



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO
DE FUENTE DE PODER REGULADA CON
SALIDA DE CORRIENTE DIRECTA, FIJA Y
VARIABLE PARA EL AREA DE
ELECTRÓNICA DIGITAL”**

TESIS

Que presenta

**Díaz Juárez Leonardo
Martínez Aguirre Christian Alejandro**

Para obtener el título de

Ing. Mecánico – Electricista

Asesor: Ing. Benito Barranco Castellanos



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi familia.
Por su apoyo y consejos incondicionales durante el trayecto de mis estudios.*

Índice

Introducción	3
I Diseño y componentes de la fuente de poder.	
1.1 Evolución de la Electrónica	7
1.2 Dispositivos electrónicos	19
1.2.1 Pasivos	
Resistencias	19
Capacitores	22
Bobinas	25
Transformadores	26
1.2.2 Semi-conductores	29
Diodos	30
Transistores	37
1.2.3 Modulación por ancho de pulso (PWM)	50
1.2.4 Fuentes de Poder	54
1.2.5 Descripción del prototipo	70
II Simulación del prototipo	
2.1 Simulación del prototipo por Multi sim	90
2.2 Creación de la tableta del cto. , y armado físico	93
III Prácticas	
3.1 Electrónica Digital	105
3.2 Circuitos básicos	123
3.3 Circuitos secuenciales	127
3.4 Circuito para motor a pasos	135
Conclusiones	137
Bibliografía	139

Introducción

El constante desarrollo de la tecnología hace que la Ingeniería Eléctrica Electrónica tenga una gran importancia, ya que aparecen aplicaciones que utilizan nuevas tecnologías que integran más funciones automatizadas para un mejor control, por lo que se hace necesario que el ingeniero eléctrico electrónico sea una persona con formación sólida e integral en sus conocimientos teóricos prácticos a la vez de una persona con gran capacidad de comprensión de los nuevos conocimientos y tecnologías.

Para poder desempeñarse óptima y profesionalmente en su área, el Ingeniero Eléctrico Electrónico necesita una base de conocimientos que puedan ser canalizados, que le permita desarrollarse en el campo laboral. Para resolver y evaluar, con eficiencia y calidad, los problemas y necesidades que la industria y la sociedad le soliciten en el área de la ingeniería eléctrica y electrónica.

El objetivo de la Licenciatura de Ingeniería Eléctrica Electrónica es formar profesionales de alto nivel, capaces de aplicar y crear tecnología. Los egresados desarrollarán, diseñarán, instalarán, mantendrán óptimos y mejorarán sistemas eléctricos-electrónicos con un propósito definido. Es por ello indispensable que cuenten con conocimientos de electrónica digital, analógica y de potencia que permiten al ingeniero el diseño y la fabricación de equipo y material eléctrico-electrónico de alta complejidad técnica y fácil manejo, para aplicaciones industriales, de investigación o comerciales de la electrónica. El Ingeniero en esta especialidad tiene un gran campo de desarrollo tanto en el sector público como en el privado, como ejemplos en las telecomunicaciones, electrónica, docencia, investigación, asesoría, control y automatización, manejo de energía eléctrica, etc.

Para poder desempeñarse óptima y profesionalmente en su área al egresar de la carrera, el Ingeniero Eléctrico Electrónico necesita una base de conocimientos que puedan ser canalizados y que le permita desarrollarse en el campo laboral.

La electrónica digital es un aspecto fundamental y obligatorio en esta formación. Su primer contacto real a ésta, lo realiza a través de las prácticas de laboratorio, siendo el complemento de la teoría.

Enfrentándose a la necesidad de manejar equipos costosos que se encuentran en los laboratorios, con la premisa de que si les ocurre una falla será el alumno el que lo mande a compostura de dicho equipo, por lo cual se busca proporcionar los elementos necesarios para practicar con la mayor tranquilidad posible, poder operar y usar correctamente el equipo del laboratorio sin ser intimidados y tener la confianza plena de que si comete algún error este podrá ser solucionado por el mismo, adquiriendo valiosa experiencia en seguimiento de fallas, desmontado y montaje de dispositivos electrónicos y la satisfacción de poder hacer la reparación de la fuente de alimentación.

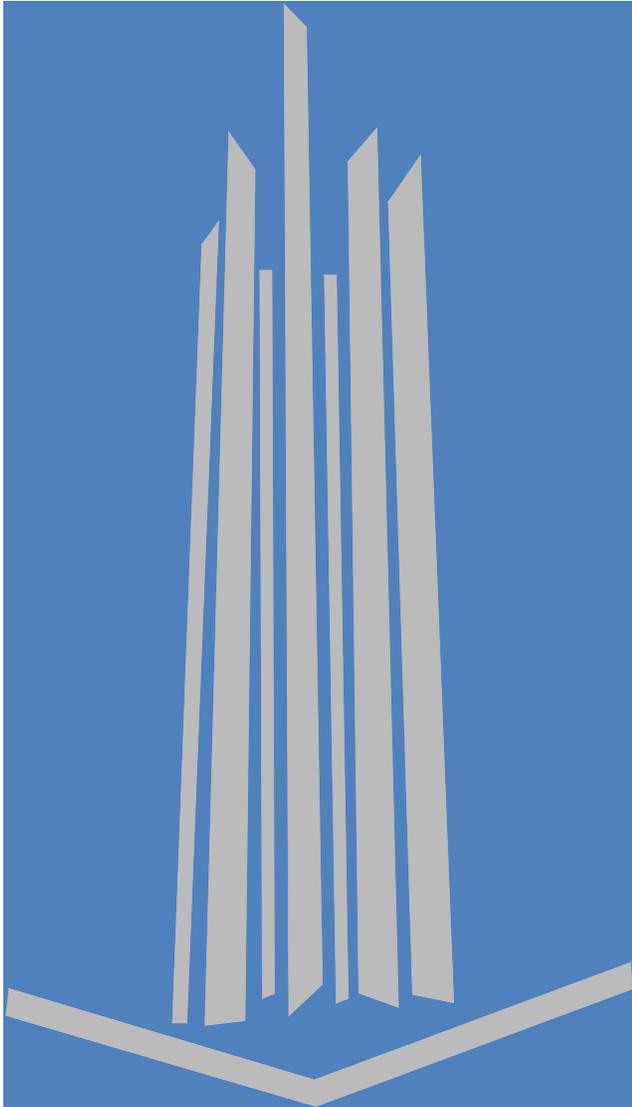
Las prácticas de laboratorio son de vital importancia para toda la carrera, ya que proporciona la experiencia física de las materias que proporcionan las bases del área de electrónica (características y comportamiento de dispositivos electrónicos) con los siguientes propósitos:

- Brindar al estudiante un conocimiento básico práctico de los dispositivos existentes, de tal manera que el estudio de circuitos y sistemas electrónicos tenga un mayor significado.
- Aportar al estudiante los conocimientos necesarios para la lectura de diagramas y seguimiento de fallas del equipo basados en Electrónica Analógica, digital y Amplificadores Electrónicos.
- El profesor tendrá un equipo didáctico que le da la opción de ampliar los conocimientos adquiridos ya en un equipo físico (que al alumno lo familiarice). En el momento que él considere pertinente simular una falla aun si no ocurre en la fuente de alimentación o inspirar a la mejora de esta dependiendo a las nuevas demandas y dispositivos de nueva generación que aparezcan en el mercado aportando así su creatividad iintroduciéndolos en el

campo del diseño de los aparatos electrónicos de tal manera que puedan leer y entender acerca de los nuevos dispositivos y su funcionamiento.

- El equipo podrá ser adquirido por el alumnado ya que la fabricación de estas fuentes podrá ser armada o por kits de armado. Puesto que el diseño da como característica que es un equipo barato y de fácil comprensión para el mejor seguimiento de su funcionamiento.
- Será de gran utilidad al alumno, para solventar la realización de las prácticas, así como la búsqueda de bibliografía apta para solucionar los problemas que se le presenten al reparar o rediseñar la fuente.

Esta propuesta podrá ser realizada ya que la fuente está hecha para cumplir con estas características, el rendimiento que las prácticas de laboratorio lo demanden Y por consiguiente poder asimilar el funcionamiento principal de las nuevas tecnologías.



Capítulo I

Diseño y componentes de la
fuente de poder

1.1 Evolución de la Electrónica

En cuanto a la definición de electrónica, según el diccionario de la Real Academia Española, se tiene que es:

"La ciencia que estudia dispositivos basados en el movimiento de los electrones libres en el vacío, gases o semiconductores, cuando dichos electrones están sometidos a la acción de campos electromagnéticos. Técnica que aplica a la industria los conceptos de ésta ciencia.
«1

Este es un pequeño resumen cronológico.

1800 - Alessandro Volta, físico italiano, anuncia en la Royal Society de Londres el resultado de sus experimentos (desde 1786) generando electricidad mediante metales diferentes separados por un conductor húmedo. Volta apila 30 discos metálicos separados cada uno por un paño humedecido en agua salada, obteniendo electricidad. A tal dispositivo se le llamó "pila voltaica", de allí se origina el nombre de las "Pilas". En honor de Alessandro Volta, la unidad de medida del potencial eléctrico se denomina Voltio.

1820 - El físico y químico danés, Hans C. Oersted descubre que alrededor de un conductor por el que circulaba una corriente eléctrica se forma un campo magnético.

1820 - Poco después del descubrimiento de Oersted, el científico francés André Marie Ampere logró formular y demostrar experimentalmente, la ley que explica en términos matemáticos la interacción entre magnetismo y electricidad. En su memoria fue nombrada la unidad de intensidad de corriente eléctrica: el Amperio.

1821 - Michael Faraday, físico y químico británico, basado en los descubrimientos de Oersted, construye los primeros aparatos para producir lo que él llamó "Rotación Electromagnética", nacía así el motor eléctrico.

1. REAL ACADEMIA DE LA LENGUA. Diccionario. 2000

1825 - El inventor británico William Sturgeon crea un dispositivo que iba a contribuir significativamente a la fundación de las comunicaciones electrónicas: el electroimán.

1827 - El profesor alemán Georg Simon Ohm publica el resultado de sus experimentos que demuestran la relación entre Voltaje, Corriente y Resistencia. Conocida hoy como Ley de Ohm. Su trascendencia fue menospreciada por sus colegas de la época y solo reconocida dos décadas después.

1827 - El físico alemán Gustav Kirchoff expone dos reglas, con respecto a la distribución de corriente en un circuito eléctrico con derivaciones, llamadas Leyes de Kirchoff.

1831 - Michael Faraday, diez años después de su "motor eléctrico", descubre un efecto inverso al descubierto por Oersted. Un campo magnético en movimiento sobre un conductor induce en este una corriente eléctrica. Crea la Ley de Inducción Magnética y base de los generadores eléctricos. También descubre que en electricidad estática, la carga eléctrica se acumula en la superficie exterior del conductor eléctrico cargado. Este efecto se emplea en el dispositivo denominado jaula de Faraday y en los capacitores. En reconocimiento a sus importantes descubrimientos, la unidad de capacidad eléctrica se denomina Faradio.

1836 -Nicholas Callan College de Maynooth, Irlandes. La primera "bobina de inducción" uno de los primeros investigadores en darse cuenta de que cuantas más espiras hay en el secundario, en relación con el bobinado primario, más grande es el aumento de la FEM.

1837 - Después de varios años desarrollando la idea, Samuel M. Morce patenta un dispositivo que permite transmitir mensajes a grandes distancias a través de dos cables, usando un código de puntos y rayas (el famoso alfabeto Morse). Nació el Telégrafo.

1846 - El Ing. Alemán Ernst Werner M. von Siemens, desarrolla el telégrafo de aguja y presión y un sistema de aislamiento de cables eléctricos a base de látex, lo que permitió, la

fabricación y tendido de cables submarinos, fundando la compañía Siemens AG. Por estas y otras contribuciones tecnológicas en 1888 fue ascendido a la nobleza.

1861 - El físico inglés James Clerk Maxwell desarrolla el concepto de onda electromagnética, que permite una descripción matemática adecuada de la interacción entre electricidad y magnetismo. Predijo que era posible propagar ondas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas.

1875 - William Crookes, físico y químico británico, investigando el comportamiento de las cargas eléctricas, usando un tubo de vidrio con electrodos y alto voltaje descubre la existencia de los rayos catódicos. Su dispositivo que se llamó "Tubo de Crookes" y sería el precursor de los tubos de rayos catódicos o cinescopios de hoy en día.

1876 - Graham Bell y su asistente Thomas A. Watson, realizaron la primera transmisión de la voz humana a través de cables.

1877 - Thomas Alva Edison inventa el primer aparato que permitía grabar en un cilindro de cera, voz y sonidos para luego reproducirlos, lo llamó: Fonógrafo.

1878 - Thomas Alva Edison construyó la primera lámpara incandescente con filamentos de bambú carbonizado.

1882 - El inventor francés, Lucien H. Gaulard patenta un dispositivo que llamó generador secundario y que sería una versión primitiva del transformador.

1882 - Nikola Tesla investigador estadounidense de origen croata, experimentando con alto voltaje y corriente alterna polifásica, inventa el alternador y el primer motor eléctrico de inducción.

1883 - Thomas Alva Edison, tratando de mejorar su lámpara incandescente descubre que al calentar un metal este emite cargas eléctricas. Lo llamó "efecto Edison", posteriormente

conocido como emisión termoiónica. Creó un dispositivo en el cual, dentro de un tubo de vidrio al vacío, la carga eléctrica emitida por una superficie metálica caliente (llamada cátodo) es recogida por otra superficie fría (llamada ánodo).

1884 - Paul Nipkow patenta un artefacto explorador de imágenes, que llamó "Disco de Nipkow" y que permitiría luego convertir imágenes en señales eléctricas.

1885 – Los ingenieros húngaros Zipernowsky, Bláthy y Deri de la compañía Ganz crearon en Budapest el modelo “ZBD” de transformador de corriente alterna, basado en un diseño de Gaulard y Gibbs (Gaulard y Gibbs sólo diseñaron un modelo de núcleo abierto). George Westinghouse compro las patentes del ZBD y las de Gaulard y Gibbs. Él le encomendó a William Stanley la construcción de un transformador de tipo ZBD para uso comercial. Este diseño se utilizó por primera vez comercialmente en 1886.

1887 - El estadounidense de origen alemán Emile Berliner, inventa un sistema de grabación que podía sacar muchas copias de la grabación original. Berliner sustituyó el cilíndrico del fonógrafo de Edison, por un disco plano y patentó entonces su "gramófono", fundando su propia compañía para fabricarlo masivamente.

1887 - Heinrich Hertz, físico alemán, corrobora la predicción de James Clerk Maxwell creando el primer transmisor de radio, generando radiofrecuencias. Desarrolló también un sistema para medir la velocidad (frecuencia) de las ondas de radio. En su honor la unidad de medida de frecuencia de denomino Hertz (o Hertzio).

1888 - El ingeniero inglés Oberlin Smith ideó y publicó, los principios básicos para grabar sonido en un soporte magnético.

1895 - Lorentz postuló la existencia de partículas cargadas llamadas electrones.

1897 - El físico inglés J. J. Thomson descubre la existencia de una partícula eléctricamente cargada, el electrón. Hizo pública su invención del primer tubo electrónico, rudimentario antecesor de los tubos de rayos catódicos que forman parte de los televisores.

1897 - Ferdinand Braun, científico Alemán, perfecciona el TRC o Tubo de Rayos Catódicos agregando al Tubo de Crookes una superficie de fósforo que se iluminaba al recibir los rayos catódicos. Desarrolla el primer osciloscopio.

1897 - Guillermo Marconi ingeniero eléctrico italiano, introduce en el Reino Unido la primer patente de la Radio.

1898 - El danés Valdemar Poulsen desarrolló y patentó el telegráfico, una grabadora de sonido que emplea alambre de acero como soporte magnético.

1899 - J.J. Thomson establece que las cargas que se liberaban al calentar una superficie metálica son electrones.

1901 - Guillermo Marconi, logra la primera transmisión telegráfica inalámbrica a través del Atlántico.

1904 – Tubos de vacío (bulbos).El físico británico John Ambrose Fleming encuentra una aplicación práctica de la válvula termoiónica de efecto Edison, que posteriormente denominaría: "Diodo", al usarlo como detector de ondas electromagnéticas. El diodo de Fleming está compuesto esencialmente por dos electrodos metálicos contenidos en un tubo vacío, uno de los cuales (el cátodo) es calentado por un filamento. Debido a este calentamiento, el cátodo emite electrones (efecto termoiónico), que son acelerados hacia el otro electrodo (el ánodo) cuando este último se mantiene positivo respecto al cátodo. John Ambrose Fleming es considerado "el padre de la electrónica".

1905 - El físico estadounidense Lee de Forest perfeccionando el invento de Fleming, agrega un nuevo electrodo en forma de rejilla entre el cátodo y el ánodo del tubo al vacío. La proximidad entre el cátodo y la rejilla hace que, si a esta última se le aplica una pequeña

tensión, influya sustancialmente sobre el flujo de electrones en el interior del tubo. Por tanto, el triodo actúa como amplificador. Este electrodo permite regular el paso de electrones. Nace así el Triodo, primer dispositivo amplificador electrónico.

1913 - El físico estadounidense Edwin Howard Armstrong desarrolla el primer circuito oscilador basado en un Triodo.

1924 - El escocés John Logie Baird, usando el disco explorador de imagen de Nipkow, logra transmitir imágenes por ondas de radio. Nació la Televisión electromecánica.

1928 - El ingeniero alemán Fritz Pfleumer patentó la primera cinta magnética, constituida por una delgada capa de hierro magnetizable sobre una cinta de papel. Años después, la patente fue revocada, pues el principio básico ya había sido patentado por el danés Valdemar Poulsen en 1898.

1929 - Se realizan las primeras emisiones públicas de televisión, por la BBC en Inglaterra.

1930 - Se perfeccionan los tubos electrónicos de vacío, nacen el Tetrodo y Pentodo con más elementos entre el cátodo y el ánodo.

1932 - La empresa alemana A.E.G. realiza los primeros ensayos para la construcción de grabadoras de cinta. La firma IG Fabenindustrie propone como soporte una cinta plástica: el acetato de celulosa.

1933 - Edwin Howard Armstrong inventa un nuevo tipo de modulación de señal: la FM (frecuencia modulada).

1935 - El Magnetófono hizo su aparición pública en la Exposición Radiotécnica de Berlín. Y cinco años después H.J. von Braunmuhl y W. Weber introdujeron la premagnetización de alta frecuencia, que permitió una gran mejora en la grabación del sonido.

1936 - El ingeniero austriaco Paul Eisler, creó el primer circuito impreso como parte de un receptor de radio.

1943 – Colossus primer computadora 1500 bulbos.

1946 - Percy Spencer, ingeniero de la Raytheon Corporation, descubre los efectos de las microondas sobre los alimentos. Inventa el Horno de Microondas.

1947-Los físicos John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley obtuvieron un efecto de amplificación en un dispositivo compuesto por dos sondas de oro prensadas sobre un cristal de germanio (un semiconductor): nació así el transistor, que actualmente es el elemento fundamental de todo dispositivo electrónico (en 1965 estos físicos recibieron el Premio Nóbel).

1947 - Un equipo de ingenieros y científicos encabezados por los doctores John W. Mauchly y J. Prester Eckert en la Universidad de Pennsylvania, Estados Unidos, crean: ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), primera computadora digital electrónica. Fue una máquina experimental. No era programable como las computadoras actuales. Era un enorme aparato que ocupa todo el sótano en la Universidad de Pennsylvania. Tenía 17,600 bulbos, consumía varios KW y pesaba algunas toneladas. Realizaba hasta cinco mil sumas por segundo.

1947, 16 de diciembre - Fue creado el primer transistor, por William Shockley, John Bardeen, y William Brattain en los laboratorios Bell.

1950 - Salen al mercado los primeros magnetófonos comerciales, eran de cinta en carrete abierto.

1951 - Los doctores Mauchly y Eckert fundan la compañía Universal Computer (Univac), con 5000 bulbos que produce la primera computadora comercial: UNIVAC I.

1955 - SONY lanza al mercado el primer receptor de radio totalmente transistorizado el TR-55.

1955 - Anunciado por los laboratorios AT&T Bell, la Tradic fue la primera computadora transistorizada, teniendo aproximadamente 800 transistores en el lugar de los antiguos tubos de vacío, lo que le permitía trabajar con menos de 100 Watts de consumo de energía.

1958 - El ingeniero Jack Kilby de la compañía norteamericana Texas Instruments, creó el primer circuito completo integrado en una pastilla de silicio, lo llamó "circuito integrado". Casi simultáneamente el ing. Robert Noyce de Fairchil Semiconductor desarrolla un dispositivo similar al que llamó: "circuito unitario". A ambos se los reconoce como los creadores de los circuitos integrados.

1959 - IBM presentó el primer ordenador (el 7090) de estado sólido, es decir, con transistores de la compañía.

1961 - Se crea el UNIMATE, primer robot industrial que entró en operación en la GM. Su función era apilar pedazos de metales calientes, labor que era ejecutada sin problemas.

1962, 10 de Julio - Fue lanzado el Telstar 1 primer satélite de comunicaciones de uso comercial.

1962 - Nick Holonyak, ingeniero de General Electric desarrolla el primer LED (Light Emitting Diode o Diodo Emisor de Luz) que emitía en el espectro visible.

1962 - Sony lanza al mercado mundial el primer televisor de 5 pulgadas, completamente transistorizado.

1962 - C.I TTL serie 7400 de Texas Instruments, compuertas lógicas, flip – flops, ALU.

1963 - Philips presentara el popular "Compact Cassette". Otros fabricantes habían desarrollado diversos tipos de cartuchos de cinta magnética, pero ninguno de ellos alcanzo la difusión mundial de este, por su bajo costo, tamaño y practicidad.

1964 – system 360 de IBM, circuitos integrados, primer Op-amp(uA702).

1965 - Gordon Moore, trabajando en Fairchild Semiconductor (tres años después fundaría Intel), predijo que la integración de circuitos crecería a un ritmo que duplicaría el número de transistores por chip cada dos años. Esta predicción se ha cumplido hasta la fecha y se le conoce como: "Ley de Moore".

1968 - Fairchild Semiconductor produce el primer circuito integrado regulador de voltaje lineal el uA723. Poco tiempo después lanza al mercado la serie 7800 que incluye los populares 7805 (de 5V), etc.

1971 - Ted Hoff, Federico Faggin de Intel y Masatoshi Shima de Busicom (ZiLOG) diseñan el primer microprocesador, el Intel 4004. Timer 555. Primer microprocesador el Intel 4004 con 2300 transistores 740 khz. Primer dispositivo lógico programable (PLD) de Texas Instruments.

1972 - Lanzamiento del microprocesador Intel 8008 con 2500 transistores 0.8 mhz.

1974 – Primer micro controlador de Texas Instruments. El microprocesador 8080 de intel con 6600 transistores a 2mhz.

1975 - JVC lanza al mercado el sistema de grabación de audio y video analógico para uso domestico: VHS (Video Home System).

1976 - Sony lanza al mercado el sistema de grabación de audio y video analógico: Betamax. Primer uP de Motorola. El zilog z80 2.5 mhz. Primer micro controlador de Intel D8048h.

1978 – Intel 8086 uP de 16 bits con 20000 transistores a 5 mhz.

1979 - Philips y Grundig de Alemania desarrollan el Video 2000 (Video Cassette compacto, o VCC) para competir con VHS de JVC y Betamax de Sony.

1880 – Primer microcontrolador Intel P8051su arquitectura es usada hasta el día de hoy.

1980 – Intel el microprocesador 8080 a 5mhz con 29000 transistores.

1981 – IBM Pc usaba un 8088.

1982, 17 de agosto - La empresa Philips fabrica el primer Compact Disc en Hannover (Alemania), desarrollado en forma conjunta por Philips y Sony. Intel el microprocesador 80286 a 6mhz con 134 000 transistores.

1984 – IBM-PCAT usaba el 80286. El micro controlador de Motorola el uC MC68HC81 un de los más usados del mundo.

1985 – Intel 386 con 275000 transistores a 16mhz primer uP de 32 bits. GAL (PLD). Primer fPGA (PLD).

1988 - Se integra el MPEG (Moving Picture Experts Group o Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento), para desarrollar estándares de codificación de audio y video (MPEG-1, MPEG-2,... MP3, etc).

1988 - Un consorcio de empresas entre las que destacan Philips, Sony, Toshiba, Time-Warner, Matsushita Electric, Hitachi, IBM, Mitsubishi Electric, Pioneer, Thomson y JVC, lanzan la primer versión del estándar DVD.

1989 - Intel 486 con 1200000 transistores a 25mhz. Se crea Microchip.

1993 - Intel Pentium con 3100000 transistores a 60mhz.

2000 - Intel Pentium 4 a 1.5ghz con 125000000 de transistores.

2003 - fPGA Spartan-3.

2006 - Intel Core 2 Duo a 2.13ghz con 410 000000 de transistores. fPGA Virtex-5.

2007 - Intel Core 2 Extreme quad-core a 3ghz con 582000000 de transistores.

2009 - fPGA Spartan-6. Virtex-6.

2010 - Investigaciones sobre el bit cuántico micro procesadores cuánticos.

1.2 Dispositivos Electrónicos

1.2.1 Pasivos

Resistencias.

RESISTOR.- Es un dispositivo o componente elaborado a base de materiales adecuados para ofrecer estorbo a la corriente eléctrica, propiedad a la cual se le conoce con el nombre de resistencia, la que a su vez tiene como unidad de medida el OHM, KILOHM (mil ohms), que se abrevia Ω y MEGAOHM (un millón de ohms) que se abrevia $M\Omega$. En consecuencia, se puede decir que el resistor es útil para limitar o determinar el nivel de la corriente eléctrica que debe fluir en un circuito. Otras veces el resistor es empleado para reducir o fraccionar el voltaje; y cuando se le conecta con capacitores o inductores, la combinación forma redes de filtro de características muy especiales. Aun cuando se construyen resistores de muy diferentes tipos, estos dispositivos de manera general se pueden clasificar en resistores fijos y variables (de alambre o carbón).

RESISTOR FIJO.- Dispositivo de dos terminales de forma tubular que de acuerdo con su fabricación ofrece una resistencia óhmica definida. Sobre este tipo de resistores destacan los de carbón depositado y los de película metálica, los cuales se construyen para ofrecer diversos valores de resistividad óhmica que varían entre unas cuantas décimas de ohm y 20 o más megohms; este valor generalmente viene indicado en el propio cuerpo del resistor a base de 3 o 4 bandas de colores, en donde tales bandas coloreadas quedan relacionadas con el código estándar de colores para resistores. Otras veces su valor viene indicado con números en el cuerpo del dispositivo. Además de su valor óhmico, otros datos de gran importancia del resistor son su tolerancia y su potencia de disipación. Con relación a la tolerancia o imprecisión respecto a su valor indicado en ohms, éste queda determinado en función de su calidad viene indicado también en forma de bandas coloreadas que se interpretan según el código de resistores. Esta tolerancia, dada en tanto por ciento, nos indica el porcentaje de alteración aceptable con respecto al valor específico del resistor. Los valores más comunes de tolerancia son el 1, 2, 3, 5, 10 y 20 %. No obstante, suelen

construirse resistores de precisión de valor prácticamente exacto y equivalente al indicado, los cuales son usados comúnmente en instrumentos de medición. Por último, su potencia de disipación, dada en watts, nos indica la potencia que el resistor puede manejar. Sin el riesgo de dañarse, siendo sus valores más comunes $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3, 4 W. Para potencias de disipación mayores a 5 W suelen construirse resistores de alambre de valor fijo y ajustable de diferentes valores óhmicos con tolerancia del 5 al 20 %.

POTENCIOMETRO.- Dispositivo o componente resistivo de dos terminales fijas y una tercera terminal conectada a un contacto regulable que generalmente queda montado sobre un eje rotativo, que al ser operado nos permite variar la resistencia óhmica de manera continua. Estos potenciómetros usados como controles de tono o volumen son del tipo de carbón cuando manejan bajas potencias de señal, y de alambre cuando manejan altas potencias. También suelen construirse controles de variación lineal y de variación logarítmica. Entre sus diversos tipos podemos mencionar los siguientes:

CONTROL DE ALAMBRE. Este control, cuyo elemento resistivo está formado por un elemento de alambre devanado en una forma circular, generalmente se emplea en circuitos de alta potencia.

CONTROL DE VOLUMEN.- Por lo general, este control del tipo de carbón es proyectado para manejar pequeñas potencias de señal y comúnmente es usado para monitorear la potencia acústica en aparatos de radio, TV, etc., en cuyos casos debe ser del tipo de variación logarítmica.

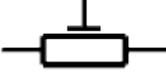
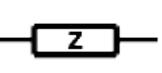
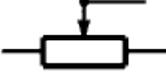
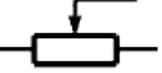
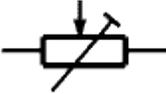
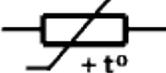
CONTROL DE TONO.- Control del tipo de carbón proyectado para manejar pequeñas potencias de señal y comúnmente usado para monitorear las frecuencias del espectro de audio. Cuando opera como control de tono de graves, el control actúa sobre el rango de frecuencias bajas, y cuando funciona como control de agudos el efecto de monitoreo se efectúa sobre el rango de altas frecuencias del espectro de audio. En estos casos el control usado es del tipo de variación lineal.

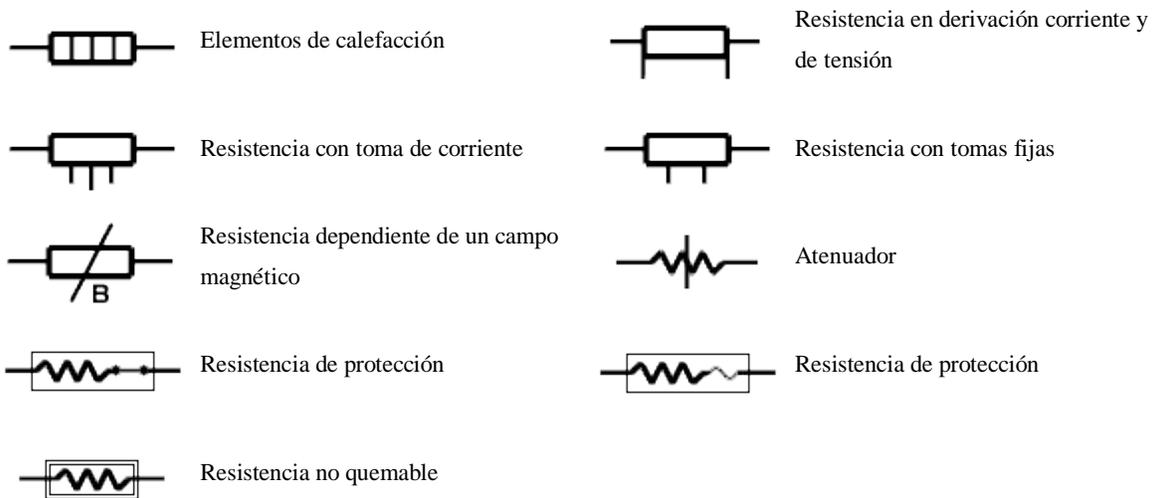
POTENCIOMETRO TIPO TRIMER.- Control de alambre o carbón, cuya terminal móvil es operada por medio de un desarmador o neutralizador y es particularmente usado en aparatos de radio y TV como un dispositivo de pre-ajuste.

ATENUADORFS DE IMPEDANCIA CONSTANTE.- Conjunto de controles ensamblados en diversas formas y construidos para monitorear las señales de audio (y también señales de RF) sin afectar las impedancias de los circuitos entre los cuales se encuentran conectados.

En la Tabla 1.1 se muestran resistencias con sus símbolos.

Tabla 1.1 Resistencias

	Resistencia símbolo general		Resistencia símbolo general
	Resistencia no reactiva		Resistencia no reactiva
	Resistencia variable		Resistencia variable por pasos o escalones
	Resistencia variable		Resistencia ajustable
	Resistencia ajustable		Impedancia
	Potenciómetro		Potenciómetro de contacto móvil
	Potenciómetro de ajuste predeterminado		Variable por escalones
	Variable de variación continua		NTC
	PTC		VDR
	LDR		LDR



Capacitores.

CAPACITOR.- A un capacitor básicamente lo constituye un par de placas metálicas separadas por medio de un dieléctrico como el aire, papel, mica, cerámica, vidrio, malla, etc. cuyo dispositivo tiene como propiedad principal la de almacenar cargas eléctricas, propiedad a la cual se le conoce con el nombre de capacitancia. Su unidad de medida es el Farad, pero por ser ésta una unidad muy grande, es más común el uso de los submúltiplos del mismo. Tales como el microfarad (millonésima de farad) que se abrevia μF , el nanofarad (milésima de millonésima de farad) que se abrevia nF y el picofarad o microfarad (millonésima de millonésima de farad) que se abrevia pF . Los capacitores bloquean la cd y permiten pasar a la ca, dependiendo esto, de su valor capacitivo y de la frecuencia.

Los capacitores son de gran aplicación en los circuitos electrónicos, en donde actúan como capacitores de acoplo, capacitores de paso, capacitores de filtro, etc. y cuando se ligan con inductores y resistores, las combinaciones representan circuitos sintonizados o filtros de banda de características muy especiales.

El capacitor suele construirse en diversos tipos, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

CAPACITOR DE PAPEL.- Capacitor fijo construido a base de dos delgadas bandas metálicas separadas por papel aceitado o encerado; o bien, por otro material aislante; todo este conjunto se encuentra enrollado sobre sí mismo. Sus valores capacitivos más comunes varían entre $0.0001 \mu\text{F}$ y $0.1 \mu\text{F}$.

CAPACITOR DE MICA.- Capacitor fijo construido a base de un conjunto de delgadas hojas metálicas separadas por medio de un dieléctrico que es de mica. Sus valores capacitivos más comunes varían entre 5pF y $0.01 \mu\text{F}$.

CAPACITOR DE POLIESTIRENO.- Capacitor fijo construido a base de dos cintas metálicas enrolladas y separadas por medio de una película de polietileno que actúa como dieléctrico. Sus valores más comunes varían entre $0.001 \mu\text{F}$ y $2 \mu\text{F}$.

CAPACITOR DE CERAMICA.- Capacitor fijo construido a base de dos electrodos de plata, entre los cuales se ha dispuesto un dieléctrico de material cerámico como el titanato de bario, cuya composición puede variarse para obtener capacitores con un amplio margen de coeficientes de temperatura. Sus valores capacitivos más comunes varían entre 10pF y $0.05 \mu\text{F}$.

CAPACITOR, DE DOBLE DIELECTRICO.- Capacitor fijo tubular que emplea doble dieléctrico a base de papel y película de poliéster, con lo cual se obtiene un capacitor de mejores características. Sus valores más comunes varían entre $0.01 \mu\text{F}$ y $1 \mu\text{F}$.

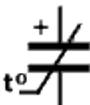
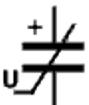
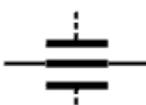
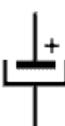
CAPACITOR ELECTROLITICO.- La principal característica de estos dispositivos es su alto valor capacitivo, el cual varía entre 1 y $10\,000 \mu\text{F}$; éstos son construidos para potenciales de trabajo de 2 a 700V de cd, en cuya estructura básica destacan dos delgadas hojas metálicas de aluminio separadas por medio de un dieléctrico que se elabora por métodos electroquímicos. Aun cuando se construyeron capacitores electrolíticos del tipo húmedo y seco, en la actualidad éstos últimos son los de aplicación práctica; estos capacitores no pueden manejar corrientes alternas porque se destruyen y al conectarlos con circuitos de corriente directa, se debe tener muy en cuenta que sus terminales están

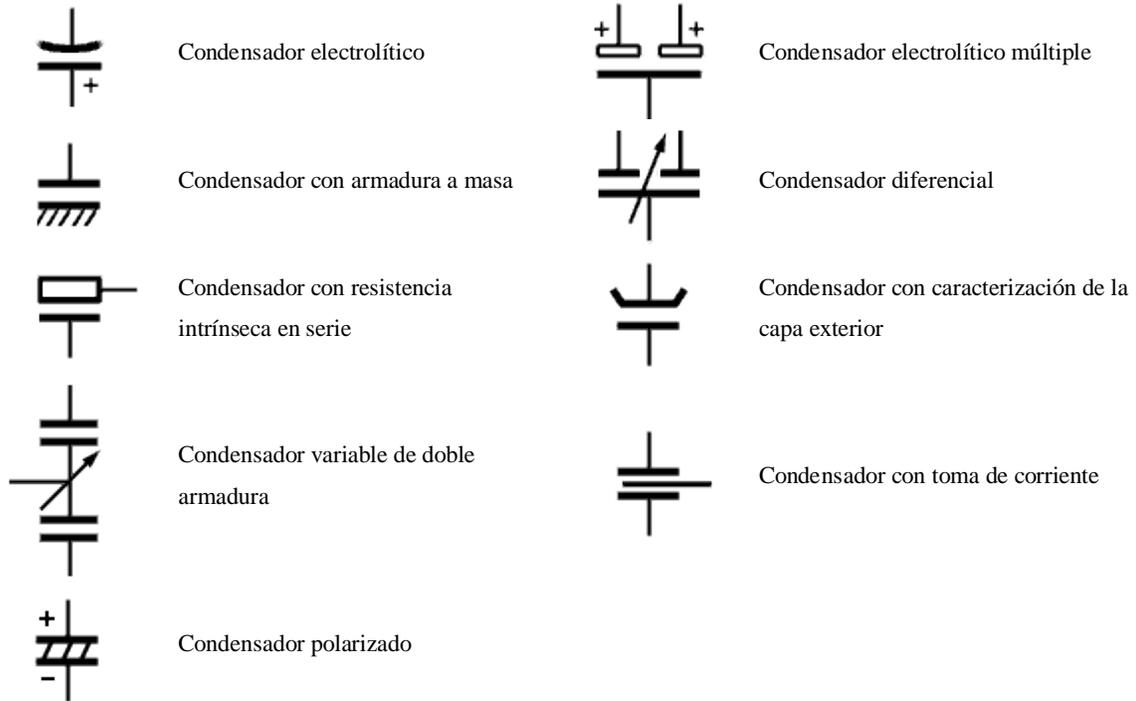
polarizadas, por lo tanto, su terminal positiva debe quedar conectada con el punto positivo del circuito y la negativa con el negativo del mismo. Obviamente, si el capacitor se conecta con sus terminales invertirlas se destruye. No obstante, para casos en donde el capacitor electrolítico debe manejar corrientes alternas, suelen construirse capacitores electrolíticos del tipo no polarizado.

CAPACITOR TIPO PASANTE.- Capacitor aislador o de paso que proporciona un valor deseado de capacidad entre un hilo conductor de señal y el chasis o panel metálico que atraviesa, usado de preferencia en circuitos de alta frecuencia.

CAPACITOR-. El capacitor es un dispositivo o combi-elemento que contiene conectados en paralelo un capacitor, un resistor y un brincador, que se usa para casos de desacoplo de antena y con el fin de dispersar poco a poco la carga electrostática que se presenta frecuentemente.

En la Tabla 1.2 se muestran capacitores y sus símbolos.

Tabla 1.2 Condensadores			
	Condensador no polarizado		Condensador no polarizado
	Condensador variable		Condensador ajustable
	Condensador polarizado sensible a la temperatura		Condensador polarizado sensible a la tensión
	Condensador pasante		Condensador de estator dividido
	Condensador electrolítico		Condensador electrolítico



Bobinas.

INDUCTOR O BOBINA.- Básicamente a un inductor o bobina lo constituye un alambre metálico devanado sobre una forma tubular de plástico o de algún otro material dieléctrico que puede o no tener núcleo de hierro y en cuyo dispositivo se manifiesta, en alto grado, el fenómeno de la inductancia o autoinductancia.

La inductancia, por definición, se puede decir que es la propiedad de un circuito o elemento del circuito para oponerse a cualquier variación o cambio de la corriente. También se puede asentar que la inductancia es la propiedad que tienen las bobinas o enrollados de alambre para autoinducirse un potencial en sus extremos, cuando son recorridos por una corriente variable o alterna. La inductancia se representa con la letra L y su unidad de medida es el Henry que se abrevia con la letra H. No obstante, por ser el Henry una unidad de medida demasiado grande, es impráctica, siendo más común el uso de sus submúltiplos, tales como el milihenry (milésima parte del henry) que se abrevia mH y el microhenry (millonésima parte del henry) que se abrevia μH .

Las bobinas o inductores son de gran uso en los circuitos electrónicos, en donde frecuentemente quedan asociadas con capacitores, cuya combinación recibe el nombre de circuito sintonizado y mediante el cual es posible entonar a los circuitos electrónicos para una frecuencia determinada o bien para una gama de frecuencias, lo cual representa un verdadero filtro de banda.

Transformadores.

Dispositivo que permite cambiar el nivel de voltaje con lo cual se produce un ahorro de energía al disminuir las pérdidas. Está constituido por dos devanados que al aplicar una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario Fig.1.1. La fórmula matemática de los transformadores:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Donde: (**Vs**) es el voltaje en el secundario y (**Ns**) es el número de espiras en el secundario, (**Vp**) y (**Np**) se corresponden al primario.

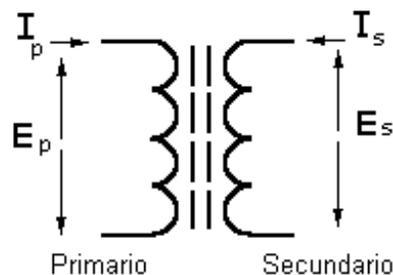


Fig.1.1 Devanados

Relación de Transformación.

Esta es la que nos indica el aumento ó decremento que sufre el valor de la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada, quiere decir, por cada volt de entrada cuántos volts hay en la salida del transformador.

La relación entre la fuerza electromotriz inductora (E_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida (E_s), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s).

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

La razón de la transformación (m) del voltaje entre el embobinado primario y el embobinado secundario depende de los números de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario, en el secundario habrá el triple de tensión.

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = m$$

Donde:

V_p .- Es la tensión en el devanado primario ó tensión de entrada

V_s .- Es la tensión en el devanado secundario ó tensión de salida

I_p .- Es la corriente en el devanado primario ó corriente de entrada

I_s .- Es la corriente en el devanado secundario ó corriente de salida Fig. 1.2.

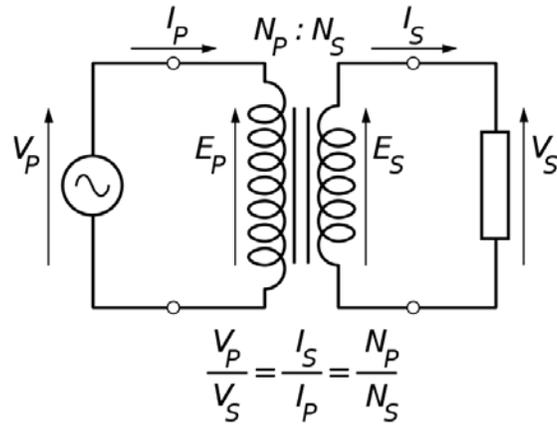


Fig.1.2 Relación de Transformación

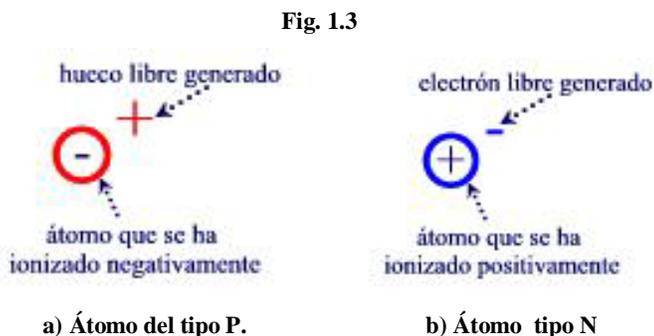
TRANSFORMADOR DE PODER o DE POTENCIA. Transformador del tipo de núcleo de hierro laminado formado generalmente de un primario que se conecta a la línea de ca de 120 V a 60 H y uno o más secundarios, en los cuales, por inducción del primario, aparecen voltajes alternos de una magnitud que puede ser mayor o menor si se le compara con la del voltaje de la línea de ca, esto queda determinado por la relación de vueltas usada.

1.2.2 Semi-conductores

Los mejores conductores (plata, cobre, oro) tienen un electrón de valencia, mientras que los mejores aislantes tienen ocho electrones de valencia. Un semiconductor es un elemento con propiedades eléctricas entre las de un conductor y un aislante. Los mejores semiconductores tienen cuatro electrones de valencia en su última órbita.

El germanio y el silicio son un ejemplo de semiconductor ya que tienen cuatro electrones de valencia en la última órbita. Pueden conducir electricidad bajo algunas condiciones, siendo un buen medio para el control de la corriente eléctrica. El material semiconductor más popular es el silicio, cuya conductividad se incrementa bastante rápido con la temperatura.

Para hacer que un semiconductor sea útil en electrónica, se le agregan más átomos de impurezas para incrementar su conductividad eléctrica. Este proceso se conoce como dopaje del semiconductor. La conductividad del silicio puede incrementarse de manera importante agregando las impurezas apropiadas. El número de electrones libres puede incrementarse haciendo el dopaje con átomos donadores, y el número de huecos puede incrementarse haciendo el dopaje con átomos receptores. Si se crea un exceso de electrones, el material se denomina tipo n; si se crea un exceso de huecos, el material es tipo p (Fig. 1.3). A una unión p-n (Fig. 1.4) se le denomina diodo.



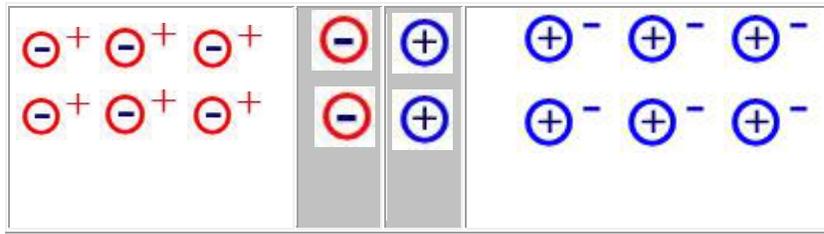


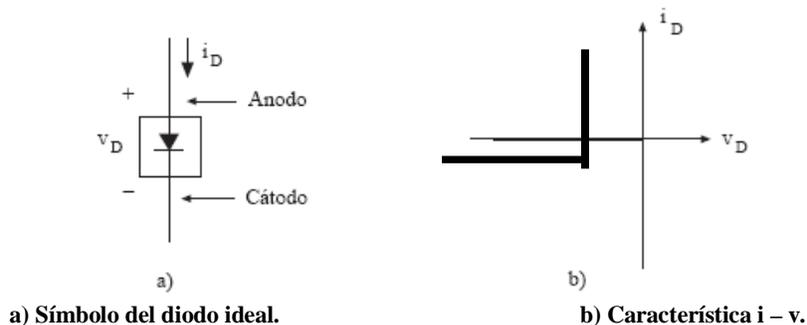
Fig. 1.4 Unión p-n

Algunos elementos en circuitos se consideran lineales, se les llama de ésta manera porque la representación de la corriente en función de la tensión es una línea recta, es decir, la corriente es directamente proporcional a la tensión.

El Diodo

Un diodo se considera un dispositivo no lineal ya que la representación de la corriente en función de la tensión es una curva (En la Figura 1.5 se observa tanto el símbolo así como la curva característica de un diodo ideal).

Fig. 1.5



En las Fig. 1.6 y 1.7 se observa la apariencia física de diodos de la serie 1N4XXX y MRXXX y su representación simbólica en circuitos, aunque ambos diodos cumplen con la misma función (diodos rectificadores) tienen diferente nomenclatura (1N / MR) debido a los estándares desarrollados por diferentes organismos.

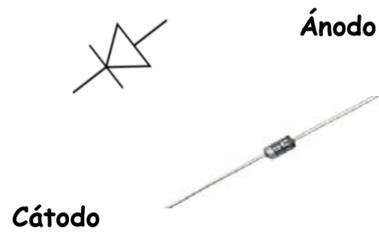


Fig. 1.6 Diodo rectificador 1N4XXX1.c

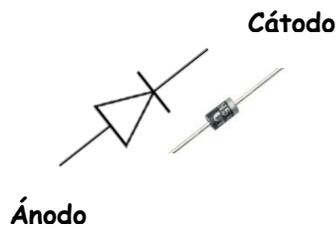
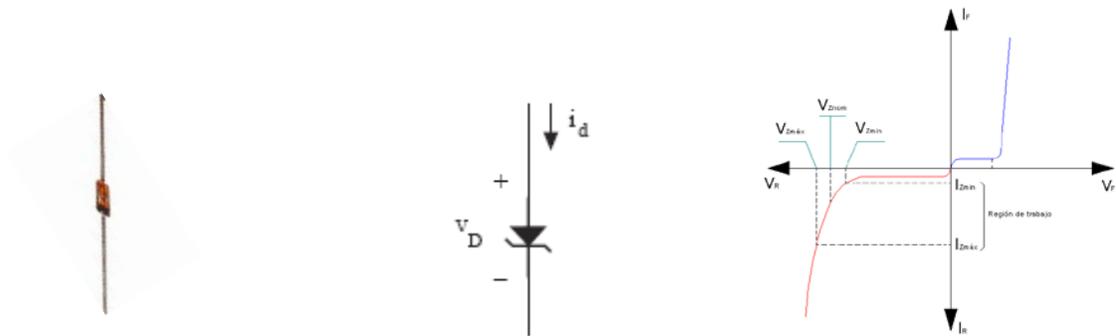


Fig. 1.7 Diodo rectificador MRXXX

Entre las principales aplicaciones del diodo rectificador está la rectificación, los circuitos limitadores, fijadores, multiplicadores ó como diodo de ruptura.

El diodo zener es un diodo especial que se emplea normalmente en polarización inversa para hacer uso de la región de ruptura., en la Fig. 1.8 se observa la apariencia física de un zener, el símbolo para representar al diodo zener y su curva característica corriente-voltaje.

Fig. 1.8



a) Apariencia física del diodo zener.

b) Símbolo del diodo zener.

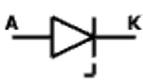
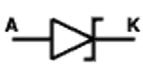
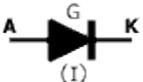
c) Curva corriente-tensión.

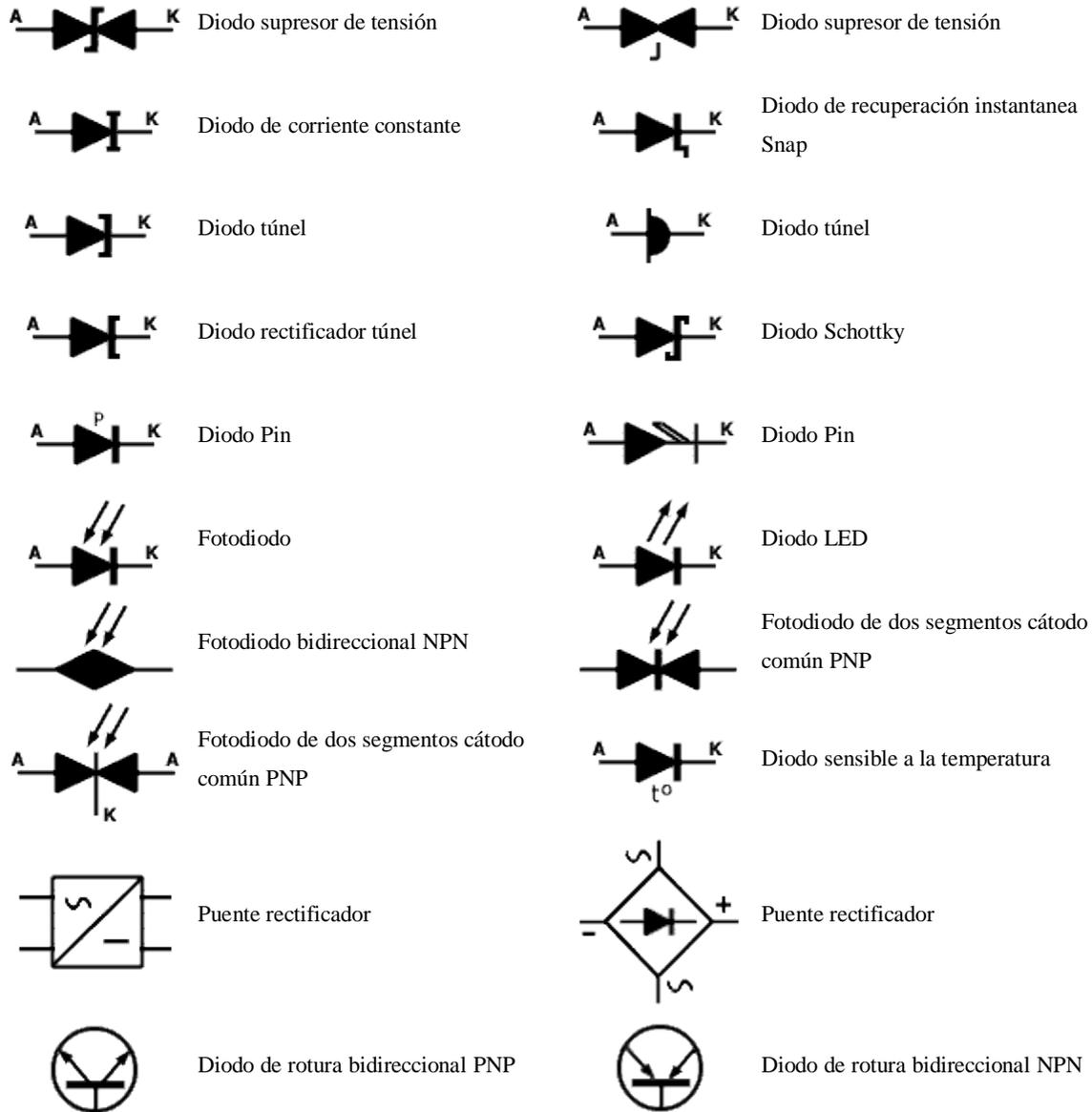
Un diodo zener es un diodo que ha sido diseñado para trabajar en la región de ruptura. En la región de ruptura la característica $i(v)$ cae casi verticalmente. Esto significa que aunque la corriente que atraviesa el diodo en inversa varíe mucho (pero siempre dentro de la región de ruptura), la tensión en sus terminales se mantiene a un valor casi constante V_z .

El diodo LED es un tipo especial de diodo, que eléctricamente se comporta igual que un diodo de silicio o germanio, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica, emite luz. Existen diodos LED de varios colores que dependen del material con el cual fueron construidos. Debe de escogerse bien la corriente que atraviesa el LED para obtener una buena intensidad luminosa y evitar que este se pueda dañar. El LED tiene un voltaje de operación que va de 1.5 V a 2.2 volts aproximadamente y la gama de corrientes que deben circular por él está entre los 10 y 20 miliamperes (mA) en los diodos de color rojo y entre los 20 y 40 miliamperes (mA) para los otros LED's.

En la Tabla 1.3 se muestran diferentes diodos y sus símbolos.

Tabla 1.3 Diodos

	Diodo rectificador		Diodo rectificador
	Diodo rectificador		Diodo zener
	Diodo zener		Diodo zener
	Diodo zener		Diodo zener
	Diodo varicap		Diodo varicap
	Diodo varicap		Diodo Gunn Impatt



Aplicaciones del Diodo Semiconductor Circuitos Rectificadores, Recortadores, Sujetadores y Multiplicadores de Voltaje

Circuitos Rectificadores.

Si se conecta una fuente de tensión al diodo de forma que el potencial negativo esté unido al cátodo y el positivo al ánodo, conectados en paralelo (Fig. 1.9), se dice que el diodo está polarizado directamente. Al aplicar esta tensión el diodo conduce, la corriente

circula en el sentido de ánodo a cátodo, sin caída de tensión entre ambas terminales (a excepción del máximo voltaje en sentido directo V_F especificado por el fabricante) y equivale a un cortocircuito.

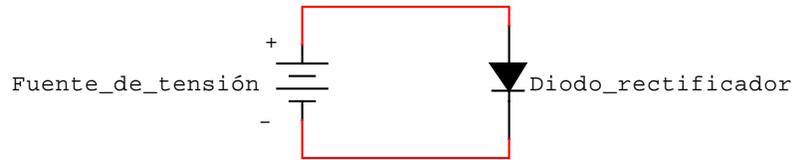


Fig. 1.9 Diodo polarizado directamente

En cambio en la polarización inversa de un diodo se conecta la fuente de tensión (voltaje) a los extremos del diodo, de manera que la terminal negativa de la fuente se una al ánodo y el positivo al cátodo y equivale a un circuito abierto, a través del diodo fluye una pequeña corriente, denominada de fuga o corriente inversa de saturación del diodo. Esta corriente es muy pequeña, pero aumenta con la temperatura del medio ambiente, por lo tanto la resistencia inversa del diodo disminuye con la temperatura. Esta corriente es independiente de la tensión aplicada, siempre que esta sea menor a un valor denominado tensión de ruptura. A partir de esta tensión la corriente aumenta rápidamente con pequeños incrementos de tensión.

Un diodo ideal se puede considerar como un interruptor que se cierra al estar polarizado directamente y se abre al estar polarizado en inversa.

Un diodo rectificador está formado por un material N y otro P, la idea general de un circuito rectificador (Fig. 1.10) es transformar una señal alterna, comúnmente sinusoidal, en una señal continua. Esta es la idea básica que se busca conseguir utilizando rectificadores de media onda y onda completa con o sin capacitores.

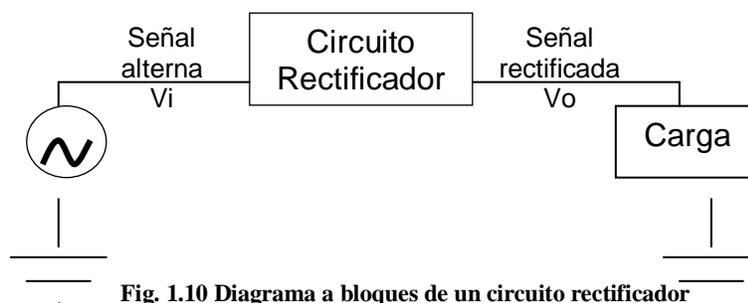


Fig. 1.10 Diagrama a bloques de un circuito rectificador

Ejemplos de circuitos rectificadores Fig. 1.11 a la 1.14

Fig. 1.11 Rectificador de media onda

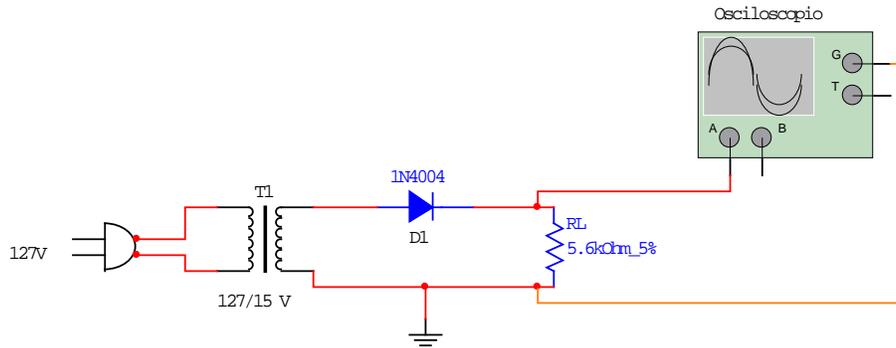


Fig. 1.12 Rectificador de media onda con filtro.

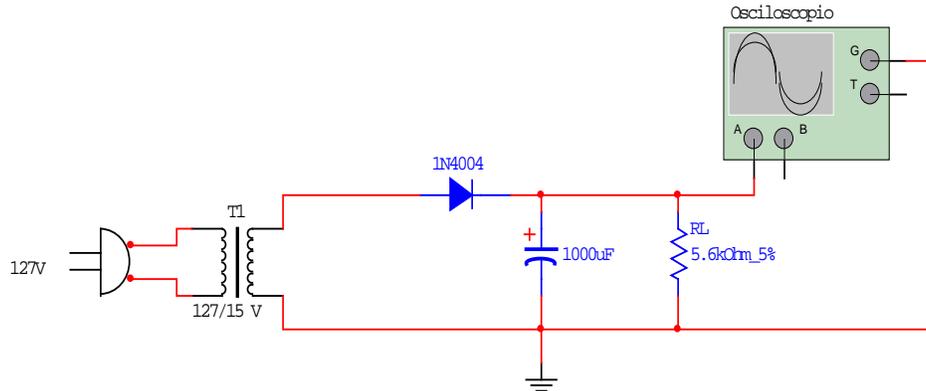


Fig. 1.13 Rectificador de onda completa.

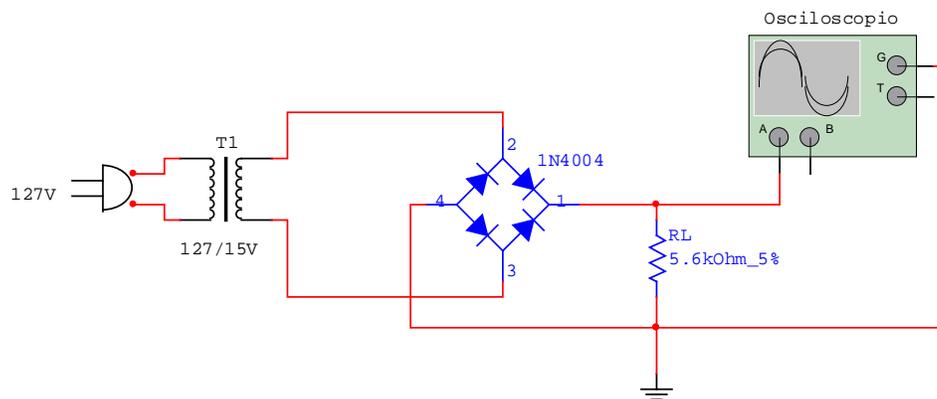
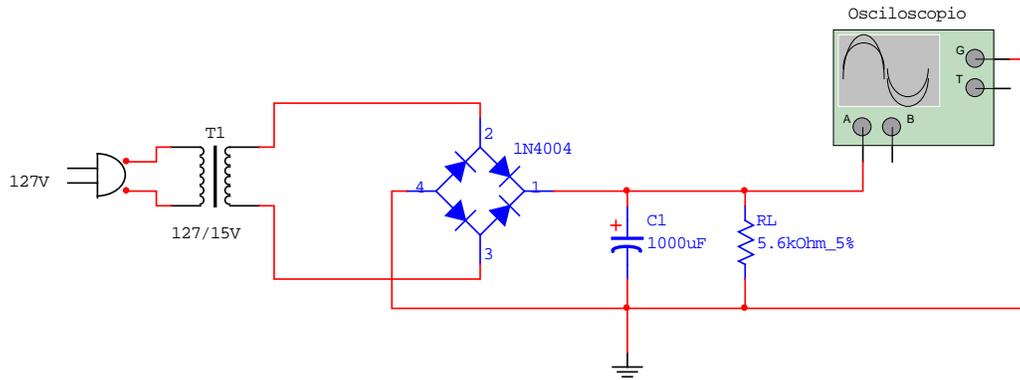


Fig. 1.14 Rectificador de onda completa con filtro.



Recortadores, Sujetadores y Multiplicadores de Voltaje.

Los diodos tienen otras aplicaciones aparte de la rectificación, entre ellas están las de recortar una señal de entrada, multiplicarla o sujetar sólo partes de la señal.

A veces hay cargas que necesitan una tensión muy alta y que absorben una corriente pequeña, entonces hay que elevar la tensión de la red, para ello se podría usar un transformador elevador de voltaje, el principal problema es que el transformador elevador sería muy voluminoso porque necesitaría muchas espiras, además el campo eléctrico sería grande, por eso no se usa un transformador elevador sino que se utiliza un multiplicador de tensión (ver diagrama a bloques Fig. 1.15). Hay varios tipos de multiplicadores de tensión, entre ellos se encuentran el doblador de tensión de onda completa, el triplicador y el cuadruplicador.

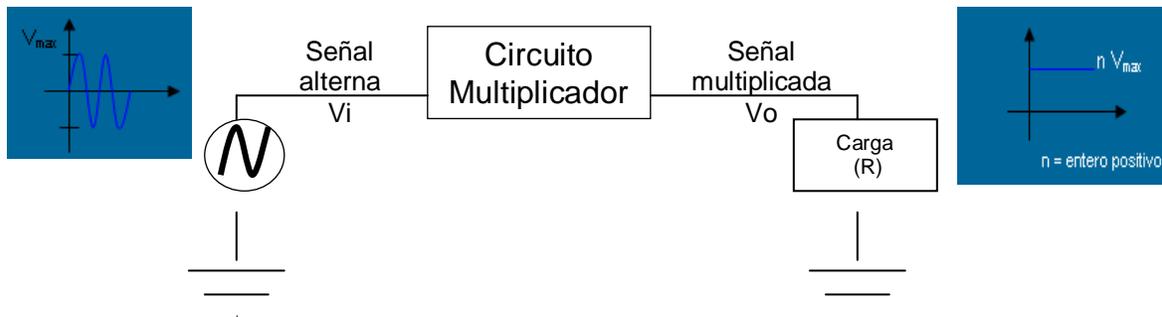


Fig. 1.15 Diagrama a bloques de un circuito multiplicador de tensión.

Los circuitos recortadores se conocen a veces como limitadores, selectores de amplitud o rebanadores (Fig. 1.16), estos circuitos eliminan parte de una forma de onda que se encuentre por encima o por debajo de algún nivel de referencia.

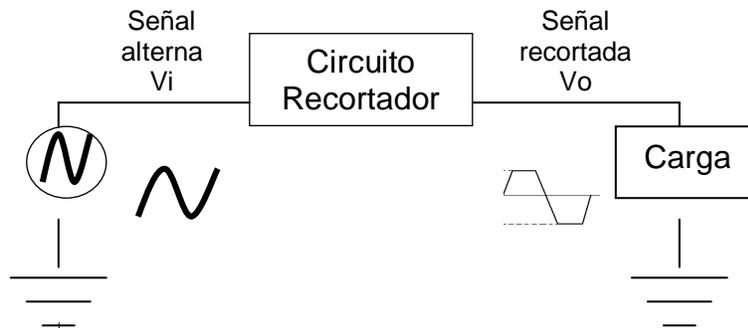


Fig. 1.16 Diagrama a bloques de un circuito recortador.

Los circuitos sujetadores (Fig. 1.17) también son conocidos como circuitos cambiadores de nivel, estos circuitos producen un desplazamiento de una forma de onda hacia un ciclo positivo o hacia un ciclo negativo para que se encuentren fijos a un nivel de referencia.

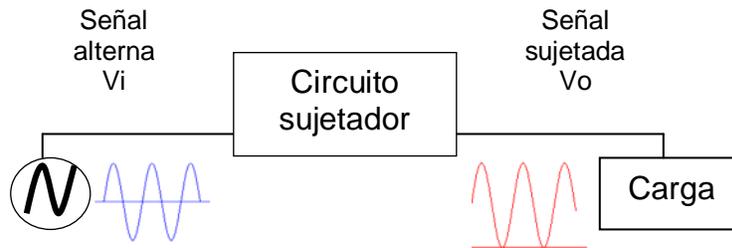


Fig. 1.17 Diagrama a bloques de un circuito sujetador.

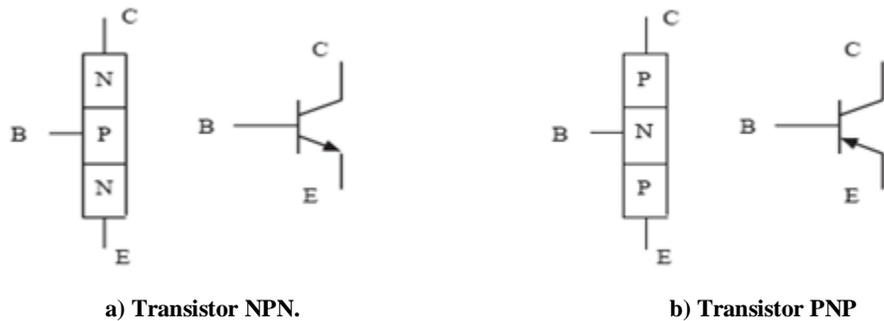
El Transistor.

Bipolar de Juntura BJT.

El transistor bipolar de juntura, BJT (Bipolar Junction Transistor), es un dispositivo de tres terminales denominadas emisor, base y colector. La propiedad más destacada de este dispositivo es que aproxima una fuente dependiente de corriente, es decir, dentro de ciertos márgenes, la corriente en la terminal de colector es controlada por la corriente en la terminal de base.

La estructura física de un transistor bipolar consta de dos uniones PN dispuestas una a continuación de la otra. Entre las terminales de emisor y base hay una unión PN, denominada unión emisora, y entre las de base y colector otra unión PN, llamada unión colectora. Hay dos tipos de transistores bipolares: el NPN y el PNP. Estos nombres proceden de la descripción de su estructura física. En el transistor NPN el emisor es un semiconductor tipo N, la base es tipo P y el colector es tipo N. La estructura física del transistor PNP es inversa a la anterior cambiando las regiones P por regiones N, y las N por P. (Fig. 1.18).

Fig. 1.18



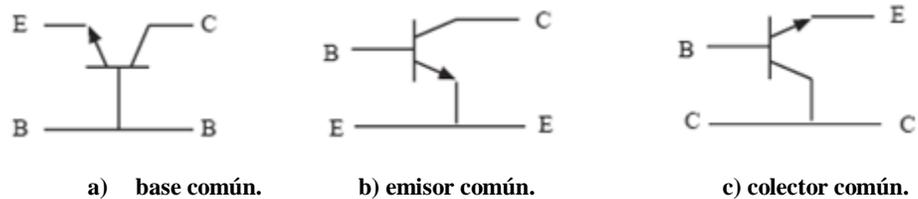
Según las polarizaciones de los diodos de emisor y colector se dice que el transistor bipolar trabaja en determinados modos o regiones de operación, los cuales se indican en la siguiente Tabla 1.4.

		Unión emisora	
		Directa	Inversa
Unión colectora	Directa	Saturación	Inversa
	Inversa	Activa	Corte

Tabla 1.4 Regiones de operación del BJT

Cuando el transistor bipolar aparece en un circuito electrónico, se dan unas conexiones típicas que se denominan base común, emisor común y colector común. En la configuración base común la terminal de base es común (conectado a tierra), tal como se indica en la Fig. 1.19. En la configuración emisor común, la terminal común es el emisor, y en colector común lo es el colector.

Fig. 1.19 configuraciones básicas:



La mayoría de funciones electrónicas se realizan con circuitos que emplean transistores, sean bipolares, o de efecto de campo, los cuales se estudiarán en las próximas prácticas; para el diseño de circuitos es necesario primero conocer los parámetros eléctricos que caracterizan al BJT, éstas características están contenidas en el manual que brinda el fabricante o pueden obtenerse realizando pruebas eléctricas.

La Fig. 1.20 muestra una conexión en emisor común, ya que el lado común de cada fuente de tensión está conectada al emisor, usando diferentes valores de V_{BB} y/o R_B se puede controlar la corriente de base, esto implica que se puede controlar también la corriente de colector a partir de la corriente de base.

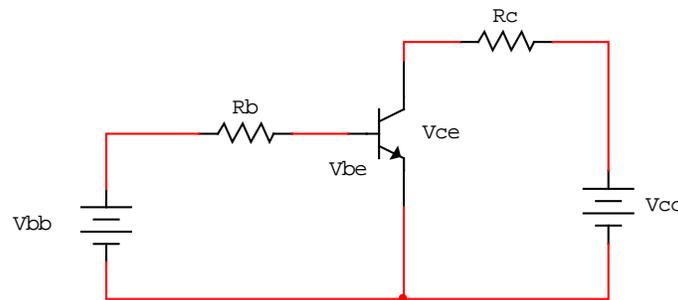


Fig. 1.20 Conexión Emisor Común.

Éste tipo de polarización se emplea extensamente en los circuitos digitales, ya que permite trabajar entre la región de corte y la región de saturación del BJT.

La acción de un transistor cuando trabaja en modo de corte o en modo de saturación puede ser comparada a la de un interruptor. Es decir, considere el circuito de la Fig. 1.21, cuando el interruptor se cierra la tensión de salida (V_{ce}) es aproximadamente de 0 V. Esto implica que el punto Q se halla en el extremo superior de la recta de carga. Cuando el conmutador se abre, la corriente de base se hace cero, por lo que la corriente de colector también se hace cero. Al no existir corriente en la resistencia de $1.5\ \Omega$, toda la tensión de la fuente de colector (12V) aparece entre las terminales de colector – emisor. Entonces el circuito solo puede tener dos tensiones de salida: 0V o +10V. Un circuito digital sólo tiene dos niveles de salida: bajo o alto.

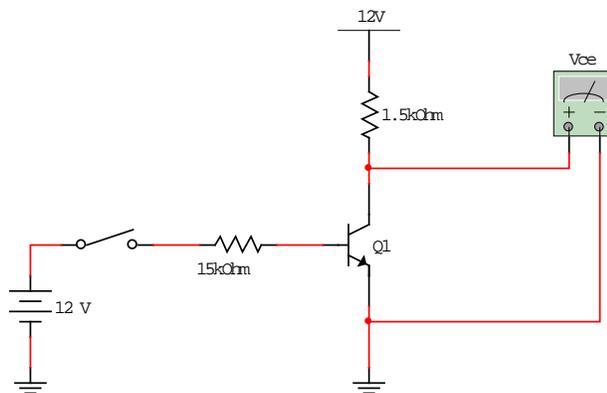


Fig. 1.21 Corte Saturación.

Quando se trata de amplificadores, se necesitan circuitos cuyos puntos Q sean inmunes a los cambios en la ganancia de corriente, esto se logra a través de una polarización de emisor común. La señal de entrada V_i se acopla a la base mediante un condensador, y la señal de salida V_o se acopla a la carga mediante un condensador, la señal amplificada de salida se invierte, lo que equivale a que esté desfasada 180° respecto a la tensión de entrada.

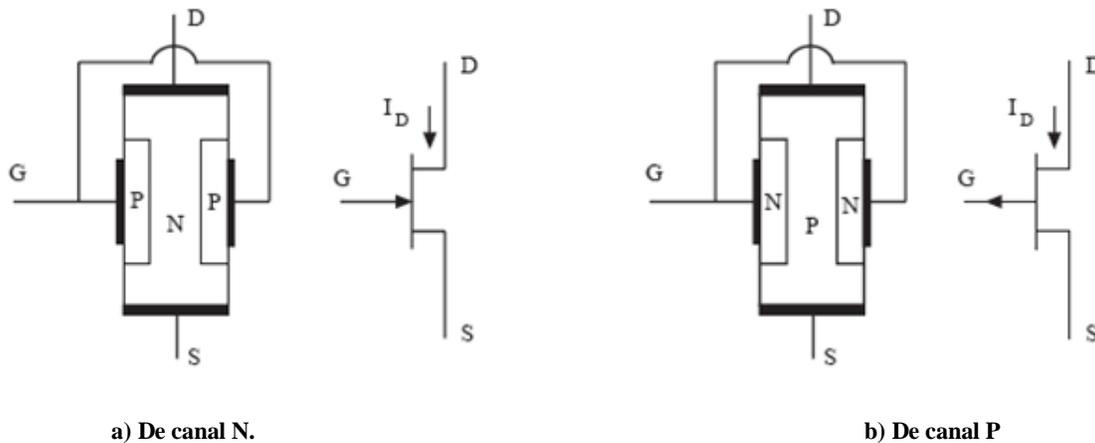
Un amplificador actúa de una forma para CD y de otra para CA, es por ello que se debe recurrir a sus modelos equivalentes para su análisis, ya que por ejemplo para CD los capacitores son circuitos abiertos, y para su análisis en CA se encuentran en corto circuito.

El transistor bipolar de unión fue durante mucho tiempo el dispositivo más importante de la industria electrónica, su gama de aplicaciones es tan amplia que abarca desde la alimentación hasta el tratamiento de señales analógicas y discretas ejecutando funciones de acoplamiento, amplificación y filtrado y esto tanto para pequeña señal como para aquellas que portan gran cantidad de energía.

De Efecto De Campo (FET)

Un FET es un transistor con tres terminales denominadas compuerta (G), drenador (D) y fuente o surtidor (S). La corriente fluye entre las terminales de drenador y surtidor, y está controlada por la tensión aplicada entre la terminal de puerta y la de surtidor. Hay dos tipos de FET: el de canal N y el de canal P (Fig. 1.22).

Fig. 1.22. Estructura física y símbolo del FET.



En la Fig.1.24 se representan las curvas características del JFET de canal N (correspondientes al circuito de la Fig.1.23). Estas tienen una forma similar a las del transistor MOS. Existe una región próxima al origen denominada región óhmica, y otra región más alejada, en la que las curvas son rectas casi horizontales, que se denomina región de saturación.

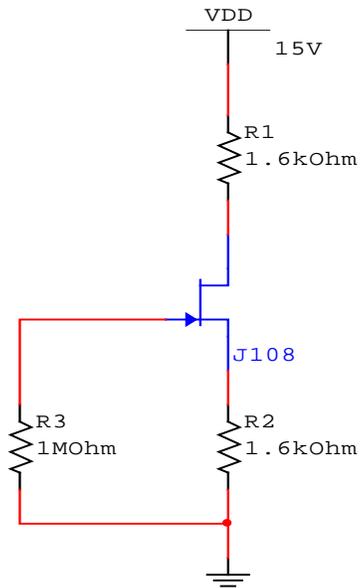


Fig. 1.23 circuito

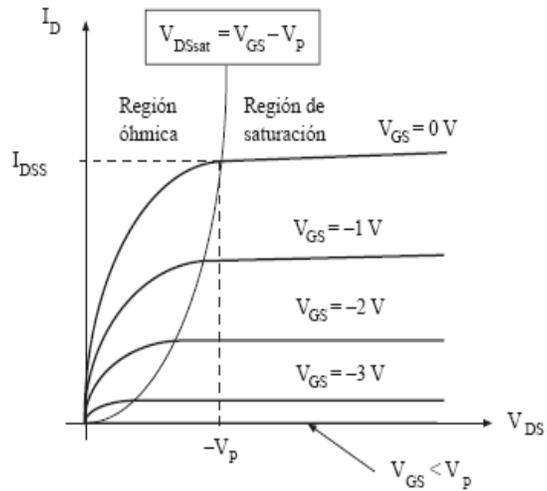


Fig. 1.24 curva característica

Los transistores del tipo FET se han convertido en la herramienta más dúctil en el diseño tanto de circuitos analógicos como digitales debido a sus notables características eléctricas que le permiten un bajo consumo de potencia y altos niveles de integración.

Para cuestiones de diseño y aplicación deben considerarse algunas de las características del FET en contraste con las características del TBJ:

- El FET tiene impedancias de entrada mucho más altas (en la compuerta, debido a que existe un valor resistivo alto en dicha terminal) y corrientes de salida mucho más bajas que los BJT (debido a que existe un valor resistivo bajo en la terminal drenador). La ganancia de voltaje de un BJT es mucho más alta que la de un FET.
- Mientras que el BJT controla una corriente de salida (colector) grande mediante una corriente de entrada (base) relativamente pequeña, el dispositivo FET controla una corriente de salida (drenaje) por medio de un voltaje de entrada (voltaje de la compuerta) pequeño.

Por norma general, los FET sólo se utilizan cuando los BJT no son la solución más conveniente, por ejemplo, cuando la corriente de fuga de la base de un BJT es demasiado elevada.

El FET puede emplearse como un amplificador lineal o como un dispositivo digital en los circuitos lógicos. En aplicaciones de lógica digital, el uso de los FET es importante, ya que son mucho más rápidos y disipan menos energía. Sin embargo, la mayoría de estas aplicaciones utilizan MOSFET, que presentan impedancias mucho más elevadas incluso que los FET. Los dispositivos FET también se utilizan en las aplicaciones de altas frecuencias y en las aplicaciones de acoplamiento (interfaces).

Los FET se pueden utilizar también en circuitos conmutadores, amplificadores, fuentes de alimentación CD, controladores de relevadores, como osciladores, etc.

SCR Y TRIAC.

El TRIAC (triode CA conductor) es un semiconductor capaz de bloquear tensión y conducir corriente en ambos sentidos entre las terminales principales T1 y T2, normalmente se utiliza en el control de fase de corriente alterna. Su estructura básica y símbolo aparecen en la Fig. 1.25.

Tiene caídas de tensión en conducción prácticamente iguales a las de un tiristor y el hecho de que entre en conducción, si se supera la tensión de ruptura en cualquier sentido, lo hace inmune a destrucción por sobretensión.

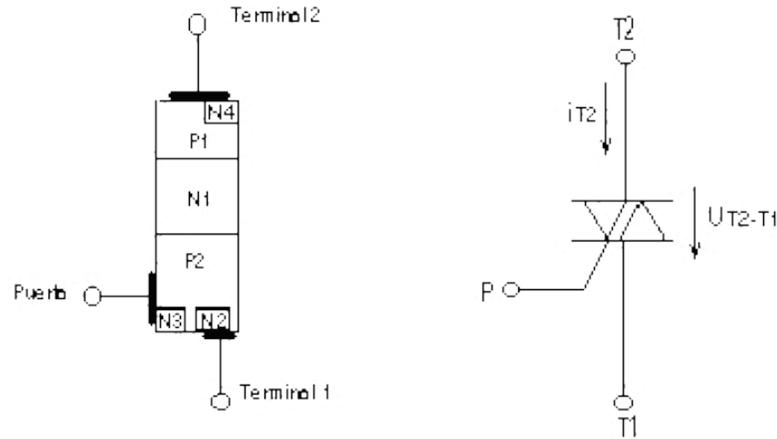


Fig.1.25 TRIAC: Estructura y símbolo.

Se puede considerar a un TRIAC como si fueran dos SCR conectados en antiparalelo, con una conexión de compuerta común, y su curva característica como se muestra en la Fig. 1.26.

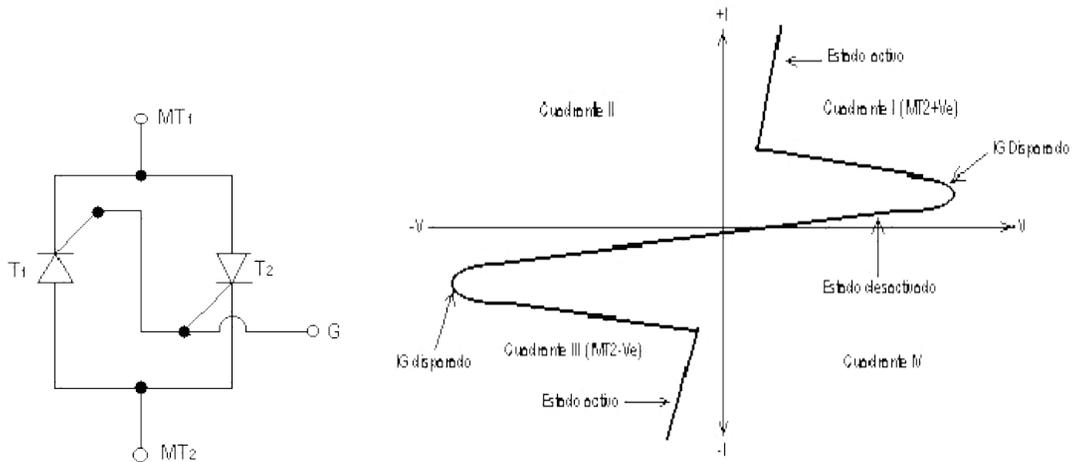


Fig. 1.26 Circuito equivalente de un TRIAC y curva característica

El tiristor (SCR) es un dispositivo semiconductor biestable de cuatro capas, PNPN con tres terminales: ánodo (A), cátodo (K) y puerta (G), que normalmente se comporta como un circuito abierto hasta que se activa su compuerta (GATE) con una pequeña corriente y así este conduce y se comporta como un diodo en polarización directa. Si no

existe corriente en la compuerta el SCR no conduce. En la Fig.1.27 se observa el símbolo del SCR.

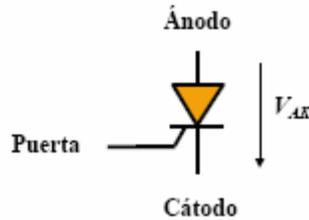


Fig. 1.27 Símbolo de un SCR

Lo que sucede después de ser activado el SCR, se queda conduciendo y se mantiene así. Si se desea que el tiristor deje de conducir, el voltaje +V debe ser reducido a 0 Voltios. Si se disminuye lentamente el voltaje (tensión), el tiristor seguirá conduciendo hasta que por el pase una cantidad de corriente menor a la llamada "corriente de mantenimiento o de retención", lo que causará que el SCR deje de conducir aunque la tensión V_G (voltaje de la compuerta con respecto a tierra) no sea cero. La curva característica del SCR es la representada en la Fig. 1.28.

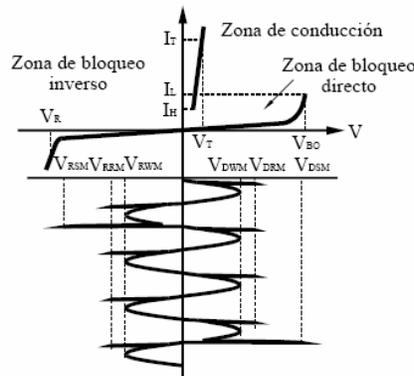


Fig. 1.28 Curva característica de un SCR

Reguladores De Voltaje Usando Circuitos Básicos Con Diodos Zener, BJT y Reguladores Integrados.

Los reguladores de voltaje son usados para mantener una salida de voltaje predeterminada, a pesar de las variaciones en la entrada de la fuente y a pesar también de las variaciones que se puedan dar en la carga. El regulador de voltaje se inserta entre la carga y la salida de la fuente sin regular.

En un suministro de energía no regulado, la calidad del voltaje de salida depende de la del voltaje de entrada. Si hay picos o caídas en la CA, se reflejarán en la salida de CD. Los picos de tensión son especialmente problemáticos para la electrónica digital.

Los reguladores de voltaje en circuitos integrados, simplifican considerablemente el diseño de fuentes de poder, pues reemplazan a componentes tales como transistores y tubos al vacío utilizados anteriormente. Además, éstos poseen la ventaja de tener bajo precio, alto desempeño, tamaño pequeño y fácil manejo.

Un circuito integrado regulador de voltaje está diseñado para mantener un voltaje constante en toda la carga, ajustando la corriente. Un condensador de desacoplo en la salida (Fig. 1.29) elimina los ruidos de alta frecuencia de la carga, el regulador de voltaje está controlando la carga por lo que esto podría llevar a fluctuaciones de corriente indeseadas.

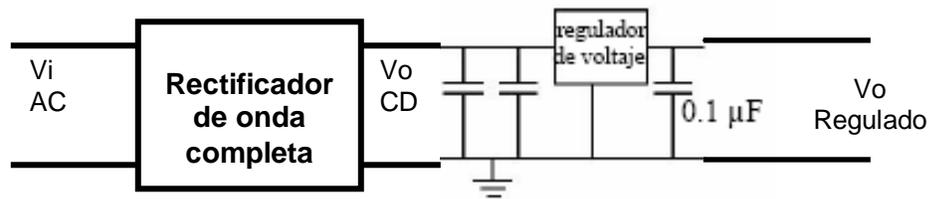


Fig. 1.29 Cto. con Condensadores

Existen diferentes tipos de reguladores de voltaje, entre los principales tenemos a los reguladores de voltaje serie, reguladores de voltaje paralelo y los reguladores de voltaje en CI, para estos últimos la tabla muestra los tipos y sus especificaciones Tabla 1.5.

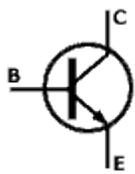
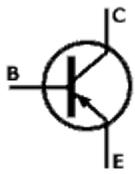
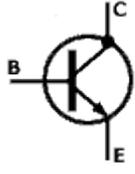
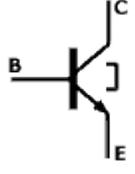
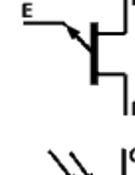
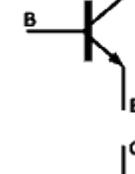
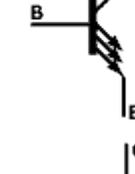
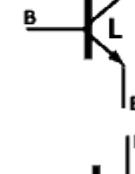
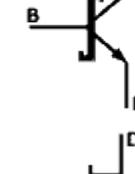
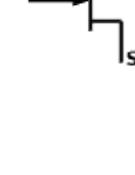
Tabla. 1.5 Reguladores.

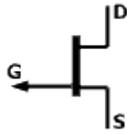
Tipos	Especificaciones
LM78XX – XX	Puede ser 05, 06, 08, 10, 12, 15, 18, o 24. Son reguladores fijos de voltaje positivo. La corriente máxima de salida es 1.5 A.
LM79XX – XX	Puede ser 05, 06, 08, 10, 12, 15, 18, o 24. Son reguladores fijos de voltaje negativo. La

	corriente máxima de salida es 1.5 A.
LM317 y LM 337	Reguladores ajustables de potencia negativa o positiva (rango de 1.2 - 37 V, corriente se salida de 1.5 A).

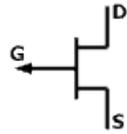
En la Tabla 1.6 se muestran tipos de transistores y sus símbolos.

Tabla 1.6 Tipos de Transistores y sus Símbolos

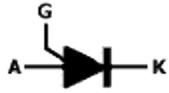
	Transistor NPN		Transistor PNP
	Transistor NPN con colector unido a la cubierta		Transistor NPN túnel
	UJT-n Uniunión		UJT-p Uniunión
	Fototransistor NPN		Multiemisor NPN
	De avalancha NPN		Transistor Schottky NPN
	Transistor JFET canal N		Transistor JFET canal N



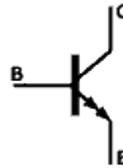
Transistor JFET canal P



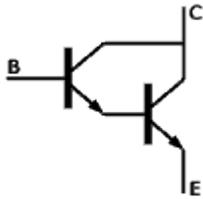
Transistor JFET canal P



PUT unión programable



Darlington NPN

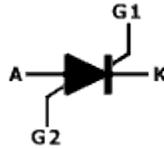


Darlington NPN

Tristores



Tristor SCR Silicon controlled rectifier



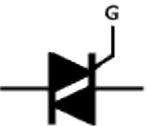
Tristor SCS Silicon controlled switch



Diac



Diac



Triac



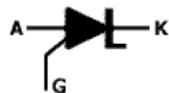
Tristor Schottky PNPN de 4 capas



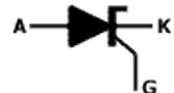
Tristor Schottky PNPN de 4 capas



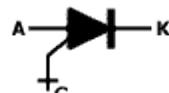
Tristor Schottky PNPN de 4 capas



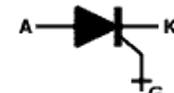
Tristor de conducción inversa, puerta canal N controlado por ánodo



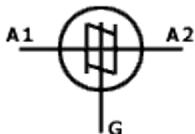
Tristor de conducción inversa, puerta canal P controlado por cátodo



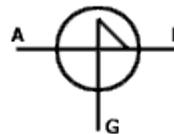
Tristor de desconexión puerta canal N controlado por ánodo



Tristor de desconexión puerta control P controlado por cátodo



SBS Silicon bilateral switch

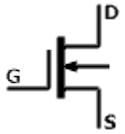
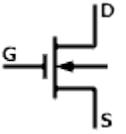
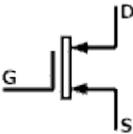
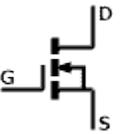
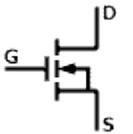
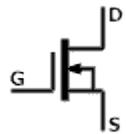
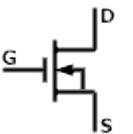
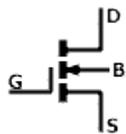
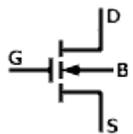
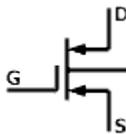
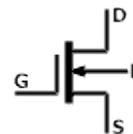
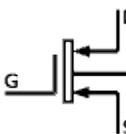
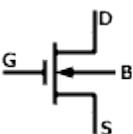
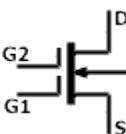
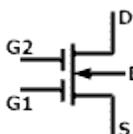
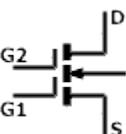
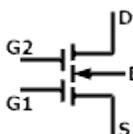
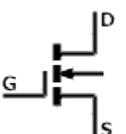
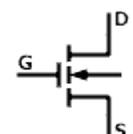
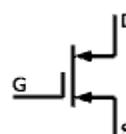


SUS Silicon unilateral switch



Trigger Diac

Transistores Mosfet

	Tipo empobrecimiento 3 terminales		Tipo empobrecimiento 3 terminales
	Tipo empobrecimiento 3 terminales		Tipo enriquecimiento sustrato unido al surtidor 3 terminales
	Tipo enriquecimiento sustrato unido al surtidor 3 terminales		Tipo empobrecimiento sustrato unido al surtidor 3 terminales
	Tipo empobrecimiento sustrato unido al surtidor 3 terminales		Tipo enriquecimiento 4 terminales
	Tipo enriquecimiento 4 terminales		Tipo enriquecimiento 4 terminales
	Tipo empobrecimiento 4 terminales		Tipo empobrecimiento 4 terminales
	Tipo empobrecimiento 4 terminales		Tipo empobrecimiento 2 puertas, 5 terminales
	Tipo empobrecimiento 2 puertas, 5 terminales		Tipo enriquecimiento 2 puertas, 5 terminales
	Tipo enriquecimiento 2 puertas, 5 terminales		Tipo enriquecimiento 3 terminales
	Tipo enriquecimiento 3 terminales		Tipo enriquecimiento 3 terminales

1.2.3 Modulación por ancho de pulso (PWM)

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como **PWM**, siglas en inglés de *pulse-width modulation*) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo Fig. 1.30. ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

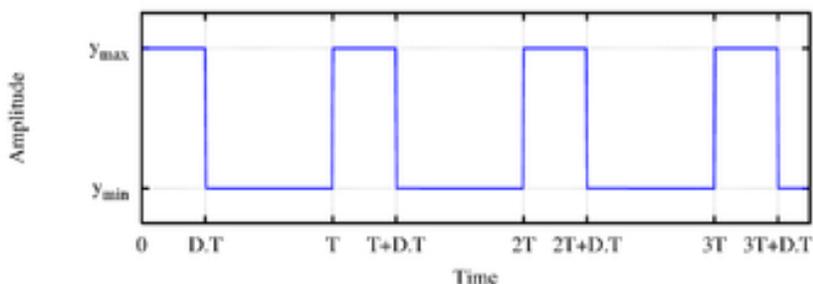


fig. 1.30 Una Señal de Onda Cuadrada de Amplitud Acotada ($y_{min}y_{max}$) Mostrando el Ciclo de Trabajo D .

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Donde:

D : Es el ciclo de trabajo

τ : Es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T : Es el período de la función

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra, y el ciclo de trabajo está en función de la portadora.

La principal desventaja que presentan los circuitos PWM es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Éstas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

Algunos parámetros importantes de un PWM son:

- La relación de amplitudes entre la señal portadora y la moduladora, siendo recomendable que la última no supere el valor pico de la portadora y esté centrada en el valor medio de ésta.
- La relación de frecuencias, donde en general se recomienda que la relación entre la frecuencia de la portadora y la de señal sea de 10 a 1.

Por lo general, todo sistema que procesa información binaria para controlar un proceso analógico requiere una etapa de entrada analógica – digital y una etapa de salida digital –analógica (convertidores CAD y CDA). Para reducir costos en los diseños que no requieren alta resolución en la etapa de salida, es posible sustituir el CDA por un algoritmo de Modulación por Ancho de Pulsos (**PWM** - Pulse-Width Modulation). Una *unidad PWM* permite asignar cierta duración de tiempo en alto o en bajo a un dato digital de n bits que se considera salida de la etapa procesadora. Lo anterior se logra conectando un contador y un circuito comparador, tal y como se aprecia en la Fig.1.31.

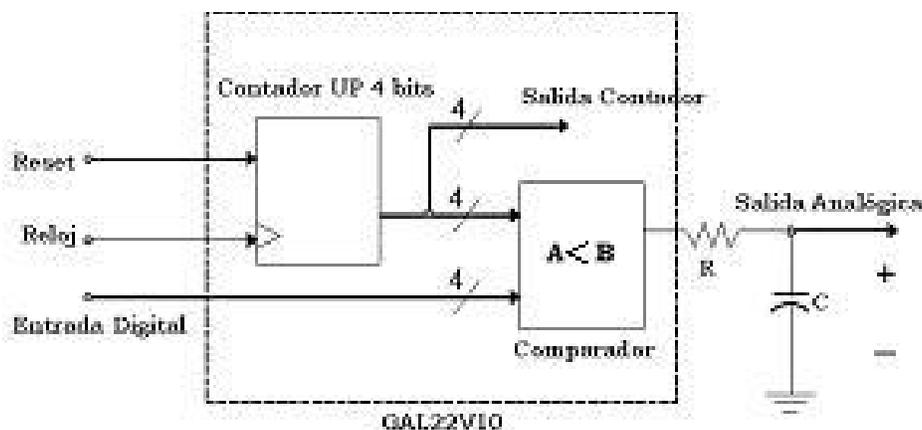


Fig. 1.31. Cto. de PWM

El comparador determinará si el dato aplicado a la entrada de la unidad es igual al valor binario del contador que cambia constantemente. El tiempo que durará la señal en alto depende de la cantidad de pulsos de reloj que se apliquen hasta que el contador presente un dato binario mayor o igual al de la entrada. A la salida de la unidad PWM es necesario conectar un filtro RC (Pasa Bajas) para determinar el nivel analógico propuesto por el filtro. El periodo completo de un ciclo PWM es igual al producto del periodo del reloj de la señal de referencia (reloj del sistema) con 2^n , donde n es el número de bits del contador propuesto. Obsérvese la relación siguiente:

$$T_{PWM} = (T_{reloj}) (2^n)$$

Es posible advertir que si el contador es de 4 bits, se tendrá que $TPWM = 16 T_{reloj}$, por lo que al aumentar el número de bits del contador para mejorar la resolución, el periodo PWM tenderá a hacerse más grande reduciendo drásticamente la frecuencia de salida. Lo anterior es sumamente importante cuando se desee realizar una aplicación que sí requiera sincronizar la señal analógica para controlar un sistema.

Para los propósitos del diseño planteado, considérese una frecuencia de referencia de 60 Hz, con un contador de 4 bits, y sustituyendo en *eq. 1*, se obtiene una frecuencia PWM de 3.75 Hz, equivalente a un $TPWM$ de 0.26 seg. la relación de los valores del filtro está dada por:

$$RC = \frac{1}{2\pi F_{PWM}}$$

Por lo que eligiendo $C = 1 \mu F$, se obtiene un valor para R de aproximadamente 42 $K\Omega$ (es posible ajustar a un valor comercial más exacto). En nuestro caso particular, se diseñará una unidad PWM de frecuencia baja por lo que no es necesario considerar aspectos de diseño más formales en el filtro. En diseños formales se recomienda estimar una frecuencia de corte menor a la frecuencia PWM y no es común considerarlas iguales, tal y como se hizo en la aproximación anterior. En tal situación será necesario sustituir la

frecuencia PWM por la frecuencia de corte en la *eq. 2* ó tal vez, hasta considerar un filtro de mayor orden que permita una mejor estabilidad de la señal.

Sin embargo, cuando se utilizan servomotores hay que tener cuidado en las marcas comerciales ya que hay ocasiones en que los valores varían entre 1ms y 2ms y estos valores propician errores.

En la actualidad existen muchos circuitos integrados en los que se implementa la modulación PWM, además de otros muy particulares para lograr circuitos funcionales que puedan controlar fuentes conmutadas, controles de motores, controles de elementos termoeléctricos, choppers para sensores en ambientes ruidosos y algunas otras aplicaciones.

1.2.4 Fuentes de Poder

En electrónica, una **fuerza de poder** es un dispositivo que convierte la tensión alterna de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta (ordenador, televisor, impresora, router, etc.). Se puede decir que nacieron junto al desarrollo de la Radio, durante la primera cuarta parte del siglo XX. Para entonces ya la Red de distribución entregaba corriente alterna (Fue Westinghouse que impulsó la corriente alterna) que hace muy fácil el cambio de la tensión, con la ayuda de los llamados Transformadores. El siguiente paso consiste en convertir la corriente alterna en continua, tarea que llevan a cabo los Rectificadores, complementados por los Filtros que eliminan restos de corriente alterna que permanecen. Posteriormente suele ser necesario estabilizar la tensión (o la corriente) frente a las variaciones que pueda tener la Red, o como consecuencia de variaciones en el consumo, tarea que llevan a cabo los Reguladores. Es casi imposible saber quién y cuándo se construyeron las primeras. Posiblemente serían ingenieros adscritos a alguna compañía eléctrica pionera, lo que sí es seguro que utilizaba válvulas electrónicas (lámparas o tubos) allá por las fechas que he indicado, por la sencilla razón de que los transistores no existían todavía. Tan pronto éstos fueron desarrollados, se les utilizó con ventaja en las fuentes. Estas fuentes pertenecían a la categoría de las llamadas Lineales, que funcionan muy bien, pero desperdician en forma de calor mucha energía. Durante el último cuarto del siglo XX se desarrollaron las llamadas Fuentes de Alimentación Conmutada, que no van tan bien como las Lineales, pero que no desperdician tanta energía. Han acabado por imponerse por razones obvias, además de ser más ligeras y más baratas. Para terminar, los ordenadores (PCs) exigen varias tensiones para las diferentes partes que los componen. Prácticamente todas son Conmutadas. Las fuentes de alimentación, para dispositivos electrónicos, pueden clasificarse básicamente como fuentes de alimentación lineal y conmutada. Las lineales tienen un diseño relativamente simple, que puede llegar a ser más complejo cuanto mayor es la corriente que deben suministrar, sin embargo su regulación de tensión es poco eficiente. Una fuente conmutada, de las mismas potencias que una lineal, será más pequeña y normalmente más eficiente pero será más complejo y por tanto más susceptible a averías.

Fuentes de alimentación lineales.

Las fuentes lineales siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida.

En primer lugar el transformador adapta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico. El circuito que convierte la corriente alterna en continua se llama rectificador, después suelen llevar un circuito que disminuye el rizado como un filtro de condensador. La regulación, o estabilización de la tensión a un valor establecido, se consigue con un componente denominado regulador de tensión. La salida puede ser simplemente un condensador. Esta corriente abarca toda la energía del circuito, esta fuente de alimentación deben tenerse en cuenta unos puntos concretos a la hora de decidir las características del transformador.

Fuentes de alimentación conmutadas.

Una fuente conmutada es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Mientras que un regulador de tensión utiliza transistores polarizados en su región activa de amplificación, las fuentes conmutadas utilizan los mismos conmutándolos activamente a altas frecuencias (20-100 Kilociclos típicamente) entre corte (abiertos) y saturación (cerrados). La forma de onda cuadrada resultante es aplicada a transformadores con núcleo de ferrita (Los núcleos de hierro no son adecuados para estas altas frecuencias) para obtener uno o varios voltajes de salida de corriente alterna (CA) que luego son rectificadas (Con diodos rápidos) y filtradas (Inductores y capacitores) para obtener los voltajes de salida de corriente continua (CC). Las ventajas de este método incluyen menor tamaño y peso del núcleo, mayor eficiencia y por lo tanto menor calentamiento. Las desventajas comparándolas con fuentes lineales es que son más complejas y generan ruido eléctrico de alta frecuencia que debe ser cuidadosamente minimizado para no causar interferencias a equipos próximos a estas fuentes.

Las fuentes conmutadas tienen por esquema: rectificador, conmutador, transformador, otro rectificador y salida.

La regulación se obtiene con el conmutador, normalmente un circuito PWM (*Pulse Width Modulation*) que cambia el ciclo de trabajo. Aquí las funciones del transformador son las mismas que para fuentes lineales pero su posición es diferente. El segundo rectificador convierte la señal alterna pulsante que llega del transformador en un valor continuo. La salida puede ser también un filtro de condensador o uno del tipo LC.

Las ventajas de las fuentes lineales son una mejor regulación, velocidad y mejores características *EMC*. Por otra parte las conmutadas obtienen un mejor rendimiento, menor coste y tamaño.

Una especificación fundamental de las fuentes de alimentación es el rendimiento, que se define como la potencia total de salida entre la potencia activa de entrada. Como se ha dicho antes, las fuentes conmutadas son mejores en este aspecto.

El factor de potencia es la potencia activa entre la potencia aparente de entrada. Es una medida de la calidad de la corriente.

Aparte de disminuir lo más posible el rizado, la fuente debe mantener la tensión de salida al voltaje solicitado independientemente de las oscilaciones de la línea, regulación de línea o de la carga requerida por el circuito, regulación de carga.

Entre las fuentes de alimentación alternas, tenemos aquellas en donde la potencia que se entrega a la carga está siendo controlada por transistores, los cuales son controlados en fase para poder entregar la potencia requerida a la carga.

Otro tipo de alimentación de fuentes alternas, catalogadas como especiales son aquellas en donde la frecuencia es variada, manteniendo la amplitud de la tensión logrando un efecto de fuente variable en casos como motores y transformadores de tensión.

Componentes de una fuente de alimentación:

La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, para ello se usan los siguientes componentes:

1.- Transformador de entrada

2.- Rectificador a diodos

3.- Filtro para el rizado; 4.- Regulador (o estabilizador) lineal. Este último no es imprescindible. (fig. 1.32)

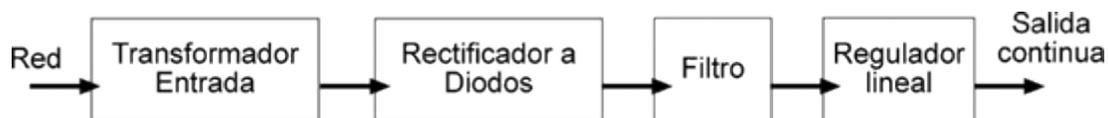


Fig. 1.32 Diagrama a Bloques

Transformador de entrada:

El transformador de entrada reduce la tensión de red (generalmente 220 o 120 V) a otra tensión más adecuada para ser tratada. Solo es capaz de trabajar con corrientes alternas. Esto quiere decir que la tensión de entrada será alterna y la de salida también.

Consta de dos arrollamientos sobre un mismo núcleo de hierro, ambos arrollamientos, primario y secundario, son completamente independientes y la energía eléctrica se transmite del primario al secundario en forma de energía magnética a través del núcleo. El esquema de un transformador simplificado se muestra en la fig. 1.33:

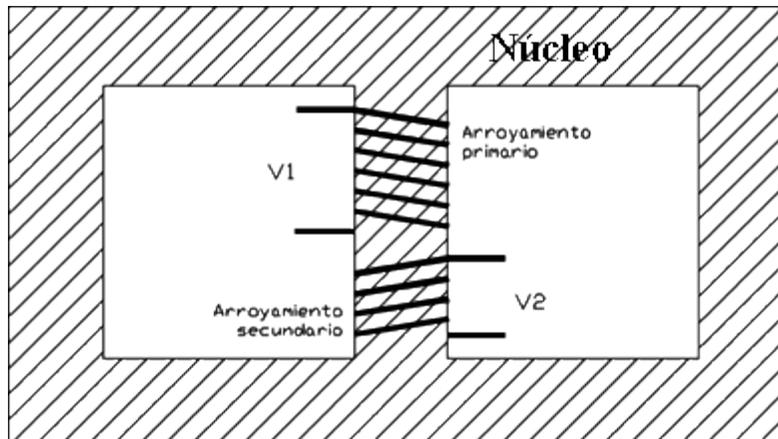


Fig. 1.33 Esquema de un Transformador

La corriente que circula por el arrollamiento primario (el cual está conectado a la red) genera una circulación de corriente magnética por el núcleo del transformador. Esta corriente magnética será más fuerte cuantas más espiras (vueltas) tenga el arrollamiento primario. Si acercas un imán a un transformador en funcionamiento notarás que el imán vibra, esto es debido a que la corriente magnética del núcleo es alterna, igual que la corriente por los arrollamientos del transformador.

En el arrollamiento secundario ocurre el proceso inverso, la corriente magnética que circula por el núcleo genera una tensión que será tanto mayor cuanto mayor sea el número de espiras del secundario y cuanto mayor sea la corriente magnética que circula por el núcleo (la cual depende del número de espiras del primario).

Por lo tanto, la tensión de salida depende de la tensión de entrada y del número de espiras de primario y secundario. Como fórmula general se dice que:

$$V1 = V2 * (N1/N2)$$

Donde N1 y N2 son el número de espiras del primario y el del secundario respectivamente.

Así por ejemplo podemos tener un transformador con una relación de transformación de 220V a 12V, no podemos saber cuántas espiras tiene el primario y cuantas el secundario pero si podemos conocer su relación de espiras:

$$N1/N2 = V1/V2$$
$$N1/N2 = 220/12 = 18,33$$

Este dato es útil si queremos saber que tensión nos dará este mismo transformador si lo conectamos a 120V en lugar de 220V, la tensión V2 que dará a 120V será:

$$120 = V2 * 18,33$$
$$V2 = 120/18,33 = 6,5 \text{ V}$$

Por el primario y el secundario pasan corrientes distintas, la relación de corrientes también depende de la relación de espiras pero al revés, de la siguiente forma:

$$I2 = I1 * (N1/N2)$$

Donde I1 e I2 son las corrientes de primario y secundario respectivamente. Esto nos sirve para saber que corriente tiene que soportar el fusible que pongamos a la entrada del transformador, por ejemplo, supongamos que el transformador anterior es de 0.4 Amperios. Esta corriente es la corriente máxima del secundario I2, pero nosotros queremos saber que corriente habrá en el primario (I1) para poner allí el fusible. Entonces aplicamos la fórmula:

$$I2 = I1 * (N1/N2)$$
$$0.4 = I1 * 18.33$$
$$I1 = 0.4 / 18.33 = 21,8 \text{ mA}$$

Para asegurarnos de que el fusible no saltará cuando no debe se tomará un valor mayor que este, por lo menos un 30% mayor.

Como ejercicio puedes calcular la tensión que tendríamos sí, con el transformador anterior, nos equivocamos y conectamos a la red el lado que no es, cualquiera mete la mano ahí... (por si acaso no pruebe el hacerlo en la realidad ya que el aislamiento del secundario de los transformadores no suelen estar preparados para tensiones tan altas).

Rectificador a diodos.

El rectificador es el que se encarga de convertir la tensión alterna que sale del transformador en tensión continua. Para ello se utilizan diodos. Un diodo conduce cuando la tensión de su ánodo es mayor que la de su cátodo. Es como un interruptor que se abre y se cierra según la tensión de sus terminales Fig. 1.34.

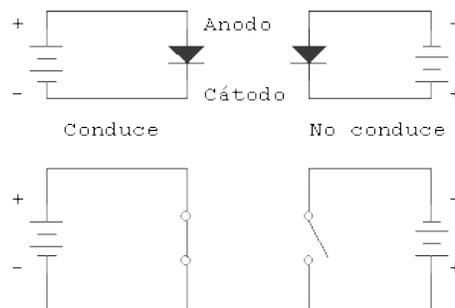


Fig. 1.34 Interruptor

El rectificador se conecta después del transformador, por lo tanto le entra tensión alterna y tendrá que sacar tensión continua, es decir, un polo positivo y otro negativo Fig. 1.35.



Fig. 1.35 Conexión de Rectificador

La tensión V_i es alterna y senoidal, esto quiere decir que a veces es positiva y otras negativa. En un osciloscopio veríamos esto Fig. 1. 36.

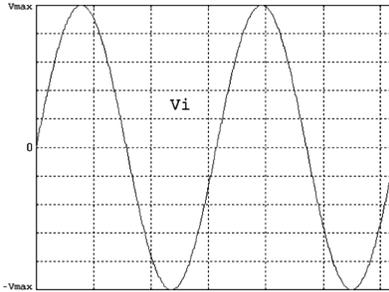


Fig. 1.36

La tensión máxima a la que llega V_i se le llama tensión de pico y en la gráfica figura como V_{max} . La tensión de pico no es lo mismo que la tensión eficaz pero están relacionadas, Por ejemplo, si compramos un transformador de 6 voltios son 6 voltios eficaces, estamos hablando de V_i . Pero la tensión de pico V_{max} vendrá dada por la ecuación:

$$V_{max} = V_i * 1,4142$$

$$V_{max} = 6 * 1,4142 = 8,48 \text{ V}$$

Rectificador a un diodo

El rectificador más sencillo es el que utiliza solamente un diodo, su esquema Fig. 1.37.

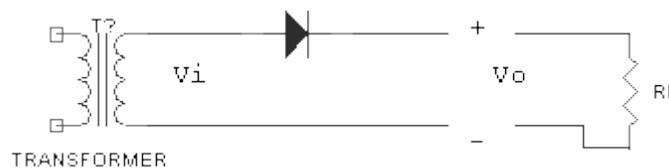


Fig.1.37

Cuando V_i sea positiva la tensión del ánodo será mayor que la del cátodo, por lo que el diodo conducirá: en V_o veremos lo mismo que en V_i . Mientras que cuando V_i sea negativa la tensión del ánodo será menor que la del cátodo y el diodo no podrá conducir, la tensión V_o será cero.

Según lo que acabamos de decir la tensión V_o tendrá esta forma Fig. 1.38.

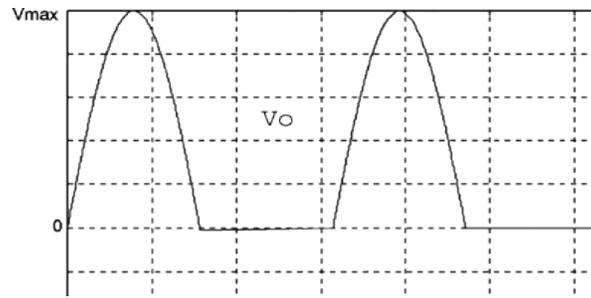


Fig.1.38

Como puedes comprobar la tensión que obtenemos con este rectificador no se parece mucho a la de una batería, pero una cosa es cierta, hemos conseguido rectificar la tensión de entrada ya que V_o es siempre positiva. Aunque posteriormente podamos filtrar esta señal y conseguir mejor calidad este esquema no se suele usar demasiado.

Rectificador en puente.

El rectificador más usado es el llamado rectificador en puente, su esquema Fig. 1.39

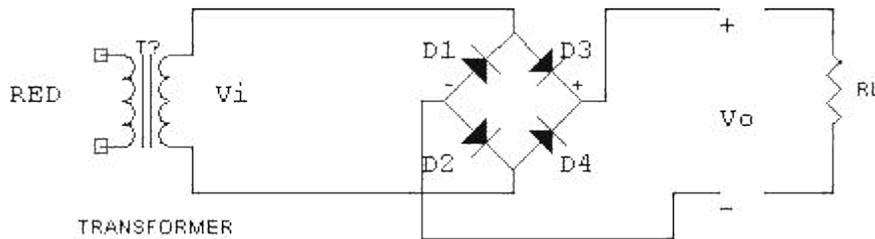


Fig. 1.39

Cuando V_i es positiva los diodos D2 y D3 conducen, siendo la salida V_o igual que la entrada V_i .

Cuando V_i es negativa los diodos D1 y D4 conducen, de tal forma que se invierte la tensión de entrada V_i haciendo que la salida vuelva a ser positiva Fig. 1.40.

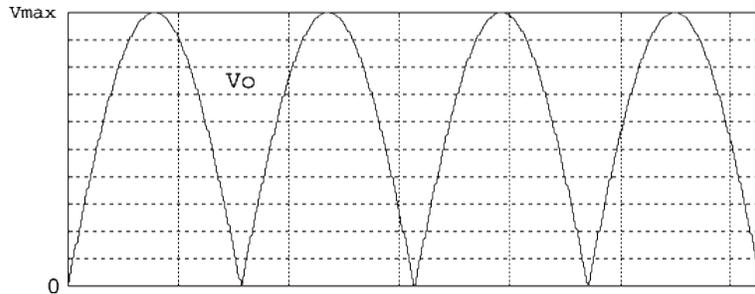


Fig. 1.40

Vemos en la figura que todavía no hemos conseguido una tensión de salida demasiado estable, por ello, será necesario filtrarla después.

Es tan común usar este tipo de rectificadores que se venden ya preparados los cuatro diodos en un solo componente. Suele ser recomendable usar estos puentes rectificadores, ocupan menos que poner los cuatro diodos y para corrientes grandes vienen ya preparados para ser montados en un radiador. Este es el aspecto de la mayoría de ellos Fig. 1.41:

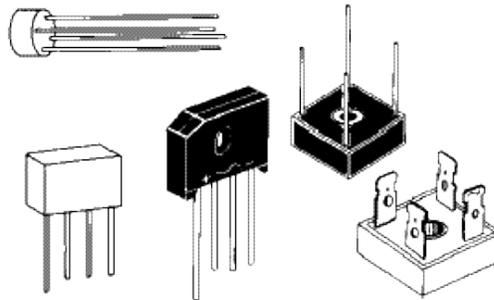


Fig. 1.41 Figuras Físicas

Tienen cuatro terminales, dos para la entrada en alterna del transformador, uno la salida positiva y otro la negativa o masa. Las marcas en el encapsulado suelen ser:

- ~ Para las entradas en alterna
- + Para la salida positiva
- Para la salida negativa o masa.

Rectificador a dos diodos

La forma de la onda de salida es idéntica a la del rectificador en puente, sin embargo este rectificador precisa de un transformador con toma media en el secundario. Un transformador de este tipo tiene una conexión suplementaria en la mitad del arrollamiento secundario Fig. 1.42.

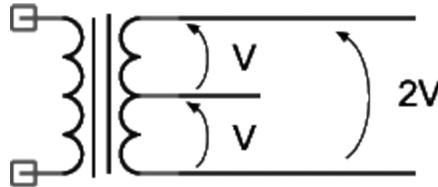


Fig. 1.42

Normalmente se suele tomar como referencia o masa la toma intermedia, de esta forma se obtienen dos señales senoidales en oposición de fase. Dos señales de este tipo tienen la forma Fig. 1.43.

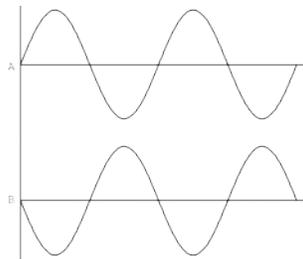


Fig. 1.43

El esquema del rectificador con dos diodos es Fig. 1.44.

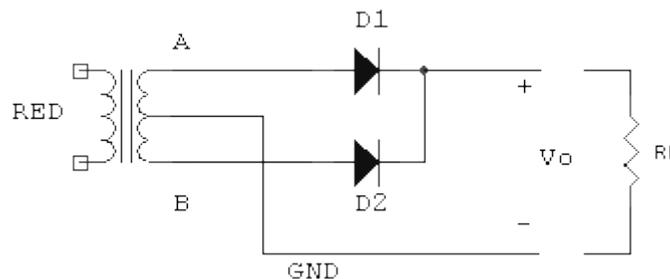


Fig. 1.44

Tal y como son las tensiones en A y en B nunca podrán conducir ambos diodos a la vez. Cuando A sea positiva (B negativa) el ánodo de D1 estará a mayor tensión que su cátodo, provocando que D1 conduzca. Cuando B sea positiva (A negativa) el ánodo de D2

estará a mayor tensión que su cátodo, provocando que D2 conduzca. Obteniéndose la misma forma de V_o que con el puente rectificador Fig. 1.45

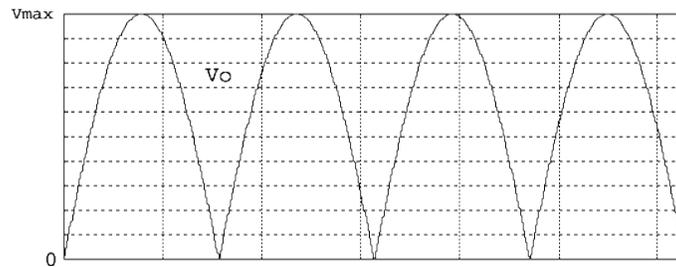


Fig. 1.45

La ventaja de este montaje es que solo utiliza dos diodos y solo conduce uno cada vez.

Caída de tensión en los diodos:

Cuando hablábamos de los diodos decíamos que eran como interruptores que se abren y se cierran según la tensión de sus terminales. Esto no es del todo correcto, cuando un diodo está cerrado tiene una caída de tensión de entre 0,7 voltios y 1 voltio, dependiendo de la corriente que este conduciendo esta caída puede ser mayor.

Esto quiere decir que por cada diodo que este conduciendo en un momento determinado se "pierde" un voltio aproximadamente.

En el rectificador de un diodo conduce solamente un diodo a la vez, por lo tanto la tensión de pico V_{max} de la salida será un voltio inferior a la de la V_{max} de entrada. Por ejemplo: supón que tienes un transformador de 6 V y quieres saber la tensión de pico que te queda cuando le pones un rectificador de un diodo, la tensión de salida de pico V_{max} será la siguiente:

$$V_{max} = 6 * 1.4142 - 1 = 7,5 \text{ V}$$

En el rectificador en puente conducen siempre dos diodos a la vez, se dice que conducen dos a dos, por lo tanto la tensión de pico de la salida V_{max} será dos voltios inferior a la V_{max} de entrada. Por ejemplo: supón el mismo transformador de 6 voltios y

quieres saber la tensión de pico que te queda al ponerle un rectificador en puente, la tensión de salida de pico V_{max} será la siguiente:

$$V_{max} = 6 * 1.4142 - 2 = 6,5 \text{ V}$$

Quizás te extrañe que el rectificador en puente sea el más usado pese a que "pierde" mas voltios. Pero ten en cuenta que la forma de onda del rectificador con un diodo y el rectificador en puente no son iguales y al final acaba rindiendo mucho mejor el puente de diodos.

El filtro:

La tensión en la carga que se obtiene de un rectificador es en forma de pulsos. En un ciclo de salida completo, la tensión en la carga aumenta de cero a un valor de pico, para caer después de nuevo a cero. Esta no es la clase de tensión continua que precisan la mayor parte de circuitos electrónicos. Lo que se necesita es una tensión constante, similar a la que produce una batería. Para obtener este tipo de tensión rectificada en la carga es necesario emplear un filtro.

El tipo más común de filtro es el del condensador a la entrada, en la mayoría de los casos perfectamente válido. Sin embargo en algunos casos puede no ser suficiente y tendremos que echar mano de algunos componentes adicionales.

Filtro con condensador a la entrada:

Este es el filtro más común y seguro que lo conocerás, basta con añadir un condensador en paralelo con la carga (RL), de esta forma Fig. 1.46.

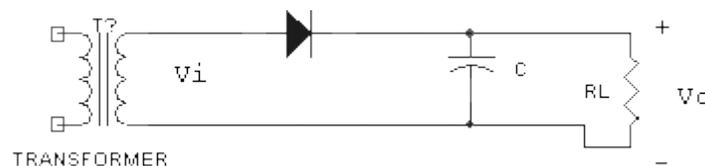


Fig. 1.46

Todo lo que digamos en este apartado será aplicable también en el caso de usar el filtro en un rectificador en puente.

Cuando el diodo conduce el condensador se carga a la tensión de pico V_{max} . Una vez rebasado el pico positivo el condensador se abre. ¿Por qué? debido a que el condensador tiene una tensión V_{max} entre sus extremos, como la tensión en el secundario del transformador es un poco menor que V_{max} el cátodo del diodo está a más tensión que el ánodo. Con el diodo ahora abierto el condensador se descarga a través de la carga. Durante este tiempo que el diodo no conduce el condensador tiene que "mantener el tipo" y hacer que la tensión en la carga no baje de V_{max} . Esto es prácticamente imposible ya que al descargarse un condensador se reduce la tensión en sus extremos.

Cuando la tensión de la fuente alcanza de nuevo su pico el diodo conduce brevemente recargando el condensador a la tensión de pico. En otras palabras, la tensión del condensador es aproximadamente igual a la tensión de pico del secundario del transformador (hay que tener en cuenta la caída en el diodo). La tensión V_o quedará de la forma Fig.1.47.

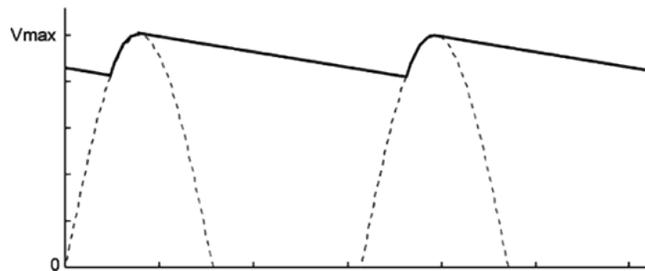


Fig. 1.47

La tensión en la carga es ahora casi una tensión ideal. Solo nos queda un pequeño rizado originado por la carga y descarga del condensador. Para reducir este rizado podemos optar por construir un rectificador en puente: el condensador se cargaría el doble de veces en el mismo intervalo teniendo así menos tiempo para descargarse, en consecuencia el rizado es menor y la tensión de salida es más cercana a V_{max} .

Otra forma de reducir el rizado es poner un condensador mayor, pero siempre tenemos que tener cuidado en no pasarnos ya que un condensador demasiado grande origina problemas de conducción de corriente por el diodo y, por lo tanto, en el secundario

del transformador (la corriente que conduce el diodo es la misma que conduce el transformador).

Efecto del condensador en la conducción del diodo:

Como venimos diciendo hasta ahora, el diodo solo conduce cuando el condensador se carga. Cuando el condensador se carga aumenta la tensión en la salida, y cuando se descarga disminuye, por ello podemos distinguir perfectamente en el gráfico cuando el diodo conduce y cuando no. En la siguiente figura se ha representado la corriente que circula por el diodo, que es la misma que circula por el transformador Fig. 1.48.

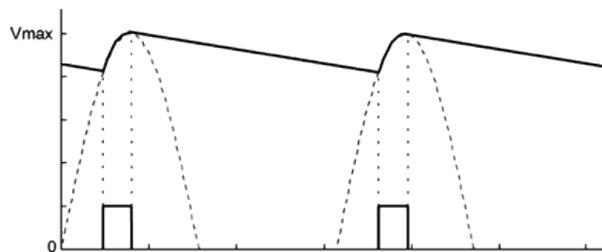


Fig. 1.48

La corriente por el diodo es a pulsos, aquí mostrados como rectángulos para simplificar. Los pulsos tienen que aportar suficiente carga al condensador para que pueda mantener la corriente de salida constante durante la no conducción del diodo. Esto quiere decir que el diodo tiene que conducir "de vez" todo lo que no puede conducir durante el resto del ciclo. Es muy normal, entonces, que tengamos una fuente de 1 Amperio y esos pulsos lleguen hasta 10 Amperios o más. Esto no quiere decir que tengamos que poner un diodo de 10 amperios, un 1N4001 aguanta 1 amperio de corriente media y pulsos de hasta 30 amperios.

Si ponemos un condensador mayor reducimos el rizado, pero al hacer esto también reducimos el tiempo de conducción del diodo, Como la corriente media que pasa por los diodos será la misma (e igual a la corriente de carga) los pulsos de corriente se hacen mayores Fig. 1.49.

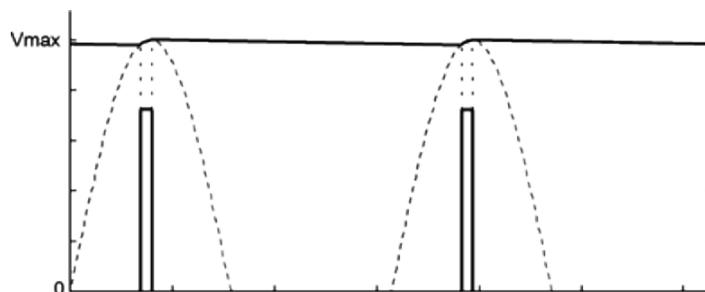


Fig. 1.49

Y esto no solo afecta al diodo, al transformador también, ya que a medida que los pulsos de corriente se hacen más estrechos (y más altos a su vez) la corriente eficaz aumenta. Si nos pasamos con el condensador podríamos encontrarnos con que tenemos un transformador de 0,5 A y no podemos suministrar más de 0,2 A la carga (por poner un ejemplo).

Valores recomendables para el condensador en un RECTIFICADOR EN PUENTE:
Si quieres ajustar el valor del condensador al menor posible esta fórmula te dará el valor del condensador para que el rizado sea de un 10% de V_o (regla del 10%):

$$C = (5 * I) / (f * V_{max})$$

Donde:

C: Capacidad del condensador del filtro en faradios

I: Corriente que suministrará la fuente

f: frecuencia de la red

V_{max} : tensión de pico de salida del puente (aproximadamente V_o)

Si se quiere conseguir un rizado del 7% puedes multiplicar el resultado anterior por 1,4, y si quieres un rizado menor resulta más recomendable que uses otro tipo de filtro o pongas un estabilizador.

Ejemplo práctico:

Se desea diseñar una fuente de alimentación para un circuito que consume 150 mA a 12V. El rizado deberá ser inferior al 10%. Para ello se dispone de un transformador de 10 V y 2,5 VA y de un rectificador en puente. Elegir el valor del Condensador:

1.- Calculamos la corriente que es capaz de suministrar el transformador para determinar si será suficiente, esta corriente tendrá que ser superior a la corriente que consume el circuito que vamos a alimentar.

$$I_t = 2,5 / 10 = 250 \text{ mA}$$

Parece que sirve, como calcularlo resulta bastante más complicado nos fiaremos de nuestra intuición. Ten en cuenta siempre que el transformador tiene que ser de mas corriente de la que quieras obtener en la carga.

2.- Calculamos la V_{max} de salida del puente rectificador teniendo en cuenta la caída de tensión en los diodos (conducen dos a dos).

$$V_{\text{max}} = 10 * 1,4142 - 2 = 12,14 \text{ V}$$

Esta será aproximadamente la tensión de salida de la fuente.

3.- Calculamos el valor del condensador según la fórmula del 10%, la I es de 150 mA la f es 50 Hz en Europa y la V_{max} es 12,14 V:

$$C = (5 * 0,15) / (50 * 12,14) = 0,0012355 \text{ F}$$

$$C = 1235,5 \mu\text{F}$$

Tomaremos el valor más aproximado por encima.

Filtros Pasivos RC y LC:

Con la regla del 10 por 100 se obtiene una tensión continua en la carga de aproximadamente el 10%. Antes de los años setenta se conectaban filtros pasivos entre el condensador del filtro y la carga para reducir el rizado a menos del 1%. La intención era obtener una tensión continua casi perfecta, similar a la que proporciona una pila. En la actualidad es muy raro ver filtros pasivos en diseños de circuitos nuevos, es más común

usar circuitos estabilizadores de tensión. Sin embargo estos estabilizadores tienen sus limitaciones y es posible que no te quede más remedio que usar un filtro pasivo. Filtro RC Fig.1.50.

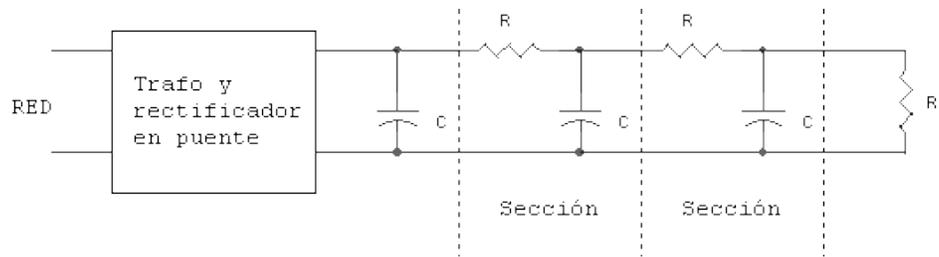


Fig. 1.50

La figura muestra dos filtros RC entre el condensador de entrada y la resistencia de carga. El rizado aparece en las resistencias en serie en lugar de hacerlo en la carga. Unos buenos valores para las resistencias y los condensadores serían:

$$R = 6,8 \text{ } \Omega$$

$$C = 1000 \text{ } \mu\text{F}$$

Con estos valores cada sección atenúa el rizado en un factor de 10, puedes poner una, dos, tres secciones.

La desventaja principal del filtro RC es la pérdida de tensión en cada resistencia. Esto quiere decir que el filtro RC es adecuado solamente para cargas pequeñas. Es muy útil cuando tienes un circuito digital controlando relés, en ocasiones estos relés crean ruidos en la alimentación provocando el mal funcionamiento del circuito digital, con una sección de este filtro para la alimentación digital queda solucionado el problema.

La caída de tensión en cada resistencia viene dada por la ley de Ohm:

$$V = I * R$$

Donde I es la corriente de salida de la fuente y R la resistencia en serie con la carga.

Filtro LC Fig. 1.51.

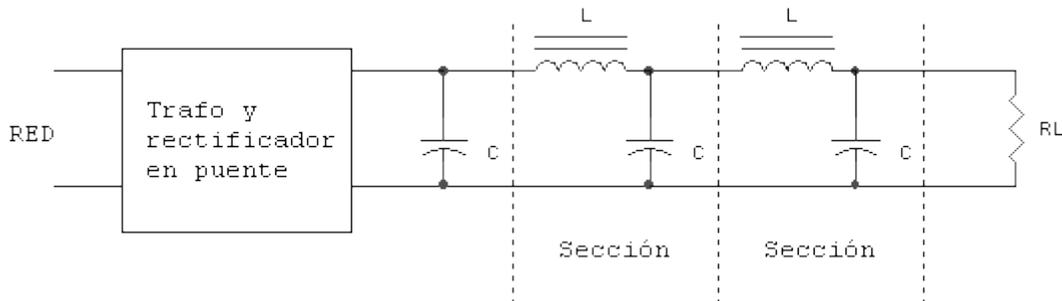


Fig. 1.51

Cuando la corriente por la carga es grande, los filtros LC de la figura presentan una mejora con respecto a los filtros RC. De nuevo, la idea es hacer que el rizado aparezca en los componentes en serie, las bobinas en este caso. Además, la caída de tensión continua en las bobinas es mucho menos porque solo intervienen la resistencia de los arrollamientos.

Los condensadores pueden ser de 1000 μF y las bobinas cuanto más grandes mejor. Normalmente estas últimas suelen ocupar casi tanto como el transformador y, de hecho, parecen transformadores, menos mal que con una sola sección ya podemos reducir el rizado hasta niveles bajísimos.

El regulador:

Un regulador o estabilizador es un circuito que se encarga de reducir el rizado y de proporcionar una tensión de salida de la tensión exacta que queramos. En esta sección nos centraremos en los reguladores integrados de tres terminales que son los más sencillos y baratos que hay, en la mayoría de los casos son la mejor opción.

Este es el esquema de una fuente de alimentación regulada con uno de estos reguladores Fig. 1.52.

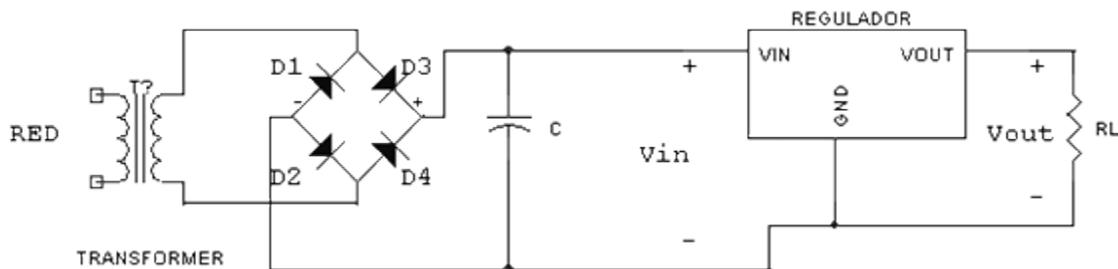


Fig. 1.52

Si has seguido las explicaciones hasta ahora no te costará trabajo distinguir el transformador, el puente rectificador y el filtro con condensador a la entrada. Suele ser muy normal ajustar el condensador según la regla del 10%.

Es muy corriente encontrarse con reguladores que reducen el rizado en 10000 veces (80 dB), esto significa que si usas la regla del 10% el rizado de salida será del 0.001%, es decir, inapreciable.

Las ideas básicas de funcionamiento de un regulador de este tipo son:

- La tensión entre los terminales Vout y GND es de un valor fijo, no variable, que dependerá del modelo de regulador que se utilice.
- La corriente que entra o sale por el terminal GND es prácticamente nula y no se tiene en cuenta para analizar el circuito de forma aproximada. Funciona simplemente como referencia para el regulador.
- La tensión de entrada Vin deberá ser siempre unos 2 o 3 V superior a la de Vout para asegurarnos el correcto funcionamiento.

Reguladores de la serie 78XX Fig.1.53.



1. Input 2. GND 3. Output

Fig. 1.53

Este es el aspecto de un regulador de la serie 78XX. Su característica principal es que la tensión entre los terminales Vout y GND es de XX voltios y una corriente máxima de 1A. Por ejemplo: el 7805 es de 5V, el 7812 es de 12V... y todos con una corriente máxima de 1 Amperio. Se suelen usar como reguladores fijos.

Existen reguladores de esta serie para las siguientes tensiones: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18 y 24 voltios. Se ponen siguiendo las indicaciones de la página anterior y ya está, obtenemos una V_{out} de XX Voltios y sin rizado.

Es posible que tengas que montar el regulador sobre un radiador para que disipe bien el calor, pero de eso ya nos ocuparemos más adelante.

Reguladores de la serie 79XX Fig. 1.54.



1

1. GND 2. Input 3. Output

Fig.1.54

El aspecto es como el anterior, sin embargo este se suele usar en combinación con el 78XX para suministrar tensiones simétricas. La tensión entre V_{out} y GND es de - XX voltios, por eso se dice que este es un regulador de tensión negativa. La forma de llamarlos es la misma: el 7905 es de 5V, el 7912 es de 12... Pero para tensiones negativas.

Una fuente simétrica es aquella que suministra una tensión de + XX voltios y otra de - XX voltios respecto a masa. Para ello hay que usar un transformador con doble secundario, más conocido como "transformador de toma media" o "transformador con doble devanado". En el siguiente ejemplo se ha empleado un transformador de 12v + 12v para obtener una salida simétrica de $\pm 12v$ Fig. 1.55.

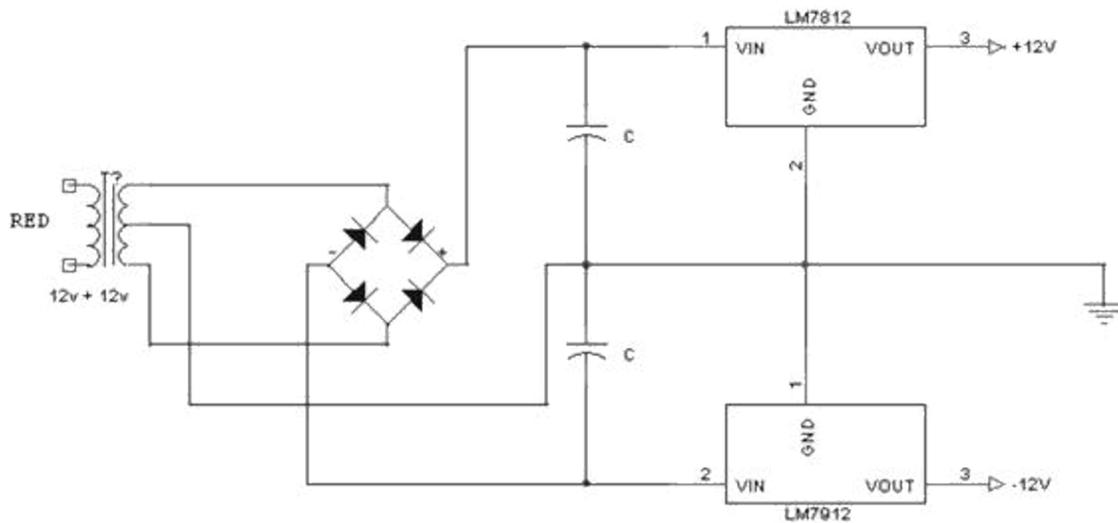


Fig. 1.55

El valor de C puedes ajustarlo mediante la regla del 10%.

Regulador ajustable LM317:

Este regulador de tensión proporciona una tensión de salida variable sin más que añadir una resistencia y un potenciómetro. Se puede usar el mismo esquema para un regulador de la serie 78XX pero el LM317 tiene mejores características eléctricas. El aspecto es el mismo que los anteriores, pero este soporta 1,5A. el esquema a seguir es Fig. 1.56.

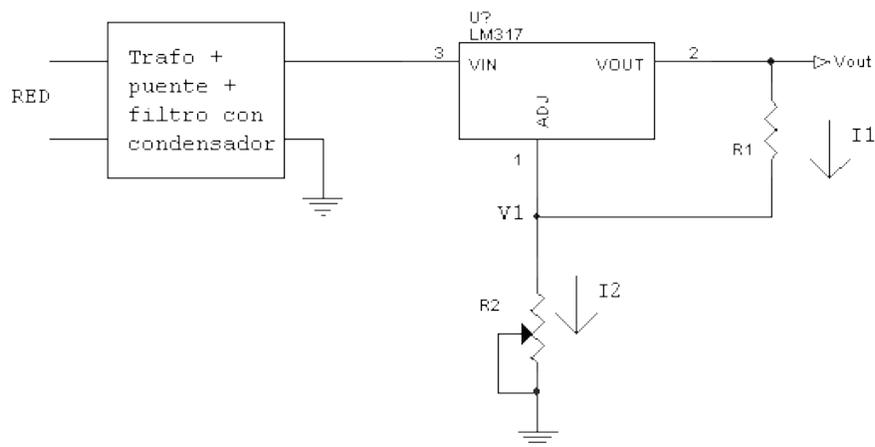


Fig. 1.56

En este regulador, como es ajustable, al terminal GND se le llama ADJ, es lo mismo.

La tensión entre los terminales Vout y ADJ es de 1,25 voltios, por lo tanto podemos calcular inmediatamente la corriente I1 que pasa por R1:

$$I1 = 1,25 / R1$$

Por otra parte podemos calcular I2 como:

$$I2 = (Vout - 1,25) / R2$$

Como la corriente que entra por el terminal ADJ la consideramos despreciable toda la corriente I1 pasará por el potenciómetro R2. es decir:

$$I1 = I2$$
$$1,25 / R1 = (Vout - 1,25) / R2$$

Que despejando Vout queda:

$$Vout = 1,25 * (1 + R2/R1)$$

Si consultas la hoja de características del LM317 verás que la fórmula obtenida no es exactamente esta. Ello es debido a que tiene en cuenta la corriente del terminal ADJ. El error cometido con esta aproximación no es muy grande pero si quieres puedes usar la fórmula exacta.

Observando la fórmula obtenida se pueden sacar algunas conclusiones: cuando ajustes el potenciómetro al valor mínimo ($R2 = 00$) la tensión de salida será de 1,25 V. Cuando vayas aumentando el valor del potenciómetro la tensión en la salida irá aumentando hasta que llegue al valor máximo del potenciómetro.

Por lo tanto ya sabemos que podemos ajustar la salida desde 1,25 en adelante. En realidad el fabricante nos avisa que no pasemos de 30V.

Cálculo de R1 y R2:

Los valores de R1 y R2 dependerán de la tensión de salida máxima que queramos obtener. Como solo disponemos de una ecuación para calcular las 2 resistencias tendremos que dar un valor a una de ellas y calcularemos la otra.

Lo más recomendable es dar un valor de 2400 a R1 y despejar de la última ecuación el valor de R2 (el potenciómetro). La ecuación queda de la siguiente manera:

$$R2 = (Vout - 1,25) * (R1/1,25)$$

Por ejemplo:

Queremos diseñar una fuente de alimentación variable de 1,25 a 12v. Ponemos que R1 = 2400. Solo tenemos que aplicar la última fórmula con Vout = 12 y obtenemos R2:

$$R2 = (12 - 1,25) * (240 / 1,25) = 2064 \text{ O}$$

El valor más próximo es el de 2 KO, ya tendríamos diseñada la fuente de alimentación con un potenciómetro R2 de 2 KO y una resistencia R1 de 240 O.

En teoría podemos dar cualquier valor a R1 pero son preferibles valores entre 1000 y 3300.

Regulador Ajustable de potencia LM350 Fig.1.57.



1. Adj 2. Output 3. Input **Fig. 1.57**

El LM317 es muy útil para conseguir tensiones variables, sin embargo no es capaz de suministrar más de 1,5A a la carga. El LM350 es otro regulador variable que funciona exactamente igual que el LM317, con la diferencia de que este es capaz por si solo de suministrar 3A.

Para conseguir más de 3 A podemos acudir al siguiente esquema que utiliza un transistor de paso para ampliar la corriente Fig. 1.58.

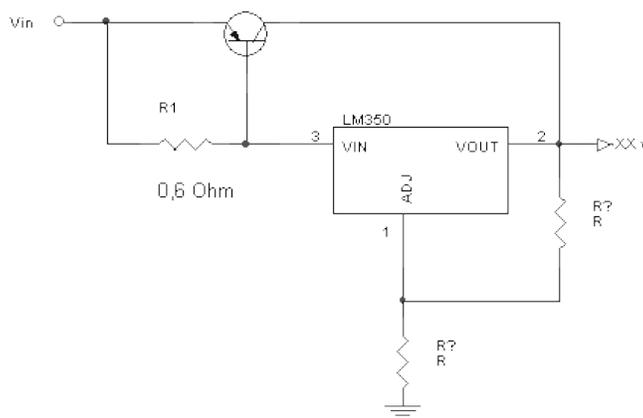


Fig.1.58

En este circuito, la resistencia de 0,6 O se usa para detectar la máxima corriente que pasará por el regulador. Cuando la corriente es menor de 1 A, la tensión en bornes de los 0,6 O es menor que 0,6 V y el transistor está cortado. En este caso el regulador de tensión trabaja solo.

Cuando la corriente de carga es mayor de 1 A, la tensión en bornes de los 0,6 O es mayor de 0,6 V y el transistor entra en conducción. Este transistor exterior suministra la corriente de carga extra superior a 1 A. En definitiva, el regulador solamente conducirá una corriente poco superior a 1 A mientras que el transistor conducirá el resto, por ello podríamos cambiar tranquilamente en este circuito el LM350 por un LM317.

La resistencia de 0,6 O será de 3 o 4 W dependiendo del transistor empleado.

Si montamos el circuito con un transistor TIP32 podremos obtener 4 A, ya que el TIP32 soporta una corriente máxima de 3A. Y si lo montamos con un MJ15016 podemos llegar hasta 16A. Puedes usar cualquier otro transistor de potencia PNP.

Disipación de potencia en los reguladores:

Cuando un regulador está funcionando se calienta. Esto es debido a que parte de la potencia tomada del rectificador es disipada en el regulador. La potencia disipada depende de la corriente que se esté entregando a la carga y de la caída de tensión que haya en el regulador Fig. 1.59.

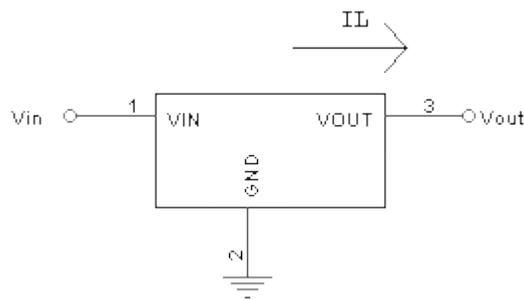


Fig. 1.59

La figura muestra un regulador funcionando. La corriente que lo atraviesa es la corriente de la carga I_L . Recordemos también que para que un regulador funcione correctamente la tensión de entrada V_{in} tenía que ser mayor que la tensión de salida V_{out} . Por lo tanto la caída de tensión en el regulador V_r será:

$$V_r = V_{in} - V_{out}$$

Y la potencia disipada vendrá dada por la la siguiente ecuación:

$$PD = V_r * I_L$$

Los reguladores que hemos visto son capaces de disipar una potencia de 2 o 3 W como mucho por si solos. Si se llega a esta potencia es necesario montarlos sobre unos radiadores adecuados, que serán más grandes cuanto más potencia queramos disipar. Para evitar que la potencia disipada sea lo menor posible tendrás que procurar que V_{in} no sea mucho mayor que V_{out} .

Ejemplo 1:

Tenemos una fuente de alimentación variable desde 1,25v a 15v y 0,5A con un LM317. Como la tensión máxima de salida son 15v, la tensión de entrada al regulador tendrá que ser de 18v mas o menos. Vamos a calcular la potencia que disipa el regulador cuando ajustamos la fuente a 15v, 4v y 2v En todos los casos la corriente de salida será 0,5A.

a 15v la caída de tensión en el regulador será de $18 - 15 = 3V$, la corriente es 0,5 A luego:

$$PD = 3 * 0,5 = 1,5 \text{ W}$$

a 4v la caída de tensión en el regulador será de $18 - 4 = 14v$, la corriente es 0,5A luego:

$$PD = 14 * 0,5 = 7 \text{ W}$$

a 2v la caída de tensión en el regulador será de $18 - 2 = 16v$, la corriente es 0,5A luego:

$$PD = 16 * 0,5 = 8 \text{ W}$$

Fíjate que hemos hecho los cálculos para el mejor de los casos en el que nos hemos preocupado de que la tensión de entrada al regulador no sea más de la necesaria, aun así tenemos que poner un radiador que pueda disipar poco mas de 8W. Es un radiador bastante grande para una fuente de medio amperio nada más. Este es un problema que surge cuando queremos diseñar una fuente con un alto rango de tensiones de salida. Prueba a hacer el cálculo para una fuente variable hasta 30v y 1A, salen más de 30 W.

Ejemplo 2:

Queremos una fuente fija con una salida de 5V y 0.5A, vamos a calcular la potencia que se disipa en el regulador usando un transformador de 7 voltios y otro de 12 voltios. Para el transformador de 7 voltios: La Vmax de salida del transformador será $7 * 1,4142 = 9,9v$ descontando la caída en los diodos del puente serán 7,9v a la entrada del regulador. Como la salida -es de 5v la potencia disipada PD será:

$$PD = (7,9 - 5) * 0,5 = 1,45 \text{ W}$$

para el transformador de 12 voltios: La V_{max} de salida del transformador será $12 * 1,4142 = 16,9\text{v}$ descontando la caída en los diodos del puente serán $14,9\text{v}$ a la entrada del regulador. Como la salida es de 5v la potencia disipada PD será:

$$PD = (14,9 - 5) * 0,5 = 4,95 \text{ W}$$

Con los dos transformadores estaríamos consiguiendo una salida de 5v y $0,5 \text{ A}$, sin embargo, con el de 12V nos haría falta poner un radiador en el regulador que nos podríamos haber ahorrado comprando un transformador de 7V .

Este es el diagrama original realizado por el Ing. Benito Barranco Castellanos fig. 1.60., en el cual fue basado el prototipo de fuente de poder, esta es una fuente lineal con tres salidas de voltaje una fija de 5v controlada por un transistor de potencia Lm7805. Una salida variable positiva de 1.2v a 15v controlada por el transistor de potencia Lm350 y con un potenciómetro para el aumento y disminución del voltaje. Una salida variable negativa de 1.2v a 15v controlada por un transistor de potencia Lm337 y con un potenciómetro para el aumento y disminución del voltaje.

Según las características de dichos transistores usados en el prototipo se realiza el diseño según las especificaciones que tiene cada uno de fábrica en su hoja de datos.

También se aprecia un generador de pulsos en cual es colocado por su utilidad en las prácticas de laboratorio, el cual es controlado por un CI 555, su control se opera con los filtros y las resistencias teniendo el pulso deseado.

Funcionamiento de las fuentes lineales.

Las fuentes lineales constan con elementos que disipan la energía para la regulación del voltaje, como se puede ver en la Figura 1.61. Estas fuentes crean un divisor de voltaje entre la carga y elemento de pérdida de energía con lo que logran una caída de potencial determinada en la carga. Solo que estos dispositivos consumen energía y pierden eficiencia gracias al efecto Joule $P=I^2 R$.

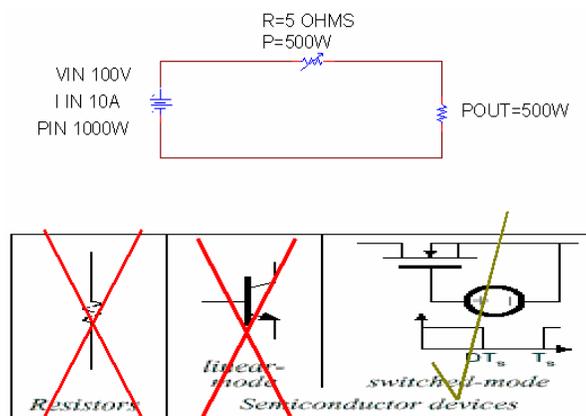


Fig. 1.61

Como se puede ver lo ideal es utilizar dispositivos que no ofrezcan resistencia en la etapa de control como lo son switches ideales que son implementados con transistores en punto de operación de corte y saturación.

A este prototipo se le realizan modificaciones la primera es hacerla conmutada al ponerle un control de voltaje con PWM (Modulación por Ancho de Pulso) esto la convierte en fuente conmutada.

Funcionamiento de las fuentes conmutadas o de switcheo.

Una fuente de conmutación o de Switcheo regula la corriente de entrada conmutando la entrada con la salida y así controlando el promedio de corriente entregada a la carga, esto manipulando el ancho de pulso de la señal de control por medio de un PWM (Pulse Wide Modulator).

Esto se logra utilizando transistores como interruptores, ya que cuando no conducen la corriente a través de ellos es nula por lo tanto la potencia disipada es cero ($P=VI$). Y en su estado de conducción el voltaje en sus terminales es 0 (idealmente) por lo nuevamente la potencia a través de ellos es cero. Así la pérdida de potencia en el elemento de control es cero y toda la potencia de la fuente es entregada a la carga. Un diagrama que ilustra muy bien este concepto es la Fig. 1.62.

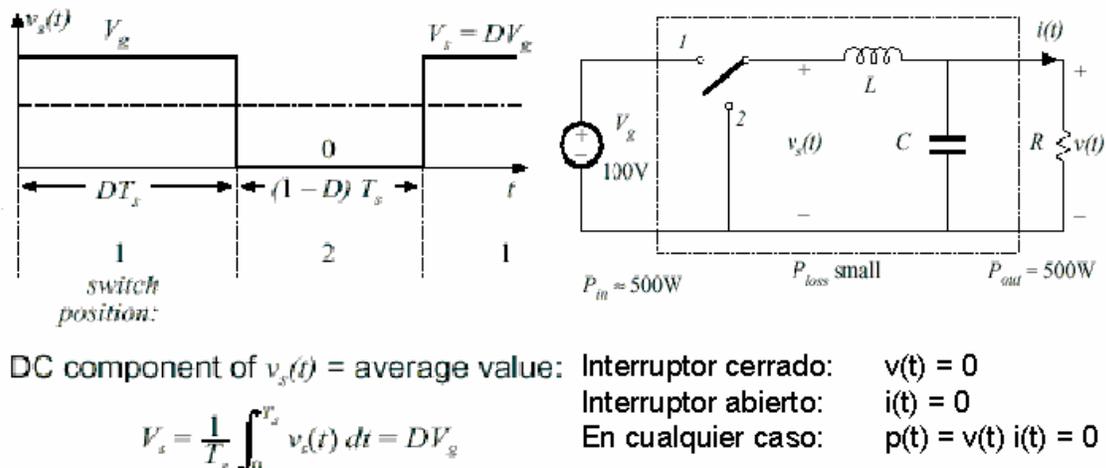


Fig.1.62

En la figura anterior se puede ver la señal de salida del interruptor y un circuito básico de convertidor DC-DC, que lo que hace es convertir la señal de directa de la fuente de 100volts en otra señal de directa pero pulsátil, al ser switcheada, enseguida se pasa por un filtro pasa-bajas LC que se encarga de darnos una señal de directa proporcional al ciclo de servicio que nos da el circuito de control (DT). Finalmente se conecta la carga en este caso representada por RL que es la que absorbe la energía proporcionada por la fuente. En la Figura 1.63 se muestra el esquema de una fuente de Switcheo Reductora ya que la carga recibe como máximo el voltaje de entrada.

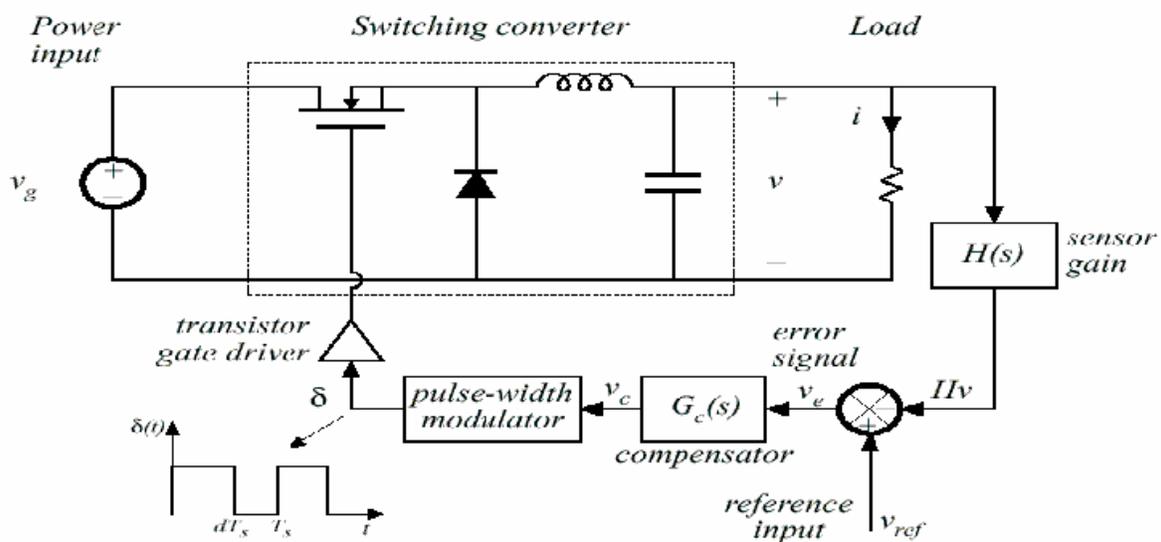


Fig. 1.63

En esta figura se puede ver como elemento de switcheo un MOSFET, se coloca un filtrado LC, y se coloca un diodo para la descarga de la bobina cuando el switch esté abierto.

También se puede ver que el circuito que controla el switcheo es un control que dispara el gate de transistor que a su vez es alimentado por un PWM. El PWM es alimentado con una porción del voltaje de salida restado de un voltaje de referencia, este voltaje es el que fija a qué nivel de voltaje va a operar la salida de la fuente. Lo que se intenta hacer con esta retroalimentación es monitorear la señal de salida, si la señal de salida (V_{out}) es mayor que la señal de referencia (V_{ref}) se provoca que el PWM

disminuya su ciclo de servicio (DT), y si la señal de salida es menor que la de referencia, el circuito se encarga de aumentar el ciclo de servicio (DT) del PWM.

Con esto se logra un control del nivel de voltaje cercano al voltaje de referencia sin importar que el voltaje de entrada (V_i) entregado por la fuente en este caso de 100v varíe. Por lo general el circuito que contiene la parte de retroalimentación y control de la señal del gate del transistor, ya viene en chips comerciales como lo son el TL494. Estos son componentes de bajo costo fabricados específicamente para fuentes de switcheo.

Topologías en fuentes de switcheo. Existen diferentes configuraciones para armar fuentes de switcheo, que ofrecen diferentes características que en algunos diseños son de importancia, por eso es bueno saber cuáles son estas diferentes topologías y en que aplicaciones las podemos considerar Tabla 1.7.

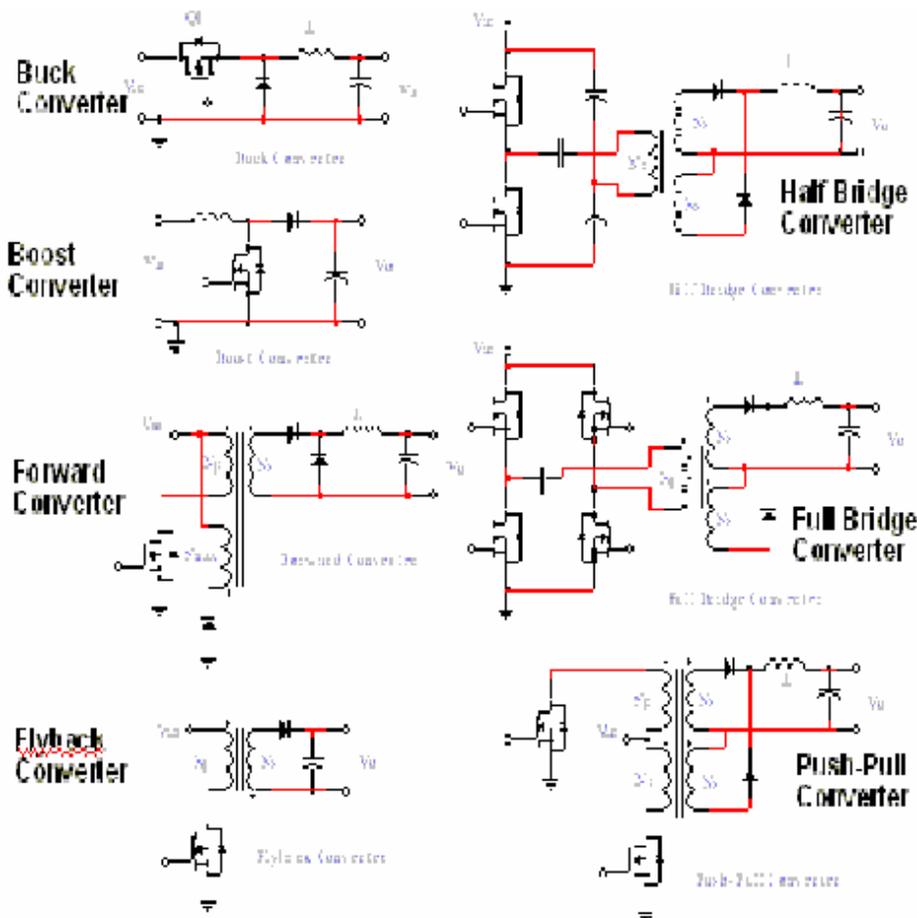


Tabla 1.7

Se le pone un volmetro digital para el control del voltaje de salida que se requiera, el cual es controlado por el CI ICL7107 que hace todo con la ayuda de un diseño de resistencias y capacitores el cual lo hace muy práctico y sencillo.

Se le adapta por ultimo una batería de 12v a 1 amp. la cual se carga automáticamente para cuando no exista suministro de energía eléctrica.

El sistema consiste de un sistema rectificador de onda completa (D1 y D2). Este voltaje resultante se aplica directamente a la batería que se desea cargar a través del tiristor (SCR1). Cuando la batería está baja de carga, el tiristor (SCR2) está en estado de corte.

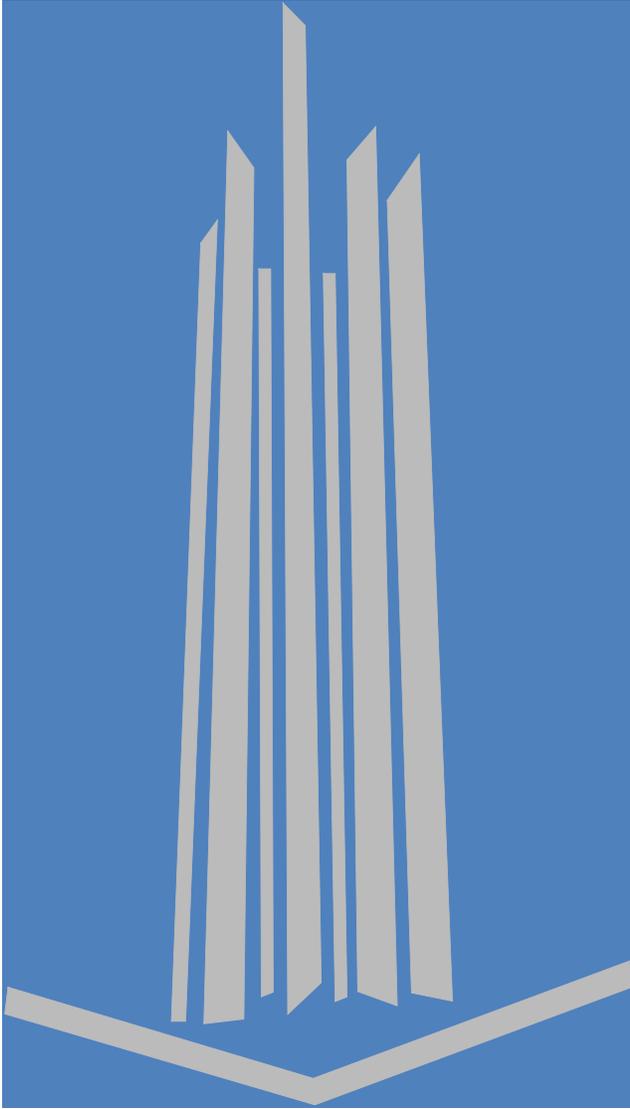
Esto significa que a la puerta del tiristor (SCR1) le llega la corriente (corriente controlada por R1) necesaria para dispararlo.

Cuando la carga se está iniciando (la batería está baja de carga) el voltaje en el cursor del potenciómetro es también bajo. Este voltaje es muy pequeño para hacer conducir al diodo Zener de 11 voltios. Así el diodo Zener se comporta como un circuito abierto y SCR2 se mantiene en estado de corte.

A medida que la carga de la batería aumenta (el voltaje de esta aumenta), el voltaje en el cursor del potenciómetro también aumenta, llegando a tener un voltaje suficiente para hacer conducir al diodo Zener. Cuando el diodo Zener conduce, dispara al tiristor (SCR2) que ahora se comporta como un corto.

Estando SCR2 conduciendo se creará una división de tensión con las resistencias R1 y R3, haciendo que el voltaje en el ánodo del diodo D3 sea muy pequeño para disparar al tiristor (SCR1) y así se detiene el paso de corriente hacia la batería (dejando de cargarla). Cuando esto ocurre la batería está completamente cargada. Si la batería se volviese a descargar el proceso se inicia automáticamente.

El condensador C, se utiliza para evitar posibles disparos no deseados del SCR2. Y se coloca un relevador para el control de cuando no exista el suministro de luz de C-A.

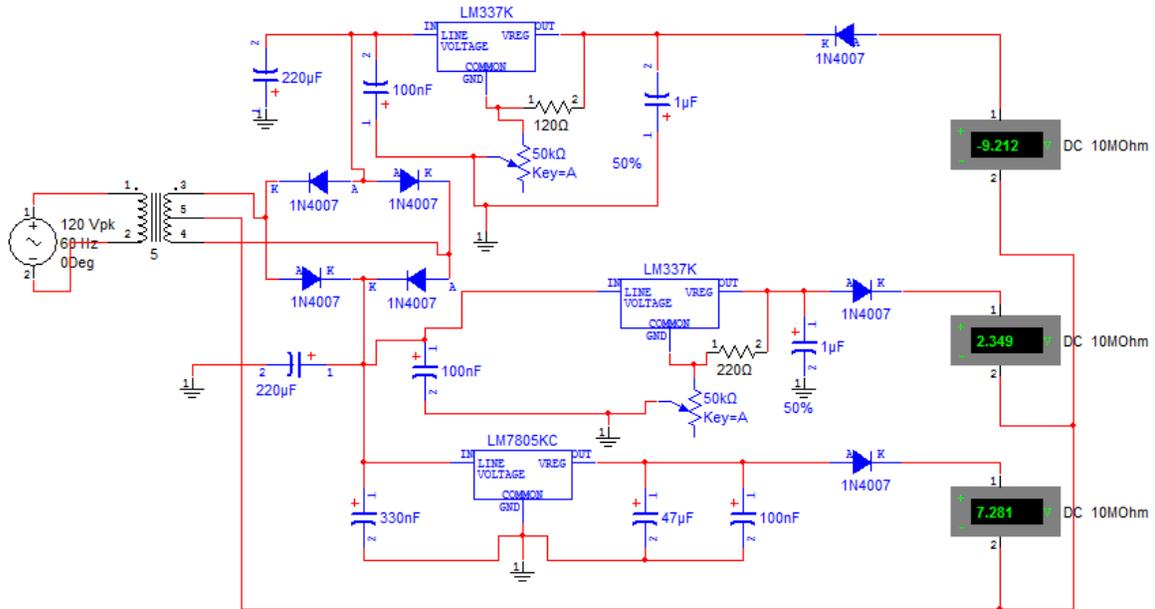


Capítulo II

Simulación Del Prototipo

2.1 Simulación del prototipo por Multisim

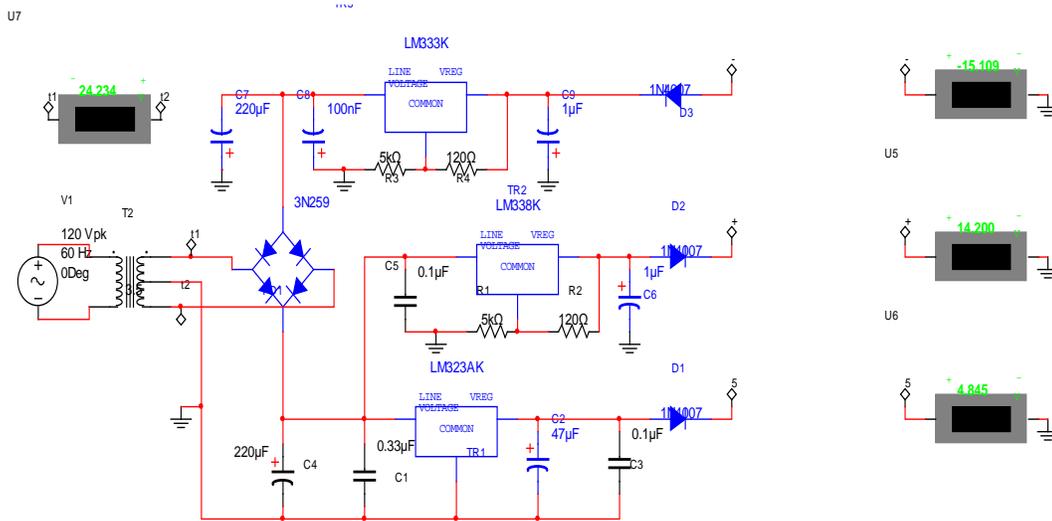
Primer prototipo



Circuito 2.1

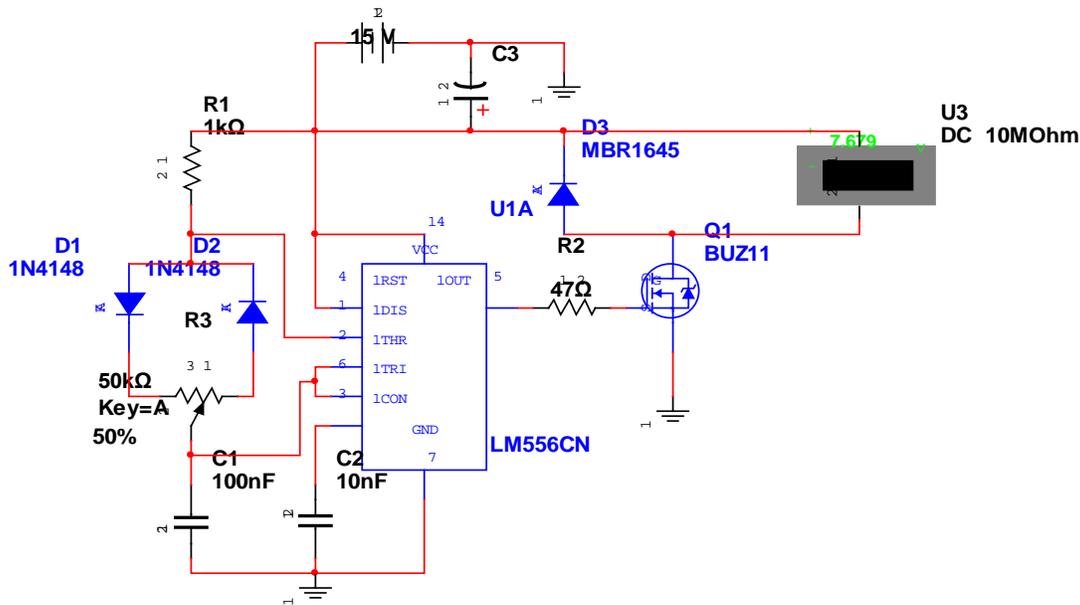
Prototipo modificado en secciones para su mejor comprensión y seguimiento.

El primero es el de potencia.



Circuito 2.2

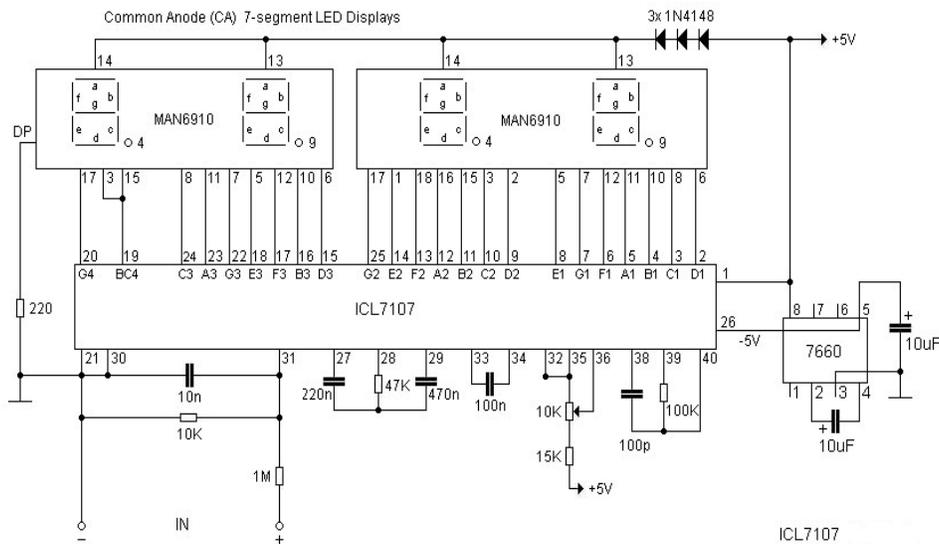
El segundo es el control PWM



Circuito 2.3

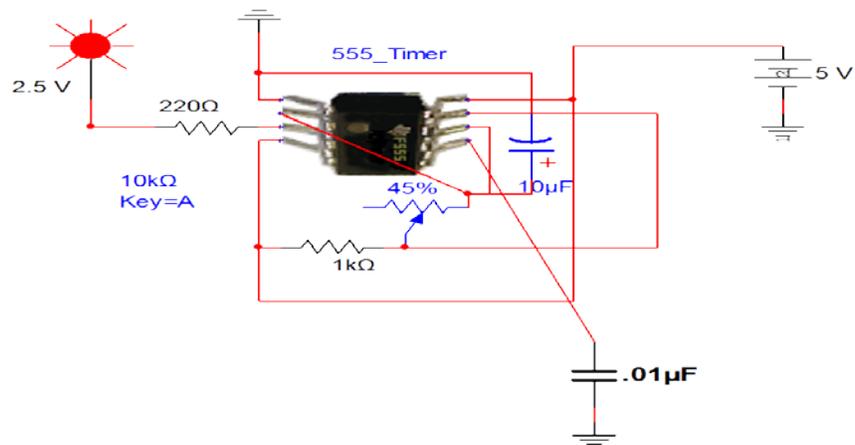
El tercero es el de voltímetro digital.

El cual no pudo ser simulado por la falta de CI ICL7107 el cual no está en el simulador



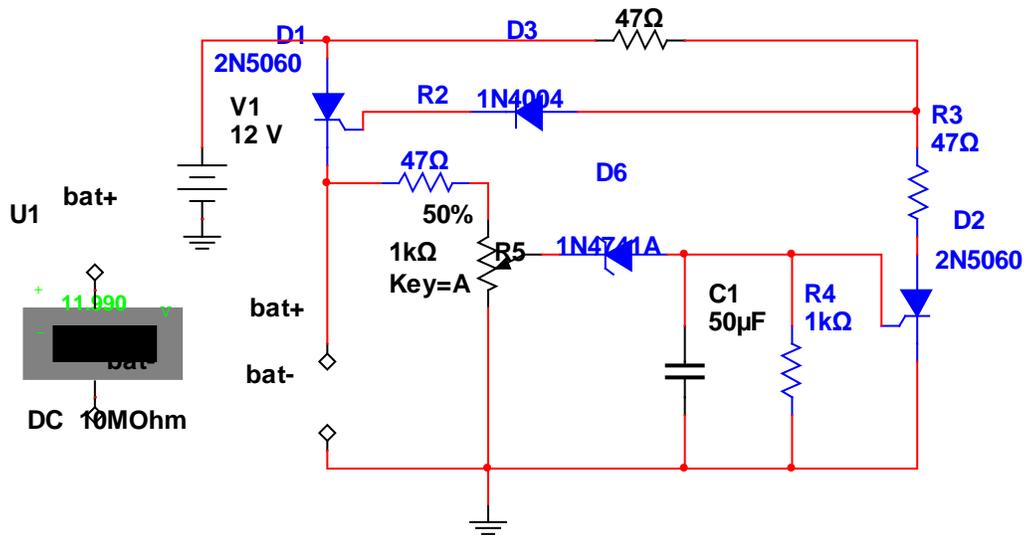
Circuito 2.4

El cuarto es Generador de pulsos.



Circuito 2.5

El quinto es un cargador de batería de 12v.

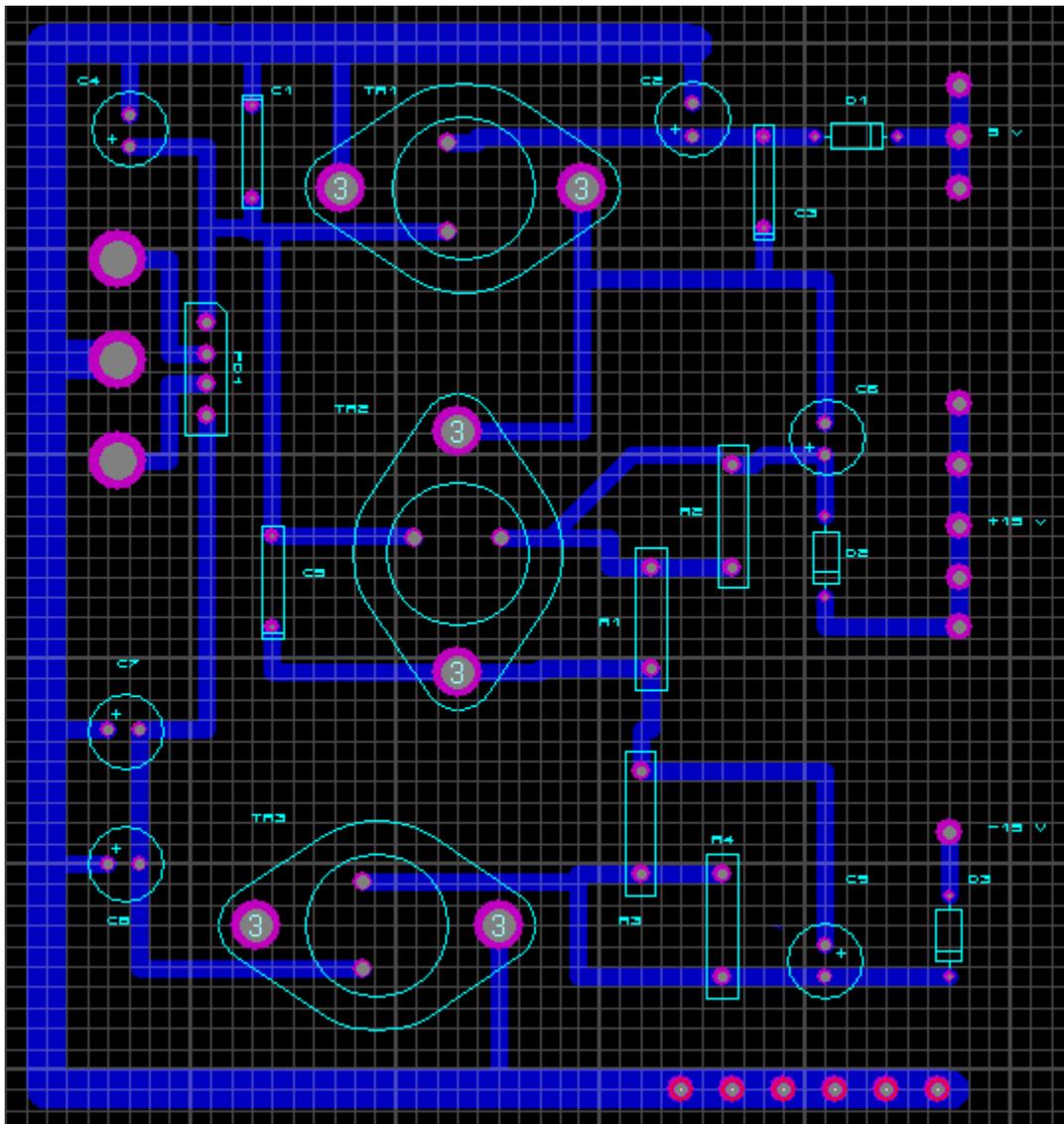


Circuito 2.6

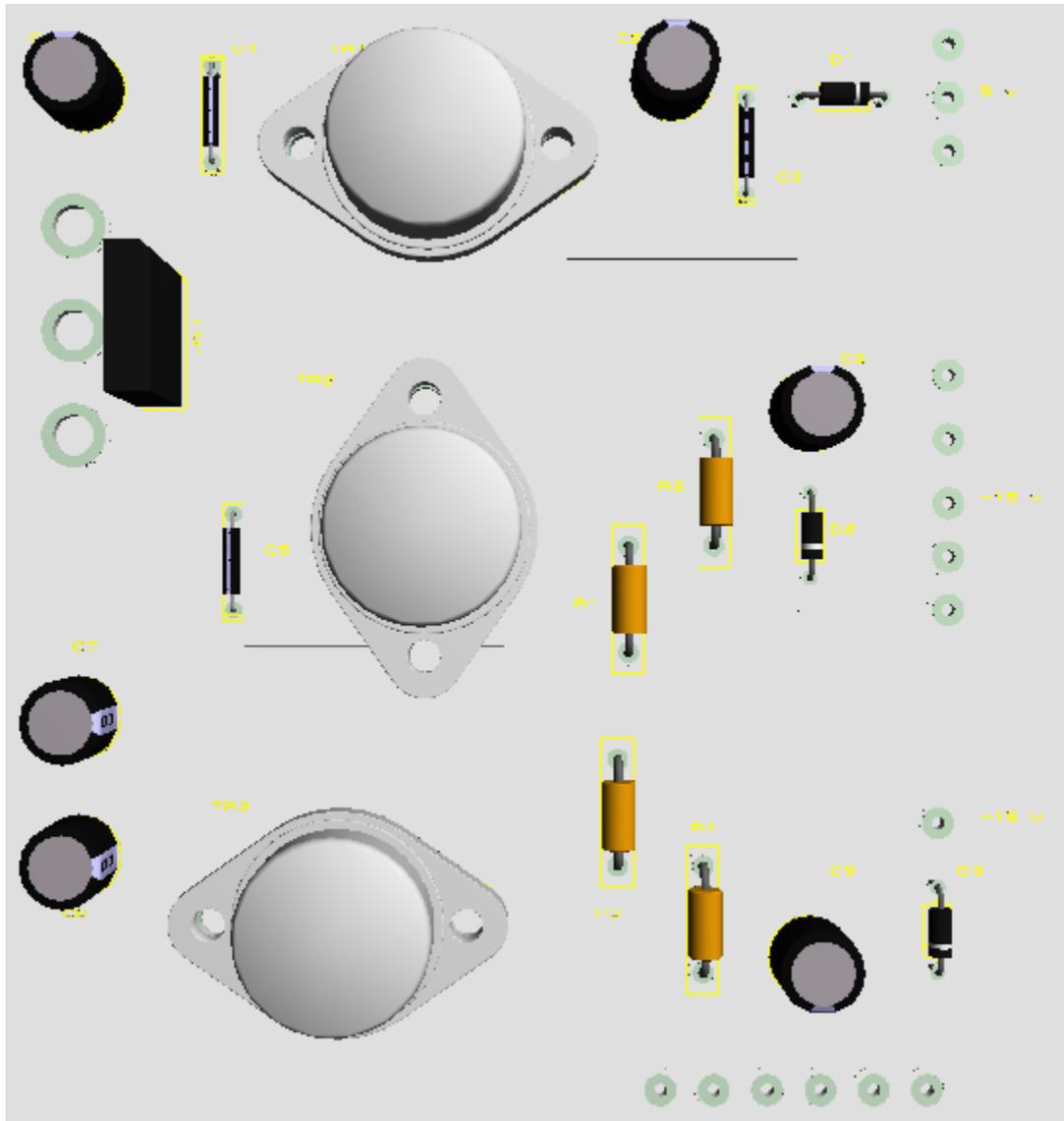
2.2 Creación de la tableta del circuito, y armado físico

Para la creación de las tarjetas de los circuitos impresos se uso el programa ares 7 profesional que está incluido en el paquete de Proteus 7 profesional.

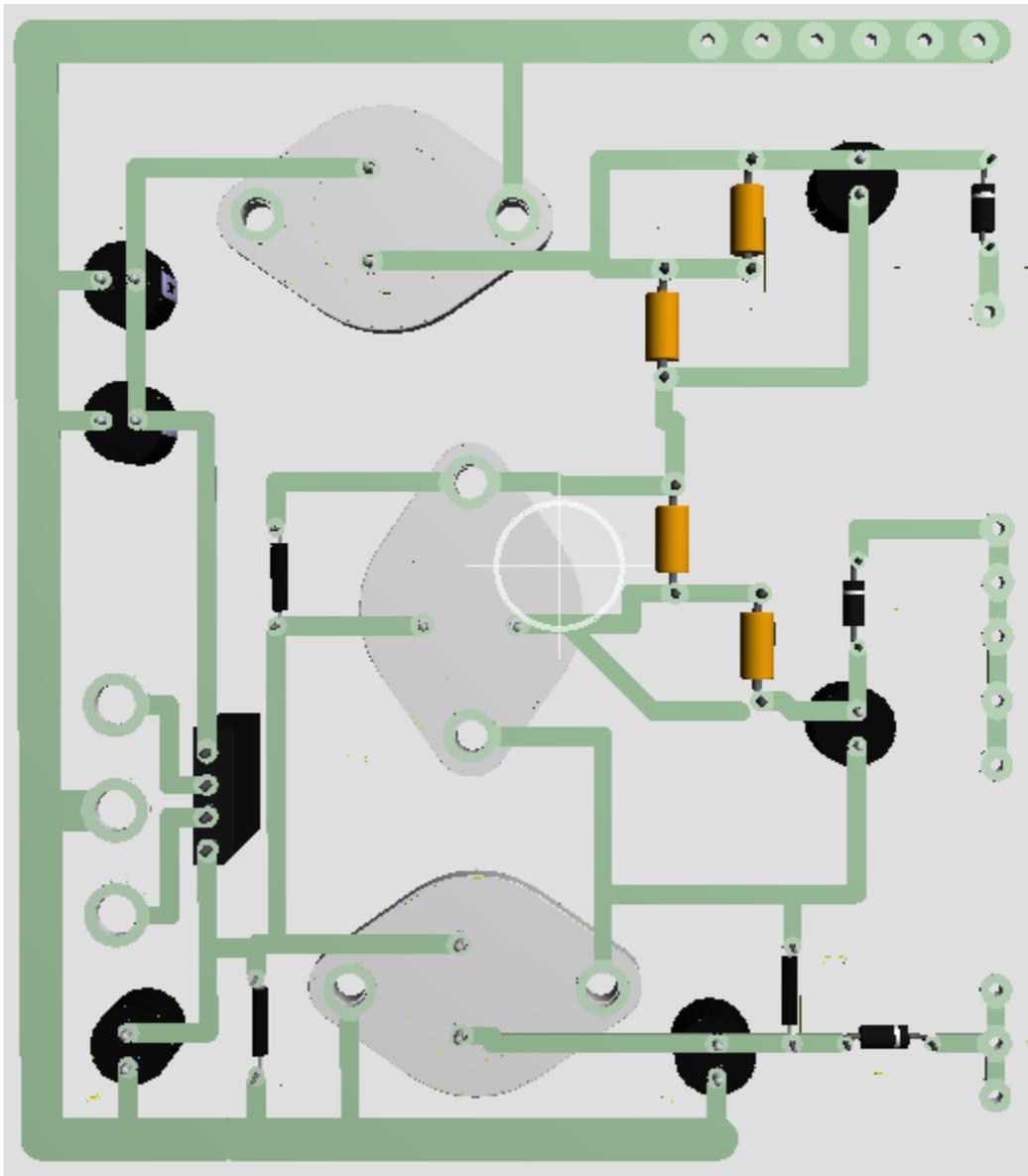
Tarjeta de Potencia.



Circuito 2.7

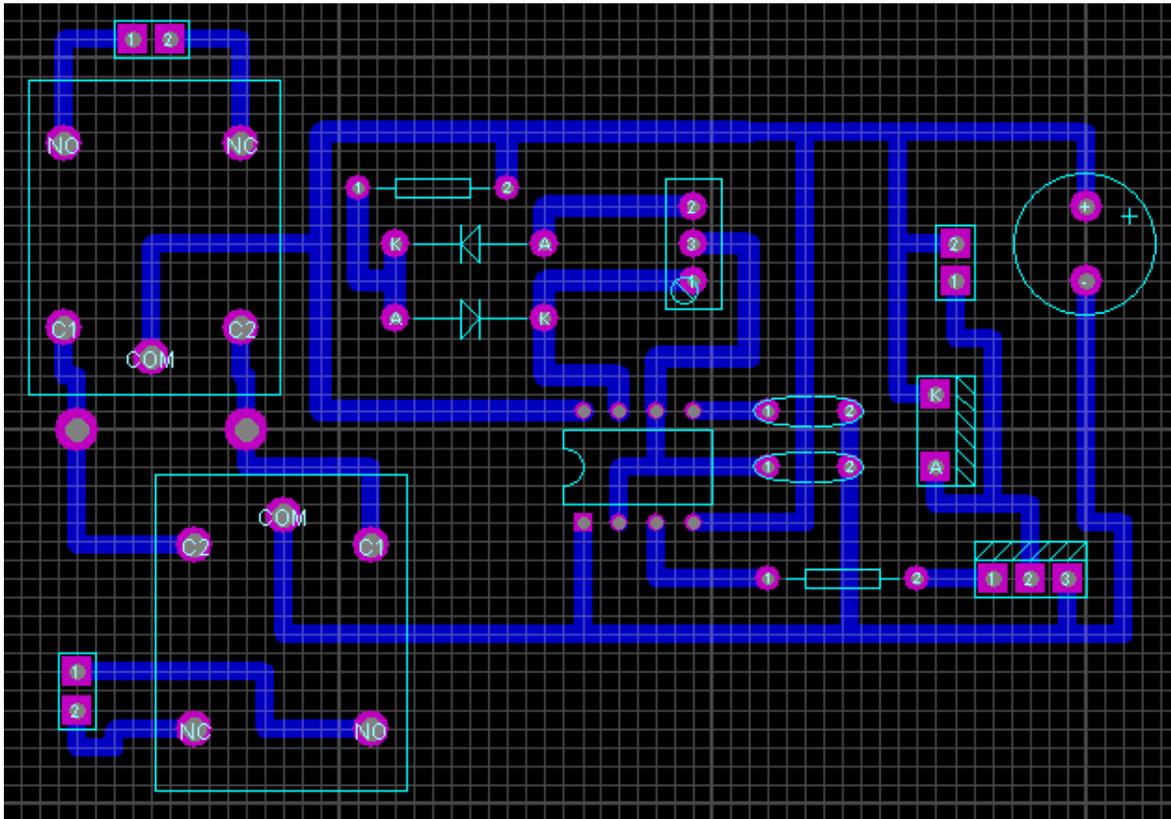


Circuito 2.8

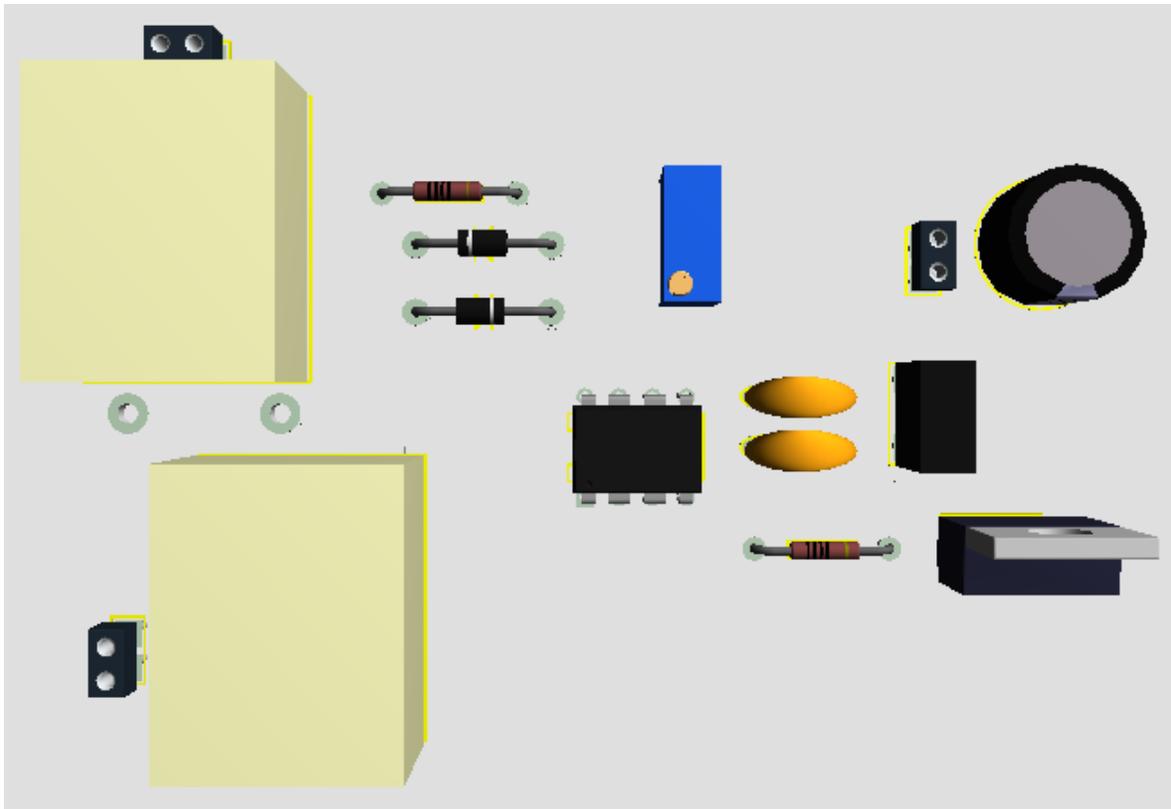


Circuito 2.9

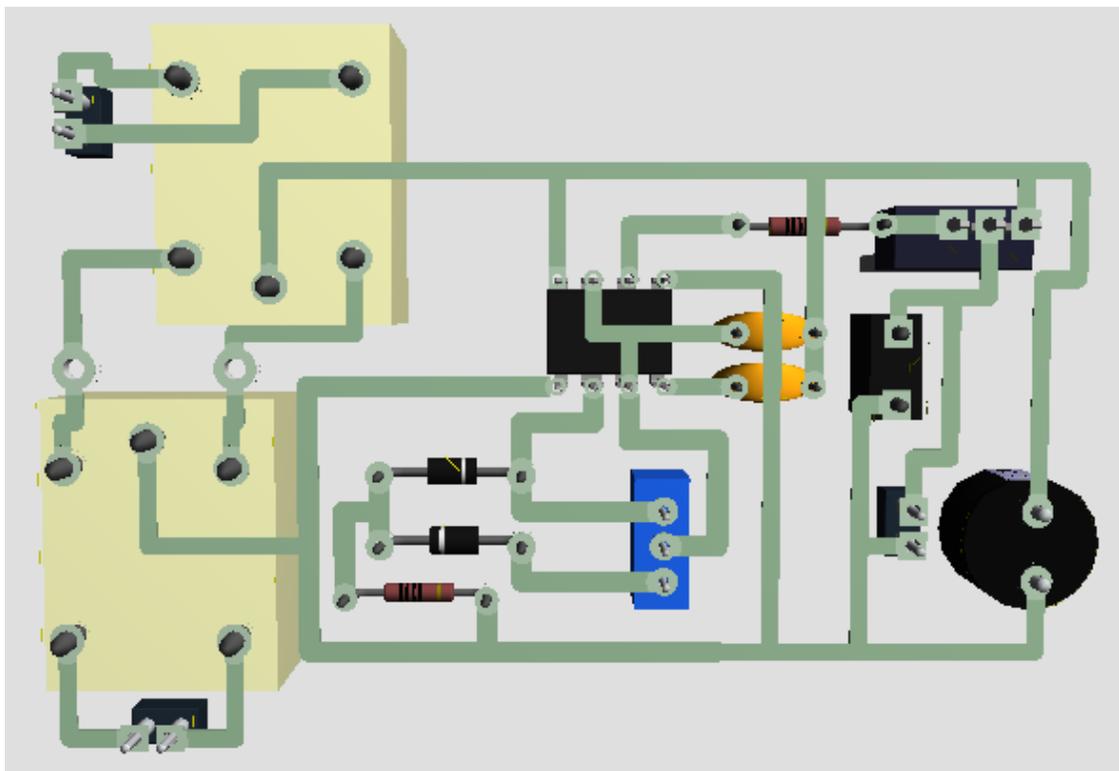
Tarjeta de Control PWM .



Circuito 2.10

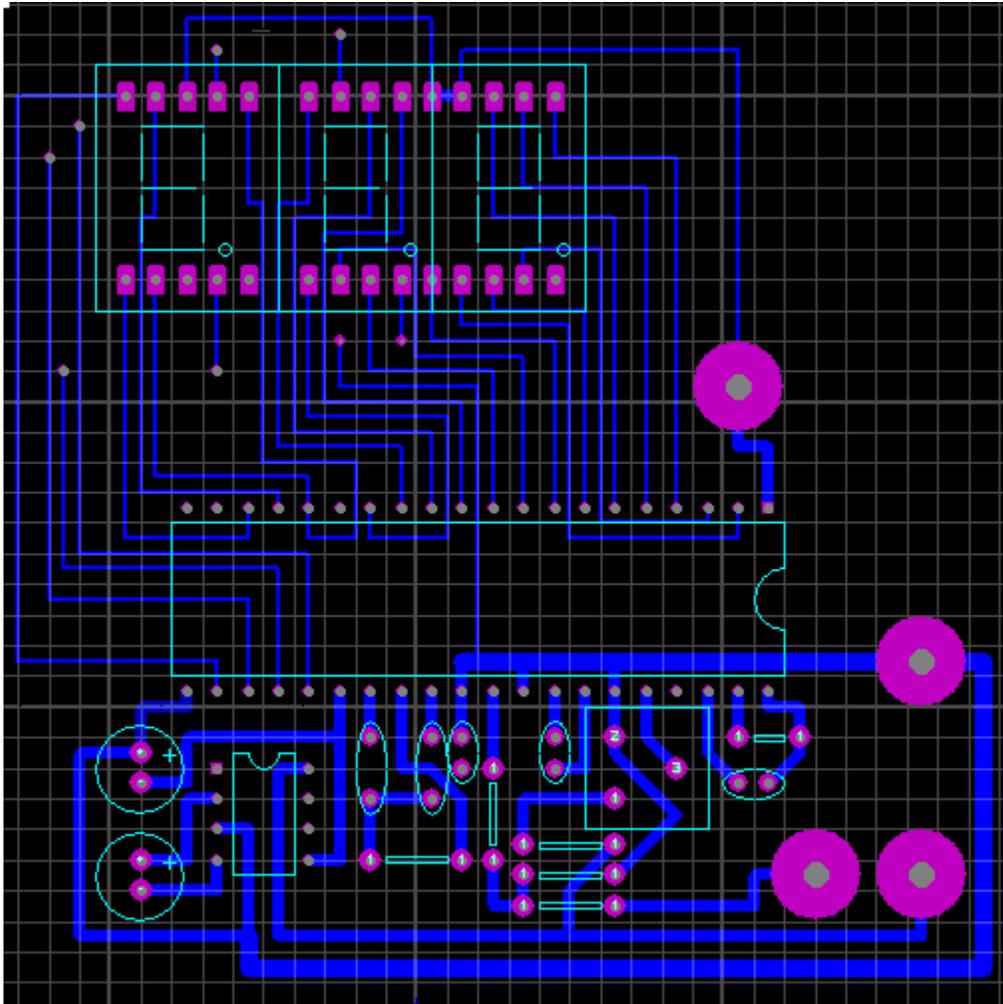


Circuito 2.11

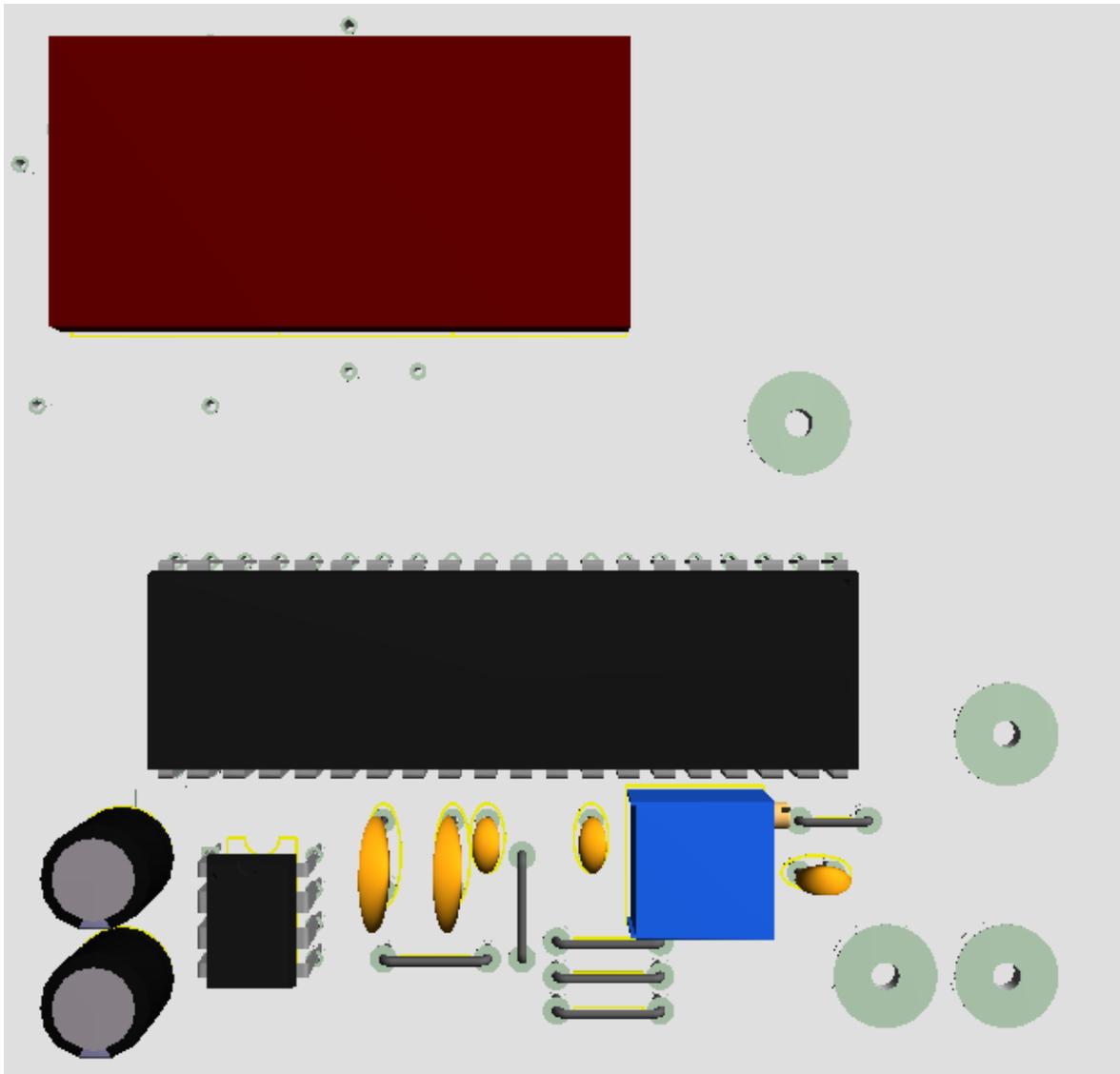


Circuito 2.12

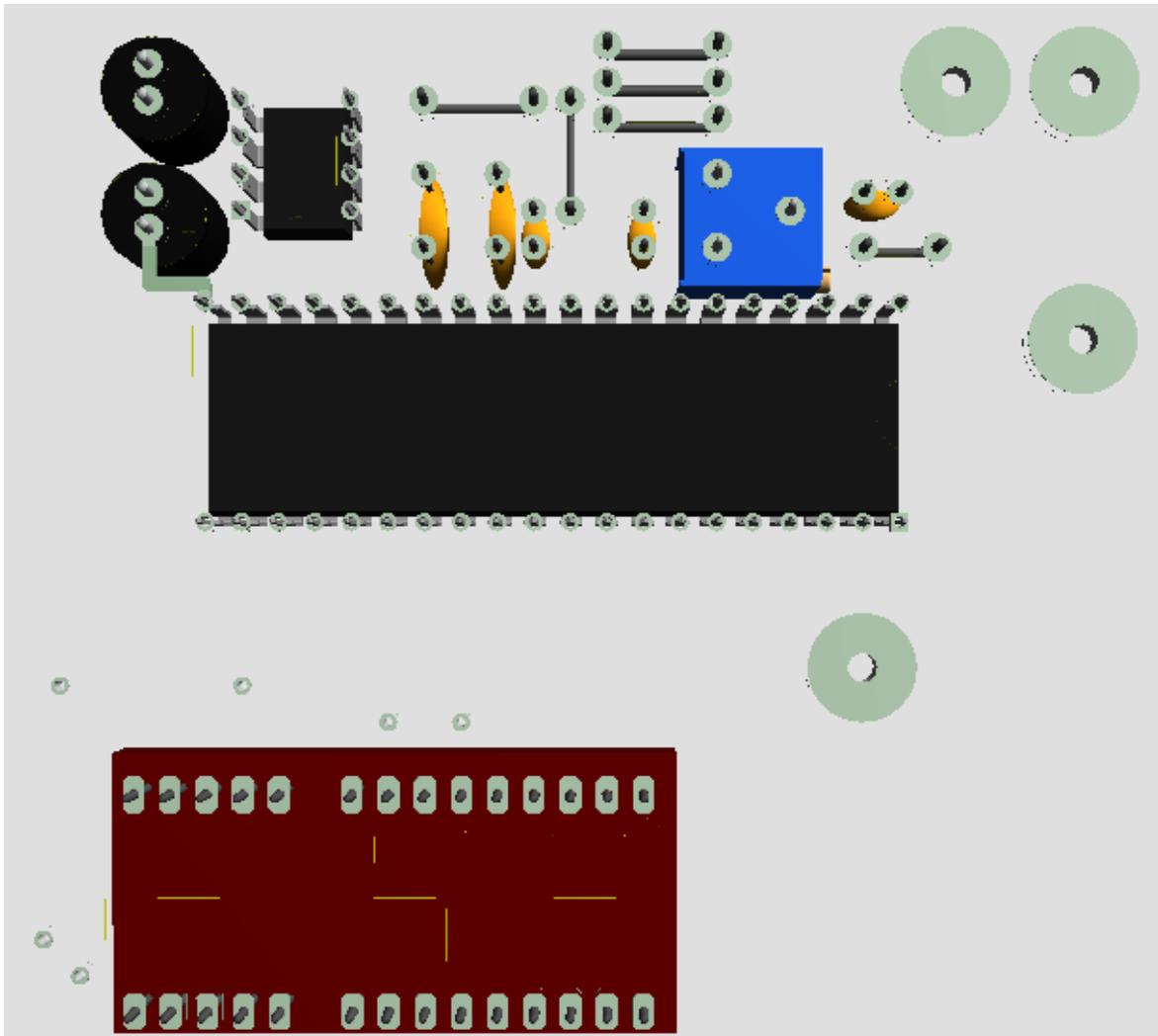
Tajeta de Multimetro Digital.



Circuito 2.13

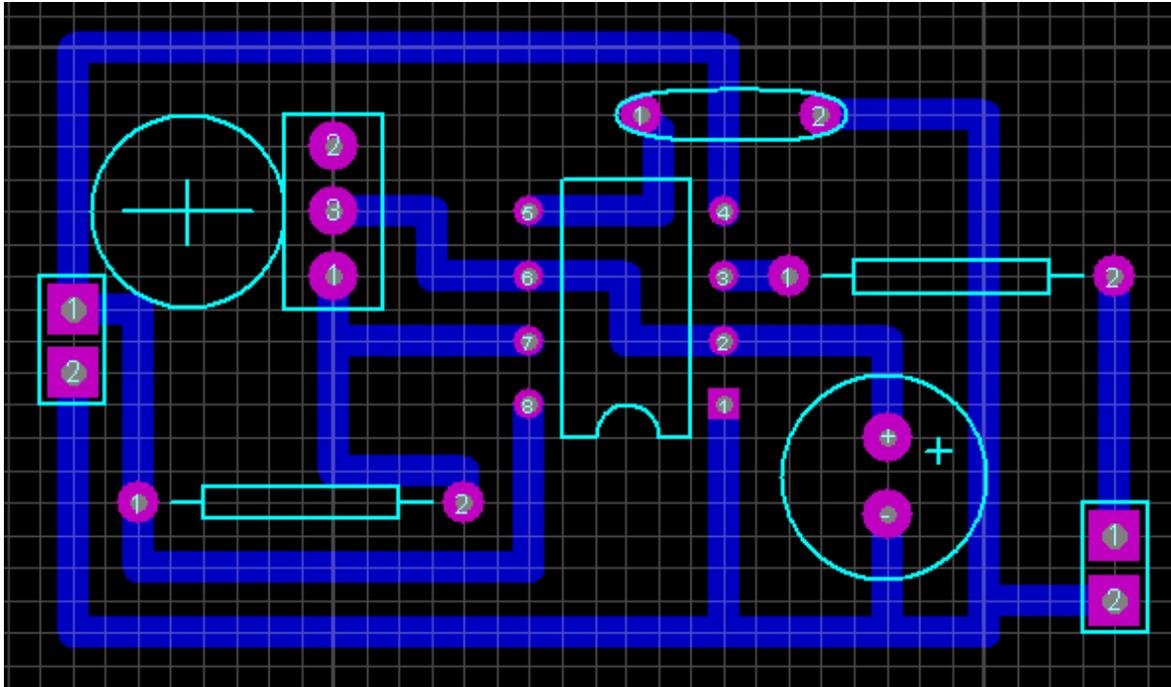


Circuito 2.14

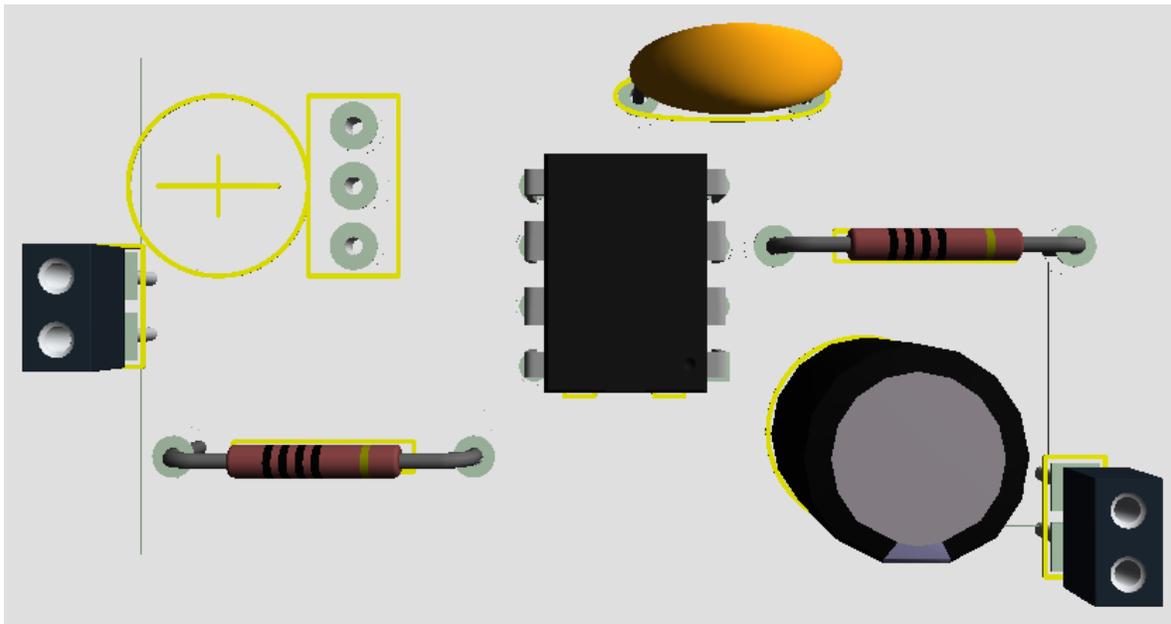


Circuito 2.15

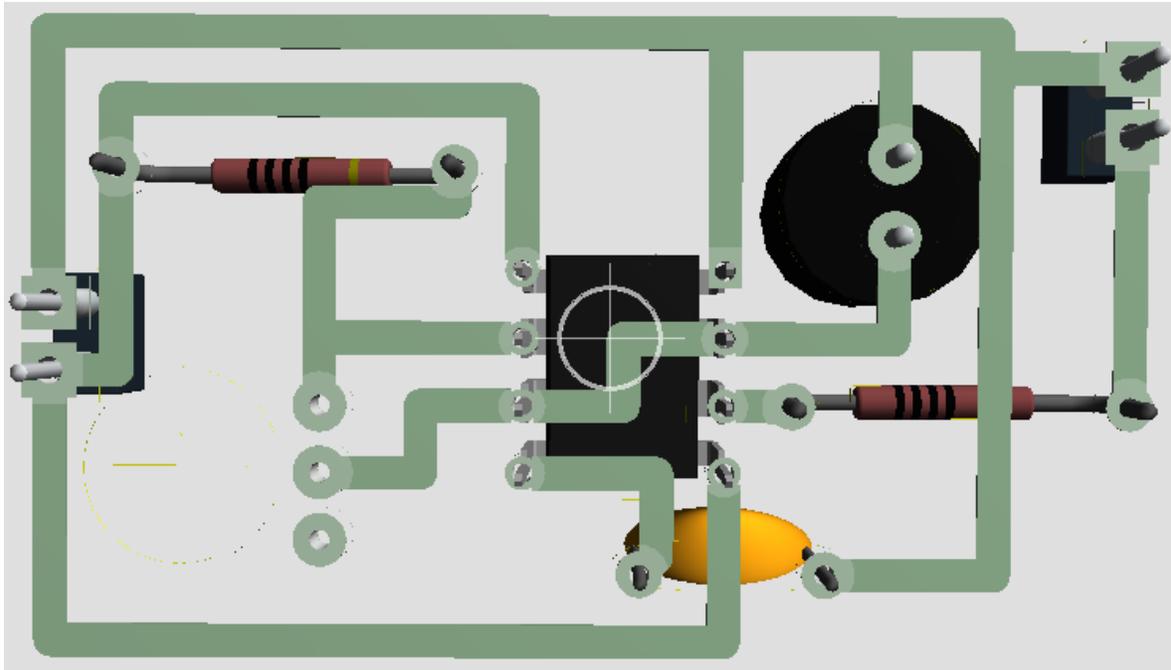
Tarjeta Generador de Pulsos.



Circuito 2.16

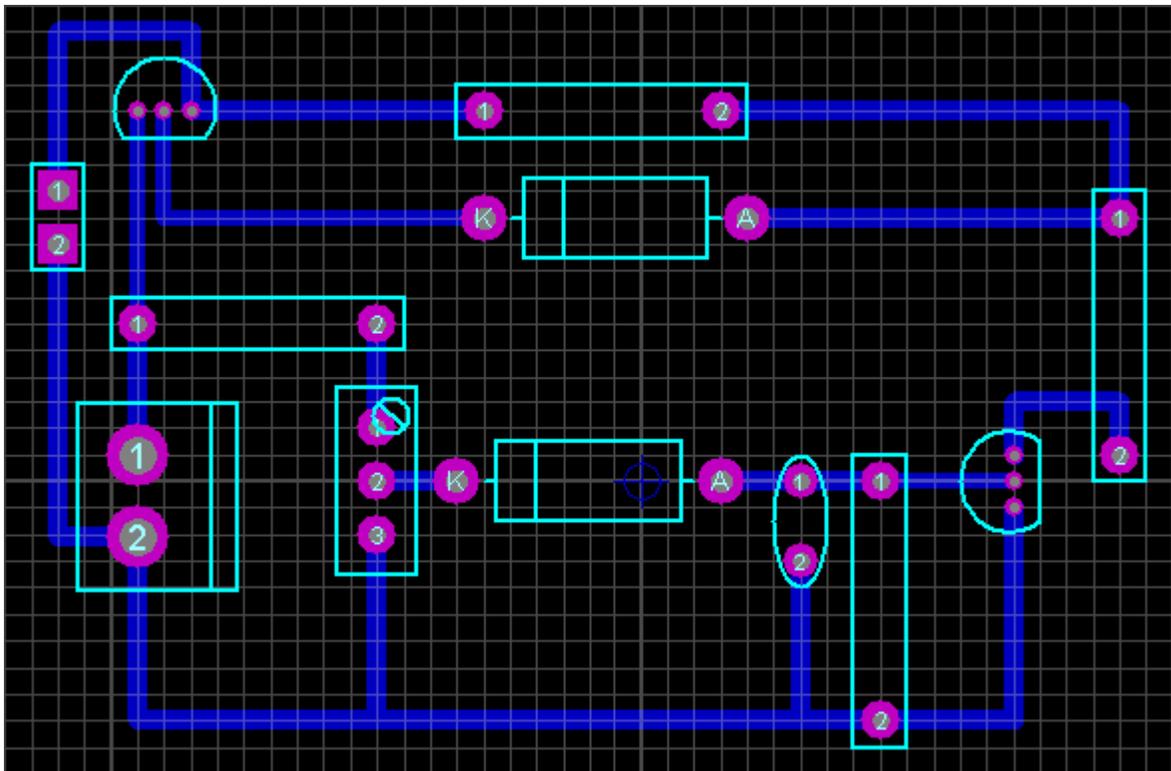


Circuito 2.17

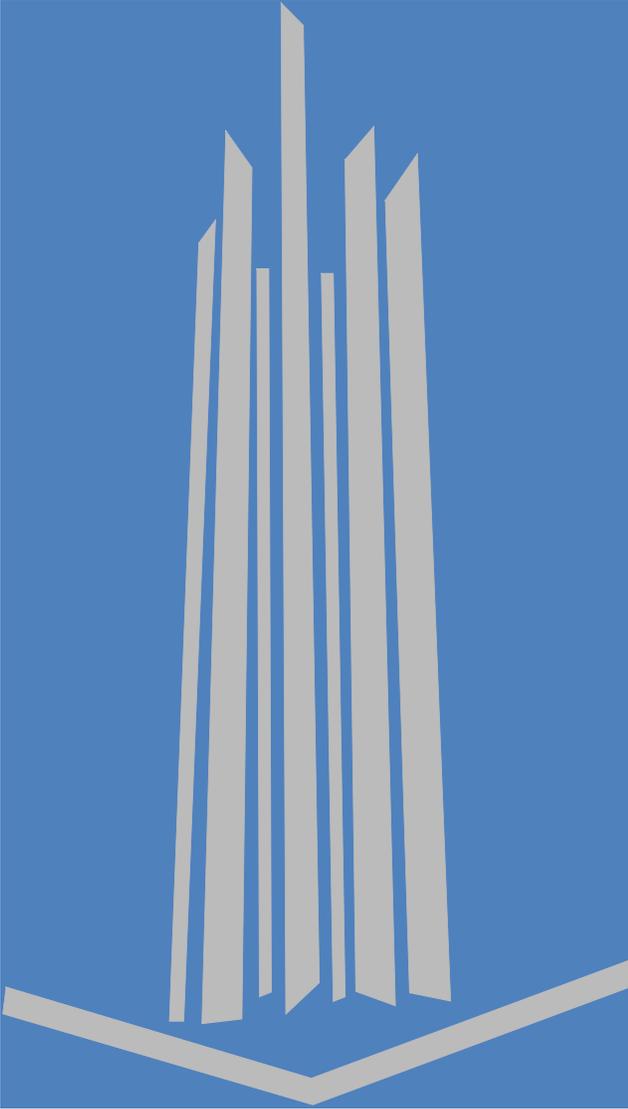


Circuito 2.18

Tarjeta Cargador de Bateria.



Circuito 2.19



Capítulo III

Prácticas

3.1 Electrónica Digital

La electrónica digital es una parte de la electrónica que se encarga de sistemas electrónicos en los cuales la información está codificada en dos únicos estados. A dichos estados se les puede llamar "verdadero" o "falso", o más comúnmente 1 y 0, refiriéndose a que en un circuito electrónico digital hay dos niveles de tensión. Electrónicamente se les asigna a cada uno un voltaje o rango de voltaje determinado, a los que se les denomina niveles lógicos, típicos en toda señal digital.”Se rige por los denominados, circuitos digitales o lógicos, llamados así porque trabajan con señales que pueden adoptar uno de dos valores posibles, alto o bajo. Puede definirse la electrónica digital como la parte de la electrónica que estudia los dispositivos, circuitos y sistemas digitales, binarios o lógicos”.²

En la electrónica digital existen elementos básicos que la constituyen, dichos elementos son compuertas estos dispositivos están estructurados internamente por partes muy básicas como lo son los diodos y los transistores y es a partir de estos de donde surgen los diferentes tipos de familias que existen o existieron. Esta particularidad permite que usando Álgebra de Boole y un sistema de numeración binario se puedan realizar complejas operaciones lógicas o aritméticas sobre las señales de entrada. En la electrónica digital se trabaja con el sistema binario, cuyos dígitos se denominan bits.

Estas compuertas vienen integradas en pequeñas pastillas de silicón conocidos como circuitos integrados C.I., o chips, los cuales tienen su denominación de acuerdo con el número de elementos que contienen por lo cual se definen de la siguiente manera.

SSI (pequeña escala de integración 1 a 10 elementos básicos).

MSI (mediana escala de integración 11 a 100).

LSI (alta escala de integración 101 a 1000).

VLSI (muy alta escala de integración 1001).

2. GONZÁLEZ, Felipe y otros. “Curso práctico de electrónica digital y circuitos integrados”. Volumen I. p10. Editado por CEKIT. S.A. Pereira.1994.

Un sistema digital es cualquier dispositivo destinado a la generación, transmisión, procesamiento o almacenamiento de señales digitales. También un sistema digital es una combinación de dispositivos diseñado para manipular cantidades físicas o información que estén representadas en forma digital; es decir, que sólo puedan tomar valores discretos. La mayoría de las veces estos dispositivos son electrónicos, pero también pueden ser mecánicos, magnéticos o neumáticos.

Para el análisis y la síntesis de sistemas digitales binarios se utiliza como herramienta el álgebra de Boole.

Es la herramienta fundamental de la electrónica digital, constituyendo su base matemática. El álgebra de Boole es un conjunto que consta de dos elementos **0** y **1** que no siempre representan números. Pueden ser:

0 ⇒ Falso ⇒ Apagado ⇒ No tensión ⇒ Interruptor abierto ⇒ etc.

1 ⇒ Verdadero ⇒ Encendido ⇒ Tensión ⇒ Interruptor cerrado ⇒ etc.

Operadores, postulados, propiedades, teoremas y leyes.

Tabla 3.1

Operadores		
Suma	$a + b$	Producto $a \cdot b$
		Complementación a' o \bar{a}

Postulados		
Existe un complementario	$a + \bar{a} = 1$	$a \cdot \bar{a} = 0$
Idempotencia	$a + a = a$	$a \cdot a = a$
Existe un elemento neutro	$a + 0 = a$	$a \cdot 1 = a$
Dominio del 0 y del 1	$a + 1 = 1$	$a \cdot 0 = 0$
Doble complementación	$\overline{\bar{a}} = a$	

Propiedades		
conmutativa	$a + b = b + a$	$a \cdot b = b \cdot a$
distributiva	$a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$	$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$
asociativa	$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c = a \cdot b \cdot c$	$a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$

Teoremas		
Absorción	$a + (a \cdot b) = a$	$a \cdot (a + b) = a$
Unicidad de	$a = 1 \xrightarrow{\text{será}} \bar{a} = 0$	$a \xrightarrow{\text{sólo}} \bar{a}$
complementario	$\bar{a} = 1 \xrightarrow{\text{será}} a = 0$	$\bar{a} \xrightarrow{\text{sólo}} a$
Dualidad	$a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b \equiv \overline{(\bar{a} + b) \cdot (a + \bar{b})}$	

Leyes de De Morgan	
$\overline{a \cdot b \cdot c \cdot d} = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \bar{d}$	$\overline{a + b + c + d} = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \cdot \bar{d}$

Tabla de Verdad

Es una relación ordenada donde se indican los términos canónicos que hacen verdadera la función. Se suele colocar en la primera columna el equivalente decimal del término, en la segunda columna los términos en binario y en la tercera se indican con 1 los que hacen verdadera la función y con 0 los que no.

Decimal	$a b c$	f
0	000	1
1	001	1
2	010	0
3	011	1
4	100	1
5	101	1
6	110	0
7	111	0

Tabla 3.2

Lógica Positiva y Lógica Negativa

Las variables lógicas sólo podrán tomar numéricamente los valores 0 y 1, pero eléctricamente estos dos valores vienen definidos por dos niveles de tensión bien distintos. Debido a como se asignen estos niveles de tensión pueden aparecer dos tipos de lógica: lógica positiva y lógica negativa.

Si al 1 lógico se le asigna un valor de tensión más positivo que al 0 lógico, como en los casos representados, la lógica es positiva.

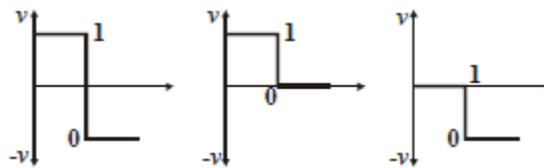


Figura 3.1

Si por el contrario el 1 lógico tiene un valor más negativo de tensión que el 0 lógico, la lógica es negativa.

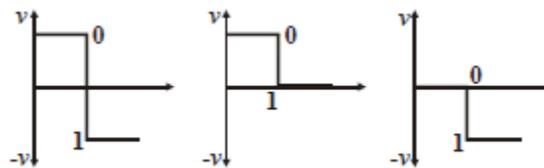


Figura 3.2

Representación de operadores lógicos

Eléctricamente las operaciones del álgebra de Boole son realizables por medio de interruptores. Un interruptor puede tener sólo dos estados: abierto y cerrado.

Podemos asignar el estado abierto al estado directo de la variable y el estado cerrado al estado complementado de la misma (o a la inversa).

No se utiliza la simbología de contactos para representar, en electrónica, las operaciones lógicas. Utilizamos otros símbolos, que reciben el nombre de puertas, con

formas diferentes para indicar el tipo de puerta en la simbología antigua y no estandarizada, y con igual forma, pero con indicaciones del tipo de puerta, en la simbología nueva y estandarizada según la norma IEC.

Las puertas indicadas son de dos entradas para que resulte más sencillo comprender su función. Existen puertas de mayor número de entradas.

El símbolo de complementación o inversión en la simbología antigua o americana, la inversión se indica con un círculo tanto en las entradas como en las salidas de los símbolos.

En la simbología IEC se pueden utilizar estos símbolos de inversión, pero se está extendiendo más la indicación con triángulos, tal como se ve en el símbolo de inversión dibujado posteriormente. Esta será la indicación de inversión utilizada para los símbolos IEC que utilicemos normalmente.

Tabla 3.3

	Operación suma	Operación producto	Operación inversión																																				
Función lógica	$f = a + b$	$f = a \cdot b$	$f = \bar{a}$																																				
Operador eléctrico																																							
Símbolos lógicos	 	 	 																																				
Tabla de verdad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	f	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	f	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	f	0	1	1	0
a	b	f																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
a	b	f																																					
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	1																																					
a	f																																						
0	1																																						
1	0																																						

	Operación suma NOR	Operación producto NAND																														
Función lógica	$S = \overline{a+b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$	$f = \overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$																														
Símbolos lógicos																																
Tabla de verdad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	f	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	f	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
a	b	f																														
0	0	1																														
0	1	0																														
1	0	0																														
1	1	0																														
a	b	f																														
0	0	1																														
0	1	1																														
1	0	1																														
1	1	0																														

Otros inversores con una puerta NOR o una puerta NAND podemos obtener inversores al conectar entre sí sus entradas, tal como se indica.

Tabla 3.4



	OR exclusiva, exclusión o EXOR	NOR exclusiva, equivalencia o EXNOR																														
Función lógica	$f = a \oplus b$	$S = \overline{a \oplus b}$																														
Operador eléctrico																																
Símbolos lógicos																																
Tabla de verdad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	f	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	f	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
a	b	f																														
0	0	0																														
0	1	1																														
1	0	1																														
1	1	0																														
a	b	f																														
0	0	1																														
0	1	0																														
1	0	0																														
1	1	1																														

Los sistemas digitales pueden ser de dos tipos:

Todos los circuitos digitales, por muy complejos que estos sean, están realizados con puertas lógicas. Podemos diferenciar entre unos que se denominan combinacionales y otros denominados secuenciales. Podemos decir, genéricamente, que los primeros no son función del tiempo y los segundos sí.

Circuito combinaciones aquel cuya salida sólo depende del estado que tengan las variables de entrada, cuando se actúa sobre él.

Sistemas digitales combinacionales: Son aquellos en los que la salida del sistema sólo depende de la entrada presente. Por lo tanto, no necesita módulos de memoria, ya que la salida no depende de entradas previas.

Circuito secuencial aquel cuya salida no sólo depende del estado de sus entradas sino también del estado que tenga su salida, al actuar sobre él.

Sistemas digitales secuenciales: La salida depende de la entrada actual y de las entradas anteriores. Esta clase de sistemas necesitan elementos de memoria que recojan la información de la 'historia pasada' del sistema.

Comparadores. Un circuito comparador, como su nombre indica, se encarga de comparar dos datos binarios, A y B, de igual número de bits, entregándonos en sus salidas la información del resultado de la comparación.

Nos puede dar tres informaciones, según la *salida* activada:

1. Si $A < B$
2. Si $A = B$
3. Si $A > B$

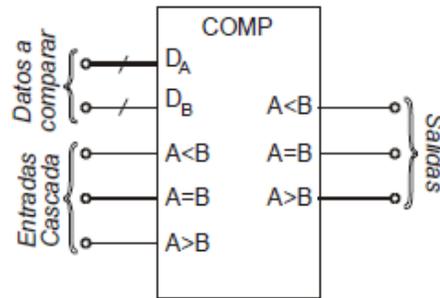


Figura 3.3

El símbolo genérico que podemos asociar a un comparador sería el indicado, donde en las entradas introducimos DA y DB, que son los datos a comparar. Las *entradas* en cascada, indicadas por $A < B$, $A = B$ y $A > B$, se utilizan para introducir la información proveniente de otro comparador, de forma que se puedan comparar datos de un número cualquiera de bits.

Representamos a continuación la tabla de verdad del comparador más simple, de un bit.

Entradas		Salidas		
A	B	$A < B$	$A = B$	$A > B$
0	0	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	1	0	1	0

Tabla 3.5

De la tabla podemos deducir los siguientes productos lógicos que nos producen indicación sobre la salida correspondiente:

- Para la salida $A < B$ se produce AB que se corresponde a una puerta AND.
- Para la salida $A = B$ se producen $AB + A\bar{B}$ que se corresponde a una puerta XNOR.

- Para la salida $A > B$ se produce \mathbf{AB} que se corresponde a una puerta AND.
- Con estas últimas indicaciones se pretende que se comprenda que cualquier circuito, ya sea combinaciones o secuencial, se realiza mediante puertas lógicas, como iremos viendo en los ejercicios.

Sumador Cuando es necesario sumar dos datos binarios, teniendo en cuenta el acarreo proveniente de una operación anterior, se utiliza un circuito denominado *sumador*. Sin embargo, si no es necesario tener en cuenta el acarreo de una operación anterior, se utiliza un circuito denominado *semisumador*. Las entradas al sumador serán los dos datos a sumar A y B y el acarreo anterior denominado C_0 ; las funciones de salida, la suma S y el acarreo C.

Se expone por simplicidad la tabla de un sumador de dos datos de 1 bit.

A	B	C_0	S	C_1
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

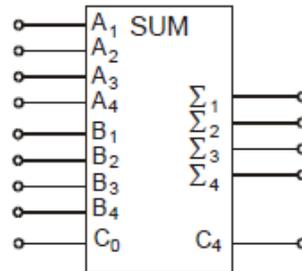


Tabla 3.6

En la figura de la derecha aparece el símbolo de un sumador de dos datos de cuatro bits.

Codificación, Decodificación y Transcodificación.

Codificar consiste en establecer una correspondencia entre una información primaria de cualquier tipo, normalmente decimal, y una información secundaria siempre en binario, es decir, partimos de una información de cualquier tipo y obtenemos una información binaria. Ejemplos, de decimal a binario o de hexadecimal a binario.

Decodificar es la operación contraria, es decir, partiendo de una información binaria obtenemos una información de otro tipo. Ejemplos, de binario a decimal o de binario a hexadecimal.

Transcodificar o convertir el código, es partir de una información no binaria a otra información no binaria. Ejemplos, de hexadecimal a decimal o de decimal a hexadecimal. A continuación se expone la tabla de verdad de un decodificador de decimal a binario.

DECIMAL (E)									BCD (S)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	C	B	A
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Tabla 3.7

De la tabla anterior obtenemos las funciones de salida:

$$A = E_8 + E_9$$

$$B = E_4 + E_5 + E_6 + E_7$$

$$C = E_2 + E_3 + E_8 + E_7$$

$$D = E_1 + E_3 + E_5 + E_7 + E_9$$

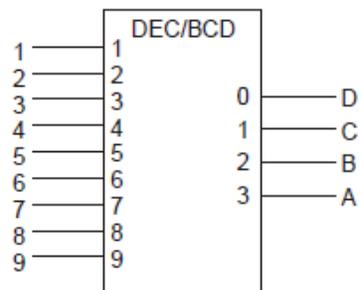


Figura 3.4

Realizables con puertas lógicas.

El símbolo normalizado para un tipo de codificador de decimal a binario es el dibujado.

Decodificadores. Son circuitos combinatoriales de varias entradas y varias salidas. Tienen un número n de entradas para 2^n salidas.

Con una combinación binaria de la entrada se selecciona una de sus salidas.

En los decodificadores las entradas suelen ser activas a nivel alto mientras las salidas se hacen activas por niveles bajos.

El símbolo de este tipo de circuito, para un caso de decodificador de binario a decimal, es el que se indica.

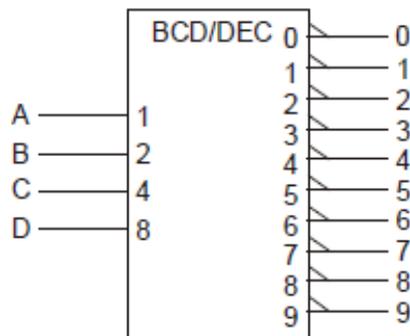


Figura 3.5

Su tabla de verdad.

N°	ENTRADAS				SALIDAS									
	D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
4	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
6	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
INVÁLIDAS	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 3.8

Multiplexores. Son circuitos en los que sus entradas de control seleccionan una entrada entre varias, para llevar la información de ésta a una única salida.

Para N líneas de entrada y n entradas de control la relación entre ellas es $N = 2^n$.

A la izquierda, representamos un esquema eléctrico de un multiplexor de cuatro entradas que nos ayuda a comprender el funcionamiento de estos circuitos. A la derecha, el símbolo normalizado de un multiplexor de ocho entradas.

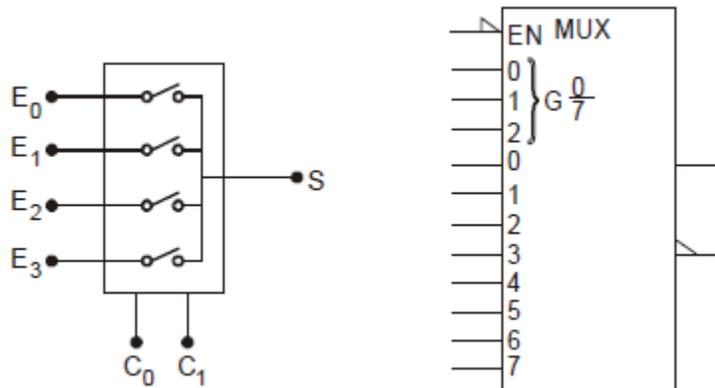


Figura 3.6

La tabla de verdad de un multiplexor de cuatro entradas es:

Entradas de control		Salida
C_1	C_0	S
0	0	E_0
0	1	E_1
1	0	E_2
1	1	E_3

Tabla 3.9

Demultiplexores. Son circuitos que, con sus entradas de control, seleccionan una línea de salida entre varias, para llevar la información de su única entrada a la salida seleccionada.

Los circuitos decodificadores comerciales realizan también la función de demultiplexado.

Circuitos secuenciales. Los circuitos lógicos reseñados hasta ahora los hemos denominado combinacionales porque sus salidas sólo dependían de los valores de sus entradas.

Sin embargo, en un circuito secuencial el estado de sus salidas depende del estado de sus entradas, pero también depende del estado interno del circuito y de la secuencia con que se introduzcan sus entradas.

Biestable. Un biestable es un circuito electrónico capaz de memorizar una información. Dicho de otra forma, capaz de posicionarse en un estado interno indefinidamente (estado estable), mientras no se actúe sobre él, entregándonos en su salida un nivel alto o bajo de información.

Tipos de biestable.

Los podemos clasificar según diversas características:

- Lógica de disparo: RS (Reset-Set), JK, D (Delay) y T (Toggle).
- Tipo de disparo: por nivel, flanco de subida o de bajada.
- Sincronismo de disparo: asíncronos y síncronos.

Un biestable asíncrono tiene poca utilidad o se utiliza en aplicaciones donde realiza una función individualizada. La mayoría de los biestables comercializados son síncronos o como tales forman un conjunto con una función muy específica, como contadores o registros.

Un biestable síncrono puede ser disparado de dos formas: por nivel o por flanco.

Un biestable, se dice, que es disparado por nivel si sólo es necesario que esté presente un valor característico (nivel lógico) de tensión en su entrada de reloj, para que al presentar un nivel lógico en su entrada de información el biestable se dispare.

Si para disparar el biestable es necesario que, estando presente la información, la entrada de reloj reciba un flanco ascendente o descendente con el cual se dispara, decimos que el biestable está disparado por flanco y en este caso suele recibir el nombre de biestable Edge-Triggered.

Los biestable suelen recibir también los nombres de básculas y flip-flop.

Biestable RS asíncrono con puertas NOR está formado por dos puertas NOR conectadas tal como se indica, y su símbolo normalizado es el representado.

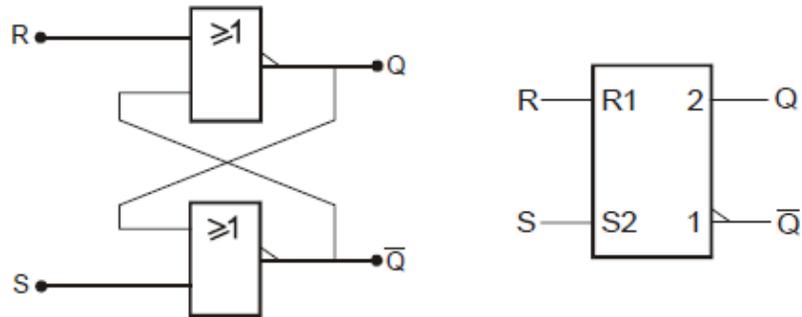


Figura 3.7

En las tablas que siguen, se puede observar los diferentes efectos de las entradas R y S sobre las salidas (Q_{t+1} y \bar{Q}_{t+1}), teniendo en cuenta el estado anterior de las mismas (Q_t y \bar{Q}_t).

S	R	Q_t	Q_{t+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	Ind.
1	1	1	Ind.

Tabla característica

S	R	Q_{t+1}
0	0	Q_t
1	0	1
0	1	0
1	1	Ind.

Tabla de transición o próximo estado

Q_t	Q_{t+1}	S	R
0	0	0	Ind.
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Ind.	0

Tabla de excitación

Tabla 3.10

Cualquiera que sea la combinación de las salidas, si las dos entradas se ponen a 0, las salidas no cambian. A este estado de las entradas, en el que se conserva el estado que tenían las salidas, se le denomina cerrojo (Latch), y es el principio del funcionamiento de estos circuitos como elementos de *memoria*.

Si las dos entradas se ponen a 1, las dos salidas se ponen a 0. Este último efecto nos produce un estado de indeterminación (Ind.), del que es necesario conocer su existencia para evitarlo.

Cualquiera que sea el estado de las salidas al poner S a 1, la salida Q_{t+1} pasa a 1 y la \bar{Q}_{t+1} a 0, denominamos este efecto puesta a 1 al poner la salida Q_{t+1} a 1.

Cualquiera que sea el estado de las salidas, al poner R a 1 la salida Q_{t+1} pasa a 0 y la \bar{Q}_{t+1} a 1, denominamos este efecto puesta a 0 al poner la salida Q_{t+1} a 0.

Cronogramas. Para completar el análisis de un bloque secuencial se utiliza una representación gráfica de todas las señales que se producen en sus entradas y salidas en función del tiempo.

Se dibujan sobre unos ejes horizontales las entradas de un bloque secuencial en función del tiempo, indicando cómo evolucionan las salidas para una determinada combinación de las entradas y salidas. Para el biestable con puertas NOR sería el indicado.

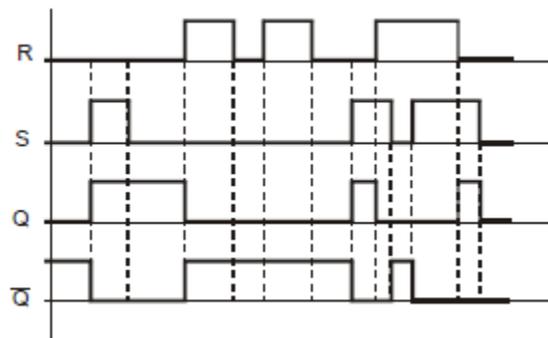


Figura 3.8

Biestable RS asíncrono con puertas NAND.

El esquema del biestable R-S con puertas NAND es el indicado.

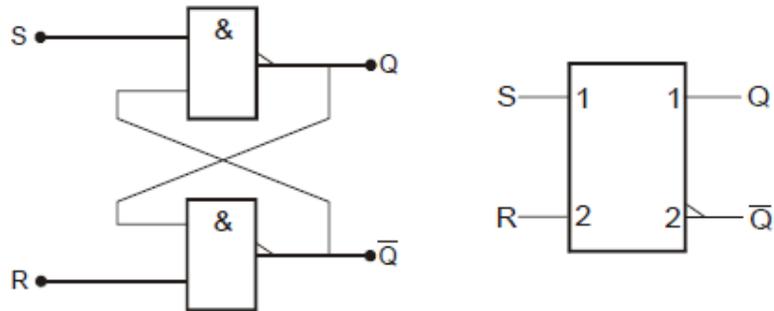


Figura 3.9

Sus tablas.

S	R	Q_t	Q_{t+1}
0	0	0	Ind.
0	0	1	Ind.
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Tabla característica

S	R	Q_{t+1}
0	0	Ind.
1	0	0
0	1	1
1	1	Q_t

Tabla de transición o próximo estado

Q_t	Q_{t+1}	S	R
0	0	1	Ind.
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Ind.	1

Tabla de excitación

Tabla 3.11

En las tablas de estados se indican las diferencias con el biestable de puertas NOR, indicadas también en el cronograma.

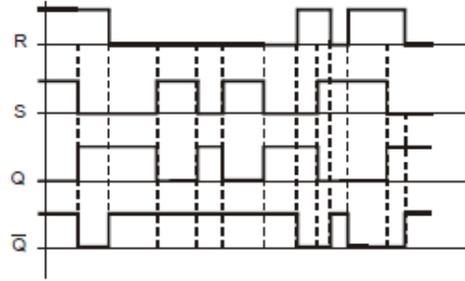
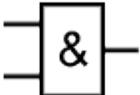
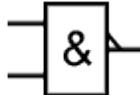
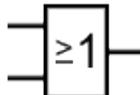
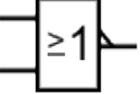
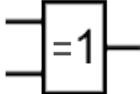
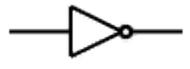
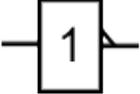
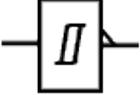
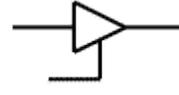


Figura 3.10

Tabla 3.12
Puertas logicas

	Puerta AND		Puerta AND
	Puerta NAND		Puerta NAND
	Puerta OR		Puerta OR
	Puerta NOR		Puerta NOR
	Puerta O exclusiva		Puerta O exclusiva
	Puerta Y exclusiva		Puerta triestado
	Realiza funciones AND y NAND		Realiza funciones OR y NOR
	Inversor		Inversor
	Diferencial		Inversor schmitt
	Buffer		Buffer triestado
	Buffer negado		Driver

3.2 Circuitos básicos.

Practica.-Generador de Pulsos.

OBJETIVO:

Conocerá los componentes, el circuito, el armado y funcionamiento del generador, para su manejo y control del pulso, dependiendo las necesidades del proyecto que lo requiera.

Material:

1 resistencia (Ra) de $10k\Omega$.

1 resistencia (R1) de 330Ω .

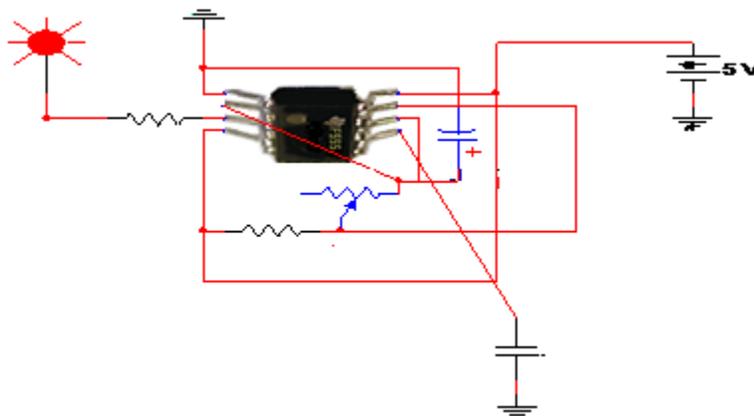
1 potenciómetro (Rb) de $1m\Omega$, $50k\Omega$, $20k\Omega$, $5k\Omega$. Uno de cada uno.

1 capacitor de $0.01\ \mu\text{f}$.

1 capacitor electrolítico de $100\ \mu\text{f}$, $22\ \mu\text{f}$, $10\ \mu\text{f}$, $4.7\ \mu\text{f}$, $0.47\ \mu\text{f}$. uno de cada uno.

1 Led.

1.- Armar el circuito siguiente.



Circuito 3.1

2.-Se cambian los potenciómetros uno por uno del mayor al menor, se pone a funcionar el circuito y se giran, vea el comportamiento del led y anote los resultados.

3.- Cambie los capacitores electrolíticos uno por uno del mayor al menor, se pone a funcionar el circuito, vea el comportamiento del led y anote los resultados.

Practica.- Nivel de Liquido.

OBJETIVO:

Ver el funcionamiento de las puertas lógicas AND, OR, NOT, NAND Y NOR.

Material

1 C.I 7408

1 C.I 7432

1 C.I 7404

3 resistencias de 330Ω

3 led, verde, naranja, rojo. Uno de cada uno.

1 dip sw de más de 4 estados.

1 generador de pulsos

1.- Enunciado. Se necesitan instalar un panel de control que visualice y señalice tres niveles de llenado:

- **Nivel 1:** Detección al 50 % y con señalización óptica de color verde.
- **Nivel 2:** Detección al 75 % y con señalización óptica de color naranja.
- **Nivel 3:** Detección al 100 % y con señalización óptica de color rojo y salida de alarma.

El sistema debe señalar y acumular los niveles que se vayan activando, produciendo una alarma cuando los tres niveles se encuentren activados, ejecutándose seguidamente la apertura de las compuertas. Tabla de verdad.

SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1

Tabla 3.13

Ecuaciones lógicas de salida a partir de la tabla de verdad, por el método de Karnaugh.

El Nivel 1 (50 %).

	0 0	0 1	1 1	1 0
0	0	0	1	1
1	0	0	1	0

$$\text{Nivel 1} = S1 \cdot S3 + S1 \cdot S2; \text{ Sacando factor común de } S1 \text{ obtenemos: } S1 (S2 + S3)$$

El Nivel 2 (75 %).

	0 0	0 1	1 1	1 0
0	0	0	1	0
1	0	0	1	0

$$\text{Nivel 2} = S1 \cdot S2;$$

El Nivel 3 (100 %)

	0 0	0 1	1 1	1 0
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0

$$\text{Nivel 3} = S1 \cdot S2 \cdot S3;$$

Ecuaciones obtenidas.

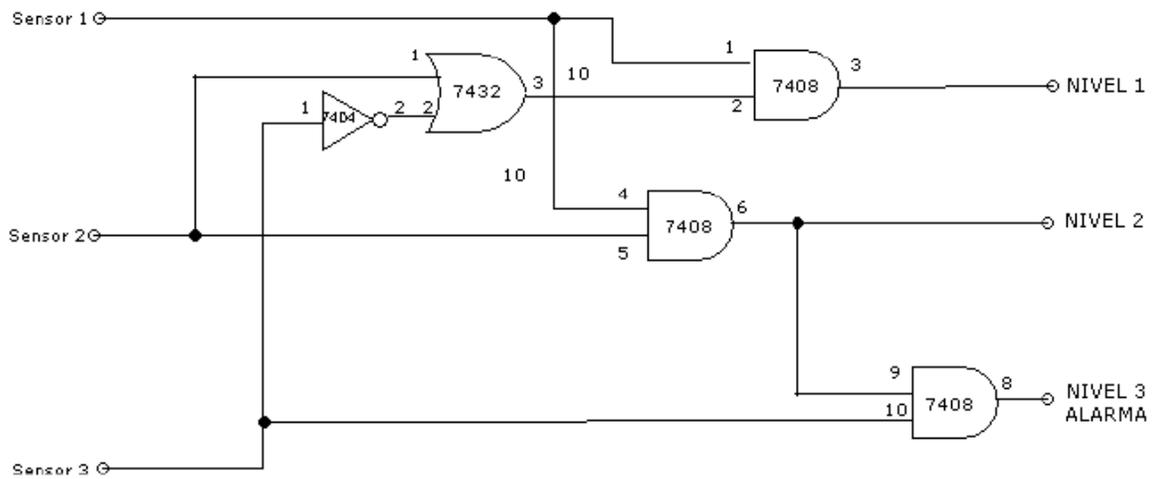


Figura 3.11

Armar el circuito obtenido.

2.- Hacer funcionar el circuito y verificar el correcto funcionamiento.

3.2 Circuitos Secuenciales

Practica.- Cerradura.

Objetivo:

Conocer los elementos de los circuitos combinacionales.

Material.

1 7408

1 7432

1 7476

1 74151

1 generador de pulsoso

1 dip sw de 4 estados o más

3 leds

1 micro sw normalmente cerrado

1.-Enunciado. Diseñar una cerradura de seguridad que cumpla las siguientes condiciones:
La cerradura responderá solamente a una clave numérica inalterable en su orden, y será: 1, 3, 7. El operador que cometa un error al marcar la clave, precisará marcar el número anterior del errado en la clave.

Al no poseer el teclado digital, sustuiremos este por tres interruptores (SW1, SW2 y SW3). Los números de la clave decimal serán formados en binario.

Diagrama de flujo.

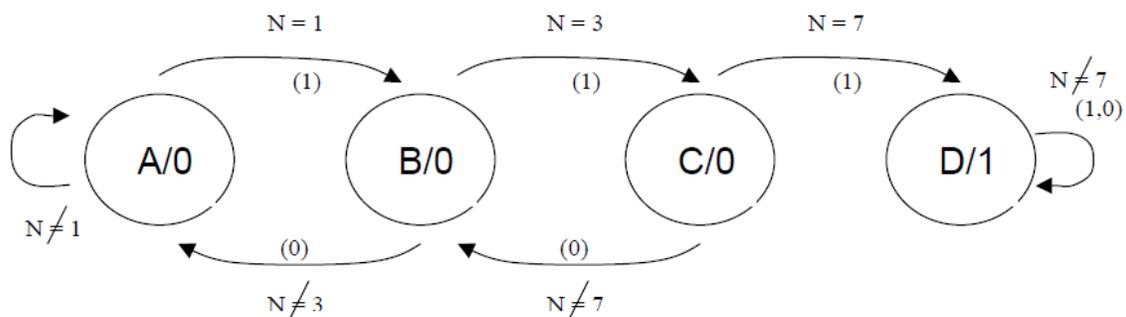


Figura 3.12

Clasificación de estados y número de biestables. Existen 4 estados N que son: (A, B, C y D).

El número de biestables será:

$$2^{n-1} \leq N \leq 2^n$$

$$2^1 \leq 4 \leq 2^2$$

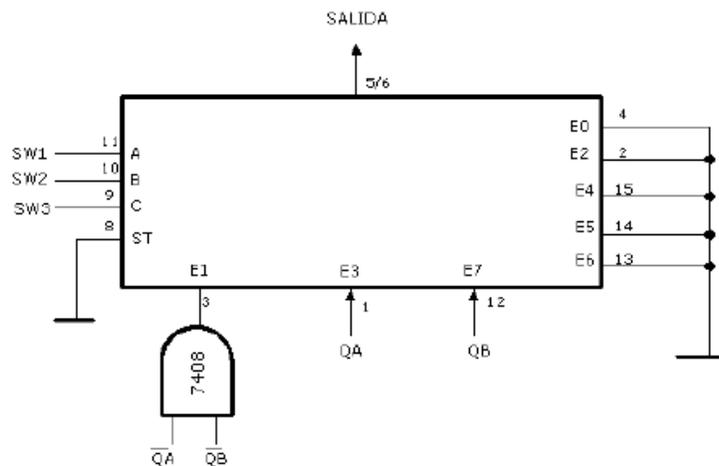
n = 2 Biestables

Circuito formador del código binario.

PESOS ASIGNADOS	2^0	2^1	2^2	
INTERRUPTORES	SW1	SW2	SW3	Clave decimal
	1	0	0	1
	1	1	0	3
	1	1	1	7

Tabla 3.12

Para formar la clave usaremos el multiplexor **TTL 74151** de 8 bits.



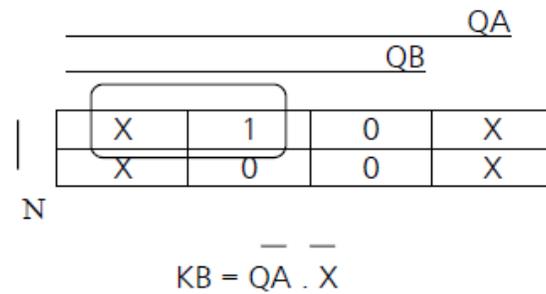
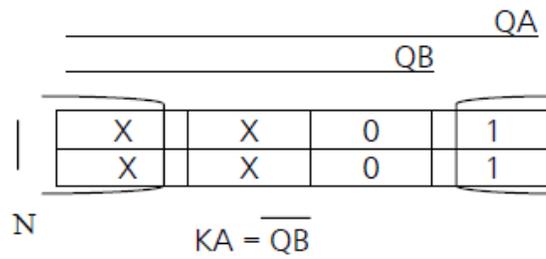
$$SALIDA = SW1 \cdot \overline{SW2} \cdot \overline{SW3} \cdot E1 + SW1 \cdot SW2 \cdot \overline{SW3} \cdot E3 + SW1 \cdot SW2 \cdot SW3 \cdot E7$$

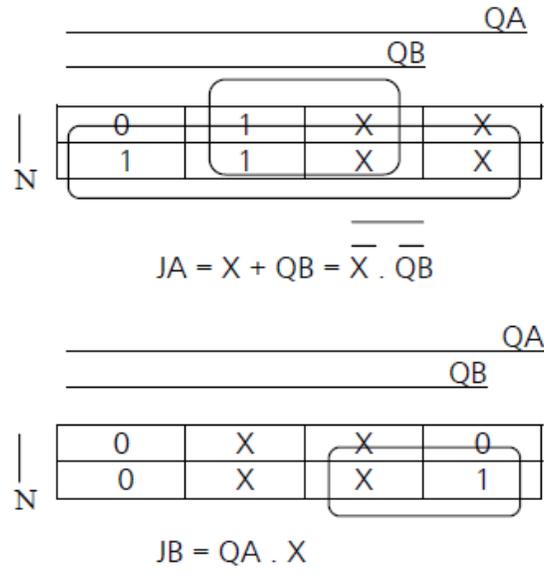
Figura 3.13

Tabla de Transiciones.

ENTRADA	ESTADO (T)		SALIDA	ESTADO (T+1)		VALORES DE ENTRADA BIESTABLES			
	QB	QA		QB	QA	JB	KB	JA	KA
0	0	0	0	0	0	0	X	0	X
1	0	0	0	0	1	0	X	1	X
0	0	1	0	0	0	0	X	X	1
1	0	1	0	1	0	1	X	X	1
0	1	0	0	0	1	X	1	1	X
1	1	0	1	1	1	X	0	1	X
0	1	1	1	1	1	X	0	X	0
1	1	1	1	1	1	X	0	X	0

Tabla 3.13





Implementación del circuito de una cerradura de alta seguridad, utilizando puertas AND, OR, biestables J-K y un multiplexor de 8 vías.

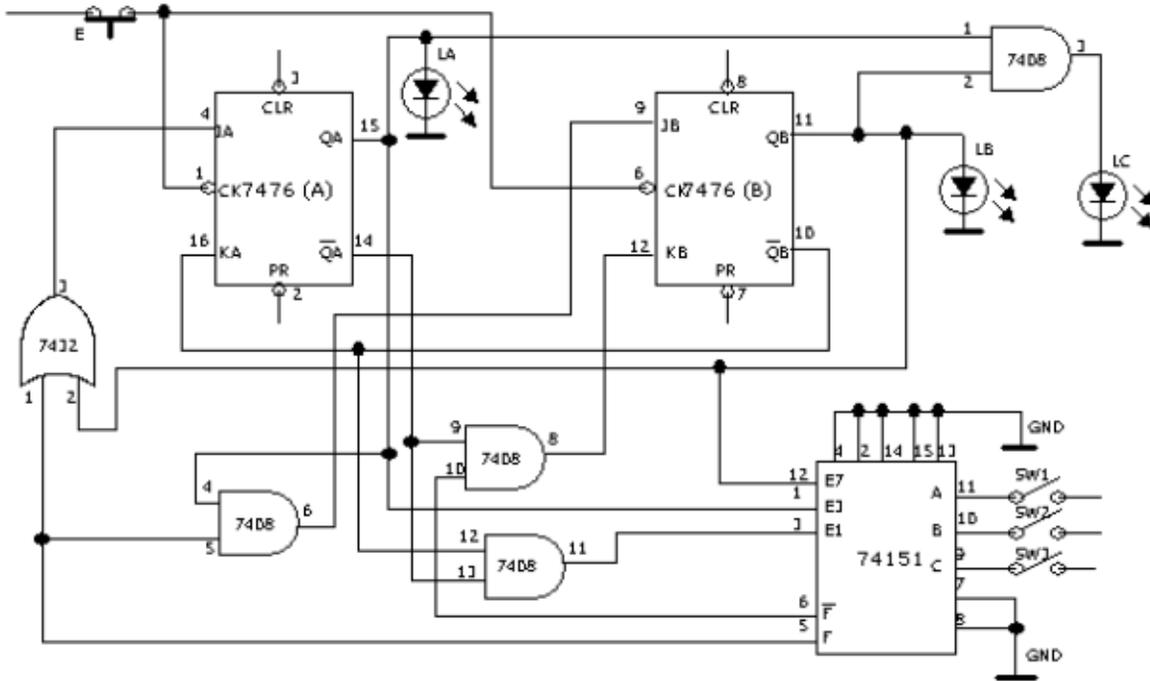


Figura 3.14

2.- Verificar el correcto funcionamiento. Se deberá seleccionar con los interruptores SW1 (A), SW2 (B) y SW3 (C) la clave 1, 3,7. El primer dígito de la clave en decimal es el 1 que

en binario será SW1 en alto y SW2, SW3 en bajo, luego pulsará el interruptor Enable (E). De forma semejante actuará para cada uno de los restantes dígitos de la clave (3,7).

Practica.- Sistema despachador de monedas de máquina.

Objetivo:

Verificar el funcionamiento del despachador usando los conocimientos adquiridos.

Material

1 74LS283

1 74LS193

2 74LS175

2 74LS112

1 74LS85

2 74LS32

2 74LS10

1 74LS08

1 7404

2 74LS00

11 Leds

1 generador de pulsos

2 dip sw de 4 o más estados

1.- El diagrama de flujo del combinacional.

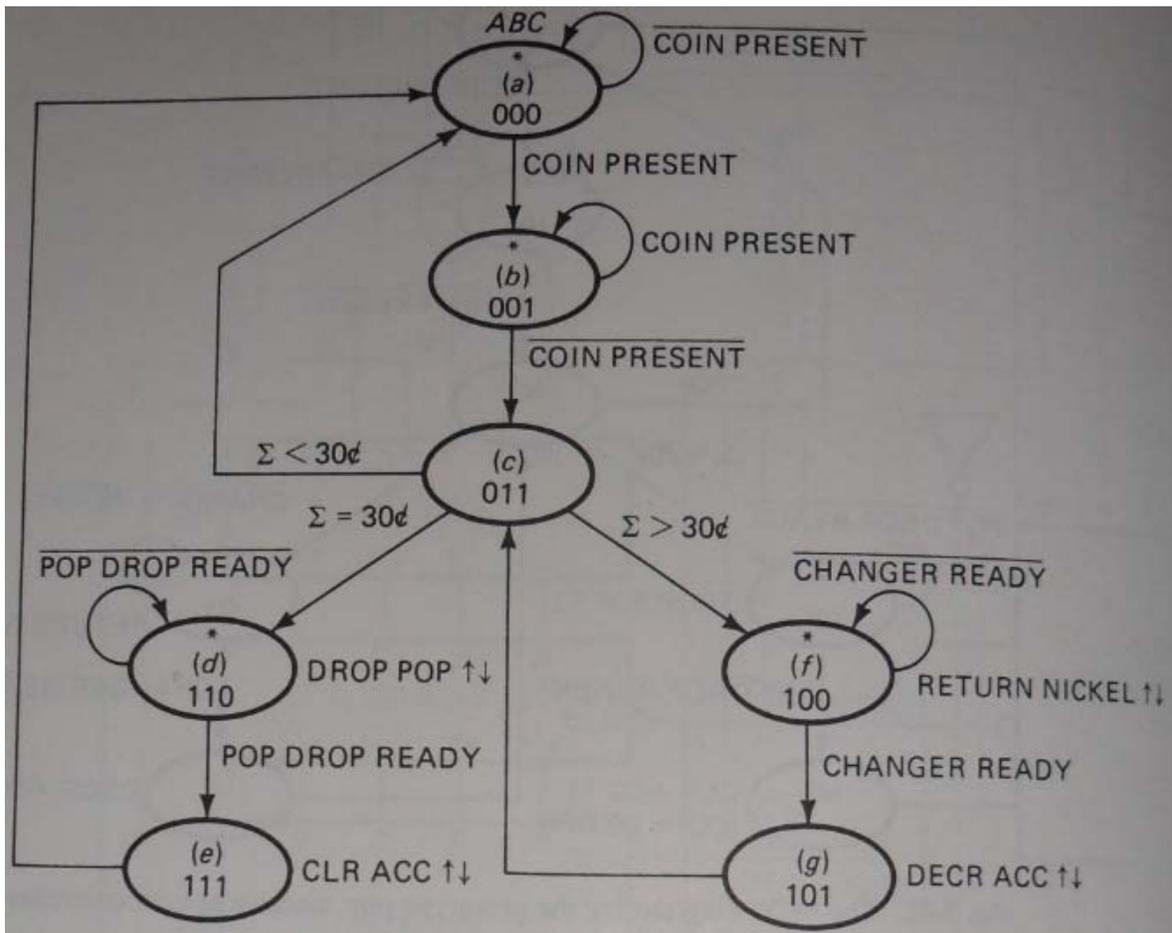


Figura 3.15

Mapas de Karnaugh.

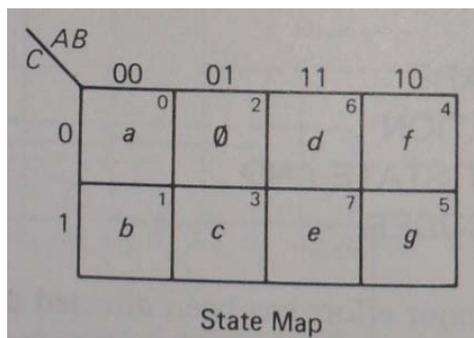


Figura 3.16

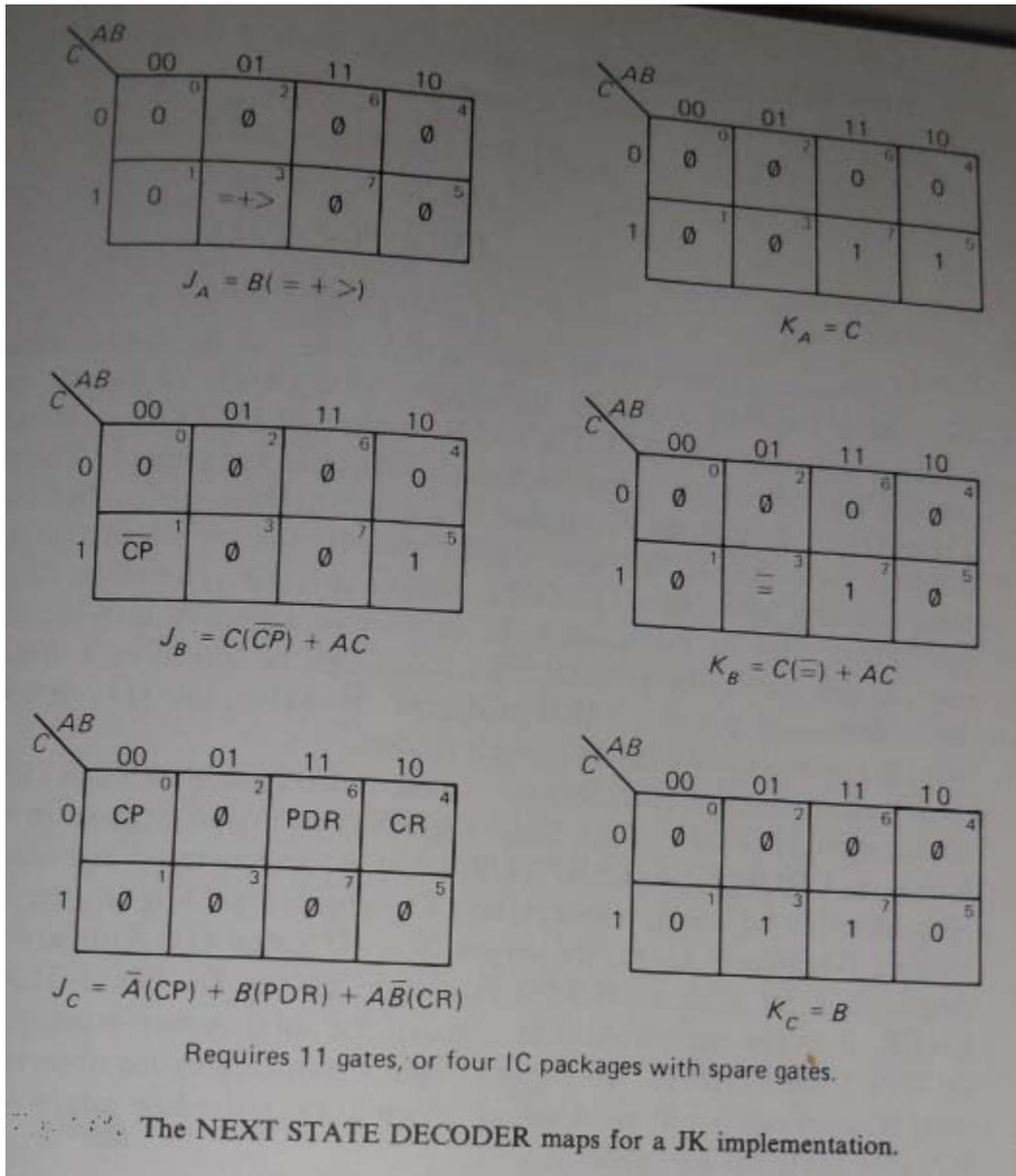


Figura 3.17

Ecuaciones obtenidas.

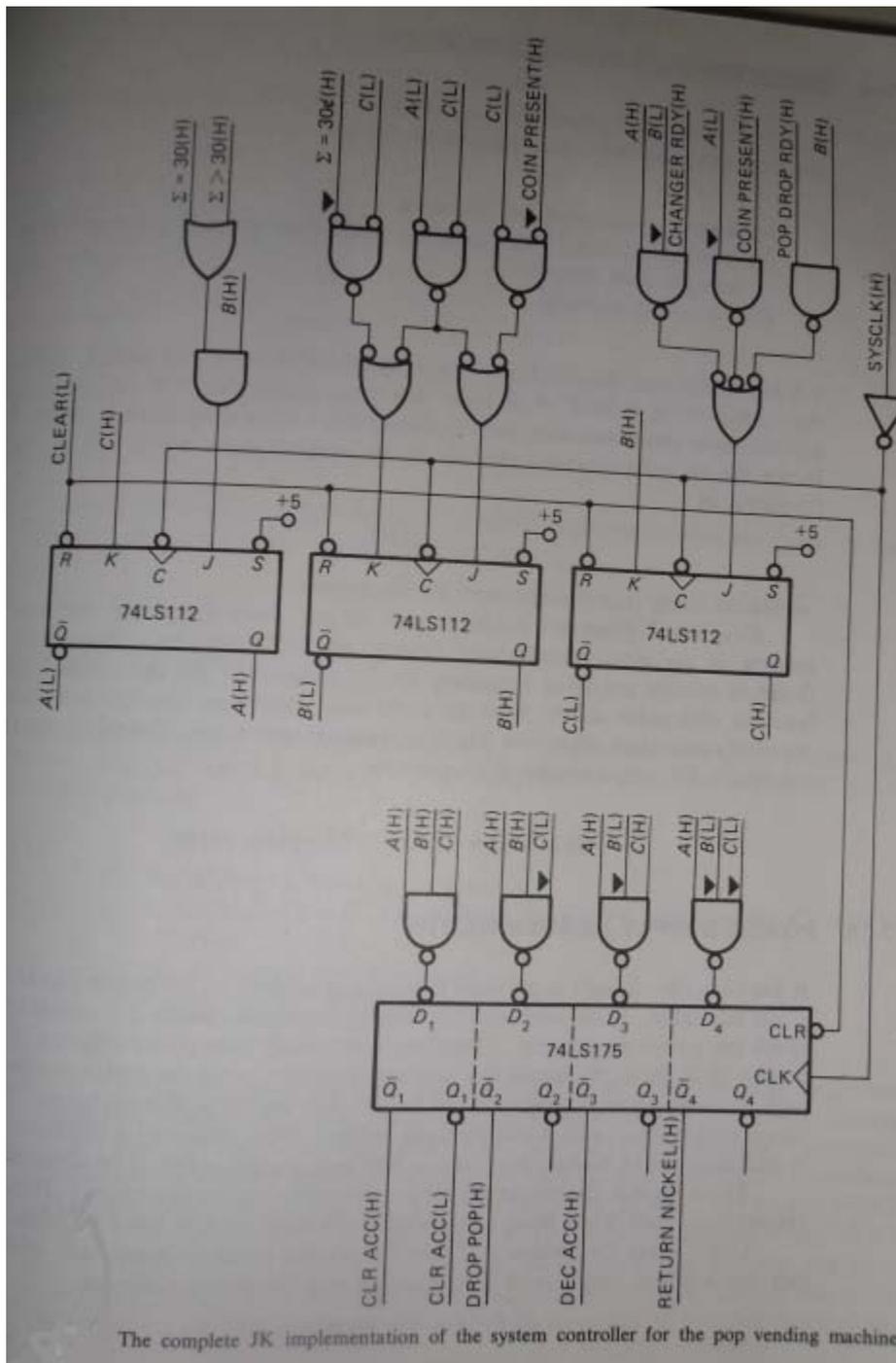


Figura 3.18

2.-Armar el circuito (se recomienda armarlo en casa). Y verificar el proceso de cuando es mayor, menor o igual.

3.4 Circuito para Motor a Pasos

Practica.-motor a pasos.

Objetivo:

Se podrá controlar un motor a pasos bipolar hacia adelante y hacia atrás con un sw.
Y comprender el funcionamiento digital del motor a pasos.

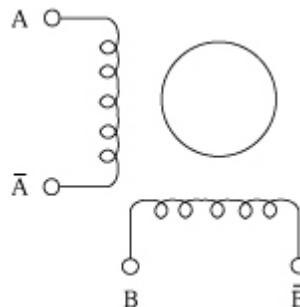
Material

- 1 MOTORES a pasos 17pm-mo11-o8v
- 1 generador de pulsos
- 1 ST4017
- 4 STA404A (puente h)
- 2 sw
- 1 capacitor electrolítico de 10 μ f, y de 0.47 μ f

1.- Armar el circuito de la fig 1.1.

Tabla de conexión del motor a pasos.

- Bipolar



- Bipolar

Dual

step	A	B	\bar{A}	\bar{B}
1	+	+	-	-
2	-	+	+	-
3	-	-	+	+
4	+	-	-	+

↓ CW Rotation

2.- Hacerlo funcionar y mover los sw uno en apagado y otro el encendido y ver el movimiento del motor. Cambiar los sw de posición y ver el giro contrario.

3.-mover el potenciómetro del generador de pulsos y checar el torque del motor. Verificando la interacción entre velocidad y torque.

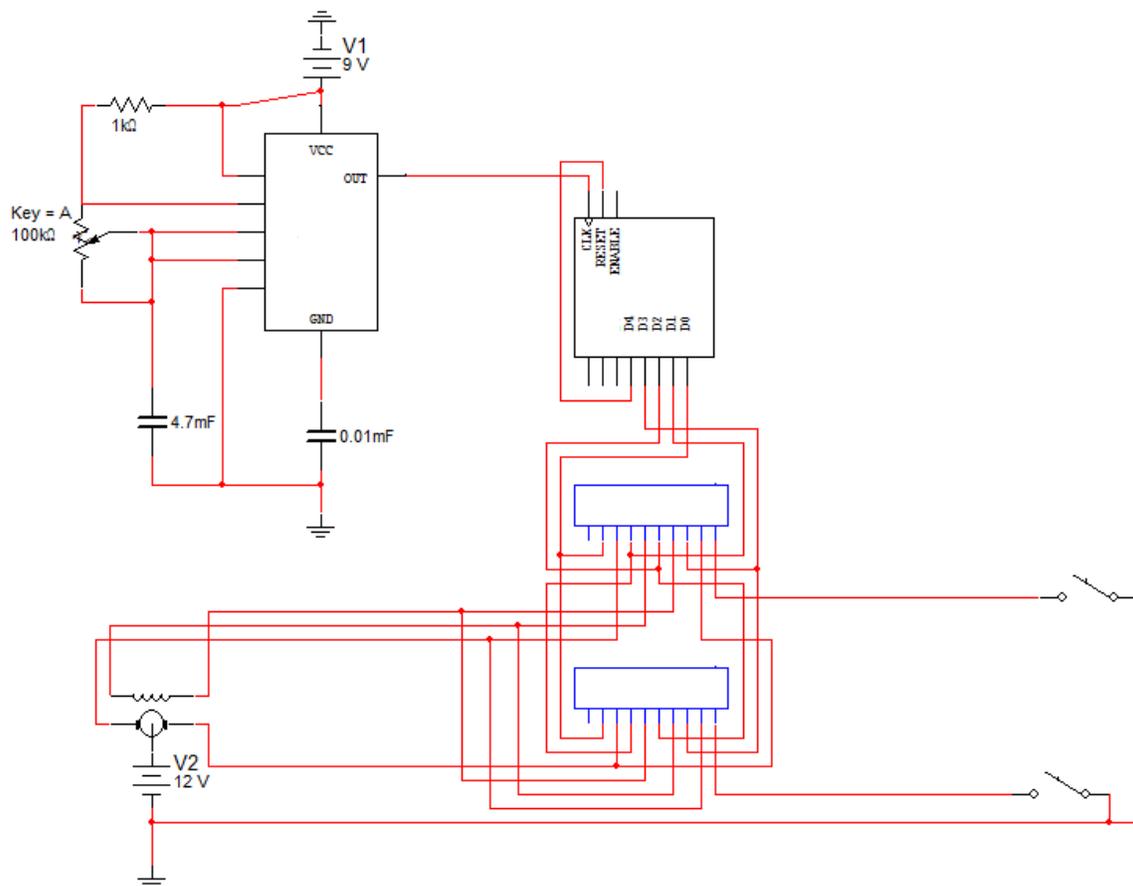


Figura 3.19

Conclusiones

El haber realizado este trabajo nos dejó la satisfacción de haber hecho un proyecto que les permita a los alumnos de futuras generaciones de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica el tener la habilidad de realizar un proyecto de electrónica fácil y que les será de gran utilidad a lo largo de la carrera como material de apoyo en la realización y prueba de los circuitos que tendrá que realizar a lo largo de esta.

La experiencia adquirida en la realización de esta fuente de poder también le permitirá al alumno tener la posibilidad de adquirir conocimientos al poder cambiar los componentes de la fuente de poder si se llegara a producir un desperfecto al haberse provocado un corto o una sobrecarga a consecuencia de haber polarizado mal o en el caso de que un elemento de un circuito está dañado. También le permitirá a los alumnos poder extender sus conocimientos en la realización de las prácticas de laboratorio puesto que si se le llegara a presentar alguna duda en la realización del reporte final con respecto a los resultados obtenidos puede fácilmente volver a realizar la práctica en la comodidad de su casa al contar con los componentes necesarios para armar el circuito en cuestión así como con una fuente de poder confiable que le garantice que los resultados que obtenga serán confiables.

Otra anécdota que nos dejó el haber realizado este proyecto fue que sin saberlo nos fue de gran utilidad en el ámbito laboral puesto que nos proporcionó la posibilidad de hacer pruebas a componentes electrónicos de seguridad que a veces por la complejidad de los circuitos dependiendo el proyecto en el cual nos encontrábamos laborando nos fue más fácil hacer las pruebas dividiendo por módulos las diferentes áreas que comprendían los sistemas de seguridad los cuales en su mayoría eran componentes sencillos como relevadores, compuertas, comparadores y amplificadores que en su mayoría eran operacionales.

Por último a través de la práctica el alumno complementará el objetivo de su curso de Electrónica, el cual es analizar circuitos electrónicos básicos, considerando el modelado y las limitaciones de los dispositivos, para comprender el funcionamiento de los sistemas electrónicos y sus aplicaciones siendo este un apoyo didáctico al poder ser comprobado por el alumno el desarrollo y funcionamiento de esta fuente de alimentación.

Bibliografía

Alan B. Marcovitz. “Diseño Digital”. Ed. Mc-Graw Hill. México 2005. 2ª edición.

Albert Malvino. “Principios de Electronica “. Ed. Mc-Graw Hill. México 2007. 7ª edición.

Ángel Zetina – Zetina. “Electrónica Básica”. Ed. Limusa. México 2000. 1ª edición.

Boylestad Robert L. “Electrónica: Teoría de circuitos”. Ed. Prentice Hall. México 1997. 6a edición.

Carlson A. Bruce. “Circuitos, Ingeniería, conceptos y análisis de circuitos eléctricos lineales”. Ed. Thomson Learning. México 2001. 1ª edición.

Comer David. “Diseño de circuitos electrónicos”. Ed. Limusa Wiley. México 2005. 1ª edición.

Donald L. Schilling – Charles Belove. “Circuitos Electrónicos - Discretos E Integrados”. Ed. Publicaciones Marcombo. México 1985. 2ª edición.

Enriquez Harper. “Maquinas Eléctricas”. Ed. Limusa. México 2005. 1ª edición.

Gustavo A. Ruiz Robredo. “Electrónica Básica Para Ingenieros”. Ed. Universidad de Cantabria, España 2001. 1ª edición.

Joseph A. Edminister. “Circuitos Electrónicos. – Teoria y 50 problemas resueltos”. Ed. Mc-Graw Hill. Mexico 1969. 4ª edición.

Joseph E. Edminister. “Circuitos Electrónicos”. Ed. Mc-Graw Hill. México 1994. 1ª edición.

Rashid Muhammad H. "Circuitos Microelectrónicas Análisis y Diseño". Ed. Thompson. México 2000. 1ª edición.

Shilling D.L., Belove C. "Circuitos electrónicos discretos e integrados". Ed. Reverte. Barcelona 1985. 1ª edición

Stanley W. D. "Electronic Devices: Circuits and Applications". Ed. Prentice Hall, USA 1989. 1ª edición.

GONZÁLEZ, Felipe y otros. "Curso práctico de electrónica digital y circuitos integrados". Volumen I. p10. Editado por CEKIT. S.A. Pereira. 1994. 1ª edición.

(CODETEL) Antecedentes Históricos de la Electrónica

Sitio Web: <http://www.solociencia.com/electronica/electronica-antecedentes.htm>
16/06/2010. 22:45

(Electrónica Estudio) Simbología Electrónica

Sitio Web: <http://www.electronicaestudio.com/simbologia.htm>. 9/9/2010. 23:16

CIDETEC IPN, México 2008. Juan Carlos Herrera Lozada.

http://www.cidetec.ipn.mx/profesores/jcrls/doctos/aplic_cidetec.pdf 09/12/2010 1:37

<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/historia.htm> 14 /11/2010. 10:16

Video historia de la electrónica. Grupo de sistemas digitales ITESI

<http://www.youtube.com/watch?v=XbV8GIIdZO6Q> 13/11/2010 10:06

<http://www.informatica-hoy.com.ar/historia-de-la-computadora/Historia-de-la-computadora-1614-1956.php>

14/11/20010. 11:30

<http://www.redcientifica.com/doc/doc200212170001.html> 15/11/ 2010. 1:06

<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php> 17/11/2010. 13:55

Hojas de especificaciones de los dispositivos electrónicos usados

- www.alldatasheet.com
- www.onsemi.com
- Manuales de fabricantes de Motorola, Texas Instruments, National Semiconductor, Fairchild Semiconductor Corp.

Software que puede ser utilizado para la simulación de los circuitos

- Multisim 11
- Poteus