conseguir el filtrado de la señal. El filtro capacitivo, se lo consigue conectando un capacitor en paralelo a la salida del rectificador. Los capacitores son elementos de almacenamiento de energía en campo eléctrico. Al momento que la señal, sale del rectificador, una corriente ingresa al capacitor, permitiendo la carga de este hasta el valor pico (Ec. 1) de la señal AC (es decir, en un  $1/4T$  el capacitor alcanza el valor pico de la señal). Cuando la señal de alterna empieza a decrecer, el

capacitor ya cargado, pasa a suministrar la energía necesaria a la carga, hasta reiniciar el ciclo de carga, es decir, el capacitor posee un tiempo de carga y descarga que permite atenuar la señal de alimentación.

$$V_{pico} = V_{RMS} * 1.4142 \quad [1]$$

La efectividad de un filtro capacitivo la determinan tres factores: el tamaño del condensador, el valor de la carga y el tiempo entre pulsaciones. Estos tres parámetros, están relacionados por la fórmula  $T = RxC$ . (Schuler, 1986).

El producto RC se lo conoce como *constante de tiempo*. Un capacitor, se descarga totalmente en aproximadamente 5T segundos. Entre dos crestas consecutivas, el capacitor se descargará ligeramente, siendo el rizado de pequeño valor, para lo cual entonces, el valor de RC, deberá ser grande en comparación con el valor entre dos crestas. (Schuler, 1986).

Para la selección de un filtro capacitivo, se parte de la ecuación para el voltaje de rizo (Ec. 2) y de la ecuación para la capacitancia del filtro (Ec. 3). Una vez despejado C de la ecuación para Voltaje de rizado, se reemplaza la ecuación 3 en la nueva ecuación 2, sabiendo que  $Q=I*t$  (para  $t=T$ ) y, según la Ley de Ohm,  $V=I*R$ . De lo cual se obtiene la ecuación 4.

$$V_{rizo} = \frac{V_p}{f_{out} * RC} \quad [2]$$

$$C = \frac{Q}{V_{rizo}} \quad [3]$$

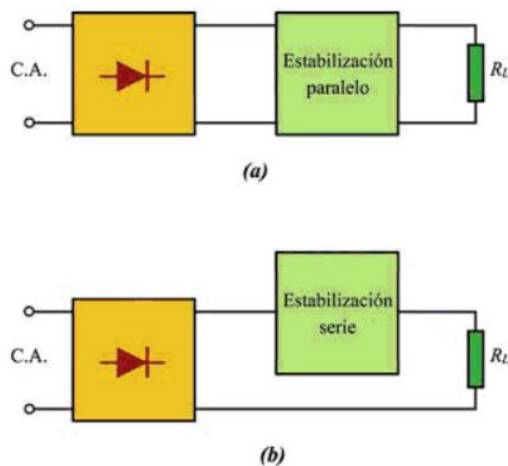
$$C = \frac{I_m}{V_{rizo} * f} \quad [4]$$

Así, se puede seleccionar el valor del capacitor de filtro, para conseguir una señal atenuada a la salida, que alimentará el circuito deseado. Se debe entonces considerar que, para el valor del capacitor de filtro, habrá que seleccionarse siempre el valor comercial más próximo por encima del valor teórico, así como para un voltaje superior en al menos un 40% del valor final de carga del mismo (voltaje pico de carga). La frecuencia vendrá dada por el rectificador de la señal, como se mencionó anteriormente, si es de media u onda completa.

## Regulador

Una vez seleccionados los elementos de entrada para la fuente de alimentación, queda por escoger el regulador final, que será aquel que, con la ayuda de varios componentes, permitan la regulación tanto de voltaje, como la limitación o regulación de corriente. El elemento de salida provee a la carga de una señal aún más estable.

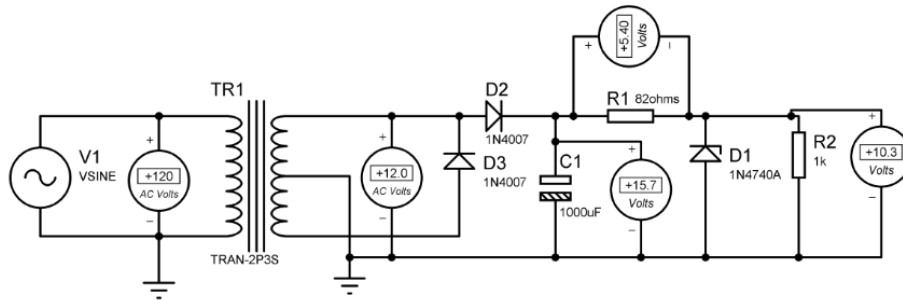
Los reguladores que permiten obtener valores estabilizados tanto de voltaje como de corriente, fijos o variables, se los consigue mediante dos diferentes configuraciones: serie o paralelo (Figura 3).



**Figura 3.** a) Estabilización en paralelo, b) Estabilización en serie  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

Existen varios tipos de elementos, así como de circuitos posibles, cuando se trata de elegir el “bloque” regulador de salida. La selección de aquello, depende únicamente de las características que el fabricante le quiera dar, así como de la potencia de salida para el consumo de la carga a alimentarse.

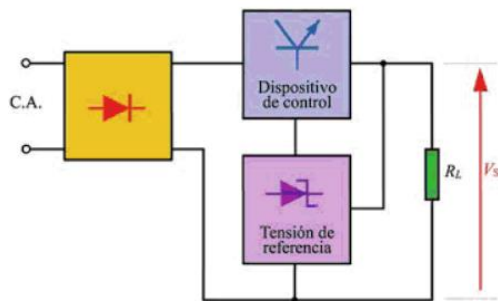
Un ejemplo de regulador en paralelo, es el que se muestra en la Figura 4, con un diodo Zener como estabilizador de tensión a 10V. Este diodo conectado en paralelo a la carga, mantiene la tensión Zener (tensión regulada) en dicha carga, a costa de desviar parte de la corriente por sí mismo cuando la tensión se eleva por encima de  $V_z$  (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).



**Figura 4.** Fuente regulada con diodo Zener

Para los estabilizadores en serie, el elemento regulador se coloca en serie con la carga. Este tipo de circuitos, variará su resistencia interna en función de la tensión que se presente en la carga, de tal forma que, si la tensión tiende a reducirse, dicha resistencia interna disminuye con el fin de que la caída de tensión que en ella se produce disminuya, compensando la reducción inicial; al contrario, si la tensión en la carga tiende a elevarse, un aumento de resistencia interna del regulador se produce, y con ella aumenta la caída de tensión en la misma, dando como resultado una compensación del aumento inicial. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).

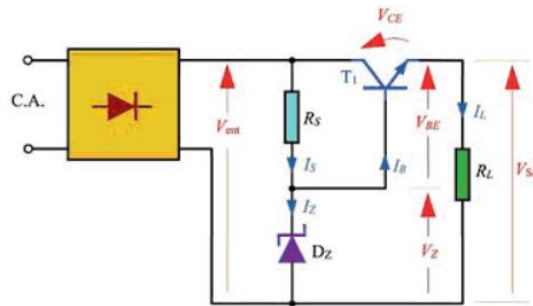
Para obtener los resultados deseados con un regulador en serie, es necesario un elemento capaz de modificar su resistencia interna mencionado anteriormente, siendo este un elemento de control, a su vez, acompañado de un elemento sensor a estos cambios producidos, es decir, una tensión de referencia, como se muestra en la Figura 5. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010)



**Figura 5.** Diagrama de bloques de un estabilizador en serie.  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

Para dicho proceder, se pueden utilizar componentes como transistores, que, al ser elementos activos, modifican su resistencia interna, permitiendo así el control para la regulación a la salida del circuito, mediante un diodo zener como elemento sensor a los cambios producidos en la tensión. De esta manera, se puede conseguir desde modelos sencillos de reguladores, como se muestra en

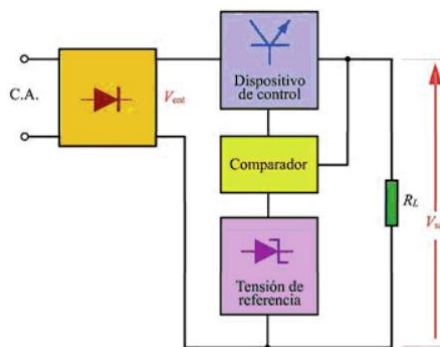
la Figura 6, hasta circuitos más complejos, dependiendo de los requerimientos del sistema a ser alimentado.



**Figura 6.** Regulador en Serie simple  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

Una variación en cuanto a estabilizadores de señal en serie, se consigue mediante un circuito de realimentación, añadiendo un comparador al mismo. Los amplificadores operacionales y transistores, son por lo general, los elementos utilizados para este propósito.

El dispositivo, compara la tensión de salida, con la de referencia, dando como resultado una tensión diferencial de realimentación que activa el dispositivo de control, y que consigue mantener la tensión de salida a un valor estable como se detalla en la Figura 7.

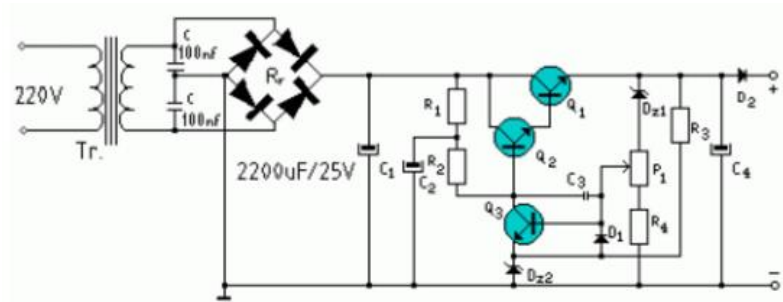


**Figura 7.** Diagrama de Bloques en Serie con realimentación  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

En la Figura 8 se muestra un circuito regulador de tensión en serie con realimentación, mediante el uso de transistores. El transistor Q3, compara la tensión de referencia dada por el diodo Zener Dz2 con la tensión de “muestreo” de Dz1 y el divisor de voltaje de P1 y R2. El circuito se comporta de la manera descrita anteriormente, en donde la conducción de Q3, dependerá del resultado de dicho diferencial de tensiones detalladas. Cuando este transistor se encuentre en su estado de máxima conducción, la tensión aplicada en su base será máxima, lo que conlleva que la tensión de base de Q2 será mínima y esto proporciona la



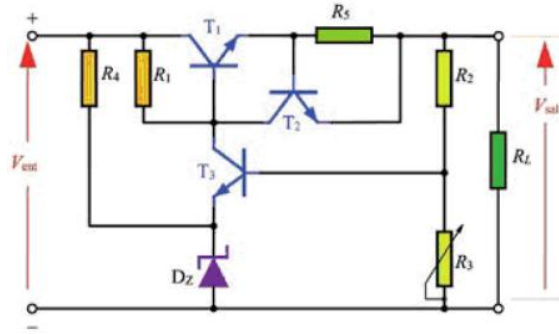
máxima impedancia de Q1 colector-emisor, reduciendo así la tensión de salida al mínimo. (Diario eléctrico hoy, 2010).



**Figura 8.** Fuente Regulable en serie con transistor como comparador (Diario Electrónico Hoy, 2010)

Para obtener una tensión a la salida regulable, no hace falta más que colocar una resistencia variable en el circuito, capaz de modificar la tensión de realimentación de la salida. En la Figura 8 se puede apreciar claramente como P1 es la resistencia variable, capaz de modificar los valores de la tensión de muestreo, que resultará en un control sobre la base del transistor Q3, que, a su vez, controla a Q2, el mismo que controla la impedancia colector-emisor de Q1, permitiendo variar el voltaje de salida, desde un valor mínimo hasta un máximo.

En cuanto reguladores de tensión con limitación de corriente, se puede utilizar diversos elementos, conectados de tal manera, que su lógica de trabajo permita al circuito de alimentación regular de cierto modo la corriente obtenida a la salida del mismo. Este tipo de circuitos son utilizados en su mayoría como protección contra cortocircuitos y sobrecargas. Debido a que los fusibles no presentan una protección segura debido a su acción lenta ante sobre corrientes, las fuentes de alimentación suelen ir equipadas con circuitos que, al detectar una sobre corriente, reducen la tensión de salida, evitando que la corriente de carga supere valores peligrosos. En la Figura 9 se ilustra una manera sencilla de conseguir esta limitación de corriente. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).

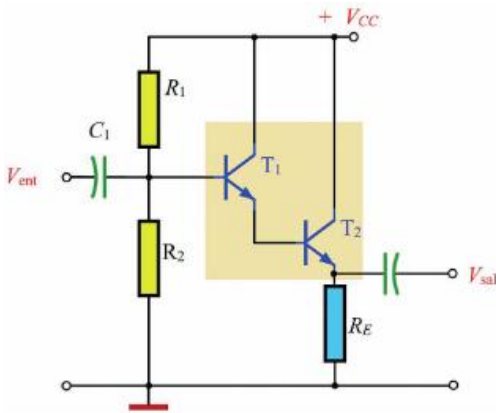


**Figura 9.** Circuito básico de limitación de corriente para regulador  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

En este circuito, la resistencia  $R_s$ , será la encargada de limitar la corriente de salida. Al estar dicha resistencia conectada entre la base y el emisor de  $T_2$ , es necesario que, para corrientes nominales, su tensión sea menor a la requerida para polarizar a  $T_2$  (alrededor de  $0.7V$  para silicio), de esta manera  $T_2$  se mantendrá en corte y no producirá mayor efecto en el funcionamiento del circuito. Para corrientes mayores a la nominal,  $R_s$  será capaz de polarizar al transistor  $T_2$ , el cual empezará a conducir. Dicha conducción elevará la corriente a través de  $R_1$ , lo cual producirá una caída de tensión en la base del transistor de control  $T_1$ , provocando una disminución de la tensión de salida de la fuente de alimentación en el grado preciso para evitar el aumento de la corriente de carga. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).

Para reguladores de corriente, resulta de gran interés el método de acoplamiento directo de dos transistores en configuración colector común. A este circuito se lo conoce como conexión Darlington. La ganancia de tensión que se obtiene del conjunto es aproximadamente la unidad. Sin embargo, se consigue una gran ganancia de corriente, que viene a ser la resultante del producto de las betas de ambos transistores, es decir, si un transistor tiene una beta de 20 y el siguiente de 40, tendríamos una ganancia en corriente de 800. En la Figura 10 se aprecia la conexión de la pareja Darlington como amplificador.

La ventaja de este circuito, es su gran impedancia de entrada frente a una impedancia de salida pequeña, lo cual hace que esto sea de interés en aplicaciones donde es necesario aislar las fuentes de señal con impedancia elevada de las cargas con pequeña impedancia. (Pablo Alcalde San Miguel, 2014).



**Figura 10.** Amplificador Darlington

Todo lo descrito anteriormente, es en cuanto a reguladores sin circuitos integrados. Para fuentes de alimentación fijas o variables, tanto de voltaje como de corriente, se puede conseguir también mediante el uso de circuitos integrados reguladores.

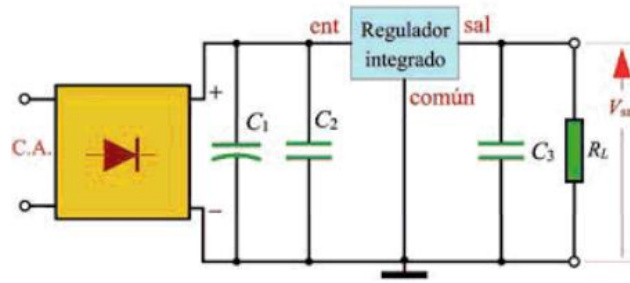
Estos reguladores no son más que componentes discretos, que ofrecen una gran variedad de ventajas al momento de utilizarlos como reguladores de señal para fuentes de alimentación.

Entre sus características se tiene limitación de la intensidad, tanto variable como fija, autoprotección contra temperaturas excesivas, mando a distancia, funcionamiento para una amplia gama de tensiones de entrada y protección frente sobrecargas o cortocircuitos. (Michael Cirovic, 1991).

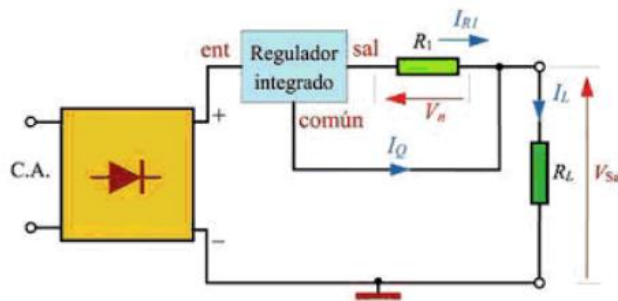
Internamente se basan en la estabilidad de tensión que proporciona el diodo zener y la amplificación que proporcionan los transistores. (Antonio Hermosa Donate, 2012).

Existe una gran gama de reguladores en C.I., entre los más comunes están las series 78XX, 79XX, LM337, LM317, LM723, 78TXX, etc.

Como se muestra en la Figura 11, estos reguladores se conectan en serie con la carga de salida. Constan de tres patillas que corresponden a la entrada de la señal sin regular, otra a la salida de carga y la tercera que es la común entre entrada y salida, por lo general conectada a tierra del circuito. Pueden ser de tipo fijo, variables, e incluso se puede conseguir una limitación de corriente si se conectan de manera adecuada para el propósito, tal como lo muestra la Figura 12.



**Figura 11.** Fuente de alimentación con regulador integrado  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)



**Figura 12.** Circuito limitador de corriente con regulador integrado  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

Dependiendo de cada serie, se encuentra una variedad para diferentes tensiones fijas o variables para reguladores en C.I. En la Figura 13 podemos observar los diferentes reguladores que nos ofrece la serie 78XX. Así mismo, para el diseño de fuentes de alimentación con reguladores C.I., debemos referirnos a las hojas de dato del fabricante para conocer las características del elemento.

Regulador integrado	Tensión nominal de salida	Tensión de entrada mínima (V)	Tensión de entrada máxima (V)
7805	+ 5 V	7	25
7806	+ 6 V	8	25
7808	+ 8 V	10,5	25
7885	+ 8,5 V	10,5	25
7812	+ 12 V	14,5	30
7815	+ 15 V	17,5	30
7818	+ 18 V	21	30
7824	+ 24 V	27	38

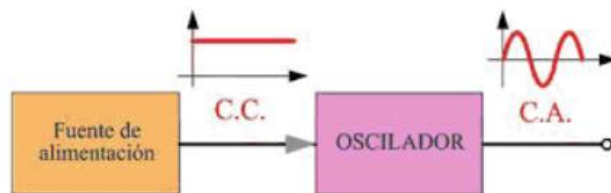
**Figura 13.** Tensiones para reguladores de la serie 78XX

## 1.2 GENERADORES DE SEÑAL

Un generador de señal, es un instrumento que suministra una señal alterna de tipo senoidal, triangular, cuadrada y sus derivaciones (como diente de sierra) de amplitudes y frecuencias regulables y que se pueden conocer en todo momento.

Los generadores de señales proporcionan una gama de frecuencias de señal bastante amplia. Entre ellos se tiene los generadores de baja frecuencia (1Hz a 100KHz) y los de alta frecuencia o radiofrecuencia (100KHz y 1000MHz). (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).

Un oscilador podría decirse que no es más que un dispositivo electrónico, dotado para generar una señal alterna, partiendo de una alimentación de corriente continua, como se ilustra en la Figura 14. Para la generación de la señal alterna se utilizan circuitos resonantes, formados fundamentalmente por bobinas y condensadores conectados en serie o paralelo. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).



**Figura 14.** Oscilador  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

Estos elementos al no ser ideales, presentan pérdidas producidas por el condensador y la bobina, lo que provoca que la señal se atenúe con el tiempo. Para evitar esta atenuación, es necesario inyectar en cada ciclo a la señal la energía perdida, produciendo un efecto constante y regenerativo de la señal. La regeneración de la señal se consigue gracias al uso de amplificadores operacionales con una realimentación adecuada. Entonces un oscilador se compone básicamente de un circuito generador de la señal (circuito resonante) y de un amplificador con realimentación. En la Figura 15 se muestra el diagrama de bloques para un circuito oscilador. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).



**Figura 15.** Diagrama de bloque de un Oscilador  
(Pablo Alcalde San Miguel, 2010)

Si el conjunto formado por el amplificador y la red de realimentación poseen una realimentación igual a la unidad, la señal se auto-regenerará, lo que da como resultado una señal senoidal en la salida; sin embargo, si dicha ganancia es bastante superior a la unidad, el amplificador trabajará en niveles de saturación y corte, lo cual dará como resultado una señal cuadrada. Una condición que debe cumplir el amplificador, es que su impedancia de entrada debe ser lo más alta posible, por este motivo, son muy utilizados los transistores de efecto de campo y los amplificadores operacionales. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).

Existen varias aplicaciones, en las cuales, la frecuencia de oscilación del generador de señales, se necesita que sea mucho más estable que la dada por los osciladores LC. Para estos casos, un oscilador de cristal (Ej. Cristal de cuarzo) proporcionará esta frecuencia estabilizada, ya que, si se aplica al cristal una tensión alterna, a cierta frecuencia, éste vibrará a dicha frecuencia. (Pablo Alcalde San Miguel, 2010).

### 1.2.1 Generadores de señal integrados

Al igual que para la mayor parte de circuitos electrónicos, se encuentran en el mercado, generadores de señal encapsulados en un solo circuito integrado. Entre los más conocidos se encuentran tanto el XR2206 (poco utilizado en los últimos años) y el ICL8038. Ambos son circuitos integrados monolíticos, capaces de producir ondas senoidales, triangulares, cuadradas, diente de sierra y pulsos con un mínimo de componentes externos. Poseen frecuencias variables desde 0.001Hz hasta más de los 300KHz (valores que varían de acuerdo al oscilador) que se consiguen usando tanto resistores como capacitores, así como modulación y barrido de frecuencia, que pueden obtenerse mediante voltajes externos. (Intersil Datasheet, 1998).

Como se aprecia en la Figura 16, ambos circuitos integrados basan su funcionamiento en una serie de conmutadores (multivibradores), comparadores, y “buffers” o circuitos amplificadores para la obtención de ondas cuadradas y

triangulares. En el caso del ICL8038, posee un convertidor de onda triangular a senoidal que se obtiene a la salida de la patilla 2.

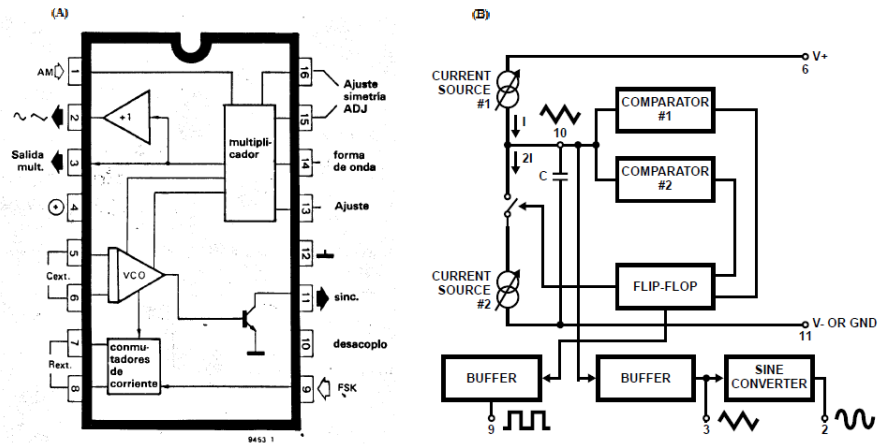


Figura 16. Bloque de funcionamiento: (A) XR2206 (B) ICL8038

Las diferentes frecuencias de trabajo, así como su modulación y barrido, se obtienen con diferentes valores para los elementos externos que complementan el funcionamiento de los circuitos integrados. La forma de funcionamiento, así como las diversas aplicaciones de los dispositivos, se las puede encontrar en las hojas de datos de los fabricantes para cada uno de los elementos. La alimentación necesaria, el voltaje de entrada para la simetría de las ondas, etc. Para controlar la amplitud de las ondas a la salida de los circuitos integrados generadores de señal, basta con acoplar a la salida un amplificador operacional con una resistencia variable.

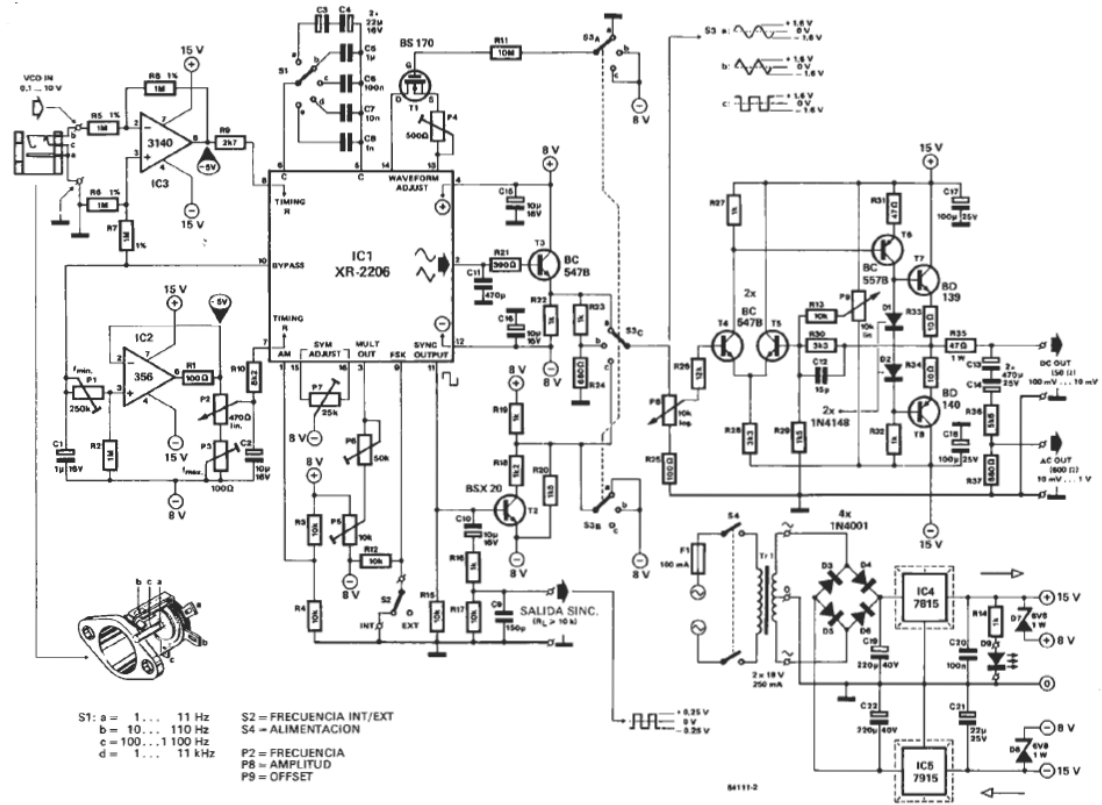
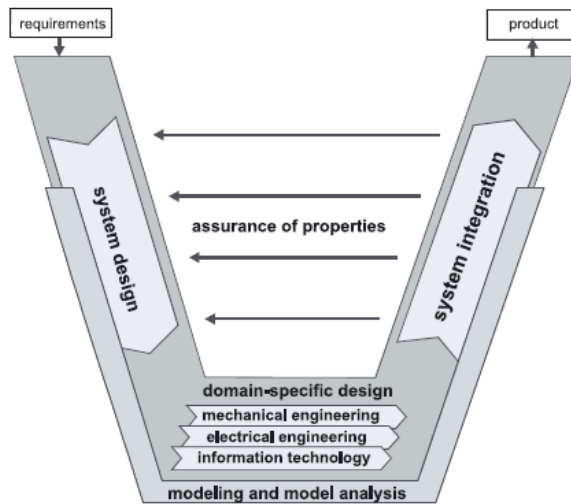


Figura 17. Ejemplo de Circuito Generador de Señales para un XR2206 (Elector, 1985)



## **2 METODOLOGÍA Y DISEÑO**

Para el diseño e implementación del proyecto se propone la metodología en V, para el diseño mecatrónico. Esta metodología, es un proceso que representa la secuencia de pasos para el desarrollo del ciclo de vida de un proyecto.



**Figura 18.** Modelo en V como macro-ciclo  
(Design methodology for Mechatronic Systems, 2004)

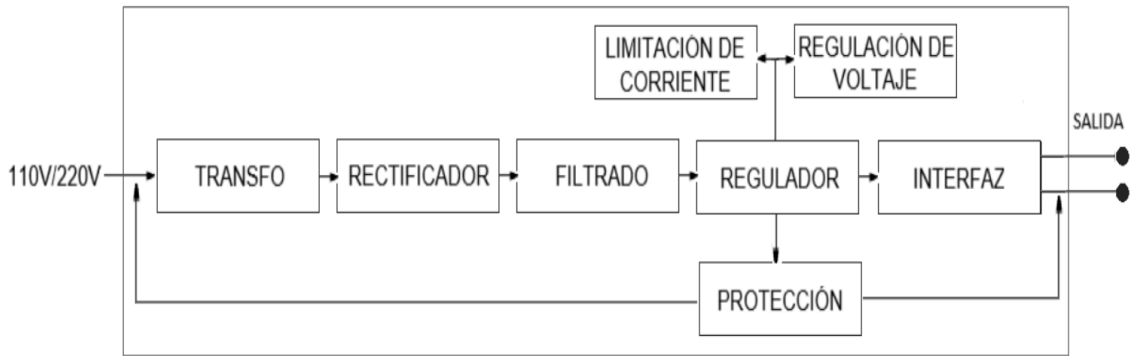
## Requerimientos

Enlista los requerimientos para el diseño de ambos equipos con base en los valores y señales comúnmente utilizadas en prácticas de laboratorio, los mismos que se enlistan a continuación.

**Tabla 1.** Requerimientos para Fuente Regulable y Generador de Señales

Fuente Regulable		Generador de Señales	
Voltaje	0-30V regulables.	Formas de Ondas	Triangular, Senoidal y Cuadrada.
Corriente	Limitación de 0-3A.	Frecuencia de trabajo	1Hz hasta 100KHz.
Protección	Corto-circuitable a la salida.	Amplitud	Regulable en rango de voltios hasta mili-voltios.
Interfaz	Debe poseer elemento de medición tanto para voltaje como corriente.	Barrido de Frecuencia	Debe permitirse la selección de frecuencia mínima y máxima del rango de frecuencias de trabajo seleccionado.

## Diseño Conceptual



**Figura 19.** Diseño Conceptual Fuente Regulable

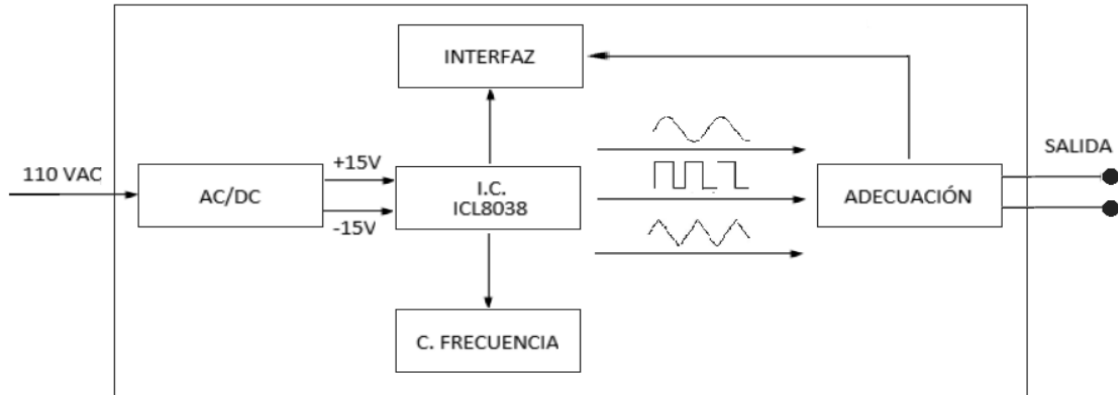
Para la fuente regulable, se utiliza un transformador reductor monofásico de 110/120V a 24V y 3A a 50/60Hz como suministro de potencia, mientras que, para el voltaje de referencia, fijado mediante un diodo Zener, se utiliza un transformador de 110/120V a 9V y 0.5A a 50/60Hz.

Tanto los bloques del rectificador como del filtrado, son los encargados de transformar la onda de la red AC en DC, mediante el uso de puentes rectificadores, así como filtros capacitivos.

El bloque de regulación, lo componen un circuito de potencia, conformado por tres transistores en configuración cascada, así como un circuito de control conformado por un transistor encargado de regular el voltaje a la salida y otro encargado de limitar la corriente de consumo.

El bloque de protección se refiere a todos los diodos rectificadores utilizados para eliminar flujos de contracorriente, un switch on/off para el encendido y apagado del circuito, fusible para picos de corriente, disipadores de calor para los transistores, sobredimensionamiento de los elementos, capacitores de eliminación de alta frecuencia.

La interfaz, lo componen todos los elementos externos al circuito como tal. Entre estos se encuentran la caja portadora del circuito, medidor digital para lectura de valores en voltaje y corriente, conectores, perillas, etc.



**Figura 20.** Diseño Conceptual Generador de Señales

En cuanto al generador, el primer bloque se compone de una fuente DC para la alimentación de los circuitos integrados. Aquí encontramos el conjunto de transformador, rectificador, filtro y un regulador en circuito integrado tanto para fuente positiva como negativa, con sus respectivos capacitores para filtro de alta frecuencia.

El segundo bloque consta del circuito integrado ICL8038, necesario para la generación de las diversas señales que se requieren tratar a la salida del mismo.

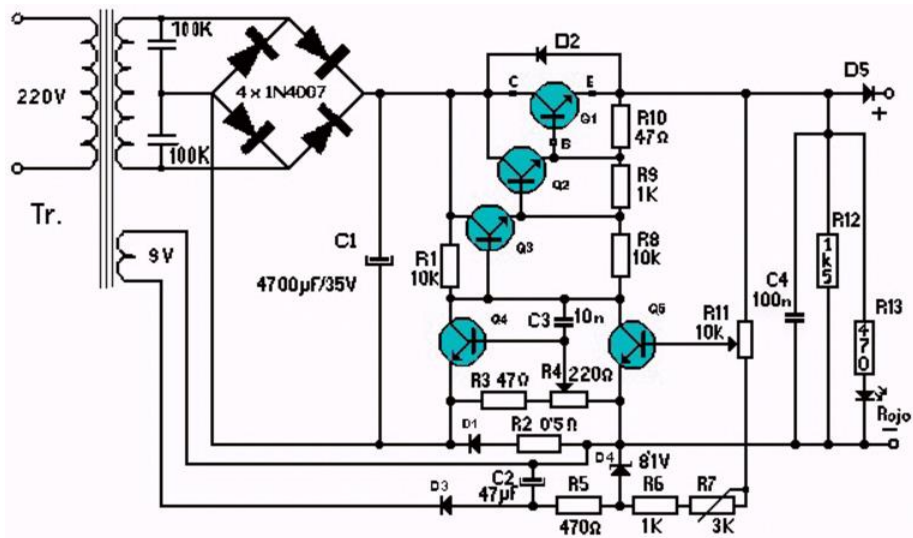
El bloque para tratamiento de frecuencia, incluye tanto resistencias, para fijar el voltaje para el barrido de frecuencia, como los correspondientes capacitores, que permiten la selección de los diferentes rangos para las mismas.

El cuarto bloque de adecuación, lo conforman dos amplificadores operacionales, con sus elementos asociados, para el ajuste de amplitud, nivel de continua, y atenuación de las señales.

La interfaz, de igual manera que la fuente, lo componen todos los elementos externos al circuito, necesarios para su funcionamiento, como son, perillas para los selectores y potenciómetros, switch on/off, porta-led y led para encendido, conectores, etc.

## 2.1 DISEÑO DE FUENTE REGULADA

En esta sección se detalla los cálculos para el diseño de la fuente de regulación múltiple seleccionada.



**Figura 21.** Fuente Regulable  
(Diario Electrónico Hoy, 2010)

Dentro de sus características, están un voltaje regulable de 0 a 30 Voltios en DC y una limitación de corriente desde 0 hasta 3 Amperios. También cuenta con un elemento de lectura digital (V e I), permitiendo al usuario visualizar los valores que requiere tomar del equipo, para una debida alimentación de los circuitos electrónicos a utilizarse en las prácticas.

### 2.1.1 El transformador

El primer paso para el diseño de una fuente regulada, es definir el rango de valores dentro de los cuales se quiere trabajar, los cuales, como se mencionó anteriormente, deben ser de 0-30V y 0-3A. En este caso, para el transformador encargado de suministrar la potencia a la salida del circuito, es necesario un transformador (reductor) principal. Para conocer el voltaje de entrada necesario en el devanado secundario del transformador, se aplica la Ecuación 5.

$$V_s = \frac{V_{DC}}{\sqrt{2}} \quad [5]$$

$$V_s = \frac{30}{\sqrt{2}} = 21.21V$$

Las características del transformador son: 110/220VAC a 24VAC y 3 Amperios a 60/50Hz (frecuencia de trabajo).

### 2.1.2 Rectificador

Para el rectificador de onda completa, se lo puede obtener mediante el uso de 4 diodos individuales, en conexión rombo, o encapsulados como un solo elemento, mejor conocidos como, puente rectificador (este último siendo la mejor opción). Dicho rectificador, debe ser capaz de disipar la potencia máxima exigida por la carga y a su vez contar con un margen de seguridad contra los picos de la tensión de red, por lo que, para una selección confiable, debe ser sobredimensionado. En este caso, para la toma del transformador principal, se ha seleccionado un puente rectificador de silicio KBL608, el cual, según datos de fabricante, tiene un rango de voltaje inverso pico de 50 a 1000 Volts, con un voltaje de entrada RMS máximo de 560 Volts y una corriente de salida de 4 a 6 Amperios, por lo que, el elemento seleccionado cumplirá con los requerimientos de diseño del equipo.

### 2.1.3 Condensador de Filtro

Para el condensador que va a filtrar la señal, atenuándola para obtener una “señal DC”, se calcula mediante la Ecuación 6, tomando como corriente, el valor máximo entregado por el devanado secundario del transformador principal. Se debe tener en cuenta que, el valor de voltaje del capacitor, debe exceder en al menos un 40% al voltaje de entrada del devanado secundario para protección de los electrolíticos.

$$C = \frac{I}{V_{rizo} * f} \quad [6]$$

Para un 10% de Voltaje de rizo, una caída de tensión de 1V en el puente rectificador (valor que se cumple según datos de fabricante) y una frecuencia de trabajo en rectificación de onda completa igual a 120Hz (valor se duplica debido al aprovechamiento de los dos semi-ciclos de la señal), se tiene:

$$C_1 = \frac{100 * 3A}{120Hz * (10 * 33V_p)} = 7575\mu F$$

De lo anterior se obtiene que, para valores comerciales, C1 pueden ser dos capacitores conectados en paralelo (suma de capacitancias) de 3300uF/50V. Nótese que la selección del valor de capacitancia para C1, resulta ser menor que el teórico. Esto se debe a que, al ser de menor valor, los picos de corriente del diodo conductor (puente rectificador) no se elevarán, evitando su destrucción. A su vez, valores pequeños de capacitancia, aseguran un mejor tratamiento de frecuencias altas, por tanto, eliminación de ruido.

#### **2.1.4 Análisis del circuito**

El circuito consta de dos fases. Un circuito de control, conformado por los transistores Q4 y Q5 y un circuito de potencia conformado por los transistores en cascada Q1, Q2 y Q3. El transistor Q5, es el encargado de trabajar en sus tres regiones, corte, región activa y saturación, controlando la corriente que ingresa al circuito de potencia, regulando así, la caída de voltaje colector-emisor en Q1, que a su vez permite la regulación del voltaje a la salida del circuito. Para esto es necesario partir de un voltaje de referencia entregado por un transformador secundario, evitando de esta manera, caídas de voltaje por parte del transformador principal. El valor de tensión de salida (variable), así como el de referencia (8.2V seleccionado), permiten los cálculos para el conjunto de las resistencias asociadas al funcionamiento de Q5. Por su parte, el transistor Q4, es el encargado de limitar la corriente, mediante el divisor de voltaje entre R3 (fija) y R4 (variable). Cuando el voltaje base-emisor de Q4 es mínimo, empezará a drenar corriente del circuito en cascada Darlington. A mayor voltaje base-emisor, se drenará mayor corriente. El límite de corriente se fija mediante R2 (resistencia de potencia) y el diodo D1, limitando hasta 100mA.

En cuanto a la configuración cascada, tanto el transistor Q2 como Q3, sirven para proporcionar al transistor de potencia Q1 la corriente necesaria en su base para entrar en funcionamiento.

Además, esta fuente por encima de las consideraciones básicas para la protección de los elementos, es corto-circuitable a su salida, es decir, aunque la fuente fuera corto-circuitada, no se vería afectada por el paso libre de corriente, gracias a R2, encargada de consumir la potencia del circuito.

#### **Tensión de Referencia**

La tensión de referencia se fija a través de un diodo zener 1N4738A. El mismo que regula la tensión a sus extremos para 8.2V (valor seleccionado) con una corriente Zener nominal de 31mA y una potencia nominal de 1Watt.

La alimentación de entrada para el voltaje de referencia, debe ser independiente, por lo cual, se hace uso de un transformador secundario, encargado de proporcionar la tensión requerida para el regulador Zener, la misma que debe ser superior al voltaje del Zener. El transformador seleccionado es de 9VAC para el devanado secundario a 0.5A y 60Hz. De la misma manera que para el transformador principal, se debe seleccionar el diodo rectificador, así como el capacitor de filtro, añadiendo esta vez a los cálculos, una resistencia para la correcta polarización del diodo Zener. El diodo rectificador, es un 1N4007, para

rectificación de media onda, por lo cual, de acuerdo a la Ecuación 6, el capacitor de filtro será como sigue, esta vez considerando la frecuencia para medio ciclo.

$$C_2 = \frac{100 * 0.5A}{60Hz * (10 * 11.72)} = 7105\mu F$$

De igual manera que C1, se escoge bajo valores comerciales, dos capacitores en paralelo de 3300 $\mu$ F c/u, esta vez a 35V.

Una vez calculado el capacitor para filtro, tenemos un voltaje de carga en el mismo aproximadamente a 16V, que define el voltaje de entrada para el diodo Zener que fija la tensión de referencia. Para la resistencia de polarización, mencionada anteriormente, puede ser calculada mediante la ley de ohm, para una corriente  $I_Z$  como se muestra en la Ecuación 7 y un voltaje igual a la diferencia entre el voltaje de entrada y el voltaje de Zener.

$$I_Z = \frac{P_Z}{V_Z} \quad [7]$$

En este caso, la resistencia de polarización  $R_5=470$  ohm, es un valor típico, para conseguir que el diodo LED de encendido (entre  $R_5$  y  $D_4$ ) se polarice, por lo cual, debe comprobarse que cumpla con las condiciones para la zona de ruptura del diodo Zener. Entonces se tiene:

$$I_Z = \frac{V_p - V_Z}{R_5} \quad [8]$$

Para  $V_Z = 0V$ :

$$I_Z = \frac{16V - 0}{470\Omega} = 34mA$$

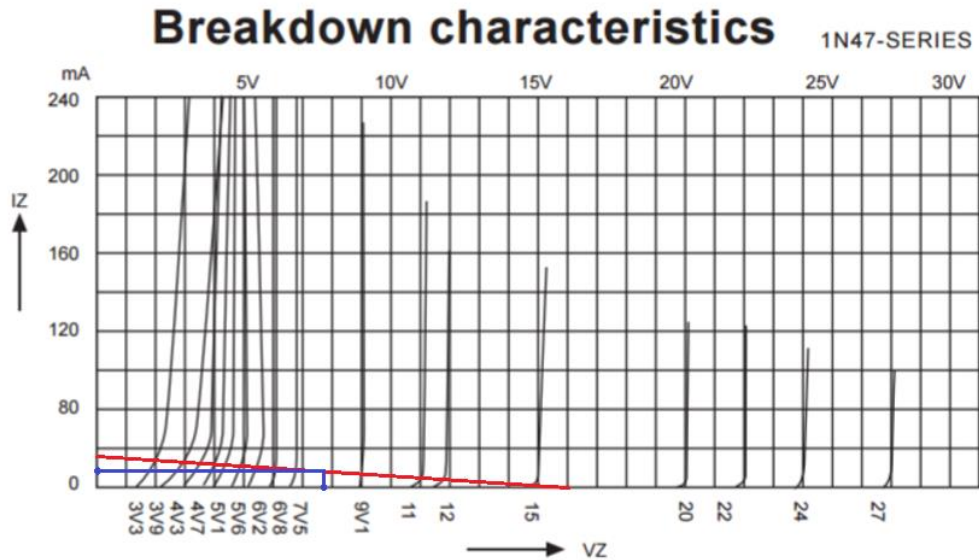
Para  $I_Z = 0mA$ :

$$0 = \frac{16V - V_Z}{470\Omega}; V_Z = 16V$$

A partir de estos datos, se encuentra el punto de trabajo de acuerdo a las gráficas características de ruptura del Zener. Dando como resultado valores próximos de voltaje para 8.2V y corriente para 17mA. La corriente mínima  $I_Z$  es 12.2mA, por lo que se cumple con la condición de trabajo.

$$I_Z = \frac{1W}{8.2V} = 12.2mA$$





**Figura 22.** Características de Ruptura Zener  
(DC Components, CO., LTD, s.f.)

Se verifica matemáticamente la corriente establecida de forma gráfica para R5, en la zona de ruptura del Zener seleccionado.

$$I_z = \frac{16V - 8.2V}{470\Omega} = 16.5mA$$

Esta corriente, a pesar de que es superior a la establecida por la potencia disipada del diodo, se encuentra por debajo de la corriente nominal del mismo, por lo que la resistencia cumple con su objetivo.

### Regulación de Voltaje

Cuando el voltaje base-emisor del transistor Q5 (BC547B) es el máximo, se consigue la saturación del mismo, es decir,  $V_{BE}=0.7V$  para una corriente de base igual  $0.5mA$ , lo que provoca una caída de tensión entre colector-emisor de Q5 mínima y una corriente de colector máxima, reduciendo al mínimo la corriente de Q3 (BD139), llevándolo a corte y, a su vez, produciendo una caída de tensión colector-emisor en Q1 (2N3055) máxima e igual al máximo entregado por la fuente, obteniendo a la salida del circuito, el voltaje reflejado base-emisor de  $Q5=0.7V$  (0V teóricos).

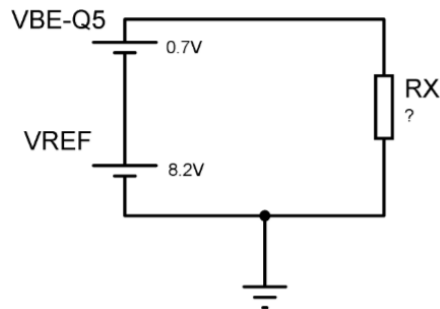
De manera contraria, cuando se polariza inversamente el diodo base-emisor del transistor Q5, este entra en la región de corte, lo que implica una caída de tensión máxima entre su colector y emisor ( $I_C=0$ ). El transistor Q3 entonces, toma toda la corriente necesaria para saturar a Q1, a través de Q2 (2SC1061), lo que permite una caída de tensión entre colector-emisor del transistor de potencia

Q1 mínima e igual a 0.7V, dando como resultado final a la salida del circuito, el voltaje máximo entregado por la fuente igual a 30V.

Para los demás valores de regulación de voltaje, los transistores trabajan dentro de su zona activa, en función de la corriente que ingresa en ellos a través de la base. Para el cálculo de las resistencias que permiten la regulación del voltaje, se trabaja para ambos escenarios críticos, es decir, para saturación y corte de Q5 como se indica a continuación.

Saturación de Q5.

Para conseguir la saturación de Q5, es necesario que la resistencia variable R11, se encuentre en su mínima posición. Se calcula la resistencia que asegure tanto el voltaje como corriente de saturación en la base del transistor, como se muestra en la Figura 23.



**Figura 23.** RX para saturación de transistor Q5

Para que se cumpla el voltaje base-emisor en Q5 de 0.7V, debemos conocer la caída de tensión en RX. Por análisis en malla tenemos:

$$V_{ref} + V_{BEQ5} = V_{RX} \quad [9]$$

$$V_{RX} = 8.2V + 0.7V = 8.9V$$

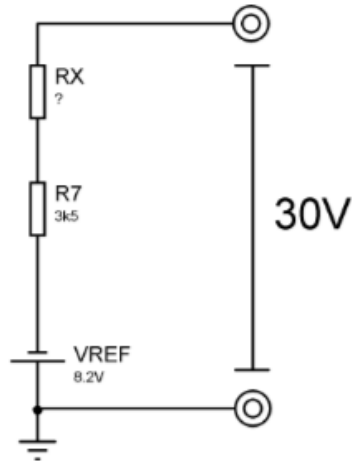
Para una corriente 5 veces superior a la corriente  $I_{BQ5}$ , que asegure su correcta polarización se tiene:

$$R_x = \frac{8.9V}{2.5mA} \approx 3.5k\Omega$$

De esta manera aseguramos la saturación del transistor Q5, obteniendo como se explicó anteriormente, un voltaje mínimo en la salida del circuito.

Corte de Q5:

Ahora, se debe obtener una mayor resistencia, que provoque una mayor caída de voltaje en la base del transistor, superior al voltaje de emisor ( $V_{ref}$ ), para que se consiga polarizar inversamente al mismo y conseguir llevarlo a corte. Para esto, se debe colocar a R11, ahora en su máxima posición, dando un nuevo valor de RX. Debido a que, en corte, no ingresa ninguna corriente por la base de Q5, no se considera al transistor. Se obtiene un nuevo circuito de análisis, ilustrado en la Figura 24.



**Figura 24.** RX para corte de transistor Q5

De la imagen se aprecia que la suma de voltajes de referencia y caída de tensión en las resistencias, deben sumar 30V (máximo voltaje de salida).

$$V_{RX} + V_{R7} = 30V - V_{ref} \quad [10]$$

$$V_{RX} + V_{R7} = (30 - 8.2)V = 21.8V$$

Obtenido el voltaje  $V_{R7} + V_{RX}$  de la Ecuación 10, podemos calcular RX, para una corriente 10 veces menor a la corriente que circulará por el Zener (calculada anteriormente), para que no se vea afectado el mismo, como se indica en la Ecuación 11.

$$0.1 * I_Z * R_7 = \frac{R_7}{R_7 + R_X} (V_{R7} + V_{RX}) \quad [11]$$

$$5.6V = \frac{3.5k\Omega}{3.5k\Omega + R_X} (21.8V)$$

$$R_x = \frac{3k5\Omega(21.8V - 5.6V)}{5.6V} \approx 10k\Omega$$

Como resultado final, R11 debe ser una resistencia regulable de 10k, mientras que R7, puede dividirse en una resistencia fija de R6=1k $\Omega$  y un potenciómetro de 3k $\Omega$  para ajuste fino del voltaje a la salida, regulando el valor del mismo.

### **Limitación de Corriente**

Para la limitación de corriente, se debe primero definir la resistencia R2 de potencia, que será la encargada de establecer la corriente máxima que pueda transitar por el circuito. Para el cálculo de esta resistencia, se debe tener en cuenta que, cuando se alcance el máximo valor de corriente, debe fijar el voltaje base-emisor del transistor Q4 (NTE199), para que el mismo se active y limite la corriente de salida, drenando corriente de la base del transistor Q3. El voltaje de activación mínimo, necesario para llevar a saturación a Q4 es de 0.7V según datos de fabricante, por lo que se tiene:

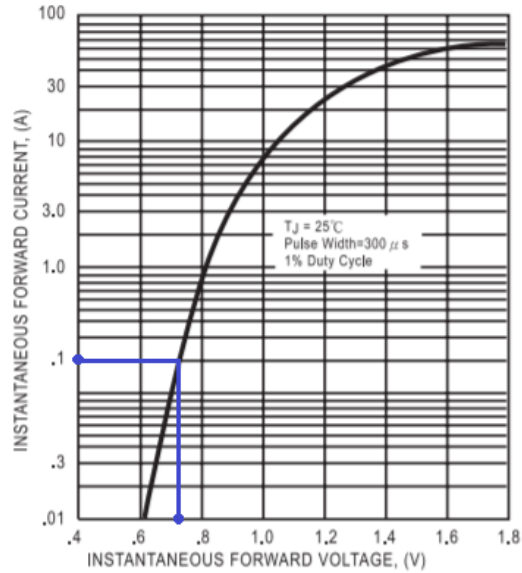
$$R_2 = \frac{0.7V}{3A} = 0.23\Omega$$

Para una potencia de consumo mínima igual a:

$$P_{R2} = 0.7V * 3A = 2.1Watts$$

Por seguridad, se toma el valor comercial superior en potencia, obteniendo así R2 de 0.22 $\Omega$ /5W. En serie a esta resistencia, se coloca un diodo D1=1N5408 de recuperación, diseñado para trabajar bajo condiciones de sobre corrientes elevadas de hasta 3 amperios, con una caída de voltaje baja en directa de 1.2V. El diodo D1, permite limitar la corriente hasta 100mA, para un voltaje en directa de aproximadamente 0.7V, el mismo que consigue activar el transistor Q4, dependiendo de la posición de la resistencia variable R4.

FIG. 3 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD VOLTAGE, (V)



**Figura 25.** Características instantáneas típicas en directa del rectificador 1N5408 (Wing Shing Computer Components, Co., (H.K.) Ltd, s.f.)

Para el cálculo de R3 y R4, se toman los valores típicos (mínimo) y máximo para el voltaje base-emisor del transistor Q4 que permite su saturación. Estos valores, según datos de fabricante, son los siguientes:  $V_{BEtípico} = 0.7V$ ,  $V_{BEmax} = 1.05V$ , para una  $I_B = 5mA$  e  $I_C = 100mA$ .

$$R_{BQ4} = \frac{0.7V}{5mA} = 140\Omega$$

$$R_{BQ4} = \frac{1.05V}{5mA} = 210\Omega$$

$$R_{fija} = (210 - 140)\Omega = 70\Omega$$

De lo obtenido, la diferencia entre  $R_{Bmin}$  y  $R_{Bmax}$ , definen la resistencia fija R3 para ajuste fino, que, para valores comerciales,  $R3=82\Omega$ , mientras que la resistencia variable  $R4=220\Omega$ . De esta manera, quedan definidos los valores de las resistencias para la limitación de corriente.

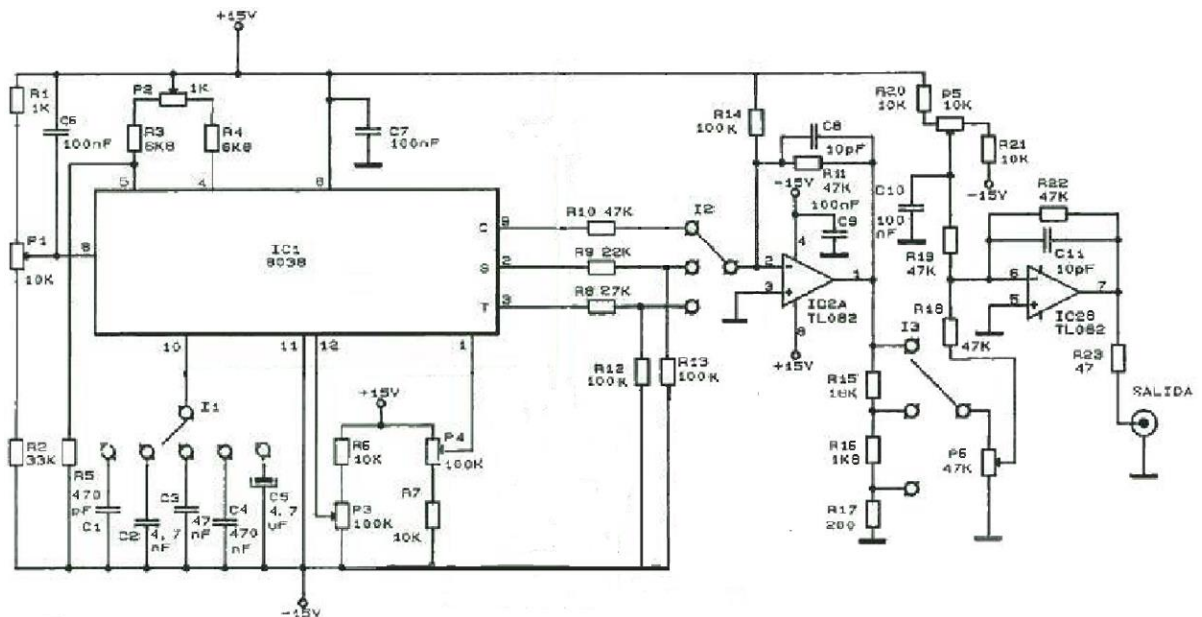
R1, R8, R9 y R10, son resistencias de polarización para los transistores Q3, Q2 y Q1. A su vez, R1 actúa como carga, permitiendo el paso de corriente necesario para la activación de los diferentes elementos. Los valores de las mismas son de 10k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 1k $\Omega$  y 46 $\Omega$  respectivamente.

Tanto D2 como D5 (1N4007), son diodos de protección para polarización inversa y contra corrientes. C5 de 47uF, sirve para acoplo y estabilización de voltaje a la salida del circuito. El diodo LED D6 sirve como guía para el control de corriente en el circuito. Las resistencias R12 y R13, son resistencias de protección para D6. Y C3 y C4 son capacitores de filtro para evitar el paso de corriente en DC entre colector y base. Actúan de igual manera que D2 y D5, pero para protección del transistor.

Cabe recalcar que el voltaje no se ve afectado por la variación de la corriente, dado que el control se realiza sobre la caída de tensión colector-emisor de Q1, mientras que, para la corriente, el transistor de potencia actúa simplemente como conductor, permitiendo el paso de la misma, de acuerdo a las necesidades que exija la carga a la salida del circuito.

## 2.2 DISEÑO DE UN GENERADOR DE ONDAS

A continuación, se detalla los cálculos para el diseño del generador de ondas seleccionado.



**Figura 26.** Generador de Ondas con ICL8038  
(Elektor No 122-123, 1990)

El diseño específico de este generador, se basa en los requerimientos de los laboratorios de Ing. Mecatrónica de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE), para las diferentes prácticas de los estudiantes. Esto implica que el generador debe ser versátil en cuanto a formas de onda de salida, frecuencia y amplitud variables, controlados exteriormente. Para que las prácticas consigan

un objetivo acertado, tanto la amplitud como la frecuencia deben ser lo más estables posibles en lo que respecta a tiempo y temperatura de utilización.

Para los requerimientos del circuito, los niveles de salida deben cumplir con lo necesario para operar circuitos tanto de tecnología TTL como MOS o CMOS. En lo que respecta a la frecuencia, debe ser variables desde 1Hz hasta 100KHz (valores comerciales para equipos de laboratorio). Y como se mencionó anteriormente, su amplitud debe ser variable.

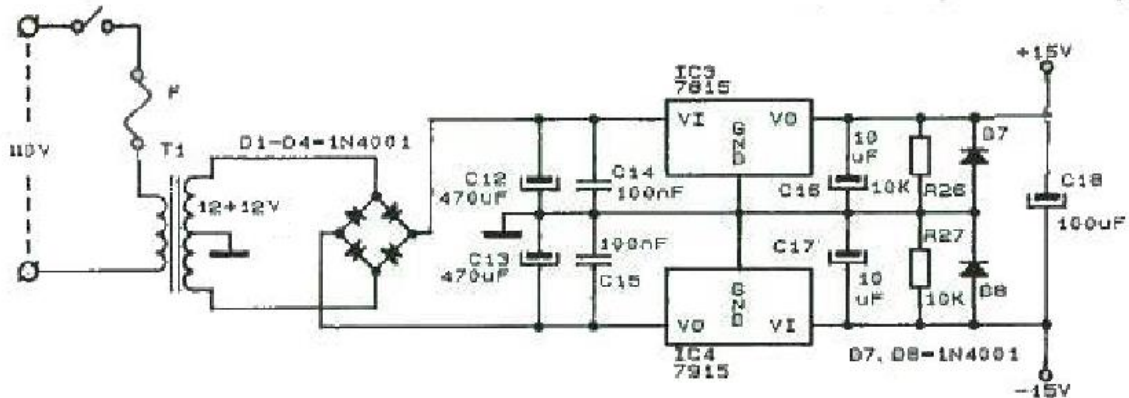
Para el diseño del equipo, se ha utilizado el generador de señales en circuito integrado ICL8038, el cual permite la obtención de ondas cuadrada, triangular y senoidal a las salidas de sus pines 9, 3 y 2 respectivamente.

### 2.2.1 Alimentación

Para el funcionamiento simétrico del generador de señales, es conveniente el uso de una fuente de alimentación de  $\pm 15$  Voltios que se lo consigue a través de un transformador reductor de 110/220V a 12-0-12V de Tap-Central para aislar la red del circuito. La señal entonces es rectificada mediante un puente de diodos y filtrada mediante dos capacitores de  $470\mu\text{F}$  c/u para obtener una tensión estable y simétrica.

Para obtener los  $+15$  y  $-15$  V requeridos, se utiliza los reguladores de tensión LM7815 y LM7915 respectivamente, con su debida configuración de capacitores y resistencias para eliminar tensiones parásitas y estabilizar la salida.

También a la salida de cada uno de los reguladores se ha colocado dos diodos 1N4001 en paralelo para protección contra inversiones de polaridad al momento de conexión o desconexión del circuito.



**Figura 27.** Fuente de Alimentación para ICL8038 y componentes  
(Elektor No 122-123, 1990)

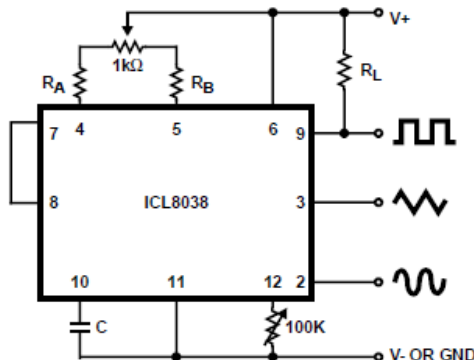
## 2.2.2 Ajuste de la frecuencia del ciclo de trabajo

La relación de frecuencia máxima a frecuencia mínima puede obtenerse aplicando un voltaje de barrido al pin 8. Para un funcionamiento correcto, el voltaje de barrido debe estar dentro del rango:  $V_{ent}$  y  $(2V_{ent}/3 + 2V)$ . Esto implica que para una alimentación de  $\pm 15V$ , el rango debe estar comprendido entre 30V a 22V. (Intersil Datasheet, 1998).

En cuanto a la corriente de trabajo, para un óptimo funcionamiento del integrado, debe estar comprendida entre  $10\mu A$  a  $1mA$ . De lo cual se obtiene, para el cálculo de la resistencia entre el pin 5 y +V, lo siguiente:

$$\frac{(30 - 22)V}{1 mA} = 8k\Omega$$

Para conseguir señales simétricas, los valores de las resistencias en los pines 4 y 5 del integrado, deben ser del mismo valor. También es requerido el ajuste de la simetría dentro de un pequeño margen, para lo cual, el fabricante recomienda la conexión de las resistencias en los pines 4 y 5, sean conectadas en serie a través de un potenciómetro de ajuste.



**Figura 28.** Posible conexión para las resistencias de temporización externas (Intersil Datasheet, 1998)

El potenciómetro requerido para llevar a cabo el ajuste de la frecuencia del ciclo de trabajo, se ha considerado de un valor de  $P2=1k\Omega$ , ajustado a la mitad de su valor, por lo cual, obtenemos un nuevo valor para las resistencias de los pines 4 y 5, obteniendo un valor final de:

$$7.3k\Omega - 0.5k\Omega = 6.8k\Omega$$

## 2.2.3 Capacitores de temporización



La selección de las diferentes frecuencias de trabajo, se obtienen a través del pin 10 del integrado, adecuando los valores de los capacitores. Como se vio anteriormente, se necesita realizar un cálculo para una mínima corriente y una máxima corriente de trabajo (10µA a 1mA), es decir, cada capacitor ofrece un rango de frecuencias de trabajo. Este cálculo se puede realizar para un solo valor de capacitor. Puesto que los rangos de frecuencias van en cinco pasos con una relación de 10:1, podemos obtener los valores de los otros cuatro capacitores gracias a la relación que mantienen a través de la Ecuación 12.

$$C = \frac{1}{X_c(2\pi f)} \quad [12]$$

Para la frecuencia máxima de 100KHz, el condensador en el terminal 10 se lo obtiene como sigue:

$$t_{total} = \frac{1}{100000} Hz = 10\mu s; \quad t_1 = 5\mu s.$$

$$C = \frac{t_1 * I}{V} \quad [13]$$

Donde V, según el fabricante, era un tercio de la tensión de alimentación = 10 Voltios (tensión de conmutación interna del ICL). Realizando el cálculo para una máxima corriente, tenemos:

$$C = \frac{5\mu s * 1mA}{10V} = \frac{5 \times 10^{-6} * 1 * 10^{-3}}{10} = 500pF$$

$$C = 470pF \text{ (Valor comercial)}$$

Ahora, para cumplir con los 10µA mínimos para la frecuencia más baja en este primer rango (10KHz), trabajamos para un tiempo de 50µs obtenidos de la misma manera que la anterior. Debido a que el capacitor debe ser del mismo valor, esta vez deseamos obtener los voltajes de barrido de frecuencia (tensión en el pin 8) para los cuales se consigue un correcto funcionamiento y se alcanza este objetivo.

$$t_1 = \frac{C * V}{I} \quad [14]$$

Pero,

$$I = \frac{V}{R} \quad [15]$$

De donde,

$$t_1 = \frac{C * V * 7.3k\Omega}{V_{os}}; \quad 50\mu s = \frac{470pF * 10V * 7300\Omega}{V_{os_{min}}}$$

Despejando  $V_{os_{min}}$ ,

$$V_{os_{min}} = 0.686V$$

Para  $V_{os_{max}}$ ,

$$V_{os_{max}} = 1mA * 7.3k\Omega = 7.3V$$

Estos valores de tensión para frecuencia de trabajo, implica que el pin 8 no puede ir directamente a +15V, entonces deberá tener unas resistencias en serie, para controlar la tensión de entrada en la misma para el control del barrido de frecuencia, como se indica posteriormente.

Como se indicó anteriormente, el resto de capacitores se los obtiene en una relación de 10, como se muestra en la Tabla 2, junto a sus rangos de frecuencias de trabajo.

**Tabla 2.** Valores de Capacitores para diferentes rangos de frecuencias

Paso	Frecuencia	Condensador
1	1-10Hz	4.7uF
2	10-100Hz	470nF
3	100-1000Hz	47nF
4	1-10KHz	4.7nF
5	10-100KHz	470pF

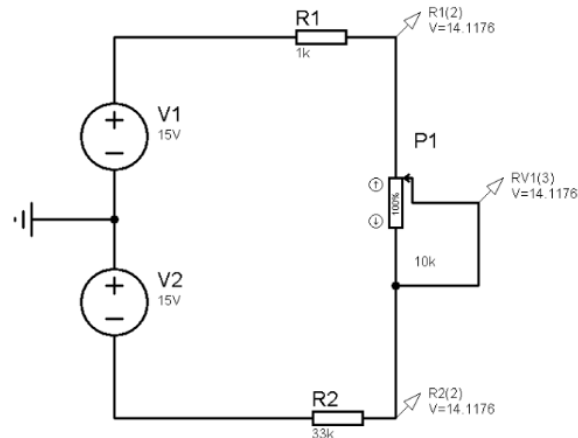
#### 2.2.4 Tensión para Barrido de Frecuencia

Una vez obtenidos los valores del voltaje para el ajuste de la frecuencia de trabajo, se pueden obtener los valores de la tensión requerida a la entrada del pin 8 (entrada de barrido de frecuencia).

$$V_{8max} = 15V - 0.68 = 14.31V$$

$$V_{8min} = 15V - 7.3V = 7.7V$$

Con estos valores de voltaje requeridos, se obtiene el cálculo para las resistencias que han de cumplir con la acometida.



**Figura 29.** Ilustración para cálculo de voltajes para el barrido de frecuencia

$$V_{R1} = 15V - 14.31V = 0.69v$$

$$V_{R2} = 7.7V + 15V = 22.5V$$

Asumiendo  $R_1 = 1k\Omega$

$$I = \frac{0.69V}{1k\Omega} = 690\mu A$$

De donde:

$$R_2 = \frac{22.7V}{690\mu A} = 32.9k\Omega \cong 33k\Omega$$

Para RV1:

$$V_{P1} = 14.31V - 7.7V = 6.6V$$

$$P_1 = \frac{6.6V}{690\mu A} = 9.56k\Omega \cong 10k\Omega$$

En este caso el potenciómetro nos ayuda a pasar el voltaje que se encuentra en R1 o R2 dependiendo la posición en la que se encuentre.

### 2.2.5 Ganancia para amplificación

El primer amplificador TL082 recibe las tres señales: cuadrada, senoidal y triangular. De acuerdo a datos de fabricante, el integrado ICL8038 nos entrega un valor de voltaje pico-pico de 15V, 6.6V y 10V respectivamente, que son seleccionados mediante el conmutador I2.

Para el caso de la onda senoidal, debemos realizar el cálculo para obtener a la salida del amplificador 5V RMS.

$$V_{S_{pico}} = \frac{6.6V}{2V} = 3.3V$$

$$V_{S_{RMS}} = \frac{3.3V}{1.41} = 2.34V$$

$$Ganacia(s) = \frac{5}{2.34} = 2.13$$

Asumiendo una resistencia de  $47k\Omega$  para  $R_{15}$

$$R_9 = \frac{47k\Omega}{2.13} \cong 22k\Omega$$

Para el caso de la onda triangular, podemos operar de la misma manera para obtener el cálculo de la resistencia para la amplificación a 5V tenemos:

$$Vt_{RMS} = \frac{10}{2 * \sqrt{3}} = 2.88$$

$$Ganacia(t) = \frac{5}{2.88} = 1.73$$

$$R_8 = \frac{47k\Omega}{1.73} \cong 27k\Omega$$

Para la onda cuadrada, debido a que su salida se encuentra en colector abierto, es necesario colocar una resistencia hacia los +15V, así, mediante un divisor de voltaje, entre  $R_{14}$  y  $R_{10}$  (relación 2 a 1), reducimos la tensión en  $R_{10}$  a 5V y, debido a que el voltaje eficaz es igual a la amplitud,  $R_{11}$  debe ser del mismo valor que  $R_{10}$  para obtener una relación de ganancia igual a 1.

Debido al divisor de voltaje mediante  $R_{14}$ , se colocan resistencias  $R_{12}$  y  $R_{13}$  del mismo valor para balancear la entrada tanto de la onda senoidal como la triangular.

### 2.2.6 Integración del ruido de alta frecuencia

Para filtrar el ruido que puede desestabilizar las señales de entrada y a masa del integrado, se coloca los capacitores C6 y C7 de 100nF c/u como capacitores de desacoplo para asegurar el funcionamiento del circuito sin que se vea afectado por señales externas.

De la misma manera, para los dos amplificadores, se han colocado los capacitores C9 y C10 de 100nF a masa, para filtrar cualquier señal desestabilizadora, así como C8 y C11 de 10pF para integrar el ruido de alta frecuencia que esté presente en la señal generada.

Nótese que tanto C8 como C11, no integran la señal obtenida a través de las patillas 3, 2 y 9 del integrado. Los cálculos de los amplificadores se trabajan como un amplificador inversor/sumador mas no como amplificadores integradores.

### 2.2.7 Atenuación de la señal

Como se observa, a la salida del primer amplificador, tenemos 3 resistencias en serie que guardan una relación 1:10:100, por lo cual su valor es indiferente siempre que esta relación se cumpla, para así obtener valores de 5V, 500mV y 50mV.

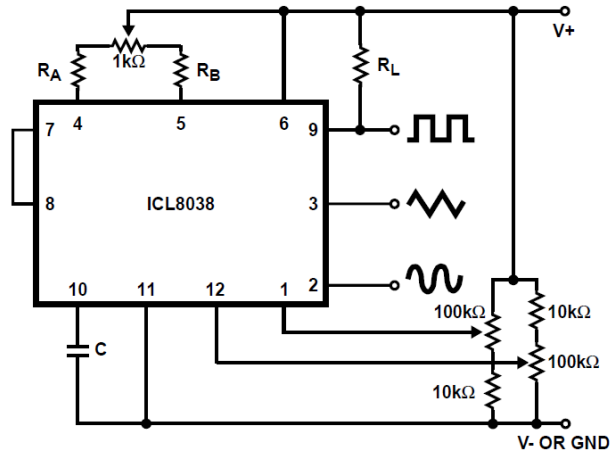
La resistencia que se ha elegido suma un total de 20k $\Omega$ , siendo así R15 de 18K $\Omega$ , R16 de 1k8 $\Omega$  y R17 de 200 $\Omega$ .

**Tabla 3.** Valores de Resistencias para la atenuación de la Señal

Resistencias	Valor	Voltaje de Salida
R15+R16+R17	20k $\Omega$	5V
R16+R17	2k $\Omega$	500mV
R17	200 $\Omega$	50mV

### 2.2.8 Reducción de la distorsión

Para minimizar la distorsión de la onda sinusoidal, el fabricante recomienda la conexión de dos potenciómetros entre los pines 1 y 12, conectados en la siguiente configuración:



**Figura 30.** Conexión para mínima distorsión de la onda senoidal (Intersil Datasheet, 1998)

Consiguiendo así, una reducción de distorsión típica de la onda sinusoidal de hasta 0.5%. (Intersil Datasheet, 1998).

### 2.2.9 Ajuste del nivel de continua y ganancia de salida

Para el ajuste del nivel de continua, u offset, se colocan dos resistencias, R20 y R21, junto a un potenciómetro P5, todas del mismo valor (10k), lo que asegura una caída de tensión de 10V en cada una, permitiendo el ajuste del “offset”, entre valores de +5V a -5V.

A la salida del segundo amplificador, se busca una ganancia de 1 para voltaje, e invertir nuevamente la señal, por lo que, las resistencias R18, R19 y R22, deben ser del mismo valor (47k).

La resistencia R23 de 47 ohmios, se la coloca simplemente para protección contra corto-circuitos, generando una impedancia muy pequeña de salida del circuito.

## 2.3 CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS

Una vez realizados los cálculos respectivos para ambos circuitos, el siguiente paso es la simulación, diseño de PCB y construcción de las placas.

En las Figuras 31 y 32 se aprecia el esquemático para la simulación de los diferentes circuitos, la misma que dará paso al diseño del PCB.

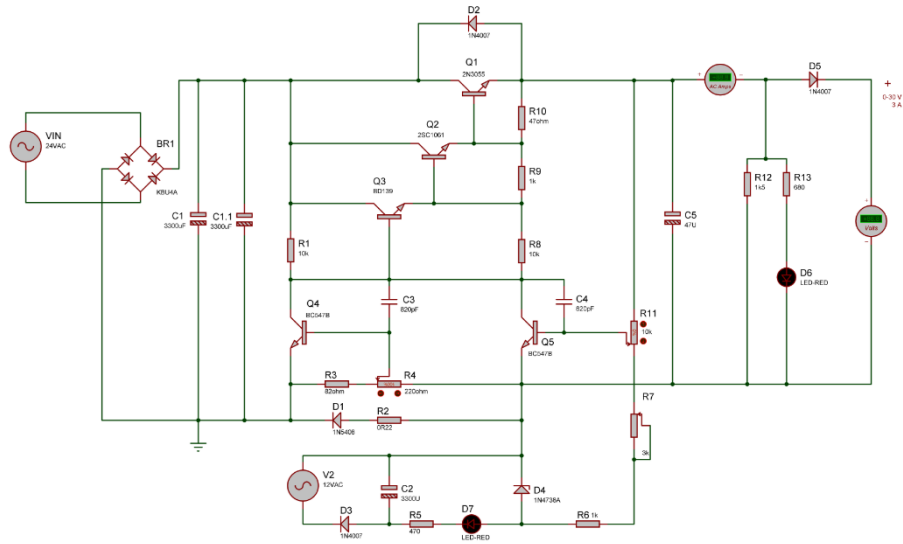


Figura 31. Esquemático para simulación, fuente regulable

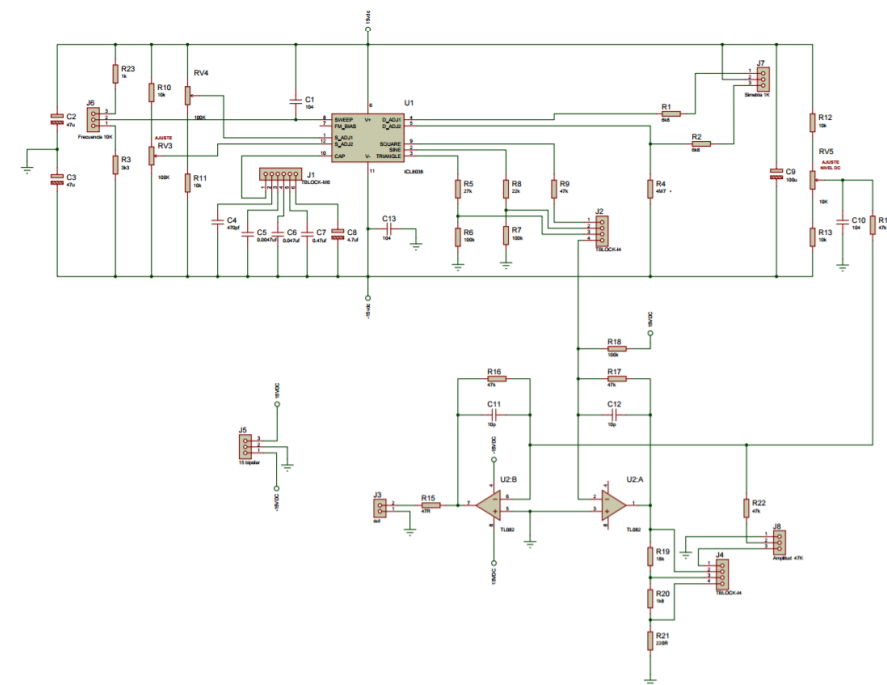


Figura 32. Esquemático para simulación, generador de señales

Una vez simulados ambos circuitos, se diseña el PCB mediante la ayuda de Proteus 8.0, y se procede a elaborar las placas, que posteriormente serán dispuestas en su respectiva interfaz.

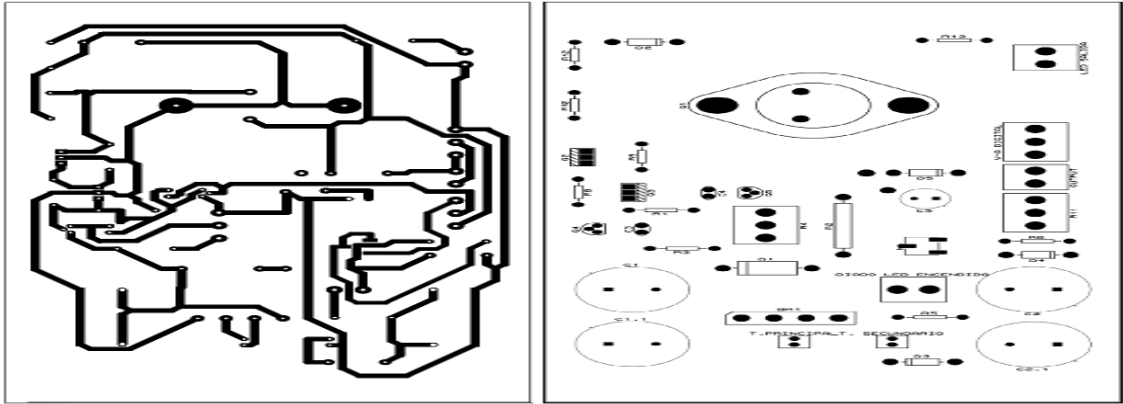


Figura 33. PCB Fuente Regulable y Componentes

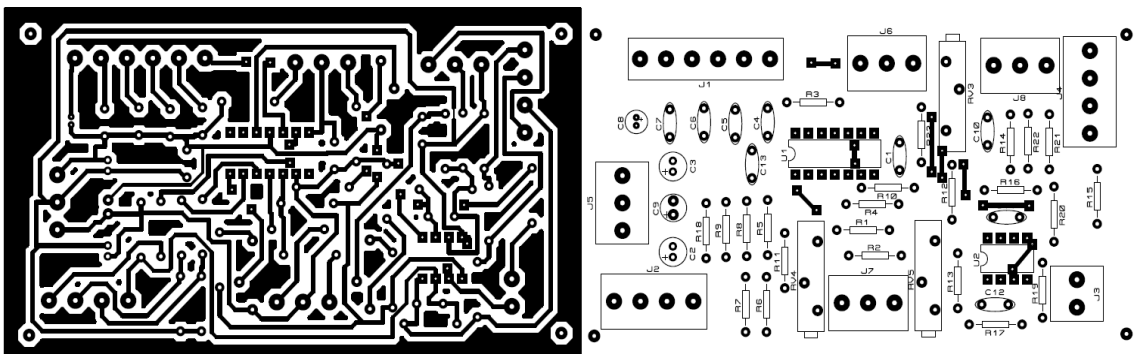


Figura 34. PCB Generador de Señales y Componentes

Con el PCB listo, se procede a realizar las placas, para la construcción final de los equipos como se ilustra a continuación.

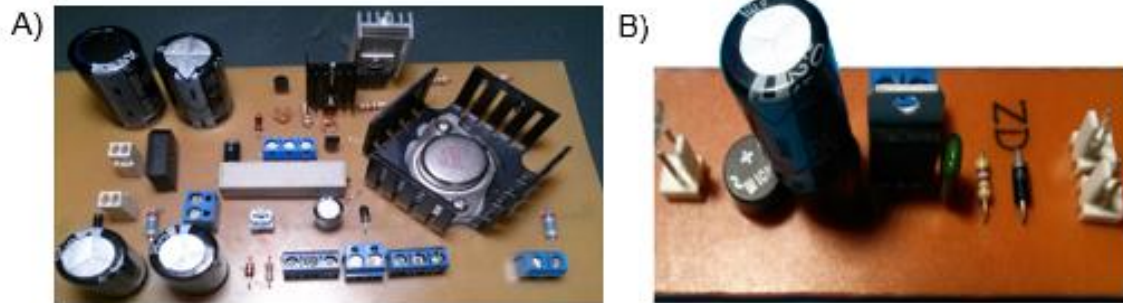
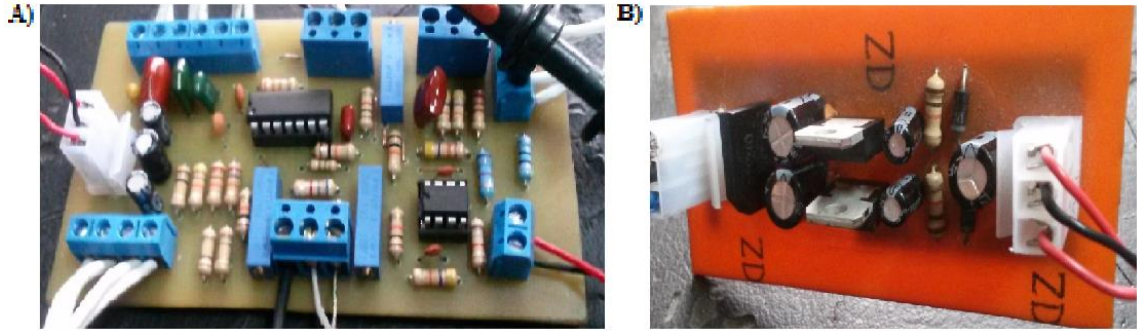


Figura 35. A) Placa para fuente regulable, B) Alimentación de ventilador y medidor digital





**Figura 36.** A) Placa Generador de Señales, B) Alimentación para el Generador



**Figura 37.** Equipo Final Generador de Señales

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Teniendo como guía el esquemático para la simulación de los circuitos, se procede a realizar las pruebas necesarias en ambos equipos.

### 3.1 Pruebas Fuente Regulable

Para la fuente, se realizó las pruebas iniciales del circuito, mediante el uso de una protoboard para la conexión del mismo. Se comprueban los valores de voltaje en primera instancia con y sin carga.

El voltaje regulable llega hasta 33V, siendo estabilizado mediante R7 hasta 30V máximo, permitiendo variar su valor desde 0.66V hasta 30V como se aprecia en la Figura 38 para las lecturas tanto del polímetro, como del medidor digital. Dado que las medidas para ambos lectores son similares, no se requiere de un ajuste de fondo de escala, como es el caso en el uso de dispositivos analógicos (galvanómetros).

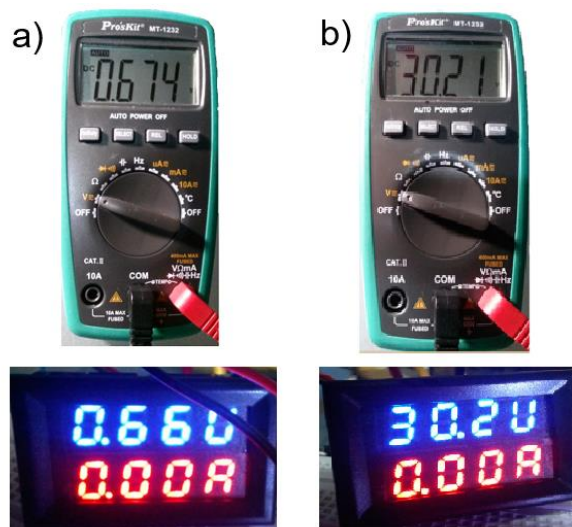


Figura 38. a) Voltaje mínimo, b) Voltaje máximo

Las cargas para la realización de las pruebas de voltaje, fueron tanto resistivas como capacitivas, mostrando una regulación de voltaje estable para cualquier tipo de carga, es decir, no se presentan caídas de voltajes para los elementos de prueba definidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de Cargas para Tensión de Fuente Regulable

Cargas Resistivas	Cargas capacitivas
150 $\Omega$	100nF
560 $\Omega$	220nF

1 k $\Omega$	470nF
10 k $\Omega$	0.1uF
1 M $\Omega$	10uF
2.2 M $\Omega$	2200uF
10 M $\Omega$	4700uF

Para pruebas de corriente, se probó de igual manera, diferentes valores resistivos a la salida del circuito como se muestra en la Tabla 5, siendo la carga de 2.2 $\Omega$  la que permita obtener el máximo de corriente.

**Tabla 5.** Cargas resistivas para pruebas de corriente en fuente regulable

Valores de Cargas Resistivas		
Carga	Corriente (A)	Voltaje (V)
15 $\Omega$ / 5Watt	1.21	13.10
2.2 $\Omega$ / 10Watt	1.90	6.29
10 $\Omega$ / 5Watt	1.48	9.04



**Figura 39.** Medición de corriente y Voltaje en lector digital para carga resistiva de 10 $\Omega$ /5Watts

Se verificó también la respuesta del equipo para un motor en DC ilustrado en la Figura 40. Para un valor de 1.75V, se obtuvo una corriente de 1.19A, pudiendo variar la velocidad del mismo, variando el voltaje a la salida del circuito.



**Figura 40.** Motor DC utilizado para pruebas

Así mismo, se comprobó el funcionamiento para corto-circuito, mediante un cable puente 22 AWG de punta sólida, obteniendo a la salida 2A para un voltaje de 3V, valor que se debe gracias a R12 y R13, conectadas en paralelo a la salida del circuito. En caso de no existir estas resistencias, el voltaje debe ser

0V por teoría electrónica. Todas las pruebas se realizaron para un transformador principal de 2A en su devanado secundario, por lo cual el valor de la resistencia limitadora de corriente, R2, fue reemplazado para  $0.33\Omega$  a 7Watts.



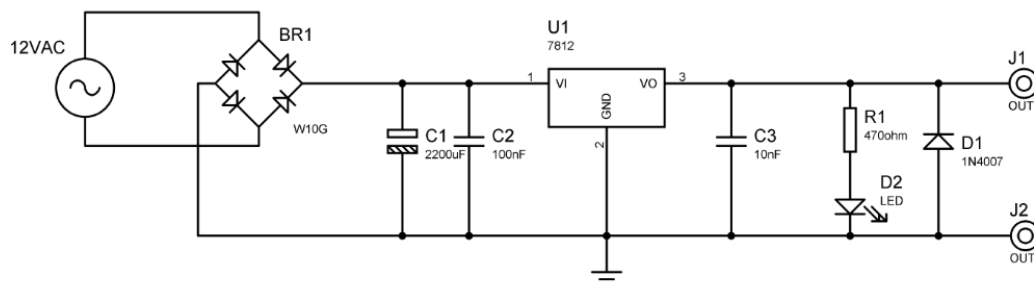
**Figura 41.** Cable puente 22 AWG de punta sólida

En cuanto al ensamblaje para los transistores Q2 y Q1, deben ser montados en sus respectivos disipadores de calor, para evitar su destrucción por temperatura como se ilustra en la Figura 42. También debe añadirse un ventilador dentro de la caja contenedora de la fuente, para extracción de aire caliente y entrada de aire frío, como precaución y control de temperaturas elevadas, puesto que a corrientes de 3A en adelante, tanto el transistor de potencia 2N3055, como 2SC1061, perciben elevadas temperaturas, pudiendo causar su destrucción.



**Figura 42.** a) Montaje 2N3055 b) Montaje 2SC1061

Para la alimentación tanto del ventilador como el lector digital, se utilizó una fuente independiente a base de un regulador en circuito integrado LM7812, puesto que el ventilador necesita 12V para su correcto funcionamiento, mientras que el lector, puede ser encendido desde 5V hasta 30V según datos de fabricante. El circuito se ilustra en la Figura 43.



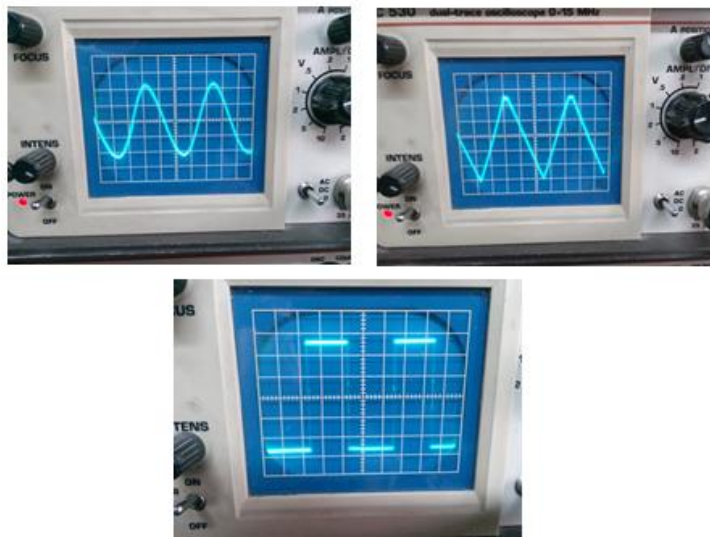
### 3.2 Pruebas Generador de Señales

Para las pruebas iniciales del generador de onda, se optó por generar una placa “base”, debido a la generación de ruido capturado por la elongación de los cables requeridos en la conexión mediante una protoboard, lo cual no permitía la apreciación correcta de las señales medidas. En la Figura 44, se aprecia esta primera placa para pruebas.



**Figura 43.** Placa base para pruebas de Generador de Señales

Las pruebas realizadas para la verificación y validación del generador de señales se llevaron a cabo en tres etapas. Primero, una vez alimentado el circuito, mediante el uso de un osciloscopio, se verifica el cumplimiento a la salida de los pines respectivos del ICL8038, las formas de ondas senoidal, triangular y cuadrada, tal como se muestra en las Figura 45.



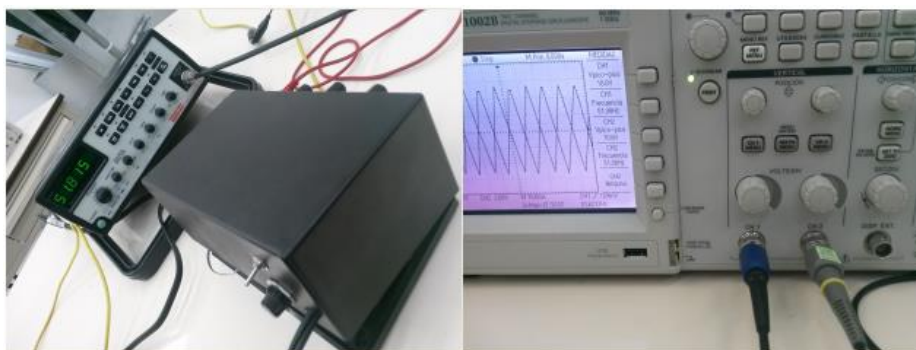
**Figura 44.** Formas de Ondas en pines 2, 3 y 9 del ICL8038 respectivamente

Se realiza esta primera medición para comprobar que tanto la configuración como la alimentación del circuito integrado para generar las señales, es el adecuado y cumple no sólo con las formas de onda (triangular, senoidal y cuadrada), sino también, con los valores de voltaje a la salida de sus pines establecidos por el fabricante.

Una vez verificada esta primera etapa, se procede a comprobar el funcionamiento tanto de los diferentes selectores para tipo de onda (una vez conectada la etapa de adecuación), frecuencias y atenuación de las ondas (a la salida del segundo amplificador operacional), así como para la regulación del barrido de frecuencia, simetría, amplitud y nivel de continua, a través de los diferentes potenciómetros, es decir, la funcionalidad del equipo como tal.

En efecto, una vez realizadas las pruebas, se obtiene un rango de frecuencias con una relación de 10:1, que varían desde 1Hz hasta los 100KHz. La variación de amplitud, también se comprueba variando el potenciómetro 6, que permite obtener valores mínimos y máximos de voltaje a la salida del segundo amplificador, en base a la selección de la escala de voltaje para una relación de 1:10:100V mediante el selector I3.

Realizadas las pruebas de funcionamiento, se procede a una tercera etapa; calibración del equipo y su verificación final. Para esta etapa, se utiliza un generador de señales secundario (que proveerá las ondas de comparación) para comparar las señales del equipo diseñado. Para esto, es necesario un osciloscopio de doble canal. Se conectan entonces, el generador diseñado al canal 1 del osciloscopio y el generador de apoyo, al canal 2 del osciloscopio, como se muestra en la Figura 46.



**Figura 45.** Conexión de los dos generadores de señal a un osciloscopio de doble canal




Una vez ajustado el nivel de continua, así como la distorsión de las ondas, comprobamos, para una misma frecuencia, valor de voltaje y tipo de onda, la similitud que guardan entre ambas señales procedentes de ambos generadores

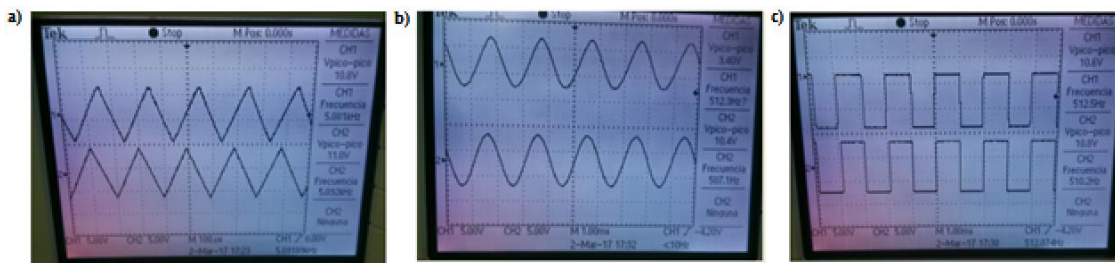
de señal, tal como se muestran en la Figura 47. Los valores de frecuencias seleccionados para las pruebas, así como los diferentes voltajes de trabajo, se detallan para cada forma de onda en la Tabla 6. Los valores señalados en dicha Tabla, también muestran si existe caída de voltaje de la señal a la salida del generador, cuando se conecta el mismo, a una carga resistiva en sus terminales.

### Voltajes Generador de Señales

Carga = 10k $\Omega$

**Tabla 6.** Datos de voltaje s/c carga a la salida del Generador de Señales

Frecuencia	Señal	Vmin		Vmax		Vmedio	
		S.C	C.C	S.C.	C.C.	S.C.	C.C.
50 Hz		0.88 V	0.80 V	16.6 V	16.2 V	9V	8.8V
500Hz		0.88 V	0.80 V	16.4 V	16.2 V	9V	8.9V
5 KHz		1.12 V	1.36 V	17.0 V	17.0 V	9V	8.9V
50 Hz		0.96 V	0.96 V	17.4 V	17.0 V	9V	8.7V
500 Hz		0.96 V	0.96 V	17.4 V	17.0 V	9V	8.6V
5 KHz		1.12 V	1.00 V	17.6 V	17.2 V	9V	8.8V
50 Hz		1.36 V	1.20 V	14.8 V	14.4 V	9V	8.6V
500 Hz		1.36 V	1.20 V	14.8 V	14.6 V	9V	8.7V
5 KHz		1.00 V	0.96 V	15.0 V	15.0 V	9V	9V



**Figura 46.** a) Señal Triangular, b) Señal Senoidal, c) Señal Cuadrada

Las pruebas y mediciones realizadas, muestran que el funcionamiento del generador de señales es correcto y cumple con los requerimientos de diseño.



## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

A la salida de la fuente regulada, no se presentan caídas de voltaje para los diferentes valores de cargas aplicadas, puesto que un transistor como elemento activo, compensa esta diferencia de potencial, aumentando la corriente de base, que, a su vez, reduce la caída de voltaje colector-emisor en Q1 y de esta manera, regula el voltaje a la salida del circuito. Al mismo tiempo, el capacitor de acoplo en paralelo, permite mantener el nivel de voltaje establecido por la carga, al alcanzar los valores entregados por el circuito de potencia.

Para valores de corriente superiores a 3A, se debe realizar cambios en el valor de R2. Siendo R2 la encargada de establecer el límite de corriente que circula por el circuito, a mayor corriente, debe ser de un valor menor, y a su vez de mayor potencia. Este nuevo valor de R2, debe obtenerse mediante el cálculo para la potencia capaz de soportar, y debe lograr, para el máximo de corriente, establecer el nivel de voltaje base-emisor que active al transistor encargado de drenar la corriente del circuito (Q4), una vez excedido el límite de la misma. De igual manera, se debe tomar en cuenta la máxima corriente admitida por el diodo rectificador en serie a esta resistencia, para evitar daños por temperatura y sobrecorrientes, ya que un daño en el mismo, podría elevar la corriente a niveles no deseados, que procuren la destrucción y daño de otros elementos del circuito.

También debe considerarse la potencia y temperatura máxima admisible, por el transistor de fuerza, puesto que, tanto mayor voltaje como mayor corriente, demandan mayor consumo de potencia, por lo tanto, mayor disipación de calor. Este transistor debe ser previamente seleccionado de acuerdo a datos de fabricante. Los capacitores, también se ven afectados para cambios de voltaje o corriente. Deben entonces, recalcularse los valores de los mismos, para evitar daños en los electrolíticos. Tanto los diodos rectificadores, como las resistencias, se ven afectados por cambios de corriente. Para el primero, específicamente en cuanto a puentes para rectificación de ondas, debe considerarse un valor superior a la corriente que será entregado por el transformador (de 2 amperios en adelante), mientras que, para las resistencias, es posible que sus valores (si no existe cambio de voltaje) se mantengan intactos, pero la potencia de consumo se verá afectada, es decir, si para 50mA el valor es de 1k $\Omega$  a 1W, para 0.5A deberá ser de 1k $\Omega$  a 10W.

Para valores de cargas resistivas, como en el caso de la prueba a 2.2 $\Omega$  para 10W, el voltaje entregado por la fuente llega a un límite, a partir del cual, no permite la regulación del mismo. Esto se debe a que, al existir una limitación en corriente, la carga conectada a la salida, demandará, en base a la potencia capaz de consumir, cierto nivel de corriente y voltaje, relacionados linealmente, es decir, si se incrementa el voltaje, aumenta la corriente. Llegado a este límite, debido a que la carga no admite mayor disipación de calor (pues llegaría a la destrucción),

la corriente empezará a ser drenada mediante Q4, procurando mantener un nivel de protección sobre la carga, para prevenir la falla en la misma.

Para frecuencias no mayores a 5KHz, todas las ondas (cuadrada, triangular y senoidal), presentan un comportamiento estable. Para valores superiores a 5KHz, la onda cuadrada se distorsiona abruptamente, mientras mayor es la frecuencia de trabajo. La onda triangular y senoidal no presentan mayor cambio. Esta distorsión en la onda cuadrada, es debido a los armónicos presentes en la corriente de entrada del rectificador convencional, puesto que, al estar compuesta exclusivamente por armónicos impares, esta auto-inductancia parásita filtra la señal y elimina la componente de mayor frecuencia. De igual manera, el nivel de continua de las señales, se ve desplazado del paso por cero, gracias a la acción de los armónicos, puesto que una señal alterna, elevada a una potencia, desplaza tanto el nivel de offset, elevando su nivel de continua, así como su fase. En el caso de la señal senoidal, matemáticamente se explica, tomando como ejemplo el 2<sup>do</sup> armónico, debido a que, al elevarse a una potencia, la señal pasa de ser un seno a un coseno (cambio de fase) y se incluye un término fijo que se suma a la señal (desplazamiento del offset). El nivel de continua de las ondas tanto cuadrada como triangular, es más visible que la onda senoidal, puesto que el ajuste para la estabilización del equipo, se lo realiza para la onda senoidal. (Reinoso Guzmán, s.f.)

Para conseguir eliminar los armónicos en un circuito de amplificación, se requiere diseñar un filtro para armónicos, de manera que ajustados produzca la resonancia del armónico que se desea eliminar. Estos armónicos se pueden visualizar en un espectro de la señal a analizar. (Power Electronics, s.f.)

Se recomienda, para la prueba y construcción de equipos, verificar siempre por etapas la funcionalidad del circuito, así como el correcto funcionamiento de los elementos. Esto incluye la revisión de la correcta conexión de los diferentes elementos. Para el caso de los transistores, siempre se debe verificar que se encuentren en buen estado. Conectar según la disposición de su patillaje base-colector-emisor de acuerdo al modelo utilizado y bajo condiciones de trabajo establecidas por el fabricante. En el caso de los circuitos integrados (ICL8038, A.O. LM7812, etc.) siempre se debe comprobar la correcta polarización para el correcto funcionamiento de los mismos.

Para el caso de la fuente regulable, se puede utilizar un termostato para conseguir un mejor control de temperatura, puesto que, para temperaturas sobre la deseada, el termostato desactiva el contacto eléctrico, hasta retomar la temperatura de trabajo limite. Esto permite mantener a un nivel razonable la temperatura en los disipadores de calor para los transistores de potencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Pablo Alcalde San Miguel. (2010). Electrónica general: equipos electrónicos de consumo. 2da Edición. Navalcarnero (Madrid): Paraninfo.
- Pablo Alcalde San Miguel. (2014). Instalaciones Eléctricas y Automáticas. Madrid, España: Paraninfo.
- Eugenio Nieto Vilardell. (2015). Fuentes de Alimentación conmutadas en la práctica: Qué son, cómo funcionan, cómo se reparan. -: Fidestec Ediciones.
- Charles A. Schuler. (1986). electronics: Principles and Applications. New York, USA: MacGraw-Hill Book Company.
- Elektor. (1980). Electrónica: técnica y ocio. Elektor, N<sup>o</sup>. 1, 29-35.
- Elektor. (1985). Electrónica: técnica y ocio. Elektor, N<sup>o</sup>. 59, 45-50.
- Robert F. Coughlin & Frederick F. Driscoll. (1993). Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Prentice-Hall hispanoamericana, S.A.
- Vicente García. (2010). Fuentes de Alimentación y Laboratorio. Febrero 15 del 2017, de EPA Sitio web: <http://www.diarioelectronicohoy.com/blog/electronica-practica>
- Ramón Guerrero Pérez, Verónica Melero Ávila. (2012). Montaje y Mantenimiento de Transformadores. ELEE0109. ANTEQUERA, Málaga: ic. Editorial.
- Tangient LLC. (2015). Control-PID. Marzo 2017, de TES Global Limited Sitio web: <http://control-pid.wikispaces.com/>
- Power Electronics. (s.f.). Notas de Aplicación: Armónicos en sectores industriales. Marzo 2017, de Power Electronics Sitio web: [http://www.downloads.power-electronics.com/16%20POWER%20ACADEMY/01\\_POWER\\_ACADEMY\\_GENERAL\\_ANTIGUOS/p\\_general/VF\\_IFS0003AE.pdf](http://www.downloads.power-electronics.com/16%20POWER%20ACADEMY/01_POWER_ACADEMY_GENERAL_ANTIGUOS/p_general/VF_IFS0003AE.pdf)
- Reinoso Guzman. (s.f.). La distorsión armónica total (THD). Marzo 2017, de Electrónica y Ciencia Sitio web: <http://electronicayciencia.blogspot.com/2013/03/la-distorsion-armonica-total-thd.html>
- S. Salivahanan, Kanchana Bhaaskaran. (2008). Linear Integrated Circuits. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Uday A. Bakshi, Atul P. Godse. (2008). Analog Integrated Circuits: Desing and Applications. India: Technical Publications Pune.