



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

FUENTES CONMUTADAS Y ESTUDIO DE FUENTE ATX

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
ELECTRONICA

Alumnos:

Cristóbal Ignacio Obrist Tagle.

Profesor Guía:

Profesor Ricardo Vera González

AGOSTO, 2018

*“Se delinea el fruto del peral en los rostros que
palidecen ante la llegada de lo inevitable.
Para mis compañeros... Para nosotros.”*

Resumen.

En el presente documento, se presentará un estudio general de las fuentes conmutadas con el fin de obtener conocimientos útiles para su posterior aplicación en el estudio físico de una fuente real y lograr un análisis detallado de la misma y sus partes que lo componen, teniendo este último como objetivo principal. Es por esto, que el trabajo se divide en dos capítulos que abarcan dos puntos importantes, el ESTUDIO TEÓRICO y el ANALISIS PRÁCTICO.

En la primera parte, se obtiene el conocimiento necesario para poder entender la fuente conmutada como elemento transformador de energía y conocer ciertas configuraciones circuitales típicas utilizadas en este tipo de convertidores. En la segunda parte, se aplican los conocimientos adquiridos, obteniendo un análisis de un dispositivo real e identificando en las etapas en las que se transforma la energía y su configuración de trabajo.

En el primer capítulo, se apreciará el PRINCIPIO DE LA FUENTE CONMUTADA, explicando conceptualmente su tarea, haciendo énfasis a lo largo de esta en sus etapas por medio de un diagrama en bloque y explicando cada una de ellas de una forma clara. En este capítulo también se hace el estudio a los CONVERTIDORES DC/DC como etapa principal dentro de la fuente conmutada y los tipos de CONVERSORES AISLADOS Y NO AISLADOS.

En el segundo capítulo se realizará el análisis de la FUENTE CONMUTADA ATX, elemento necesario para el suministro energético de los dispositivos electrónicos que componen el PC o computador de escritorio, explicando detalladamente tanto su composición como su función. Luego, se presentará el dispositivo utilizado en el análisis físico, utilizando el conocimiento adquirido en el capítulo anterior para explicar su composición circuital y la función de esta dividido en etapas, las cuales se basarán intrínsecamente en la misma, mostrando un diagrama en bloque, el diagrama circuital y la división de este para explicar las distintas etapas del circuito. Finalmente, se mencionarán las actividades prácticas y modificaciones realizadas en la fuente como MAQUETA, las cuales permitieron las pruebas y mediciones que se requirieron para lograr explicar las etapas, el comportamiento y el conjunto circuital de la misma.

Índice de contenido.

INTRODUCCIÓN..... 1

OBJETIVOS..... 2

Objetivos específicos. 2

Objetivos generales. 2

CAPÍTULO I: FUENTES CONMUTADAS..... 3

1.1 PRINCIPIO DE LA FUENTE CONMUTADA. 3

1.1.1 En que consiste la fuente conmutada. 3

1.1.2 Ventajas y desventajas. 4

1.1.3 Diagrama en bloque general. 7

1.1.3.1 Primera etapa, de rectificación y filtrado 8

1.1.3.2 Segunda etapa, elemento de control o conmutación..... 8

1.1.3.3 Tercera etapa, transformación 9

1.1.3.4 Cuarta etapa, malla LC 9

1.1.3.5 Quinta etapa, Lazo de control..... 9

1.2 CONVERTIDOR DC/DC..... 10

1.3 CONVERSORES NO AISLADOS..... 17

1.3.1 Introducción a los convertidores básicos no aislados. 17

1.3.2 Circuito Conversor Básico Reductor. 18

1.3.3 Conversor Elevador..... 21

1.3.4 Conversor Flyback (Buck/Boost)..... 24

1.4 CONVERSORES AISLADOS. 26

1.4.1 Introducción a los convertidores galvánicamente aislados..... 26

1.4.2 Conversor Medio Puente..... 27

1.4.3 Conversor Puente Completo. 28

1.4.4 Conversor Push-Pull. 29

CAPÍTULO II: ANÁLISIS FUENTE ATX 31

2.1 INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES ATX. 31

2.2 QUE ES LA FUENTE CONMUTADA ATX..... 32

2.2.1 Descripción general..... 32

2.2.2 Diferencias entre AT y ATX..... 33

2.2.3 Conectores y cables de salida..... 34

2.2.3.2 Conector ATX Molex P4 35

2.2.3.3 Conector Molex 4pin..... 36

2.2.3.4 Conector de alimentación Serial-ATA	36
2.2.3.5 Conector Berg, Floppy Drive.....	36
2.3 FUENTE ATX CON LA QUE SE TRABAJARÁ.....	37
2.3.1 Fuente PM-230W.....	37
2.3.2 Diagrama en bloque fuente ATX MaxUs PM-230W.	38
2.3.3 Descripción general de etapas en diagrama en bloque.	39
2.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.	40
2.4.1 Diagrama circuital con etapas identificadas.....	41
2.4.2 Etapas identificadas físicamente en la fuente.	42
2.4.3 Etapas en detalle.....	43
2.4.3.1 A- Filtros de línea	43
2.4.3.2 B- Etapa de rectificado y divisor de tensión	45
2.4.3.3 C- Etapa Auto osciladora, transformador 3 y sus salidas	47
2.4.3.4 D- Circuito de control.....	50
2.4.3.5 E- Protección y encendido	54
2.4.3.6 F- Transistores drivers y “T2”	56
2.4.3.7 G- Conmutación de potencia	58
2.4.3.8 H- Rectificadores de salida.....	60
2.4.3.9 I- Filtros de salida.....	62
2.5 MAQUETA.....	64
2.5.1 Implementación.....	64
2.5.2 Lista de cambios de la fuente original.	64
2.5.3 Ejercicios prácticos.	66
CONCLUSIÓN.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
FUENTE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS.....	72

Índice de tablas e ilustraciones.

1-1	Tabla comparativa entre la fuente lineal y la fuente conmutada.	5
1-2	Tabla comparativa entre la fuente lineal y la fuente conmutada. (Continuación)	6
1-3	Diagrama en bloque fuente conmutada.	7
1-4	Circuito conversor no aislado.	10
1-5	Señal modulada por ancho de pulso.	11
1-6	Circuito modulador ancho de pulso (PWM).	12
1-7	Fuente de corriente constante.	12
1-8	Circuito montado en una protoboard.	13
1-9	Voltaje salida amplificador operacional.	13
1-10	Gráfico de voltaje y corriente en una carga resistiva pura.	14
1-11	Mapa conceptual circuitos conversores.	16
1-12	Diagrama en bloque conversor no aislado o “básico”.	17
1-13	Diagrama circuito “Buck”.	18
1-14	Diagrama circuito elevador.	21
1-15	Diagrama circuito “Buck/Boost”.	24
1-16	Diagrama en bloque conversores aislados.	26
1-17	Diagrama circuito conversor medio puente.	27
1-18	Circuito puente completo.	28
1-19	Esquema de conversor Push-Pull.	29
1-20	Señales de polarización para Q1 y Q2.	30
2-1	Referencia de Fuente ATX.	32
2-2	Imagen de Fuente ATX (Izquierda) y fuente AT (Derecha).	33
2-3	Conectores de salida fuente ATX.	34
2-4	Fuente ATX MaxUs PM-230W.	37
2-5	Diagrama en bloque de Fuente ATX MaxUs PM-230W.	38
2-6	Diagrama circuital de la fuente ATX MaxUs PM-230W con etapas identificadas por sección y colores.	41
2-7	Fotografía de la PCB desmontada junto a sus componentes.	42
2-8	Mapeado del PCB con etapas marcadas.	42
2-9	Diagrama filtro de línea fuente ATX Pm-230W.	43
2-10	Filtro de línea instalado.	44
2-11	Etapas rectificadora fuente ATX.	45
2-12	Carga y descarga de C2.	46
2-13	Etapas auto oscilatoria fuente ATX modelo “MaxUS PM-230w”.	47
2-14	Tensión en los puntos C y GND primario T3.	47

2-15 Tensión en los puntos A y B primario T3. _____	48
2-16 Salida T3 punto A' con GND. _____	48
2-17 Salida T3 punto B' con GND. _____	49
2-18 Estructura interna circuito integrado TL494/KA7500B. _____	50
2-19 CI en diagrama Circuital. _____	52
2-20 KA7500B antes del remplazo. _____	53
2-21 TL494 Instalado en la fuente. _____	53
2-22 Etapa de protección y encendido. _____	54
2-23 Etapa de control y "T2". _____	56
2-24 Conmutación "Q3" y "Q4". _____	57
2-25 Etapa de conmutación de potencia. _____	58
2-26 Señal alterna en primario de "T1". _____	59
2-27 Etapa "H" de rectificación. _____	60
2-28 Punto "C" y "D" c/respecto a GND 24v Peak. _____	61
2-29 Punto "A" y "B" c/respecto a GND 31v Peak. _____	61
2-30 Etapa de filtros de salida. _____	62
2-31 Distribución de pines. _____	64
2-32 Maqueta vista trasera. _____	65
2-33 Maqueta vista frontal. _____	65
2-34 Tabla de valores entregadas por el fabricante. _____	66
2-35 Mediciones realizadas en la línea de +12V en vacío. _____	66
2-36 Tabla de valores resistivos conectados con sus tensiones y corrientes medidas. ____	67

Introducción.

Los avances en el campo de la electrónica, sin duda, han sido de los más significativos en cuanto estilo de vida refiere. Y así como se van simplificando las tareas con ayuda de esta herramienta, inversamente proporcional, el desarrollo de estos instrumentos se vuelve extremadamente complejo y meticuloso.

Sin embargo, las estructuras elementales del funcionamiento óptimo siempre van a requerir que el circuito sea alimentado de energía para que este pueda efectuar su trabajo de manera íntegra. Y aun que, a través de los años, la manera de proporcionarla ha ido variando, el concepto sigue siendo el mismo.

Así queda demostrado con la utilización de las fuentes conmutadas, conocidas también como fuentes switching, que como el nombre lo sugiere, son fuentes que trabajan en conmutación, idea que se irá reforzando en el desarrollo del informe, modulando el ancho de pulso de una señal cuadrada para obtener distintos valores de voltaje dependiendo de la configuración de sus componentes claves.

Esta clase de fuentes, a diferencia de su homologo, la fuente lineal, posee ventajas significativas en cuanto a eficiencia, tamaño y durabilidad. Ya que no disiparían la cantidad de potencia de las fuentes lineales gracias a su modo de funcionamiento, que fue posible por el arduo estudio efectuado en los años 80, donde se buscaba maneras alternativas de alimentación. Sumado a lo anterior hubo un paulatino abaratamiento de la electrónica, que le dio una posición mucho más favorecida que su predecesor.

Hoy en día podemos encontrarnos con este tipo de alimentación en bastos objetos electrónicos, identificando fuentes de una complejidad elevada, o que sencillamente constan de unos cuantos componentes, dejando claro que la versatilidad es una característica que le juega a favor a la hora de suministrar energía. El ejemplo más claro en dónde se pueden encontrar estas fuentes con una capacidad de potencia relativamente alta y con una completa circuitería, son en las fuentes de computador personal, fuentes denominadas ATX ("Advanced Technology eXtended") que, mediante distintas configuraciones, son capaces de entregar distintos valores de voltaje, que posteriormente serán aprovechados por la placa madre.

Objetivos.

El propósito de este informe es entregar información clara y organizada del modo de funcionamiento de las fuentes conmutadas, explicando los distintos conversores y principios de operación de estos, para que de esta manera se logre obtener una noción para el posterior análisis de una fuente conmutada ATX, dónde se detallarán y explicarán la correlación de las etapas que constituyen a esta en base al estudio del diagrama circuital, tomando captura de señales en puntos claves que ayudarán a la comprensión de la manera que tiene esta, en transformar la tensión de la red domiciliaria en tensiones continuas por medio de la configuración de los elementos discretos.

Objetivos específicos.

- A raíz del estudio de las características de las fuentes conmutadas, concretar un análisis de funcionamiento por etapas de una fuente ATX en específico, logrando capturas de señales y explicación correlativa de estas.

Objetivos generales.

- Comprensión del comportamiento de los distintos conversores
- Lectura e interpretación de un diagrama circuital mixto.
- Elaboración de maqueta explicativa con la fuente ATX.

CAPÍTULO I: FUENTES CONMUTADAS.

1.1 Principio de la fuente conmutada.

1.1.1 En que consiste la fuente conmutada.

Una fuente que opera por conmutación consta principalmente de un componente que abrirá y cerrará el paso de corriente continua, por lo general, se ocupa un transistor de potencia (IGBT), un mosfet o un tiristor, que irá alternando en corte y saturación a una frecuencia superior a los 30KHz. De esta manera, y dependiendo de la velocidad de apertura y cierre, se conseguirá distintos valores medios de tensión continua, con ayuda de una malla LC (bobina y condensador), que serán configuradas de acuerdo con las características que se estime para la tensión de salida.

Las distintas etapas de este tipo fuente, juegan un rol fundamental a la hora de conseguir un voltaje estabilizado y regulado, inclusive si se llegase a tener anomalías en la tensión de entrada. Etapas que trabajaran las señales gracias a sus componentes indispensables, como es la bobina, condensadores electrolíticos y de poliéster, diodos de conmutación rápida (Schottky), y transformadores de núcleos de ferrita, que se encargará de aislar etapas de control con las de potencia y también de disminuir la amplitud del voltaje entregado en la salida de la etapa de rectificación (aproximadamente 300 V continuos).

A grandes rasgos, las fuentes conmutadas pueden ser clasificadas en tres tipos.

- Alimentación CA, salida CC:
Ejemplo: fuente de alimentación de PC
- Alimentación CA, salida CA:.
Ejemplo: variador de frecuencia, conversor de frecuencia.
- Alimentación CC, salida CA:
Ejemplo: generar 220V a 50Hz proveniente de una batería de 12V.

1.1.2 Ventajas y desventajas.

Como se había mencionado anteriormente, estas fuentes poseen una posición indiscutiblemente mejor valorada que las fuentes de tensión convencionales, debido a que cumplen ciertas características que, si se pone en comparación, se podrá ver que la cantidad de ventajas solapan hasta cierto punto a las desventajas.

Sin embargo, si se pone atención en sus desventajas, se encontrarán inconvenientes, que podrían dar una segunda opinión al querer adquirir estas fuentes en un entorno industrial o doméstico.

Por esta razón, es necesario saber el trabajo que se efectuará con estas fuentes, ya sea la potencia, voltajes, presupuesto y no menos importante, saber si habrá alguna repercusión en el lugar dónde se instale, debido al alto ruido eléctrico que se introduce en la red y las radio frecuencias generadas por la alta conmutación.

A continuación, se presentará una tabla comparativa entre la fuente lineal y la conmutada, dónde se podrá analizar de manera específica las distintas cualidades e inconvenientes de cada uno frente a distintos tópicos.

Característica	Fuente lineal	Fuente conmutada
Tamaño y peso	Debido a las altas tensiones y bajas frecuencias (50-60Hz), posee componentes más grandes y pesados, en el caso de los transformadores, estos poseen un núcleo metálico y un tamaño considerable, pesando fácilmente 10 kilos la fuente en su totalidad.	Estas, al trabajar en altas frecuencias (30KHz-1MHz) y baja tensión en sus etapas de control, requieren transformadores y componentes discretos de reducido tamaño, peso y constitución. Destaca sobre todo su transformador, de reducido tamaño y peso debido a su núcleo de ferrita.
Voltajes de salida	Estas fuentes solo pueden reducir la tensión de entrada, ya que las etapas previas a la salida se encargan de reducir la tensión por medio de energía disipada.	Muy versátiles, pueden obtener salidas de tensión bajas, altas o incluso inversas con respecto a la entrada o alimentación.
Eficiencia	Las fuentes lineales trabajan en forma pasiva, utilizando componentes que disipan energía en forma de calor en sus etapas previas a la salida, disminuyendo considerablemente su eficiencia (hasta 60%) debido a las pérdidas.	En las fuentes conmutadas se regula la salida por medio de una señal de control para variar el ancho de pulso, tomando de la alimentación solo la energía requerida por la carga. Poseen una alta eficiencia (85-95%) y sus únicas pérdidas o calor generado se debe a las características no ideales de los materiales y componentes del circuito.
Interferencia por radio frecuencia	No producen señales de radiofrecuencia, son comúnmente utilizadas en entornos donde se requiere ausencia de este tipo de interferencias.	Las altas frecuencias en la cual se produce la conmutación y sus componentes generan una gran cantidad de interferencia. En su diseño se debe evitar el uso de cables y pistas largas entre sus componentes, además de agregar protecciones o blindajes para disminuir las EMI (Interferencia Electromagnética).
Ruido eléctrico	Poseen una pequeña cantidad de ruido eléctrico del orden de los milivolts (mV) en la salida, pero es fácilmente suprimida en su mayoría por condensadores de mayor tamaño o reguladores de voltaje más eficientes.	Se requieren filtros capacitivos e inductivos en las salidas para mantener una salida lo más estable posible. Debido a la frecuencia de conmutación se obtienen salidas muy ruidosas y también se necesitan filtros en la entrada de la alimentación para evitar que este se propague por la red.

1-1 Tabla comparativa entre la fuente lineal y la fuente conmutada.

Característica	Fuente lineal	Fuente conmutada
Factor de potencia	Poseen un bajo factor de potencia debido a que la energía se obtiene del peak de voltaje de la alimentación y sus componentes, sobre todo el transformador, no absorben la energía de forma lineal, desaprovechando la potencia y disminuyendo el rendimiento de la línea.	También poseen un bajo factor de potencia por la misma razón de las fuentes lineales. En ciertos lugares del mundo, es de uso obligatorio una etapa de corrección de este fenómeno para estas fuentes a partir desde una determinada potencia.
Complejidad de construcción	Una fuente lineal en su forma elemental es bastante simple y básica, contando con una etapa reductora, rectificadora y finalmente filtros.	Ya que requieren una etapa de control por medio de una señal PWM y las altas frecuencias a la que trabaja requieren muchos componentes y filtros, poseen un nivel de complejidad mucho mayor a diferencia de las fuentes lineales.

1-2 Tabla comparativa entre la fuente lineal y la fuente conmutada. (Continuación)

Teniendo en cuenta las ventajas, se puede deducir que hoy en día son las fuentes más recurridas a la hora de alimentar aparatos, para lograrlo, estas siguen cierta arquitectura general, eso refiere a etapas que son indispensables a la hora de conseguir los resultados esperados.

Las secciones de una fuente conmutada constan primordialmente de:

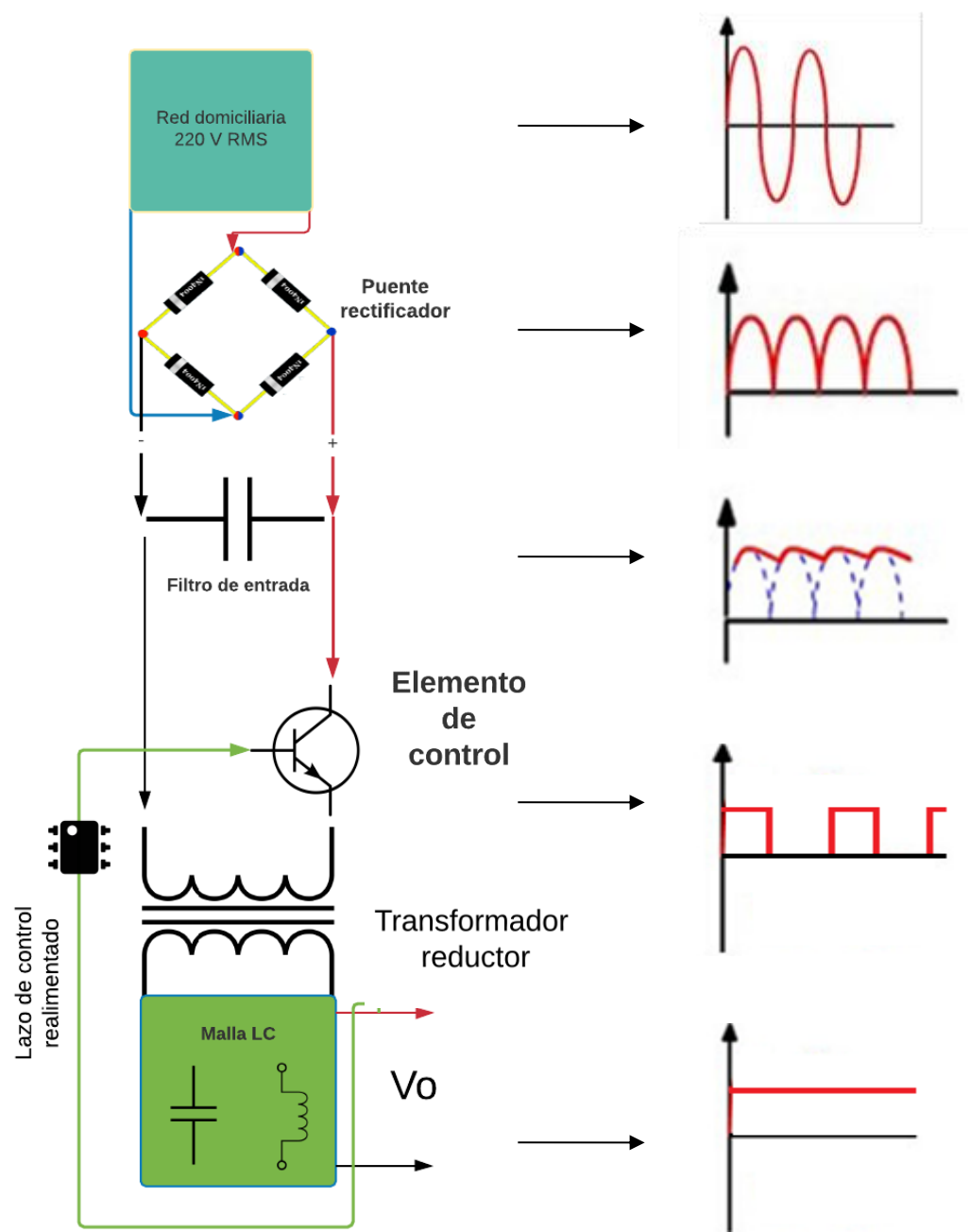
- Puente rectificador
- Condensador de entrada (filtro)
- Circuito de control (regulador y comparador)
- Transformador (reductor o amplificador)
- Bobina del filtro de salida
- Condensadores del filtro de salida

Dichas etapas, funcionarán de manera complementaria y secuencial, siguiendo un orden lógico que permitirá obtener un valor deseado, cada etapa es fundamental para su correcto funcionamiento, obviando algunos componentes y etapas que podrán quitarse del diseño original para abaratar costos, como por ejemplo filtros de entrada, condensadores que irán a tierra para eliminar componentes alterna, protecciones por sobre corriente, etc.

1.1.3 Diagrama en bloque general.

Lo que se presentará a continuación es un diagrama en bloque básico, de una fuente que opera por conmutación, tendrá una entrada de tensión alterna, que atravesará varias etapas para convertirse en un valor de voltaje continuo, inalterable y con un límite de potencia, que será dado por la capacidad de corriente que puedan soportar los semiconductores que la compongan.

El diagrama mostrará la señal en cada etapa del circuito, para adquirir una visualización general del comportamiento de esta.



1-3 Diagrama en bloque fuente conmutada.

Opcionalmente, dependiendo del criterio de fabricación y calidad del fabricante, se agregará un filtro de línea, constituido por etapas inductivas y capacitivas que se encargaran de filtrar y atenuar las radiofrecuencias circulantes por la red, ya que este tipo de ruido podría generar un campo magnético con frecuencias de los 4 a 100 KHz, además, evita que la conmutación a altas frecuencias pueda contaminar la red domiciliaria con transientes y ruido eléctrico. Por lo general esta etapa se compone de un transformador toroidal, condensadores en paralelo con respecto a la entrada de alimentación de la fuente, incluyendo un fusible y un NTC.

1.1.3.1 Primera etapa, de rectificación y filtrado.

La fuente adquirirá energía de la red eléctrica, que se es suministrada por los distintos distribuidores dependiendo del país, asumiendo que se energizará con 220V alternos RMS. Esta tensión pasará por una etapa de rectificación, dónde se transformará la tensión alterna en continua, gracias a la disposición de los diodos de rectificación, que comúnmente suelen ser diodos 1N4007.

La etapa de rectificación compuesta por un puente de diodos dejará un rectificado de onda completa, que posteriormente cargará uno o dos condensadores electrolíticos que irán en paralelo con respecto a la polaridad entregada por la continua.

La capacitancia de estos irá desde los 300 microfaradios para arriba, con soporte de hasta 200V, con ese elevado valor, al pasar el voltaje rectificado en onda completa, la descarga del condensador será más lenta, entregando una tensión de rizado mucho más semejante a la continua.

1.1.3.2 Segunda etapa, elemento de control o conmutación.

El elemento de conmutación se encargará únicamente de dar una frecuencia de oscilación con el voltaje previamente rectificado y filtrado, cabe destacar que la componente continua será aproximadamente de 300v, si es que se trabaja con los 200 v alternos de la red, por lo tanto, suele ir fijado a un disipador de aluminio, que reducirá su temperatura al momento de que este trabaje.

Estos conmutadores por lo general, suelen ser transistores NPN o también transistores “IGBT”, este último capaz de entrar de corte a saturación a una velocidad mucho mayor de lo que podría hacer un transistor normal, como lo es el 2N2222. También habrá casos, dónde se ocupará un MOSFET o un tiristor.

El conmutador será controlado mediante un circuito externo, mediante una señal de error que determinará el ciclo de trabajo.

1.1.3.3 Tercera etapa, transformación.

Los transformadores, al comportarse como reductores a altas frecuencias, independientes de la amplitud, estos no requerirán ser tan robustos, a diferencia de los que trabajan a frecuencias menores.

Los modelos varían, sin embargo, la inductancia oscila entre 4mH a 5mH, con un núcleo de ferrita, material ferro magnético con bajas perdidas por corriente de Foucault. Estos devanados suelen hacerse de manera muy meticulosa y especial para cada fuente, por consecuencia suelen ser muy delicados y difíciles de remplazar.

La función principal será reducir el voltaje pulsante y de alta tensión, a una de baja tensión, para así, poder ser trabajada por las mallas LC y obtener distintos valores.

1.1.3.4 Cuarta etapa, malla LC.

La malla LC, consta de un condensador y una bobina, que irán variando en configuración como en valor (capacitivo e inductivo) para conseguir valores continuos.

El principio de funcionamiento consta, en que la tensión ya reducida en voltaje, pero pulsante, al atravesar este filtro, logra casi en su totalidad la continuidad, ya que al momento de que el voltaje pulsante está en estado alto, la almacenará corriente en forma de campo magnético, así, cuando el voltaje vaya a cero, se descargará en serie con un condensador, que a la velocidad con la que se carga y descarga, dará una señal continua y con poco porcentaje de rizado.

1.1.3.5 Quinta etapa, Lazo de control.

La señal continua entregada al final del proceso, puede verse modificada frente a distintas perturbaciones del medio, ya sea por temperatura, anomalías en la alimentación de la fuente, o la carga que se esté alimentando.

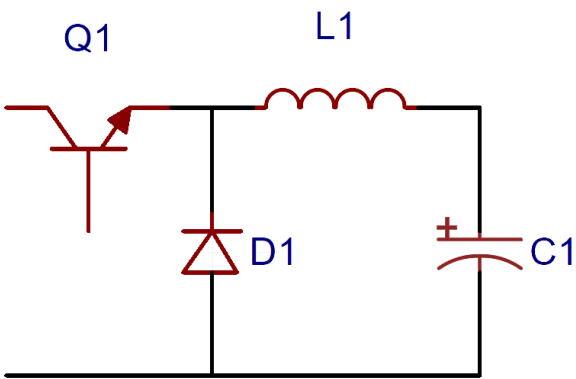
Este lazo de control más común es por voltaje, el principio de operación consta en que se toma una muestra de tensión a la salida, que llega un comparador, que tendrá una señal de referencia, la diferencia entre ambos, se denominará señal de error, por lo general, esta diferencia entre voltajes irá a la entrada de otro amplificador operacional, que en su entrada no inversora, habrá una carga y descarga de un condensador, de esta manera, en la salida tendremos un ciclo de trabajo acomodado para obtener una salida regulada del valor que se haya configurado.

1.2 Convertidor DC/DC.

Entender la conversión dc/dc (Voltaje continuo a continuo) tiene una elevada importancia, más cuando los equipos electrónicos, tanto de uso industrial como doméstico, precisan de una tensión continua para trabajar. Esta conversión consta de obtener un voltaje continuo con determinadas características, a partir de otra de igual carácter, pero distinto valor.

Existen dos modos de conversión continua a continua, la conmutada y la lineal, esta última trabajando con elementos lineales, como lo es un regulador de tensión, siendo este un elemento semiconductor que, al entregarles una tensión de entrada, en su salida obtendremos un voltaje continuo, de distinto valor, que será regulado según la configuración de sus componentes.

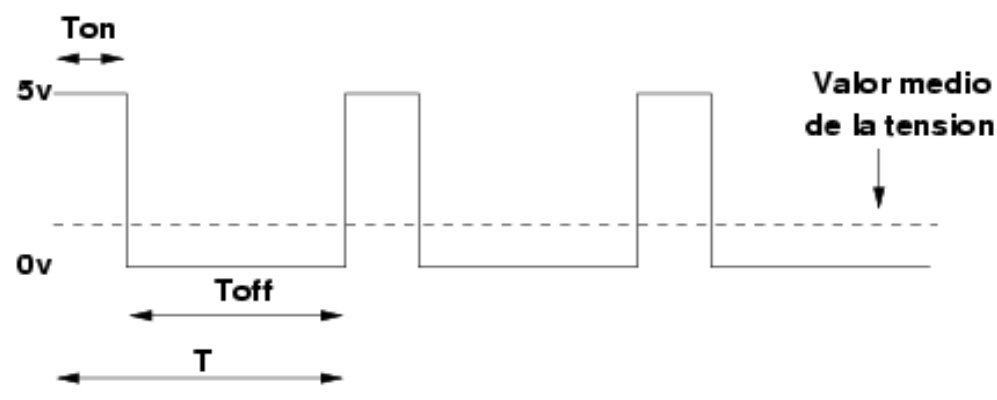
Sin embargo, en las fuentes conmutadas, este concepto será aplicado cuando se analicen los circuitos conversores no aislados. Estos clasifican como conversores, debido a que la disposición de la malla LC les permite atenuar, amplificar o invertir de polaridad una señal continua, que al ser seccionada en la entrada del elemento de control (transistor que opera en corte y saturación) en la salida obtendremos un valor de tensión que dista del voltaje de entrada.



1-4 Circuito conversor no aislado.

Para comprender de qué manera se efectúa este fenómeno en las fuentes conmutadas, es primordial que se estudie el efecto de modulación PWM, en inglés “pulse-width modulation” que viene a ser la modulación por ancho de pulso al español.

Este tipo de modulación es la que se emplea en las fuentes conmutadas a través del switcheo, generando así un tiempo en estado alto denominado “Ton” y otro bajo, denominado “Toff”.



1-5 Señal modulada por ancho de pulso.

La componente continua, se irá conmutando, variando el tiempo del estado alto (Ton), y por consecuencia, se irá modificando a su vez el ciclo de trabajo, que matemáticamente se representa como “Ton” dividido el periodo.

$$\frac{Ton}{T} = CT$$

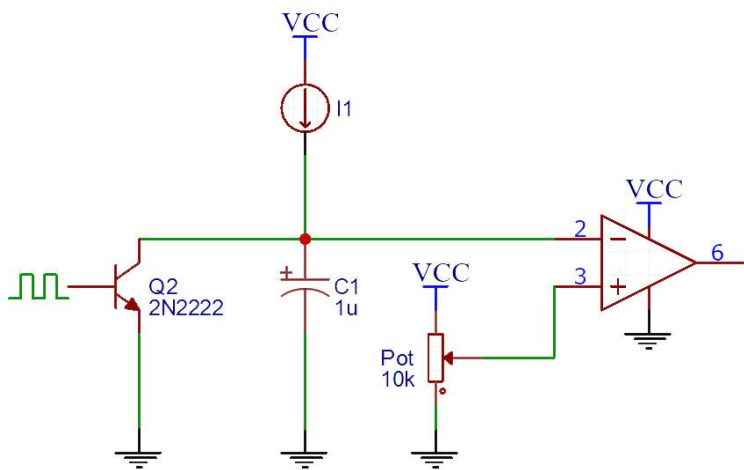
El ciclo de trabajo es representado habitualmente en porcentaje, multiplicando el ciclo de trabajo por cien, de esta manera, sabremos de forma porcentual el tiempo de estado “alto”, que se usará para obtener el voltaje medio, voltaje que variará dependiendo del tiempo del Ton.

$$Vin \times CT = Vmedio$$

Teniendo en cuenta que “Vin” es el voltaje máximo, en la imagen “1-3” se trabaja con 5v de tensión, asumiendo que el ciclo de trabajo es de un 30%, tendremos la siguiente ecuación.

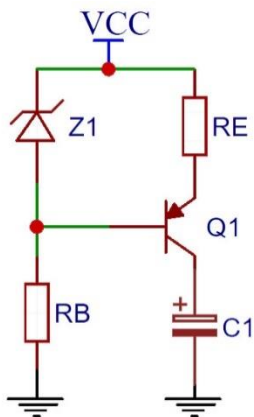
$$5v \times 0.30 = 1.5v$$

Para una mejor comprensión, se dispuso a desarrollar un circuito controlador de PWM, con ayuda de un amplificador operacional, una fuente de corriente constante y un generador de onda cuadrada, obteniendo el siguiente diagrama



1-6 Circuito modulador ancho de pulso (PWM).

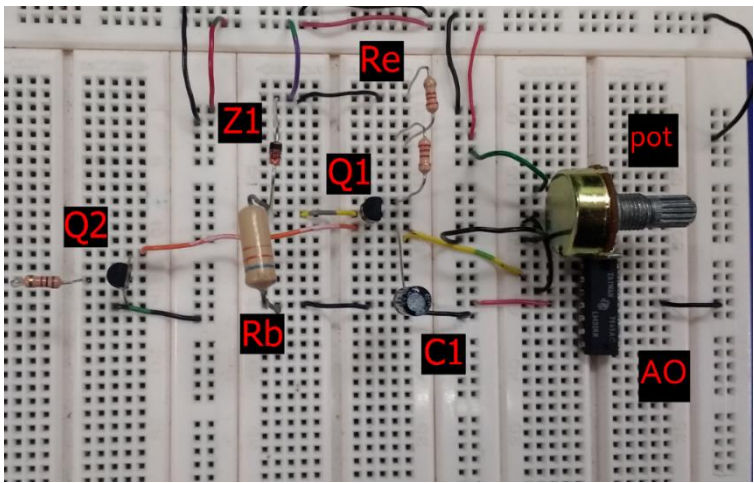
La Fuente de corriente constante se logró mediante una fuente de alimentación que denominaremos “Vcc”, tres resistencias, un diodo zenner y un transistor PNP, en la siguiente configuración.



1-7 Fuente de corriente constante.

De esta manera, se carga un condensador de un microfaradio, que se descargará a medida que Q2 pase de corte a saturación, controlado por una señal cuadrada que lo polarizará una frecuencia de 200 Hz.

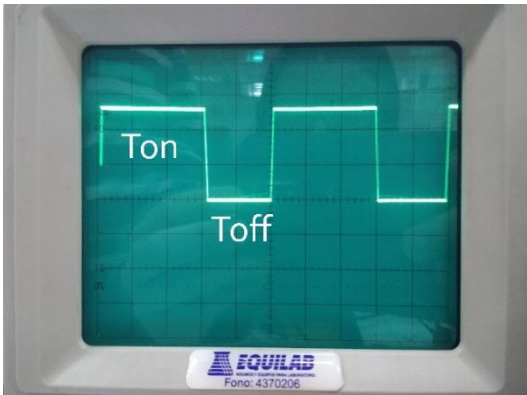
La carga y descarga del condensador C1, entregará un valor que irá variando en función del tiempo, usándolo para dar un ciclo de trabajo, ya que, al ir en la entrada inversora, de un amplificador operacional en modo comparador, se podrá pasar de un estado alto a uno bajo apenas supere la tensión de referencia.



1-8 Circuito montado en una protoboard.

- Q1= transistor PNP
- Q2= transistor de conmutación NPN
- C1= condensador que opera en carga y descarga
- AO= amplificador operacional en modo comparador
- Pot= potenciómetro 10k Ω
- Re= resistencias en serie (440 Ω)

De este modo se conseguirá en la salida del amplificador operacional una señal cuadrada, dónde se podrá modificar su ancho de pulso mediante la tensión de referencia puesta en la entrada no inversora gracias a la manipulación del potenciómetro, de esta manera, si el valor del condensador supera la tensión de referencia, irá a estado bajo (Toff) y si es menor, a estado alto (Ton).



1-9 Voltaje salida amplificador operacional.

Se posicionó el potenciómetro para dar un tiempo de 3Ms en “alto” y 2Ms en “bajo”.
Aplicando la fórmula de ciclo de trabajo tenemos

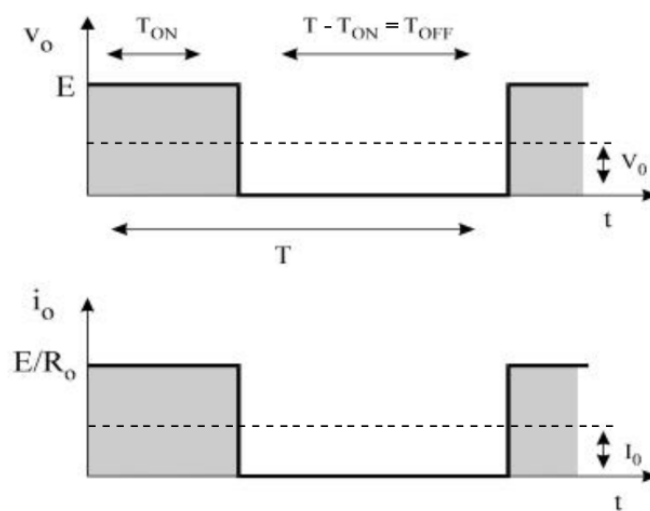
$$\frac{3Ms}{5Ms} = 0.6 \times 100 = 60\% CT$$

Para aplicar el valor de tensión media, se multiplicará el ciclo de trabajo por el voltaje máximo, que en este caso serán 15V de la alimentación del amplificador operacional, ya que al estar en modo comparador, se reflejará el voltaje con el que se alimente.

$$15v \times 0.60 = 9v$$

Si se colocase una carga resistiva pura en la salida del amplificador operacional, tendríamos una corriente media que sería proporcional al voltaje de salida

$$I_o = \frac{CT \times Vin}{Ro}$$



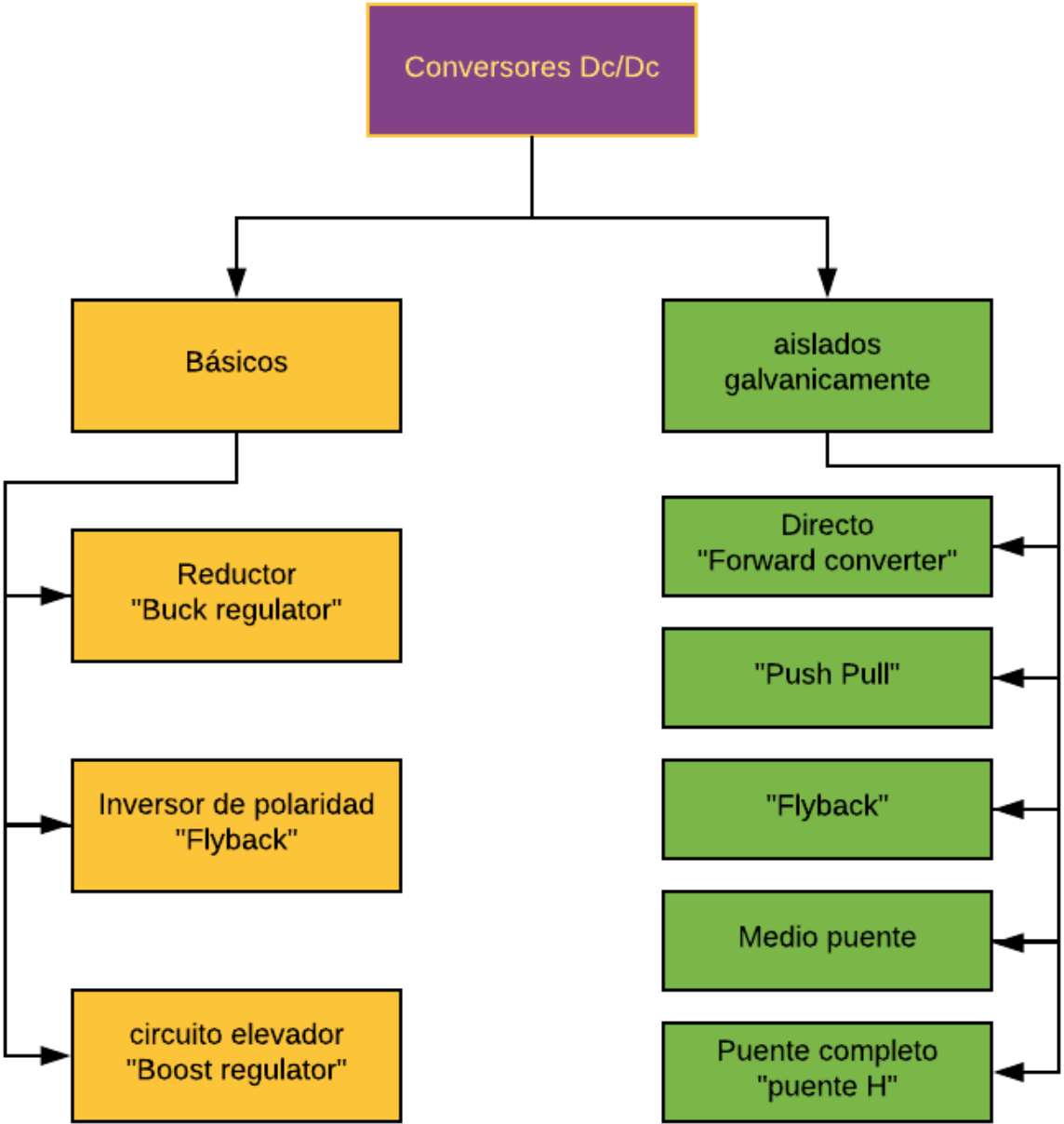
1-10 Gráfico de voltaje y corriente en una carga resistiva pura.

Teniendo una señal modulada por ancho de pulso, a la fuente conmutada, le resta transformar el voltaje de una señal cuadrada y pulsante, en una tensión continua. Los distintos modos de conseguirlo son gracias al comportamiento de los elementos pasivos frente a una tensión PWM que se compondrá de una frecuencia en específico, esta será dada por un microcontrolador o en su defecto un circuito integrado que formará parte de la etapa de control.

Los distintos tipos de conversiones se ajustarán a las necesidades del usuario, estándares del fabricante y año de fabricación, de esta manera y según se necesite, se aplicarán las distintas configuraciones para alimentar el aparato del cual dependa de este tipo de fuentes.

Básicamente, la conversión dc/dc se puede identificar en dos grupos, el primero, que lo compone los circuitos básicos de conversiones, donde el elemento de conmutación va en serie con las respectivas mallas LC sin una aislación como lo es transformador u optoacoplador, y por otra parte, el segundo grupo, que se compone de convertidores aislados galvánicamente, que son sistemas basados en las mismas ideas de los circuitos convertidores básicos, solo que estos, suelen tener dos o más salidas, con tensiones positivas como negativas, separadas por un transformador que define una frontera entre el elemento de control y salidas de baja tensión.

A continuación, se presentará un mapa conceptual que dispondrá de los circuitos conversores según su clasificación, ya sea aislado o no.



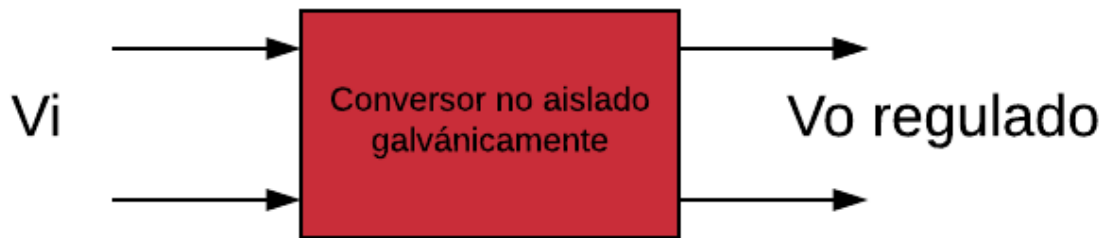
1-11 Mapa conceptual circuitos conversores.

1.3 Conversores no aislados.

1.3.1 Introducción a los conversores básicos no aislados.

Este grupo es una opción circuital cuando la potencia exigida se mantiene por debajo de los 60 W, sin embargo, hoy en día se podrá encontrar variados circuitos conversores no aislados con semiconductores y circuitos integrados de conmutación capaces de tolerar grandes corrientes.

Suelen ser módulos aislados que se alimentan directamente de una tensión continua obviando de esta manera el rectificado y filtrado que se tendrá que hacer desde la red domiciliaria. Tomando en cuenta las tensiones máximas y mínimas, habrá que adaptar el voltaje de entrada acorde a la capacidad que modelo especifique.



1-12 Diagrama en bloque conversor no aislado o "básico".

Se dice que no son aislados o "básicos", debido a que la sección que se encarga de la conmutación irá sin ningún otro componente que se encargue de separarla de la tensión de entrada, de esta manera, suelen ser circuitos con relativamente pocos componentes pasivos, como inductancias, condensadores y resistencias, caracterizándose por su mediana complejidad de empleo.

Este tipo de conversores cuenta con un amplio repertorio de circuitos dependiendo de la función que se necesite, reducir o aumentar la tensión. Comúnmente los tres más usuales son el Buck, Boost, y el Buck/Boost, que darán abasto para la mayoría de las veces en la que respecta obtener una salida de tensión regulada.

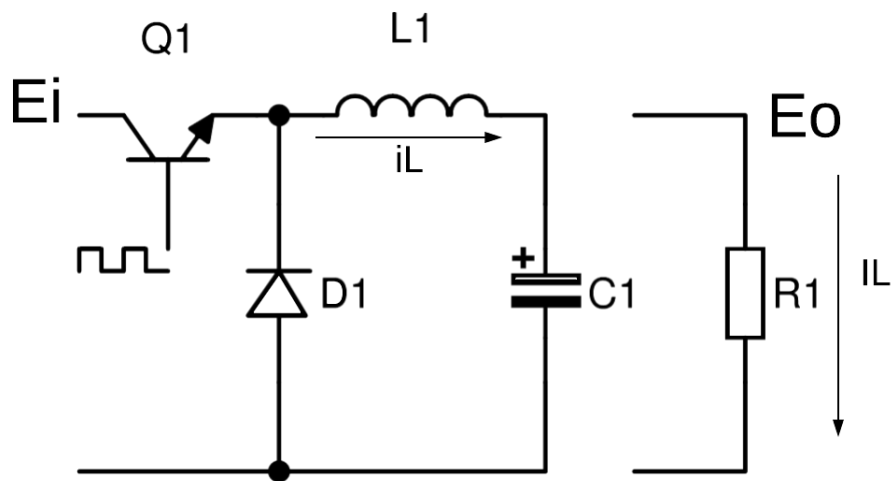
Cabe señalar que cada conversor puede trabajar en dos modos, el continuo y discontinuo, ambos hacen referencia al drenaje de energía en la inductancia. En el modo continuo en ningún momento la bobina entregará toda su energía hacia el circuito, no así el discontinuo que si lo hará.

A continuación, se mostrará el modo de funcionamiento de los 3 conversores básicos y como trabajan en el modo continuo, ya que suele ser el más recurrido y por consecuencia, el más importante.

1.3.2 Circuito Conversor Básico Reductor.

El circuito reductor, también conocido como “Buck regulator” o “Step down regulator” es la primera alternativa circuital dónde se entrega un valor de tensión regulado, que es inferior al valor de entrada.

Este circuito consta de un transistor “Q1” que irá a determinada frecuencia, pasando de corte a saturación, de esta manera, como anteriormente se mencionó, una señal PWM será la señal con la que trabajará una malla compuesta de una bobina, un condensador y un diodo.



1-13 Diagrama circuito “Buck”.

En la figura, se puede observar un diagrama circuital de cómo se compone un circuito reductor en base a una tensión continua. Tensión que pasará por un transistor de conmutación NPN que es polarizado en su base, por un tren de pulsos a una elevada frecuencia, debido a esto la señal entrante a la malla, será el mismo tren de pulsos (mismo periodo y frecuencia) pero con amplitud máxima “ E_i ”

El diodo “ $D1$ ”, llamado diodo volante o “Freewheeling diode”, generalmente un diodo schottky, sirve para el comportamiento inductivo del circuito, dejando fluir la energía almacenada en la bobina en forma de campo magnético al momento de que el transistor “ $Q1$ ” pase de estado ON a OFF, de esta manera previene que el elemento conmutador resulte dañado.

El valor del voltaje en la inductancia (transistor en saturación), se podrá calcular mediante la tensión del condensador y la tensión de entrada, dando una formula equivalente a.

$$E_i - E_o$$

Debido al comportamiento de la inductancia, cuando “Q1” está en saturación, la corriente que va pasando por la bobina asciende, ya que, al principio, se opone al paso de la corriente, pero esta cede en fracciones de segundos, y por consecuencia, esta aumenta.

La corriente que aumenta en “Ton” es determinada por la siguiente ecuación.

$$\frac{E_i - E_o}{L} t_1 = \Delta I_L \quad \dots \text{ecuación 1}$$

De igual manera que la corriente aumenta a medida que el transistor de conmutación está cerrado, al abrirse, el valor máximo donde se encuentra la corriente, disminuirá de manera lineal a través de la salida “Eo”, polarizando de manera directa al diodo volante. Si despreciamos la caída de tensión del diodo (0.6 V en el caso de ser de silicio) obtendremos la siguiente ecuación del proceso de descarga.

$$-\frac{E_o}{L} t_2 = \Delta I_L \quad \dots \text{ecuación 2}$$

La malla LC, se comporta como un filtro pasa bajo, su tarea fundamental es tomar las fluctuaciones en voltaje y corriente, convirtiéndola en un voltaje rizado, esto gracias a que la frecuencia de corte configurada con los valores de los componentes se encuentra por debajo de la frecuencia PWM. De esta manera, la intensidad media que fluye por la carga es la misma que fluye por el inductor.

$$I_L = \frac{E_o}{R_c}; \quad R_c = R_1$$

La corriente en “t1”, posee un valor de corriente mínimo hasta llegar a “t2”, dónde habrá conseguido su valor “Imax” que tenderá a disminuir al mismo valor con la que empieza en “t1”, si se adicionan ambos valores, dará una equivalencia a cero. De esta forma se puede calcular el valor del voltaje de salida si se hace el remplazo de los valores de variación de corriente en la carga y descarga del inductor

Igualando la ecuación 1 con la ecuación 2

$$\frac{Ei - Eo}{L} [CT \times T] = -(-\frac{Eo}{L} [1 - CT]T)$$

Teniendo en cuenta que CT representa el ciclo de trabajo, la ecuación se simplifica llegando a la ecuación siguiente

$$Ei - Eo [CT] = Eo[1 - CT]$$

$$(CT Ei) - (CT Eo) = Eo - (CT Eo)$$

$$CT Ei = Eo$$

$$CT = \frac{Eo}{Ei}$$

De esta manera se concluye que el voltaje de salida “Eo” será el mismo que el voltaje medio de la modulación por ancho de pulso, con la característica que este se encontrará de una forma continua ya que se desprecia el valor de rizado del condensador.

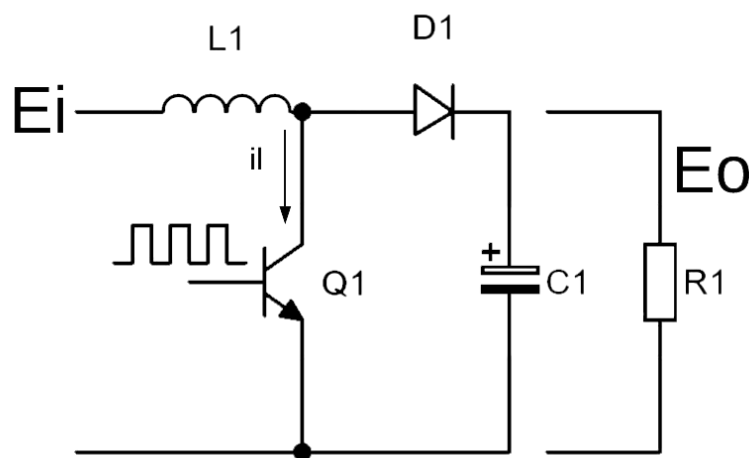
1.3.3 Conversor Elevador.

Esta alternativa circuital, es un claro ejemplo de una característica no replicable en reguladores lineales, ya que, bajo la configuración del conversor elevador, conocido igualmente como “Boost”, puede entregar tensiones mayores a las de la entrada.

Su principio de funcionamiento es que mediante al corte y saturación del elemento conmutador, cargará y descargará una inductancia, obligando a entregar un “bombeo” de corriente hacia el condensador a través del diodo, sistema muy semejante al circuito “Buck/Boost” que será presentado más adelante.

El diodo bloquea el paso de corriente mientras el transistor está en saturación, momento que se denominará “t1”, a su vez, la corriente por la inductancia crecerá hasta una corriente máxima denominada “ I_{max} ”, que posteriormente recorrerá el circuito cuando el transistor pase de saturación a corte, impulsando una carga eléctrica hasta el condensador llevando el diodo a su conducción

Su configuración electrónica se puede ver en el siguiente diagrama



1-14 Diagrama circuito elevador.

Cuando “Q1” está cerrado, en este caso, será polarizando la base. La corriente que fluye por el “switch”, será la misma que la que fluye por el inductor, sin embargo, esta corriente irá variando pasado el “t1” (Ton), ya que el circuito, en condiciones normales, irá aumentando la corriente, este aumento llegará a un tope, que es cuando empieza “t2” (Toff), momento en el que “C1” deja de alimentar la carga con tensión y es cargado nuevamente por la energía de la bobina, durante este proceso de carga del condensador, la tensión de entrada “Ei” aparece con una polaridad aditiva con respecto a la descarga de la inductancia, de ese modo, la inductancia se comportará como generador entregando energía en la misma polaridad que la fuente de alimentación, dejando a la salida una tensión más elevada con respecto a la entrada.

La variación de corriente que fluye por el inductor puede ser descrita bajo la siguiente ecuación.

$$\frac{E_i}{L} t_1 = \Delta I L$$

De la misma manera que pasaba con la corriente por la inductancia, en el circuito Buck, la corriente decrecía mediante el “t2”. Una de las cosas que se diferencia este circuito con el Buck, a parte de la forma de bombeo con la corriente hacia el condensador, es el valor de “t2”, ya que en este circuito por lo general suele ser menor a “t1”.

La ecuación que dará como resultado la variación de corriente en el tiempo “t2” (Toff) será la siguiente

$$\frac{E_i - E_o}{L} t_2 = \Delta I L$$

Una relación de ambas ecuaciones podría darse sumando las variaciones de corriente durante t1 y t2, ya que el valor de la corriente al principio y al final del ciclo de conmutación es el mismo, la suma entre estas dos variaciones de corrientes da cero.

$$\Delta I L t_{on} + \Delta I L t_{off} = 0$$

Se sustituye las ecuaciones que dan las variaciones de corriente en “t1” y “t2”

$$\frac{E_i}{L} (CT \times T) = -\left(\frac{E_i - E_o}{L}\right)(1 - CT)T$$

Simplificando las inductancias y el periodo, da como resultante la siguiente ecuación

$$Ei(CT) = (-Ei + Eo)(1 - CT)$$

$$Ei(CT) = -Ei + Eo + Ei(CT) - Eo(CT)$$

$$0 = -Ei + Eo(1 - CT)$$

De esta manera, despejando “Eo”, encontraremos la siguiente solución para calcular el voltaje de salida.

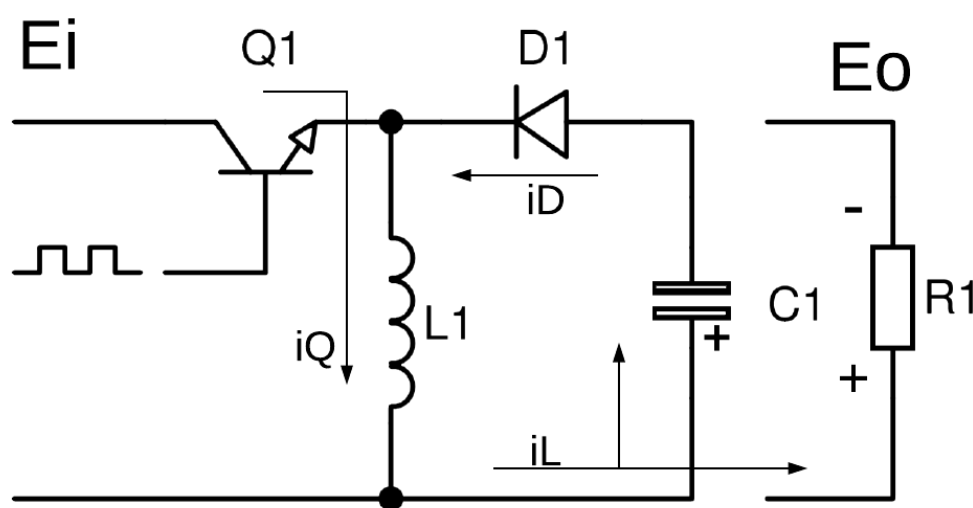
$$Eo = \frac{Ei}{1 - CT}$$

La tipología del conversor “boost” puede simplificarse obteniendo un voltaje de salida siempre superior al voltaje de entrada mientras el ciclo de trabajo oscile entre 1 y 0.

1.3.4 Conversor Flyback (Buck/Boost).

A medida que fueron incrementando los estudios y el interés frente al modo conmutado de alimentación a través de los circuitos Buck y boost, es dónde surge la necesidad de incluir ambos conceptos en un solo circuito.

De esta manera se diseñó el circuito “Buck/Boost” denominado también “Flyback no aislado” que es capaz de aumentar o disminuir la alimentación de salida según se convenga, manteniendo una alimentación de entrada fija, simplificando así, los trabajos que requerían salidas variables con una única entrada.



1-15 Diagrama circuito “Buck/Boost”.

Este circuito posee una característica que lo diferenciará de los otros conversores, ya que la tensión de salida se encuentra en la polaridad contraria a la de la entrada. Esto debido a que en su configuración, cuando el elemento conmutador se encuentra en saturación, la corriente que fluye por la inductancia será la misma que fluya por el elemento conmutador, hasta que pase el tiempo de saturación, y la bobina se descargue en serie con el condensador de la misma manera como en los otros circuitos, solo que en este, el condensador electrolítico tendrá que ir polarizado en el mismo sentido de la corriente entregando una tensión de salida invertida a la de la entrada (característica que le entrega el nombre de “inversor”).

Al igual que la configuración “Boost” la energía suministrada al condensador es pulsante, esto ocurre cuando la inductancia se carga en el tiempo “t1”, donde el diodo quedará bloqueando el ingreso de la corriente dejando a la bobina como único elemento pasivo desde el punto de la alimentación de entrada. De esta manera, la corriente alcanzada en el transcurso de “t1” estará expresado por

$$\frac{E_i}{L} t_1 = \Delta I L$$

Al transcurrir “t1” la bobina procederá a descargarse, dando al condensador, un impulso de energía que lo cargará entregando una corriente que será dada por

$$-\frac{E_o}{L} t_2 = \Delta I L$$

Relacionando ambas expresiones, al igual como se realizó con los conversores anteriores, se podrá determinar una ecuación que determine el voltaje de salida, ya que la corriente con la que comienza “t1” y con la que termina “t2” son iguales.

$$\frac{E_i}{L} [CT \times T] + (-\frac{E_o}{L} [1 - CT]T)$$

De esta manera, despejando y simplificando, se obtendrá el voltaje de salida “Eo” que podrá ser calculada mediante una división.

$$E_o = \frac{E_i \times CT}{1 - CT}$$

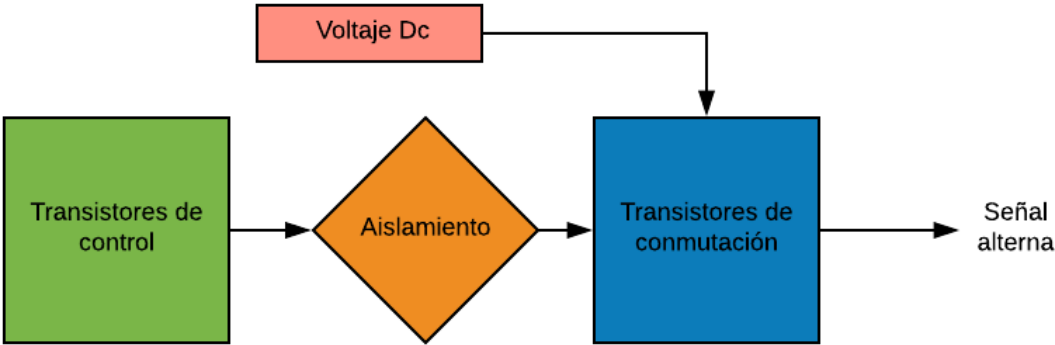
Si el ciclo de trabajo fuese 0.5 (la mitad), el voltaje de salida sería equivalente al de entrada, no obstante, al subir o bajar de ese valor, aumentará o disminuirá la salida en comparación al voltaje de entrada, obteniendo así su nombre, “Buck/Boost”.

1.4 Conversores aislados.

1.4.1 Introducción a los conversores galvánicamente aislados.

Uno de los principales puntos a aclarar sobre estos conversores, es que no son precisamente Dc/Dc, ya que se encargarán de transformar la corriente continua, entregada en el principio de la etapa de rectificación y filtrado, en una señal alterna mediante la conmutación de transistores.

Se les llama “aislados” o “complejos” por el hecho de que la etapa de control irá separada por un transformador de la etapa de potencia, y habrá otro transformador en la salida, en el caso de que se quisiese atenuar la señal alterna creada. Esta última trabajará con una alta tensión continua, y por medio de transistores operados en corte y saturación se creará la componente alterna manejando potencias inclusive superiores a los 450w (más elevadas que los conversores no aislados).



1-16 Diagrama en bloque conversores aislados.

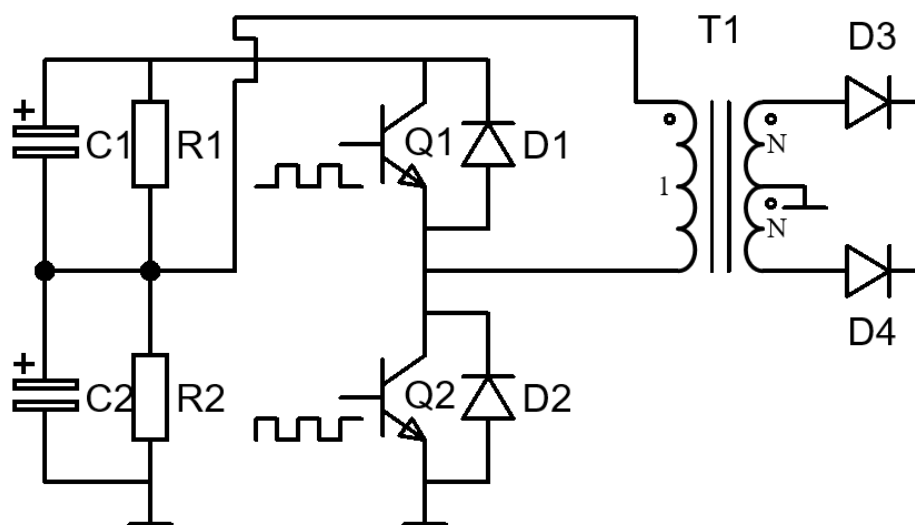
Esta opción será bastante concurrida al momento de diseñar una fuente conmutada, debido a que la señal alterna podrá ser nuevamente atenuada (con otro aislamiento como un transformador) rectificada y filtrada, teniendo salidas continuas capaces de tolerar grandes flujos de corriente.

Este método de conversión se podrá lograr por distintas configuraciones de los elementos discretos, componiendo una familia de inversores como lo son el “Push pull”, “Flyback”, “Medio puente”, “Puente completo” y “Forward converter”, que fueron creados bajo la necesidad de fuentes capaces de entregar grandes potencias con la menor cantidad de potencia disipada en la transformación.

A raíz de esto, es que a continuación se presentarán la forma de funcionamiento de los 3 conversores más concurridos en el criterio de diseño de fuentes conmutadas, estos son el Medio puente, Puente completo y Push pull.

1.4.2 Conversor Medio Puente.

Como se mencionó anteriormente, los circuitos aislados suelen ser recurridos para trabajos de una potencia elevada. En el caso del conversor medio puente, es ampliamente usado en fuentes conmutadas de potencias superiores a los 100W de salida, utilizando a su favor el divisor de tensión en los condensadores de filtro de entrada, estos serán de idéntica capacitancia, y llevarán en paralelo resistencias con valores iguales.



1-17 Diagrama circuito conversor medio puente.

Debido a su simplicidad y escasos componentes, este conversor aún suele frecuentarse en modelos de fuentes conmutadas, a pesar de ser una configuración antigua. Este se encargará de alternar la tensión por medio del corte y saturación de los transistores de potencia “Q1” y “Q2”.

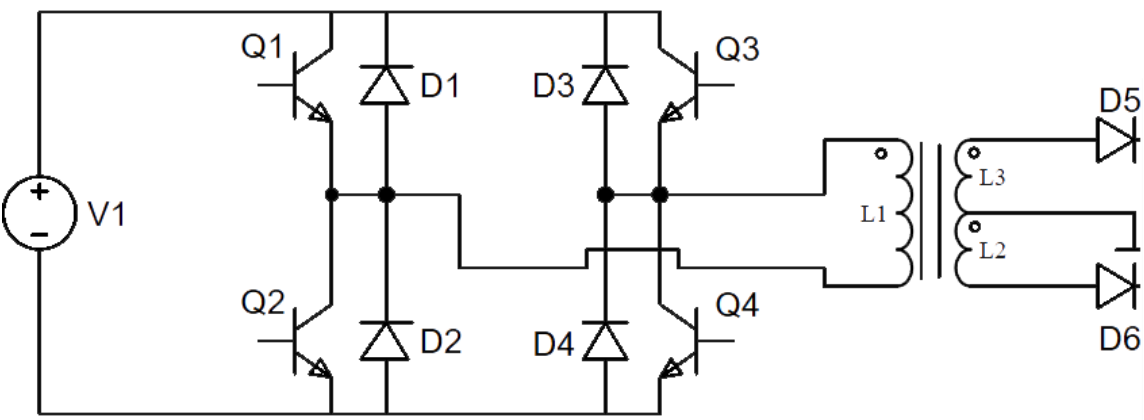
En el momento de que “Q1” esté en saturación y “Q2” en corte, el condensador “C1” ($V_{cc}/2$) se descargará por medio de “Q1”, pasando por el primario del transformador hasta el punto de polaridad, y finalmente descargándose en la tierra virtual. Transcurrido ese proceso, “Q1” pasa a corte y “Q2” a saturación, por lo que el proceso transcurrirá al revés, “C2” ($V_{cc}/2$) hará fluir una corriente por el punto de polaridad del primario hasta llegar a “Q2” dónde se descargará por medio de GND.

Este proceso, hará que se refleje una señal cuadrada alterna en el primario del transformador que tendrá un punto medio en el secundario, debido a que la señal en las líneas dónde están “D3” y “D2” irán desfasadas 180° una de la otra, permitiendo rectificar solo con dos diodos.

Cabe mencionar que el control realizado a los transistores de potencia, se hará de manera externa, definiendo el ciclo de trabajo y la frecuencia, de esta forma se podrá dar estabilización por medio de un circuito de control a una tensión en específico.

1.4.3 Conversor Puente Completo.

Se suele ocupar este circuito para inversión de giro en motores de corriente continua, sin embargo, no es el único uso, ya que, direccionando el flujo de corriente, podrá crearse un campo magnético variable capaz de inducir al secundario de un transformador con punto medio, y de esta manera se podrá rectificar obteniendo un valor de corriente continua distinto al de entrada.



1-18 Circuito puente completo.

Esta alternativa se suele recurrir cuando se manejan potencias superiores a 200w, ya que, al ser una etapa de potencia, se ocuparán elementos conmutadores capaces de tolerar grandes corrientes.

El modo de funcionamiento requiere que el circuito sea alimentado con tensión continua, de esta manera se irá alternando la dirección de la corriente en un sentido u otro dependiendo de que transistores operen en corte o saturación. Si el transistor “Q1” y “Q4” están en saturación mientras que “Q3” y “Q2” están en corte, la corriente fluirá en el primario de “L1” hacia el punto de polaridad, cuando estos pasen de saturación a corte, automáticamente los transistores “Q3” y “Q2” conducirán, y por consecuencia habrá un flujo de corriente desde el punto de polaridad de “L1”.

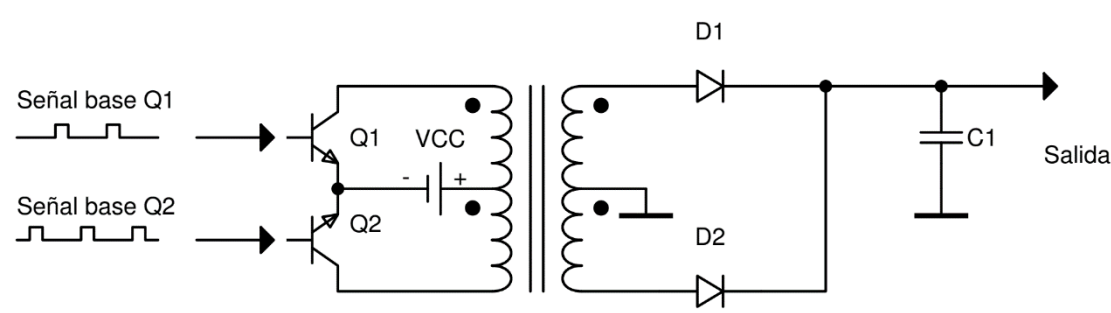
El control hacia los transistores determinará un “tiempo muerto” que definirá un tiempo de no conducción entre el corte y saturación de un par a otro, de esta manera se asegurará que no haya un corto circuito en la conmutación.

Esta manera de funcionamiento inducirá una caída de voltaje en el secundario de “L1” con dos señales desfasadas en 180° tomando de referencia el punto medio que irá conectado a tierra. Colocando dos diodos rectificadores en los puntos adyacentes, se logrará un rectificado de onda completa, logrando obtener una tensión continua, de distinto valor al de la entrada.

1.4.4 Conversor Push-Pull.

Este conversor DC a DC es uno de los más antiguos y en sus inicios, eran conmutados por medio de switches o vibradores electromecánicos que posteriormente fueron reemplazados por dispositivos de estado sólido, incrementando su eficiencia y frecuencias de trabajo. Se utilizan típicamente para convertir potencias sobre los 100Watts y su característica principal es que posee un transformador con punto medio y dos transistores que invierten la tensión en sus bobinas, es decir, alternando la polaridad de la energía que ingresa a estas de forma periódica y aprovechando la inductancia como empuje, obteniendo el efecto de “empuje y tire” del cual proviene su nombre.

A continuación, se observa un esquema de este conversor.

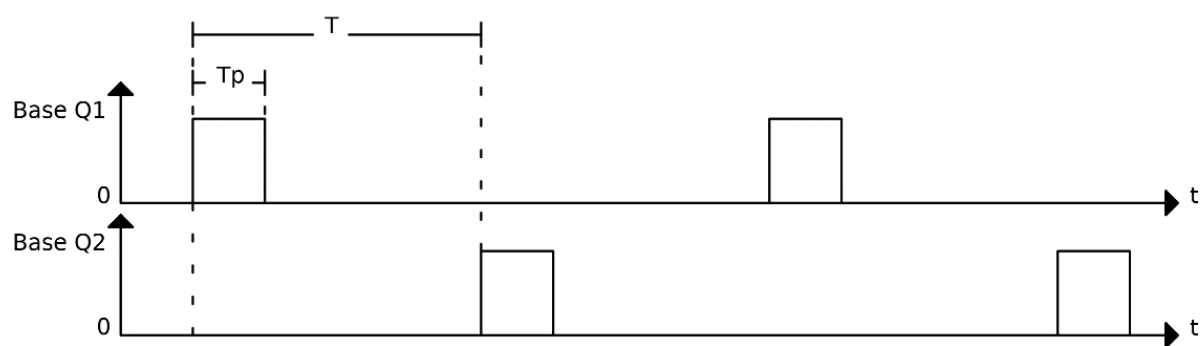


1-19 Esquema de conversor Push-Pull.

Como se puede apreciar, los transistores Q1 y Q2 se encargan de permitir el paso de energía desde el punto medio del transformador en donde se conecta +VCC hasta sus extremos de la bobina de forma alternada donde se encuentra el común. Según la imagen, suponiendo que el transistor Q2 está conduciendo entonces, de acuerdo con las polaridades de las bobinas internas del transformador, D1 conduce directamente. Al momento que Q2 pasa a corte, se descarga la inductancia almacenada dentro del devanado magnetizante, llevando a conducir a D2 como efecto de retroceso, esto funciona como una especie de “reseteo” del núcleo del transformador en el devanado secundario.

En resumen, cuando se polariza Q2 conducirá D1 y la descarga posterior cuando Q2 entra en corte la llevará a cabo D2. Este mismo proceso será inversamente proporcional cuando Q1 sea polarizado, conduciendo D2 y luego descargándose a través de D1.

Retomando la explicación inicial, una vez descargado el campo magnético por medio de D2, habrá un tiempo muerto en donde ambos transistores no serán polarizados y ningún diodo conduce, este tiempo muerto es importante ya que, al ser manipulado, se obtendrá el control por ancho de pulso. Es importante saber que este tiempo de conducción o polarización de transistores (T_p) tiene un límite, el cual no puede ser mínimo a un cuarto ($1/4$) de periodo (T), tiempo necesario para obtener una salida estable ya que hasta este punto aún se obtiene una descarga de inductancia proveniente del devanado primario en el secundario a través de los diodos rectificadores de la salida.



1-20 Señales de polarización para Q1 y Q2.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS FUENTE ATX

2.1 Introducción a las fuentes ATX.

Sin duda, una de las fuentes que han facilitado el suministro de energía en nuestros ordenadores de sobremesa, son las fuentes denominadas ATX, por su acrónimo en inglés “Advanced Technology eXtended” predecesora de las fuentes AT, que evolucionaron a partir de este modelo con el fin de suplir las demandas energéticas por parte de estos dispositivos. Estas fuentes están diseñadas para entregar múltiples valores de tensión, conseguidos únicamente por la configuración de sus elementos discretos. Fueron introducidas al mercado a la par de la creación del microprocesador “Intel Pentium MMX” a principios de los años 90, facilitando el uso de aquel entonces computador de escritorio.

Desde la aparición de estas fuentes, no han quedado en desuso, puesto que se siguen alimentando placas madres bajo el mismo principio, a excepción de algunas actualizaciones en conectores y circuitos semiconductores más eficientes, conservando el modo de operación en la cual esta fuente entrega sus valores de tensión.

Bajo la importancia de esta fuente, su amplio uso, versatilidad y características, es que se dispondrá un análisis de manera detallada y exhaustiva, dando a conocer tanto el funcionamiento general, como el funcionamiento por etapas, explicando de manera comprensible la metodología usada, componentes claves y además un diagrama circuital, que será fiel a la maqueta de experimentación, que a lo largo se irá descomponiendo para analizar y visualizar distintas señales, y así dar una explicación física, real y precisa.

A medida que se desarrolle las distintas explicaciones, se dará paso a montar la maqueta que dispondrá salidas desde sus distintas etapas, para así mostrar el funcionamiento en condiciones normales de uso, reforzando de esta manera toda la teoría previamente explicada.

2.2 Que es la fuente conmutada ATX.

2.2.1 Descripción general.

Desde los inicios de la computadora moderna, se necesitó de una fuente de alimentación para que esta funcionara, de todas las posibilidades, la que ha permanecido ha sido la fuente conmutada que, por su amplio margen de rendimiento respecto a los demás tipos, permitió una mejor eficiencia en cuanto a tamaño y aprovechamiento de la energía.

Desde entonces, el método para energizar las computadoras de escritorio ha evolucionado correspondientemente a la par del desarrollo tecnológico, llegando finalmente la fuente ATX a ser un componente en formato modular, facilitando su reemplazo y mostrando versatilidad según las necesidades energéticas, físicas y hasta estéticas, dando lugar a variados tipos de formatos derivados del ATX, pero más allá de una diferencia de funcionamiento, solo varían en tamaño y forma.

Como breve descripción física, se aprecia un armazón en forma de caja de material metálico, el cual es llevado a tierra por medio de un cable fijado internamente, encargándose de captar y reducir al máximo las emisiones electromagnéticas por consecuencia de las altas conmutaciones, pudiendo estas afectar a otros dispositivos cercanos.

Junto a su entrada de tensión de línea monofásica de 3 pines (fase, neutro y tierra), posee un switch de encendido que corta la línea y en algunos modelos también se incluye un selector de tensión con valores entre 110-220Volts, cercano a estos, un orificio donde se ubica el ventilador, el que se encarga de regular la temperatura de los componentes que disipan potencia como resistencias y transistores que trabajan a altas frecuencias.

Por el lado posterior o contrario a sus entradas, se encuentran los cables de salida, encargados de llevar la energía por medio de sus distintos conectores a los componentes que lo requerirán.



2-1 Referencia de Fuente ATX.

2.2.2 Diferencias entre AT y ATX.

En respuesta al cambio de estándar debido a la necesidad de incorporar sistemas computacionales de mayor complejidad, eficiencia y más exigentes en el ámbito energético, se hizo indispensable un cambio en las fuentes de alimentación que estas requerían.

En las fuentes con tecnología AT, se necesitaba encender manualmente la fuente por medio de un switch mecánico externo para posteriormente poder usar el equipo. Para apagar el ordenador se debía cerrar el sistema operativo y esperar el mensaje en pantalla que decía “ya puede apagar el equipo”, permitiendo apagar manualmente la fuente de la misma forma. La mayoría de estas fuentes incluía un conector de poder hembra en donde se conectaba la alimentación del monitor CRT.

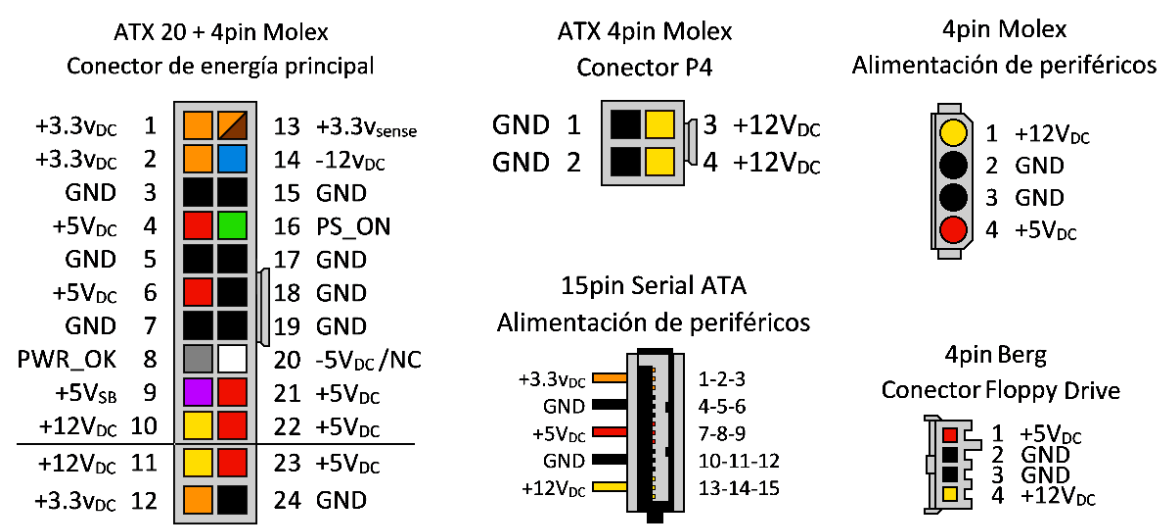
Con el desarrollo de la tecnología ATX, esta permitió un control por software de la fuente, por medio de un circuito electrónico en la misma, le daba la ventaja a la placa madre del ordenador conmutar un switch interno que la encendía. Para que fuera posible esto, se requiere que la fuente provea a la placa madre de una tensión de espera constante (Stand-By), con el fin de mantener el ordenador alimentado, así facilitando el encendido y el apagado de manera más simple sin necesidad de hacerlo manualmente, además de permitir encender el equipo de forma remota por medio del “Wake up LAN”, con un paquete de información transmitido por red o también por medio del modem integrado se encendía el equipo a través de una llamada telefónica. Esta tecnología también permite dejar el equipo en estado de bajo consumo o hibernación, facilitando la reanudación del sistema operativo tal y como estaba junto a sus aplicaciones en ejecución sin la necesidad de apagar totalmente el equipo.



2-2 Imagen de Fuente ATX (Izquierda) y fuente AT (Derecha).

2.2.3 Conectores y cables de salida.

En la siguiente imagen, se puede apreciar los distintos conectores de salida que generalmente poseen las fuentes ATX hoy en día.



2-3 Conectores de salida fuente ATX.

A continuación, se dará una breve explicación de cada tipo de conector que poseen las fuentes ATX en sus salidas y su respectiva función.

2.2.3.1 Conector ATX Molex de 20 + 4 Pin.

El principal conector de la fuente ATX y el más importante, ya que este se encarga de proveer alimentación a la placa madre del ordenador, en ella se pueden encontrar los distintos valores de tensión necesarios para el correcto funcionamiento de esta. Como se puede observar en la imagen, el conector Molex de 24 pines posee salidas de alimentación continua, con valores de 3.3V_{dc}, 5V_{dc} y 12V_{dc} específicamente. Además de estas, posee salidas de control, que serán descritas a continuación.

PS_on: Mediante este pin, la fuente logra encenderse cuando este es llevado al común, esta acción la ejecuta la placa madre en el momento de ser encendida.

PWR_ok: Esta entrega a la placa madre una señal de +5V_{dc}, este valor de tensión es entregado por la fuente como una señal de “1 lógico” y representa la estabilización de todos los valores de tensión entregados. Este proceso suele tener una duración de entre 100 y 500ms con el cual la fuente dice que está lista para suministrar energía de forma segura. Luego de esto, la señal es enviada e interpretada por la placa madre como el punto de partida del encendido.

+5V_{sb}: Es la tensión de alimentación Stand-By, cuya función es mantener permanentemente energizada la placa madre en modo de espera, con el fin de estar preparada y lista para funcionar solo presionando un botón en el equipo o permitiendo el anteriormente mencionado encendido remoto e hibernación.

-5V_{dc} / NC: Corresponde a una tensión de alimentación negativa, con el fin de alimentar las ranuras de expansión ISA. Esta interfaz ya ha quedado completamente obsoleta y por lo tanto, esta tensión ya no es requerida, quedando como un pin de NC (sin conexión).

-12V_{dc}: Es utilizada originalmente para proveer de una tensión negativa a la comunicación serial, también es utilizada en la interfaz PCI, como tensión de referencia para las tarjetas de sonido.

+3.3V_{sense}: A demás de proveer energía, Su función permite a la fuente censar la tensión que cae a la altura del conector y realizar las correcciones pertinentes, ya que esta podría perderse al pasar a lo largo de los cables. Este cable va puenteado al cable de energía +3.3V_{dc}.

Finalmente, como dato adicional, este conector posee 20 pines principales mostrados en la parte superior, (1-10; 13-22), en las versiones más antiguas de la fuente ATX eran únicamente estos los que se incluían, pero debido a cuestiones de eficiencia y mayor consumo de energía, se les agregaron 4 pines opcionales que se muestran separados por una línea (11-12; 23-24), generalmente vienen en un conector por separado que puede ser integrado por medio de anclajes laterales al conector principal, quedando como un único conector Molex de 24 pines.

2.2.3.2 Conector ATX Molex P4.

Con la aparición de los procesadores Pentium 4 y otros de similares arquitecturas, comenzó a incorporarse en las fuentes ATX este conector, con el fin de suministrar de forma más efectiva y directa la energía necesaria para el procesador.

2.2.3.3 Conector Molex 4pin.

Este conector es principalmente requerido para la alimentación de periféricos tales como unidades de almacenamiento y unidades ópticas (Discos duros, lectores ópticos de CD y DVD, entre otros). Actualmente, con la aparición de la norma Serial-ATA o SATA (Serial Advanced Technology Attachment) este tipo de conectores ha quedado en desuso, pero aún se sigue incorporando en gran parte de las fuentes modernas.

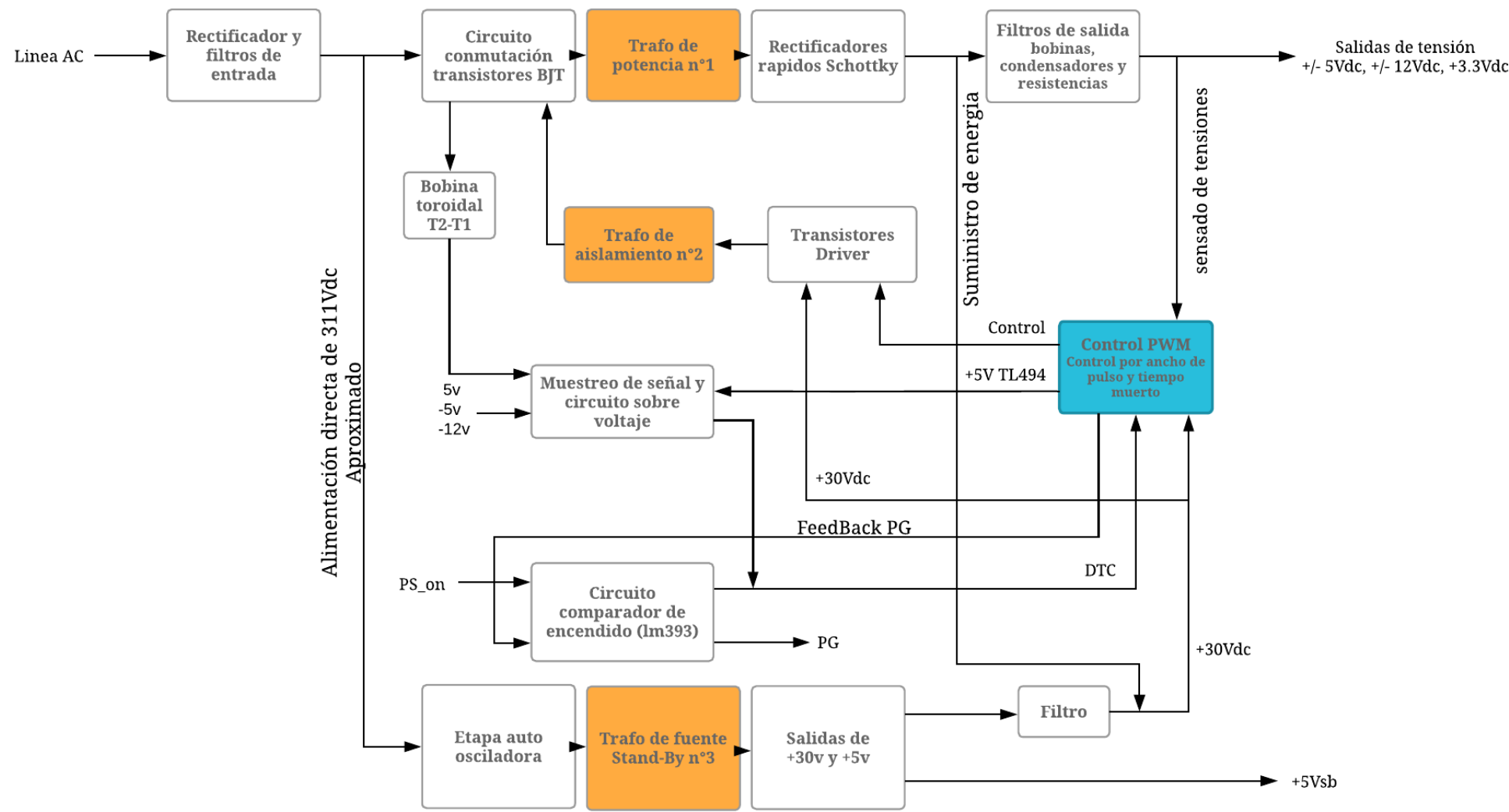
2.2.3.4 Conector de alimentación Serial-ATA.

A la par del cambio de norma en conectores de unidades de almacenamiento y ópticas, se incorporó este conector de alimentación, que prácticamente ha desplazado al conector molex, además, esta entrega 3 tensiones distintas que son requeridas por estos dispositivos.

2.2.3.5 Conector Berg, Floppy Drive.

Creado por Berg Electornics, este conector nació en la necesidad de alimentar la unidad Floppy o más conocidas como disqueteras, su inusual forma provee de una firme conexión con la unidad. Aunque hoy en día se piense que esta unidad esta descontinuada, aun se puede ver su uso en servidores y algunos otros usos específicos. Actualmente aún permanece la integración este conector en las fuentes ATX y puede ser usado para alimentar otros periféricos tales como lectores de tarjetas de memoria.

2.3.2 Diagrama en bloque fuente ATX MaxUs PM-230W.



2-5 Diagrama en bloque de Fuente ATX MaxUs PM-230W.

2.3.3 Descripción general de etapas en diagrama en bloque.

El Diagrama en bloque presente, corresponde a la fuente de tensión conmutada Atx MaxUs PM-230W, basándose en el diagrama circuital, se desarrolló este mapa conceptual para organizar las etapas de forma más clara y entendible.

Comenzando con la alimentación rectificada y filtrada, habrá una división en dos partes, la primera que seguirá por el carril del circuito de conmutación y la otra que irá hacia la etapa auto oscilatoria. Esta última transformará el voltaje continuo en una alterna de elevada amplitud y será reducida en tensión por el transformador n°3 otorgando a la fuente una tensión de 5v dc que servirá para el “Stand by” y otra de 30v dc que alimentará al circuito integrado controlador de ancho de pulso y a los transistores drivers (transistores controladores que darán paso a la conmutación a los transistores de potencia).

Por otra parte, en el carril de potencia, se transformará la señal continua en una alterna gracias a los transistores drivers y su configuración “medio puente”, controlados por el circuito integrado KA7500B. El transformador n°1 se encargará de disminuir la amplitud de la alterna para posteriormente filtrarlo y obtener múltiples salidas continuas de distintos valores.

Se tomará una muestra en la salida que irá directamente al circuito integrado para el control del ancho de pulso, en el caso de que las tensiones se vieran afectadas por perturbaciones en la red o en la carga.

Antes del filtro en el carril de conmutación de potencia, irá un lazo directo a la salida del filtro del transformador número tres, este se encargará de alimentar los transistores drivers en modo discontinuo sumándose a los 30v dc.

El circuito de protección por sobre voltaje, se compondrá de una inductancia capaz de detectar la oscilación en el transformador n°1. Esta señal llegará al bloque de sobre voltaje y muestreo, sumándose también con los voltajes entrantes 5v, -5v y -12v, que llegarán directos de la salida. En el caso de que hubiese un aumento excesivo en su valor de tensión, el circuito enclavará una señal al pin DTC (dead time controller) del CI, que hará cesar la oscilación protegiendo la carga.

Por último, el pin PSON al ser llevado a tierra, permitirá mediante el lm393 la oscilación del circuito integrado, que enviará una señal de feed back de regreso al comparador generándose de esta manera la señal “Power ok”, dando la señal de control para el encendido de la placa madre.

2.4 Principio de funcionamiento.

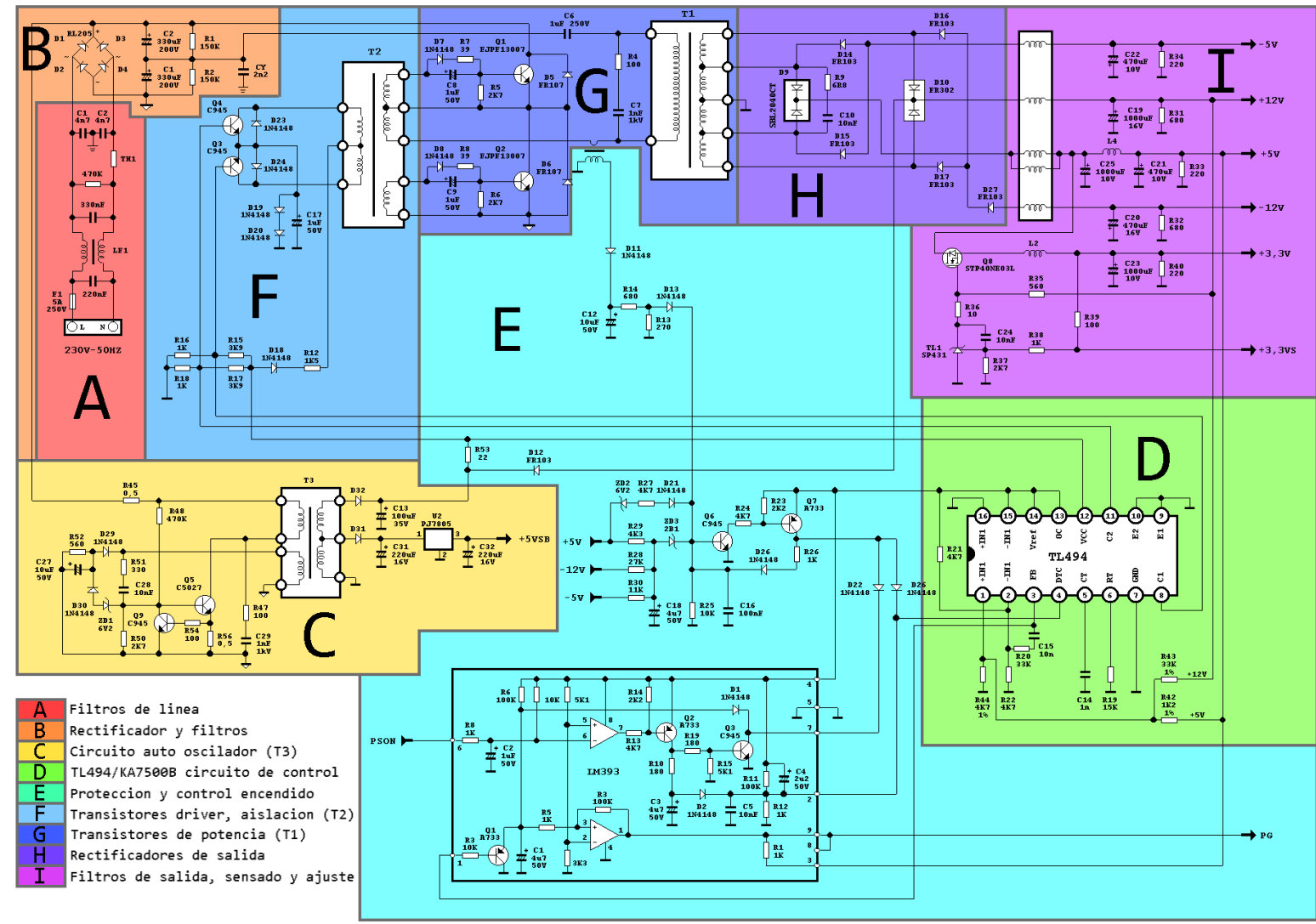
El correcto funcionamiento, de manera íntegra y adecuada, será dado por el trabajo correlativo de todas las etapas encontradas en el diagrama circuital. En la siguiente página, se presentará el diagrama (Imagen 2-6) con sus respectivas etapas coloreadas y alfabetizadas en orden de funcionamiento.

Interiorizando con el diagrama, se puede observar las 8 etapas (“A” hasta “I”) compuestas mayormente por elementos pasivos (Condensadores, Inductancias y resistencias) y activos (Diodos, transistores NPN y PNP, zenner, amplificadores operacionales y mosfet).

También consta de tres transformadores (T1,T2 y T3) que poseen un reducido tamaño debido a las altas frecuencias de conmutación, siendo T1 el más grande ya que tendrá que tolerar corrientes mayores en el carril de conmutación de potencia, y T3 el más pequeño debido a su baja exigencia en corriente y alta frecuencia (frecuencia inclusive mayor a la de conmutación de potencia), dejando a T2 de tamaño medio, ya que solo se encargará de aislar la etapa de control “F” de la etapa de conmutación de potencia “G”.

Posterior al diagrama, se explicará de manera detallada cada etapa por separado, indicando su función e incidencia en otras fases de la fuente, incluyendo distintas mediciones realizadas en puntos específicos con ayuda de un osciloscopio analógico.

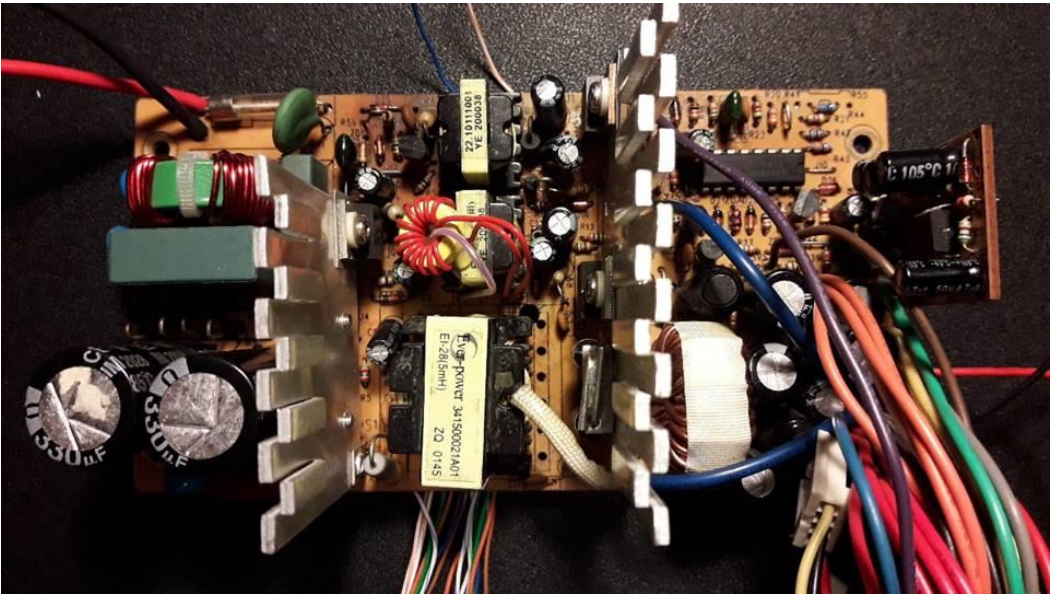
2.4.1 Diagrama circuital con etapas identificadas.



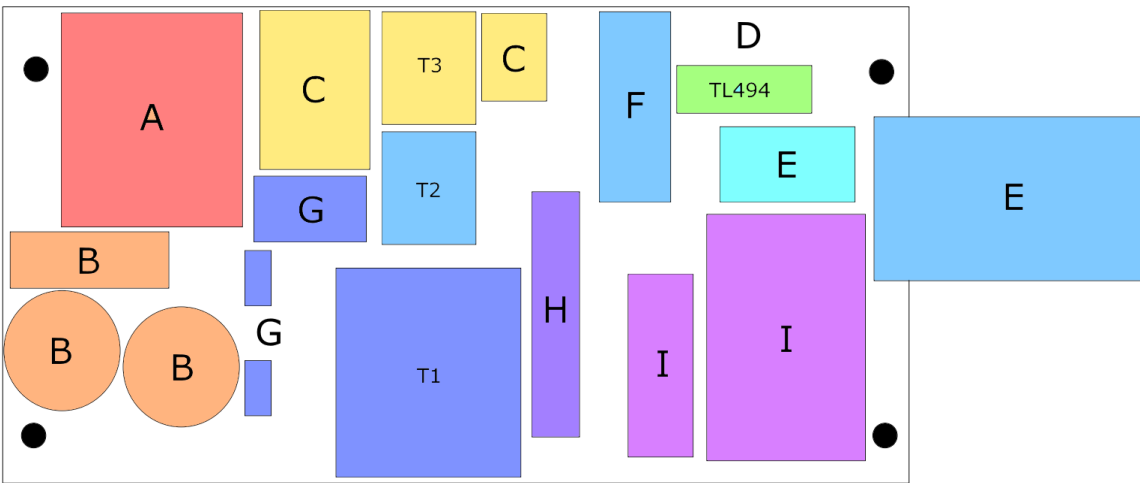
2-6 Diagrama circuital de la fuente ATX MaxUs PM-230W con etapas identificadas por sección y colores.

2.4.2 Etapas identificadas físicamente en la fuente.

En las siguientes imágenes se puede observar de forma comparativa la distribución de las etapas con respecto a la fuente física en sí, esto muestra como las etapas están distribuidas de forma compacta con el fin de ocupar eficientemente el reducido espacio que el PCB posee y mantener separada la etapa de alta potencia (centro de los trasformadores hacia la izquierda) con la etapa de baja (centro de los transformadores hasta la derecha).



2-7 Fotografía de la PCB desmontada junto a sus componentes.



2-8 Mapeado del PCB con etapas marcadas.

Las etapas están marcadas de la misma forma que en la imagen 2-6 en la página 41 (referirse a la leyenda del diagrama circuital en colores). Se puede apreciar por orden alfabético y en gradiente de colores el orden en el que estas están vinculadas y trabajan complementariamente, desde que la energía ingresa (A), hasta que esta es entregada totalmente regulada (I).

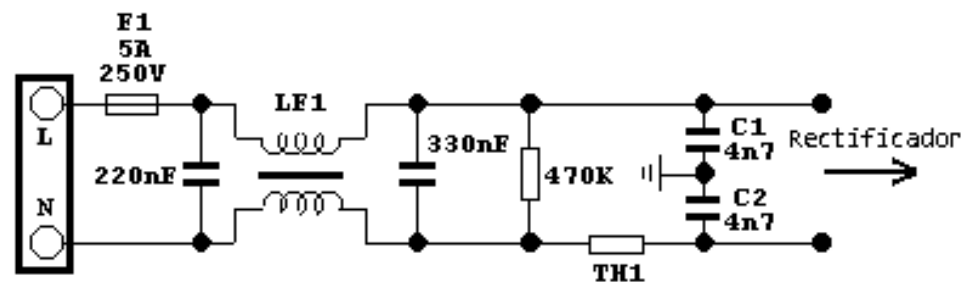
2.4.3 Etapas en detalle.

2.4.3.1 A- Filtros de línea.

Los filtros de línea son elementos electrónicos pasivos ubicados en la entrada de la fuente conmutada, y se encuentran recibiendo directamente la energía de la línea de alimentación AC, que comúnmente es de 110-220V alternos a una frecuencia de 50-60Hz (red doméstica).

Estos filtros, compuestos por bobinas y condensadores se encargan de depurar señales de ruido y transientes provenientes de la red, con el fin de proteger la fuente y a su vez, proteger la red del ruido que puede ser inyectado en esta, producido por el campo electromagnético proveniente de las altas frecuencias de conmutación de la fuente.

La completa eliminación de las interferencias por ondas electromagnéticas (EMI) es prácticamente imposible, sin embargo, gran parte de estas puede ser atenuadas e interceptadas mediante la configuración de este circuito, inyectando de nuevo a la red domiciliaria una tensión limpia, que no influya en el funcionamiento de los demás aparatos conectados.

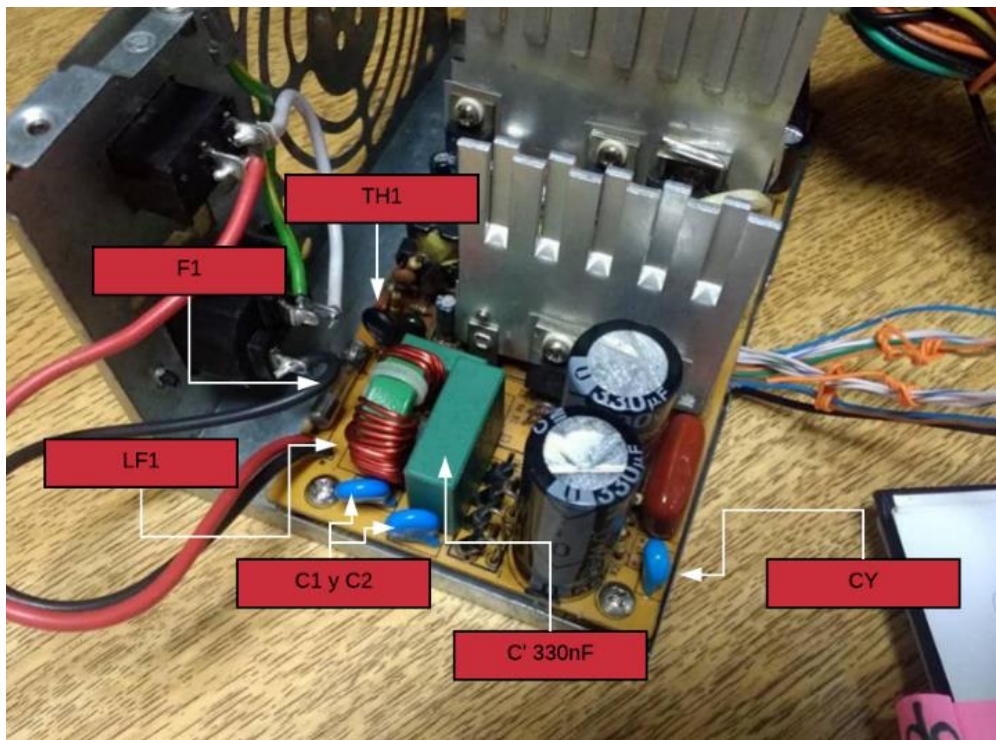


2-9 Diagrama filtro de línea fuente ATX Pm-230W.

A pesar de ser una etapa de alta importancia, el ensamblador será el que defina si esta será incluida o no dentro de la fabricación, en este caso, no fue incluida, ya que, al ser una fuente genérica de bajo presupuesto, se optó por abaratar costos de producción en un proceso que solo es un referente ligado a la calidad del producto.

Sin embargo, en el diagrama circuital echo por el fabricante, este filtro se incluye en la parte de alimentación de la fuente ATX, ya que eventualmente habrá otros ensambladores que la incluirán en el producto final, desarrollando fuentes con estándares y protocolos distintos.

De todas maneras, se optó por buscar un remplazo a los componentes anteriormente señalados en la imagen, provenientes de otra fuente ATX que poseía un filtro de línea con valores idénticos a los mencionados en el diagrama. Acomodando los componentes en los espacios vacíos, se logró dar ubicación a los condensadores y los inductores dentro de la tarjeta de circuitos impresos, otorgando de esta manera una protección extra que atenuará frecuencias indeseadas circulantes por la red eléctrica y la corrección del factor de potencia.



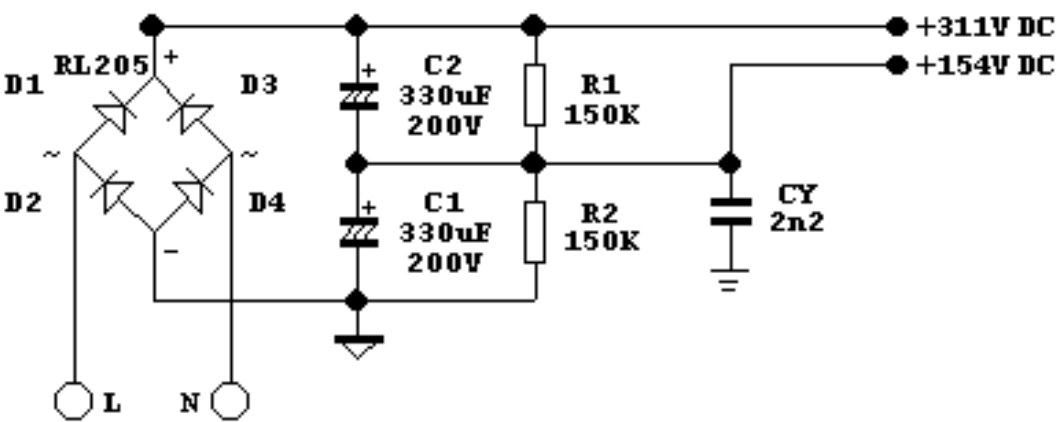
2-10 Filtro de línea instalado.

2.4.3.2 B- Etapa de rectificado y divisor de tensión.

En esta etapa, se encuentra un puente rectificador de onda completa, es decir, transforma la señal alterna de 220V_{RMS} a una señal pulsante con solo semiciclos positivos.

Ya que se requiere que esta señal sea lo más lineal posible, son necesarios condensadores de filtros (C1 y C2), estos tienen una gran capacidad de almacenamiento de voltaje, debido a que de esta manera el tiempo de descarga será más despacio, transformando la rectificación de onda completa en una señal continua con el menor rizado posible.

También se aprecian dos resistencias conectadas en paralelo con respecto a los condensadores, y de las cuales, tomando el punto de unión entre ellas, se obtiene el divisor de tensión con una amplitud aproximada de 154v dc (nominales), estas se encargarán también de descargar los condensadores cuando la fuente sea desconectada o apagada manualmente con el interruptor

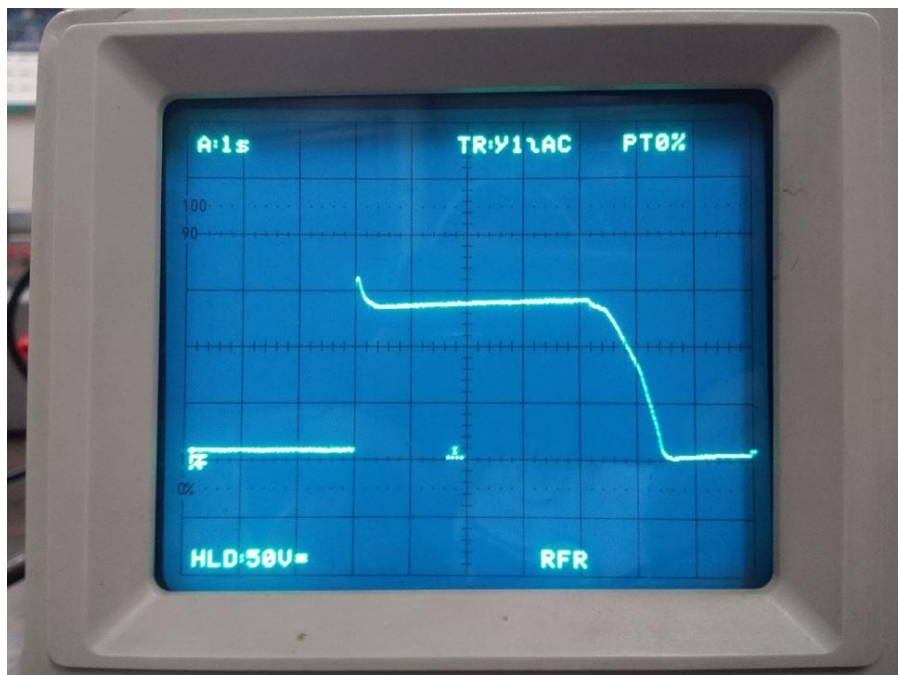


2-11 Etapa rectificadora fuente ATX.

Ambas tensiones continuas, una obtenida del valor máximo de la rectificación de onda completa (311v) y la otra del divisor de tensión entre R1 y R2 (154v), se ocuparán posteriormente para trabajar en la etapa del conversor de voltaje “medio puente”

Además, la fuente posee un condensador denominado “CY”, que irá conectado por medio del PCB al chasis de la fuente, que a su vez está conectado con la tierra de la red domiciliaria. La función será filtrar cualquier señal alterna circulante pasada la etapa de rectificación. Cabe mencionar que en la fuente no se encontraba con este condensador, sin embargo, se extrajo un repuesto de la misma capacitancia, y fue colocado en la ranura que poseía la placa de circuitos impreso.

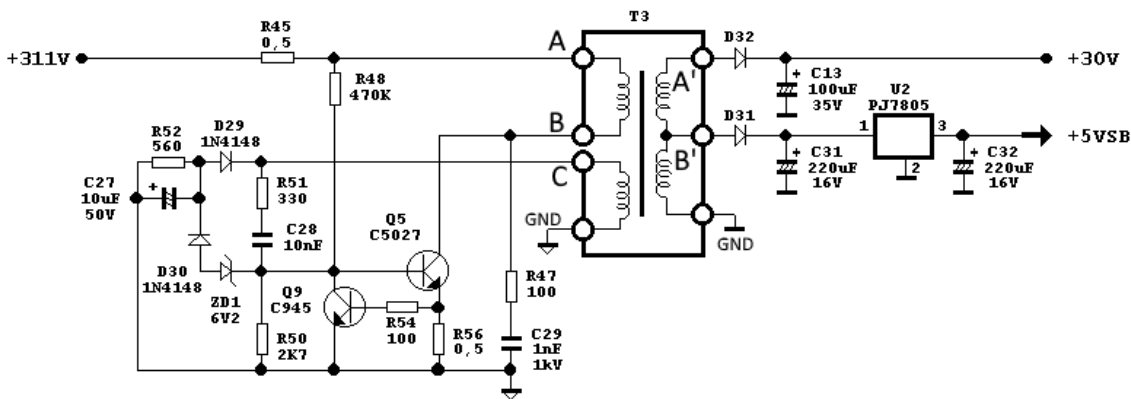
Mediante el uso de osciloscopio se logró visualizar la carga y descarga del condensador C1 al medir R2 con respecto al común de potencia de la fuente. La captura está escalada en 50v/div, dando de esta manera un total de 140v nominales con un pic de 160v al momento que se energiza. Nominalmente, dista del valor real entregado del divisor de tensión por ser componentes no ideales, encontrándose todo tipo de perdidas en cuanto a potencia disipada.



2-12 Carga y descarga de C2.

2.4.3.3 C- Etapa Auto osciladora, transformador 3 y sus salidas.

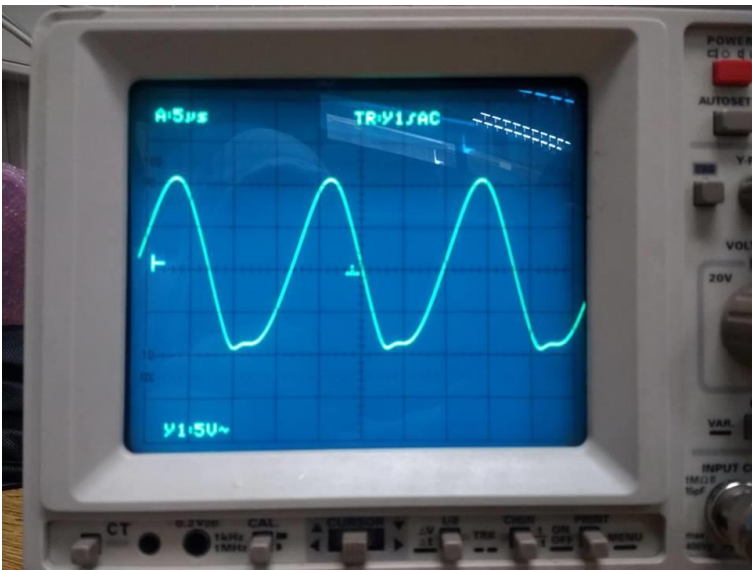
La etapa auto oscilatoria, es la etapa posterior al rectificado de onda completa, por lo cual su alimentación será de 311v de aproximadamente. Se compone en su totalidad de elementos pasivos y activos incluido un transformador con dos devanados independientes en el primario y dos en el secundarios unidos y aterrizados al común de baja potencia. Cabe señalar que esta etapa no dependerá de la señal PWM, pero incidirá en crearla.



2-13 Etapa auto oscilatoria fuente ATX modelo “MaxUS PM-230w”.

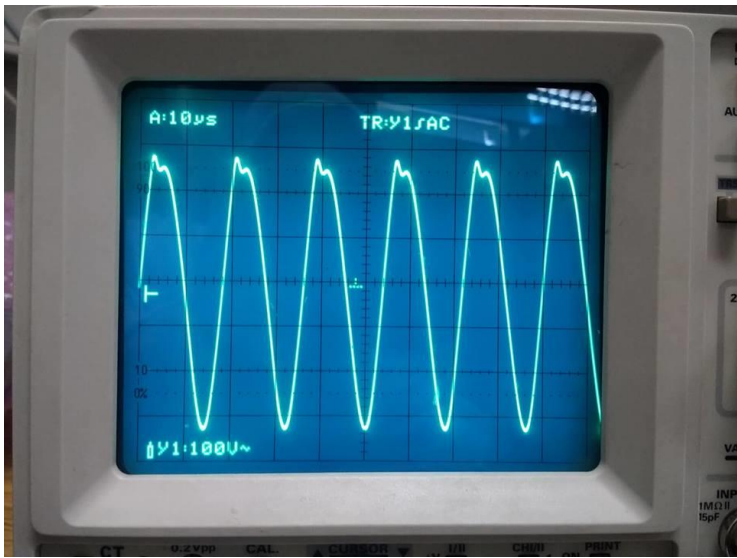
Mediante la implementación circuital previa a la entrada del transformador “T3” la tensión continua obtenida del rectificador, es transformada en una alterna semejante a la sinusoidal, de esta manera será más fácil reducirla en amplitud, tarea que se encargará el transformador T3 en dos secciones distintas.

En la entrada del transformador los puntos “C” y GND se encontrará una tensión de amplitud máxima de 15v con un periodo de 18 microsegundos, equivalente a 55.5KHz. Frecuencia evidentemente superior a la frecuencia de red, por lo cual este transformador será el más pequeño que se encuentre en la fuente.



2-14 Tensión en los puntos C y GND primario T3.

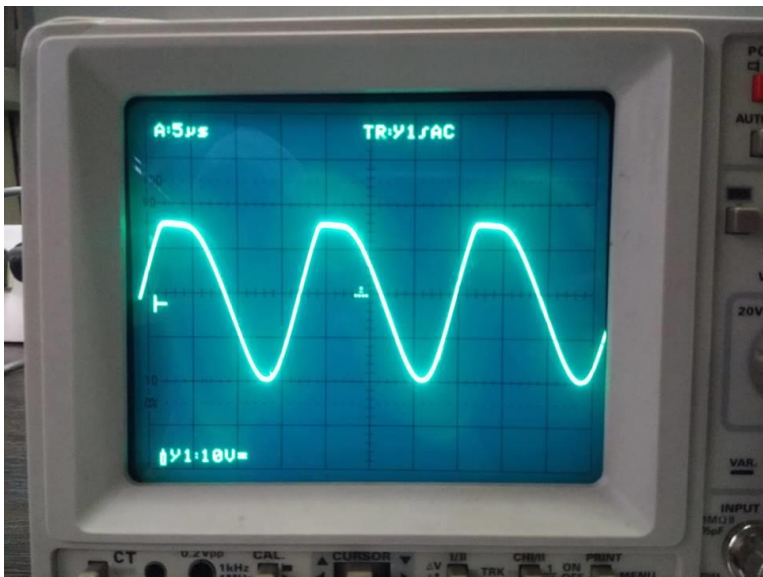
En cambio, en los puntos A y B, la tensión que cae en el devanado del primario es equivalente a 290v alternos. Lo único que se conservará en relación con los otros dos puntos mencionados, será el periodo de la señal y que ambas están en fase.



2-15 Tensión en los puntos A y B primario T3.

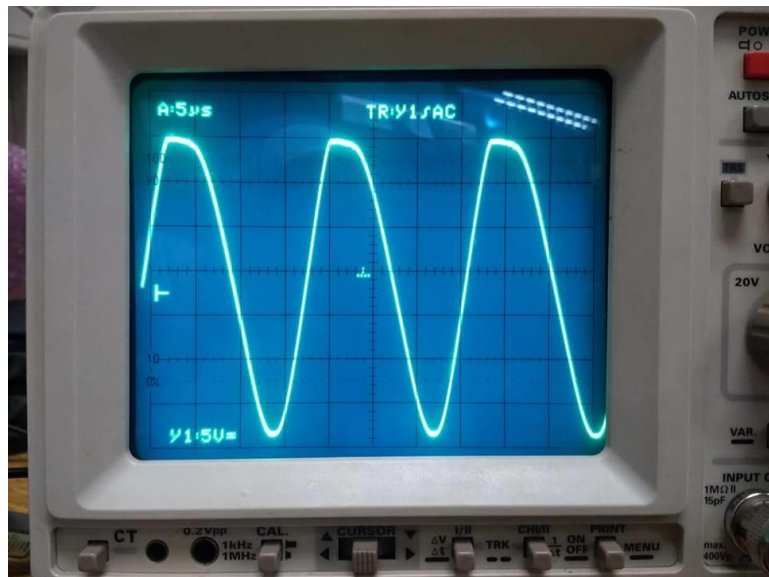
Con la obtención de la diferencia de potencial obtenida en el primario, en el secundario se podrá esperar una tensión semejante reducida en amplitud, como se podrá observar en las imágenes 2-16 y 2-17.

En la imagen 2-16 se podrá observar en el punto A', la tensión reducida a 30v max en el semiciclo positivo, que posteriormente será rectificado por el diodo “D32” y filtrado por “C13” para obtener una tensión continua de 30v dc, que alimentará al pin 12 del circuito integrado modulador de ancho de pulso “KA7500B” y polarizará a los transistores drivers en la etapa del transformador “T2”.



2-16 Salida T3 punto A' con GND.

La imagen 2-17, correspondiente al punto B' con respecto a GND, se encontrará una señal alterna de amplitud 16v en el semiciclo positivo, que al igual que en el carril del punto A', será rectificado y filtrado, para ser regulada a una tensión de 5v dc, correspondientes al voltaje de “stand by” intrínseca de la fuente. La regulación en este caso se hará mediante un regulador lineal “PJ7805” que estará operativo en todo momento mientras la fuente esté energizada.



2-17 Salida T3 punto B' con GND.

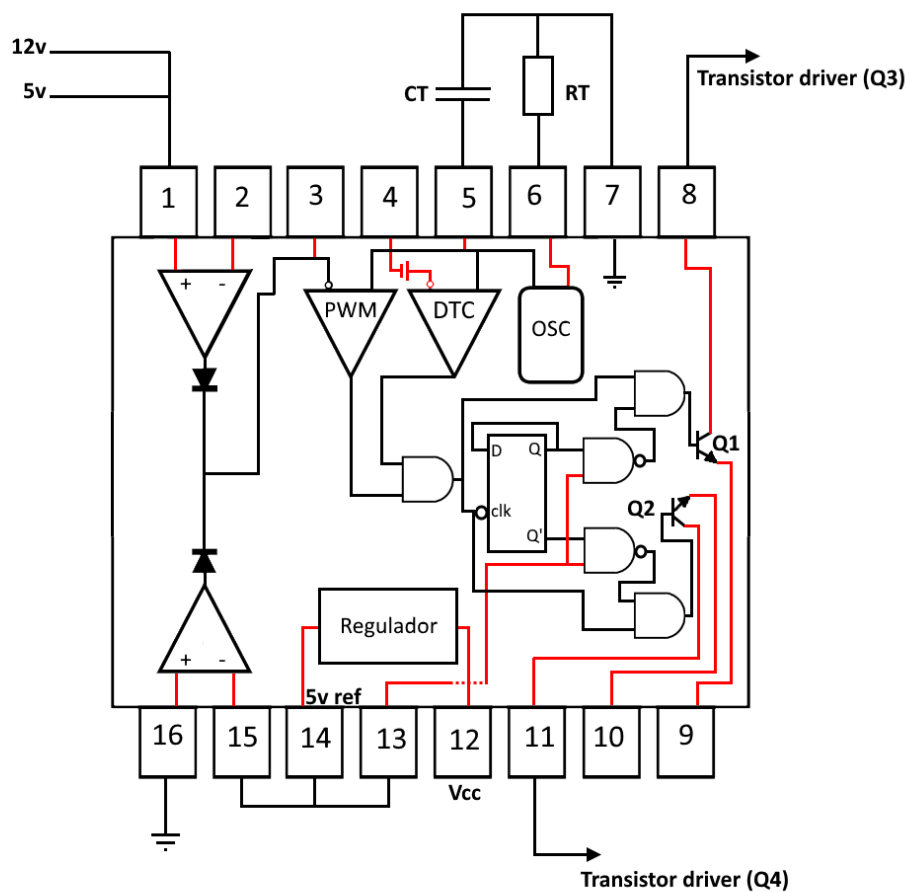
Esta etapa será de gran importancia, ya que como se mencionó anteriormente, será la única que trabajará independiente de la señal PWM, eso significa que será independiente del cable PSON, manteniendo el voltaje Stand-By constante y el voltaje de alimentación del circuito integrado, para preparar a la fuente para cuando se vuelva a un estado operativo.

2.4.3.4 D- Circuito de control.

Para que una fuente conmutada trabaje, debe cumplir una serie de características y estándares que aseguren un funcionamiento adecuado con las menores pérdidas posibles en cuanto a potencia disipada. El primer objetivo que se debe considerar al momento de analizar este tipo de fuentes, en este caso una ATX “MaxUs PM-230W”, es de qué manera se logra una señal modulada por ancho de pulso.

Las respuestas a esta interrogante puedan variar en función de las estructuras usadas en las fuentes, sin embargo, es común que se encuentre un circuito integrado capaz de controlar la frecuencia de oscilación, trabajando de manera directa en la creación de la señal PWM y que, en la mayoría de los casos, podrá cumplir además otros roles.

La fuente de experimentación posee el integrado denominado “KA7500B”, que es el equivalente pin a pin de los circuitos “DBL494” y “TL494”, este chip se alimenta desde el pin número 12, de 7v hasta 40v continuos, y entre sus variadas funciones, otorga a la fuente una señal PWM, protección por sobre tensión y control del ancho de pulso.



2-18 Estructura interna circuito integrado TL494/KA7500B.

Este integrado de 16 pines, como se mencionó anteriormente, establece la frecuencia a la cuál la fuente oscilará, mediante la implementación de un condensador y una resistencia en los pines 5 y 6 respectivamente (RT y CT). Mediante una fórmula (que será entregada por el fabricante) se podrá calcular la frecuencia en Hz.

$$\frac{0.639}{CT * RT} = F_{osc}$$

Esta frecuencia será equivalente a la conmutación que harán los transistores internos “Q1 y Q2” en corte y saturación con una tolerancia del 15%, cabe señalar que mediante la configuración del “KA7500B”, imposibilita que ambos estén en corte o saturación al mismo tiempo evitando un corto circuito.

Entre los pines de entrada y salida, encontraremos dos amplificadores operacionales encargados de censar tensión (pines 16 y 15, 1 y 2) dónde se obtendrá el voltaje de error que parará internamente en el pin 3, que es la entrada a la siguiente etapa de amplificadores operacionales encargados de regular el ancho de pulso comparando la señal de error con una señal dientes de sierra otorgada por el oscilador interno.

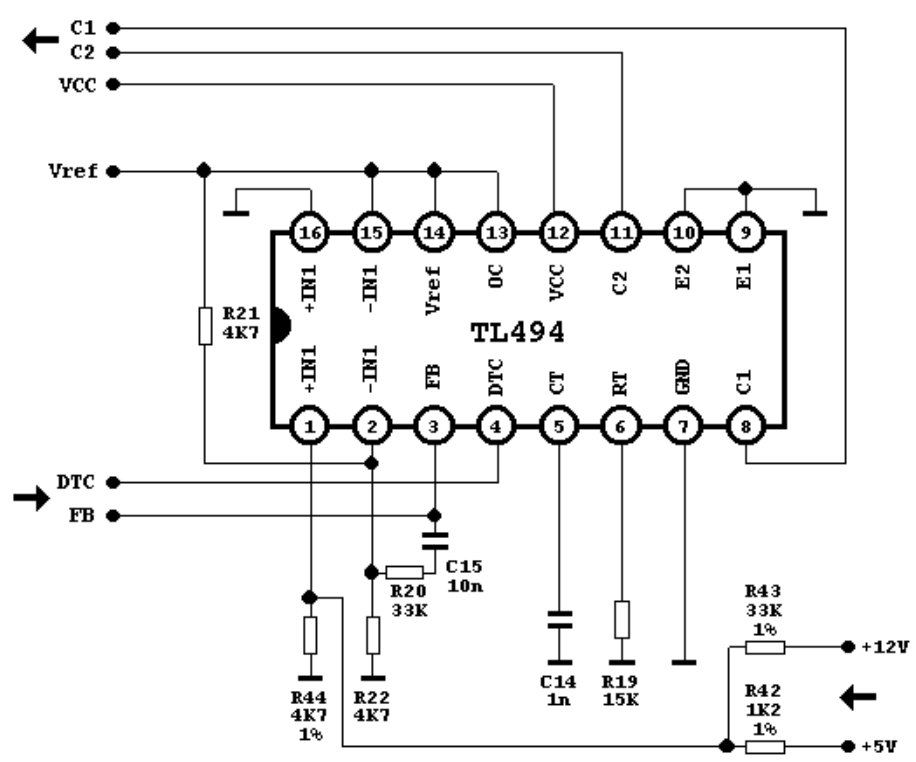
En esta etapa, se podrá encontrar el pin 4, denominado “Dead time controller”, que hace la diferencia con otros circuitos integrados de la misma familia, ya que, mediante este pin, se podrá controlar externamente el tiempo muerto de la señal PWM, llegando inclusive a que dejara de oscilar. Este pin trae un voltaje de referencia interno en el caso de ser conectado a tierra definiendo un ciclo de trabajo por defecto.

El pin 4, se ocupa regularmente como protección por sobre voltaje, ya que se incluye un circuito capaz de detectar anomalías en las tensiones de salida, que enclavará una señal a este pin haciendo que la fuente deje de funcionar, de esta manera se protegerá la carga.

Si no hay ningún inconveniente, la etapa amplificadora dará control al reloj del Flip-Flop tipo D, que mediante una configuración lógica de compuestas nand y and, llevarán a corte y saturación a los transistores internos Q1 y Q2.

En la fuente ATX la frecuencia de oscilación calculada es de 42600 Hz (1nF y 15K Ω) que, si es comparada con la señal de conmutación real, habrá una diferencia de 4138 Hz (Frecuencia de oscilación medida en transistores de conmutación de potencia de la fuente es de 38462 Hz) que estará en el margen normal de la tolerancia especificada por el fabricante.

En la fuente, se encontrará este circuito integrado censando los voltajes de salida de 12v y 5v dc, que pararán en el pin número 1 del circuito integrado como se puede ver en la imagen siguiente.



2-19 CI en diagrama Circuitual.

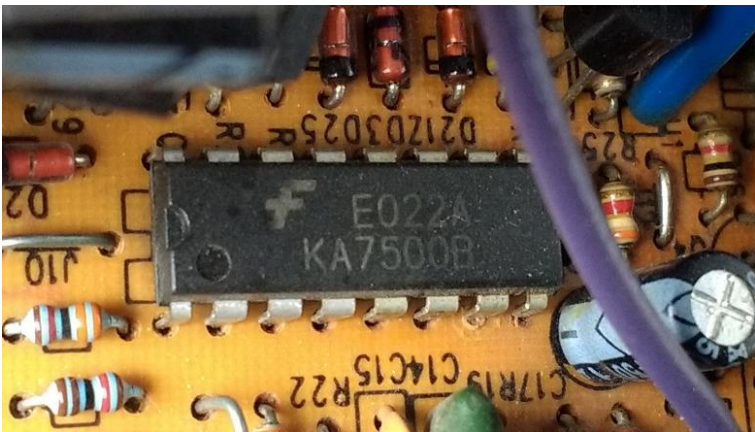
Esta configuración externa al circuito integrado, permite tomar una división de tensión entre “R43”, “R42” y la resistencia “R44”, logrando de esta manera que en la entrada no inversora del primer amplificador operacional, compare con la tensión entrante de la entrada inversora (pin 2) que vendrá del voltaje de referencia del mismo circuito (5v dc) que a su vez irá puenteado con el pin 13 (colocando en 1 lógico las compuertas nand) y la entrada inversora del segundo amplificador operacional comparador (pin 15).

El pin FB (Feed back) entregará una tensión a la etapa “E” ocupada para dar activación a la salida “power good”, dando inicio al encendido de la placa madre.

En este caso el pin 4 denominado DTC (Dead Time Controller), controlará externamente el ancho de pulso mediante el circuito de sobre voltaje y el PSON, el primero como se explicaba anteriormente en caso de anomalías de sobre voltaje presentado en las salidas de voltaje continuo y el segundo en caso de que el pin no esté conectado a GND, ambos influyendo en la activación de oscilación de los transistores “Q1” y “Q2” internos en el circuito integrado. Ambos transistores irán en una configuración de emisor común (pines 10 y 9 a GND), permitiendo que los transistores drivers en la etapa “F” pasen de corte a saturación descargándose a tierra, dando de esta manera la oscilación previa para controlar los transistores de conmutación de potencia alojados en la etapa “G”.

Cabe mencionar que la fuente incorporaba el circuito integrado KA7500B, que como se entendió anteriormente, es el homólogo del TL494. se procedió a realizar el remplazo por este último a modo experimental, consiguiendo el repuesto de otra fuente ATX de mejor valoración de calidad, esto debido también a que el diagrama circuitual asumía que este venía en la fuente. Este circuito integrado, además de ser el modulador de ancho de pulso original en la familia, presenta mayor calidad en cuanto a tolerancias.

A continuación, se podrá observar el trabajo final obtenido del remplazo de este componente.



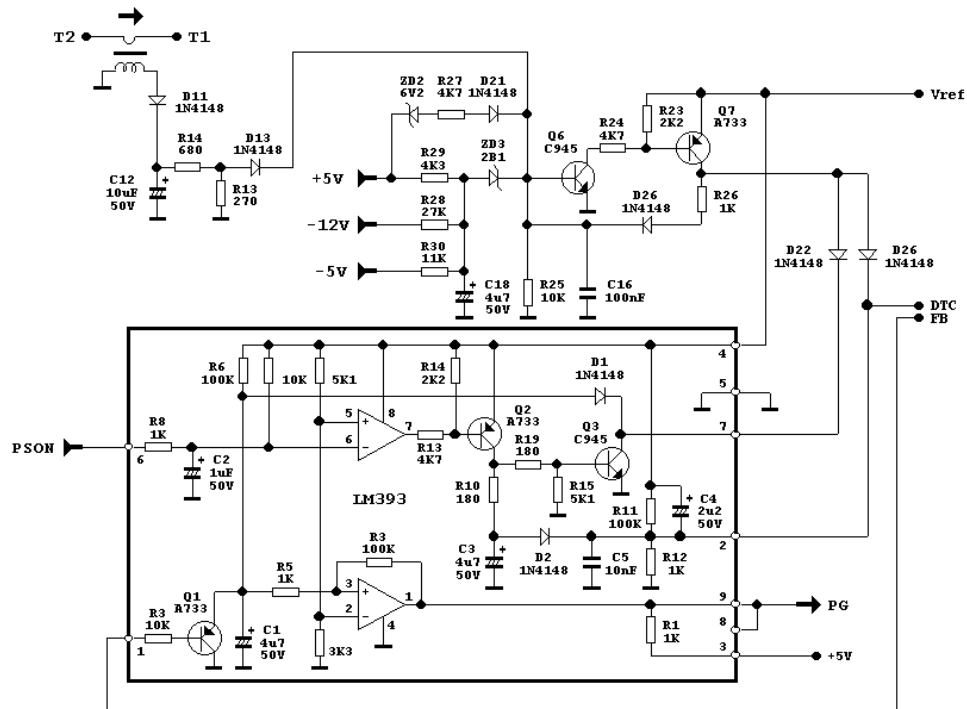
2-20 KA7500B antes del remplazo.



2-21 TL494 Instalado en la fuente.

2.4.3.5 E- Protección y encendido.

Esta etapa, se compone de la protección por el circuito de sobre voltaje y el módulo “Dual comparator” que es un circuito integrado LM393 que posee dos amplificadores operacionales, este último ocupándose del encendido por medio del conector PSON dando de esta manera, la señal de “Power good”.



2-22 Etapa de protección y encendido.

El circuito compuesto por el “LM393”, tendrá dos labores, la primera será que al momento de que se energice la fuente por medio de su conector a la red domiciliaria, comenzará a conmutar la señal continua solamente si el cable “PSON” es puesto tierra, y la segunda es que en base a la señal de “Feed back” entregada por el circuito integrado modulador de ancho de pulso, dar la orden a la placa madre por medio del conector PG que todas las tensiones están estabilizadas.

Sin el cable PSON puesto a GND, el transistor “Q2” conectado al pin número 7 que corresponde a la salida del primer amplificador operacional, estará polarizado y conduciendo, dando un flujo de corriente por el colector dejando a “Q3” en saturación y a “D2” polarizado directo, por dónde fluirá la corriente al pin 4 deteniendo la oscilación. Al momento de conectar PSON a tierra, “Q2” dejará de conducir y “Q3” se cortará, por consecuencia, el diodo “D2” que se encontraba conduciendo, dejará de estar polarizado y la tensión aplicada al pin 4 dejará de efectuarse, permitiendo que el circuito integrado conmute.

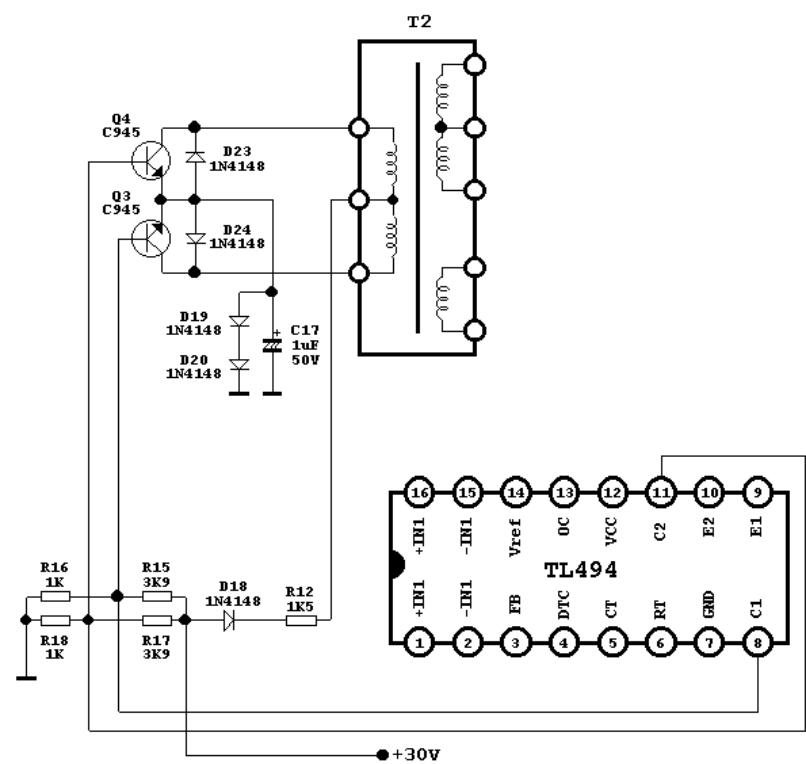
Para la correcta comprensión del circuito de protección, habrá que empezar por la inductancia que se encuentra en el lazo de T2 hasta T1, esta tendrá la labor de ser inducida por un campo magnético variable proveniente de la oscilación de los transistores de conmutación de potencia en la etapa “G”, el pulso es traducido finalmente a un solo semiciclo positivo que llegará hasta el circuito de protección por sobre tensión, dónde se encontrarán entrantes las tensiones de salida.

Este circuito consta de dos transistores, uno PNP y otro NPN, dónde en el caso de haber un desperfecto como un cortocircuito o sobretensión se polarizará “Q6” (NPN) que a su vez polarizará “Q7” (PNP), esto se mantendrá enclavado hasta que la fuente sea privada de tensión de alimentación, ya que posee un lazo de realimentación que dejará enclavada la señal por el diodo “D26”.

El sentido de la corriente fluirá por “D’26” que irá directamente al pin 4 (dead time control) deteniendo el ancho de pulso generado por el circuito integrado de manera externa.

2.4.3.6 F- Transistores drivers y “T2”.

Esta etapa, es la encargada de dar un control directo a la etapa “G” de transistores de potencia. Constituida por dos transistores NPN “C945” (Q4 y Q3), cada uno con su respectivo diodo en antiparalelo para la protección de este, frente a la tensión aplicada cuando esté en corte.



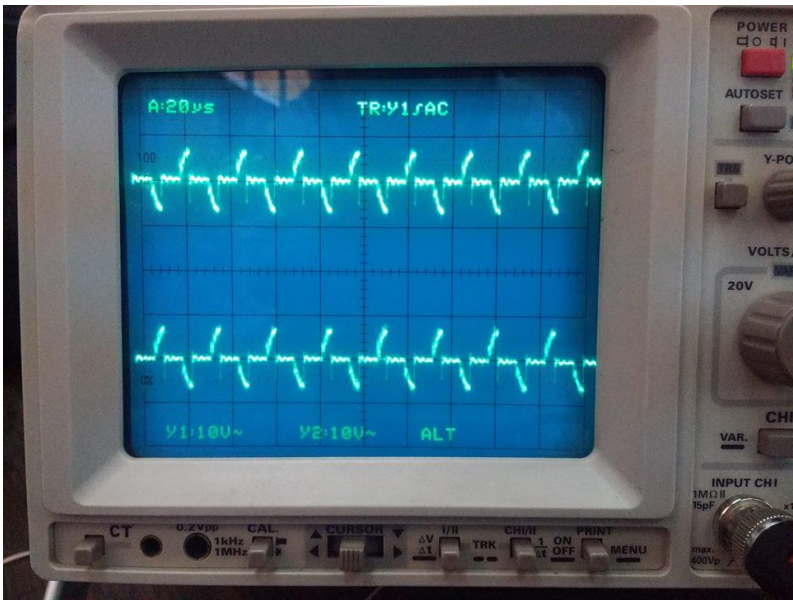
2-23 Etapa de control y “T2”.

El principio de funcionamiento comienza con los transistores internos del circuito integrado, dónde habrá un pin para el colector y otro para el emisor de cada uno. De esta manera, cuando la etapa auto osciladora “C” alimente a los transistores drivers con los 30v dc a través de las resistencias “R15”, “R16”, “R17” y “R18”, los transistores internos en configuración “emisor común” (pin 10 y 9 a tierra) estarán conmutando, y por consecuencia polarizarán en corte y saturación a los transistores drivers aterrizando la tensión con la que son alimentados.

Como se puede observar en el diagrama circuital, la tensión entregada por la etapa “C” también irá al punto medio del primario en “T2”, de esta manera con el funcionamiento intercalado de corte y saturación en los transistores Q4 y Q3, se inducirá un campo magnético que afectará al secundario del mismo transformador. La corriente que irá en una u otra dirección (dependiendo cuál transistor driver esté en saturación) se descargará por medio de los diodos “D19” y “D20”

Con esta forma de funcionamiento, en el secundario de “T2” se inducirá un voltaje que polarizará a los transistores de conmutación de potencia, tema que se profundizará en la etapa “G”.

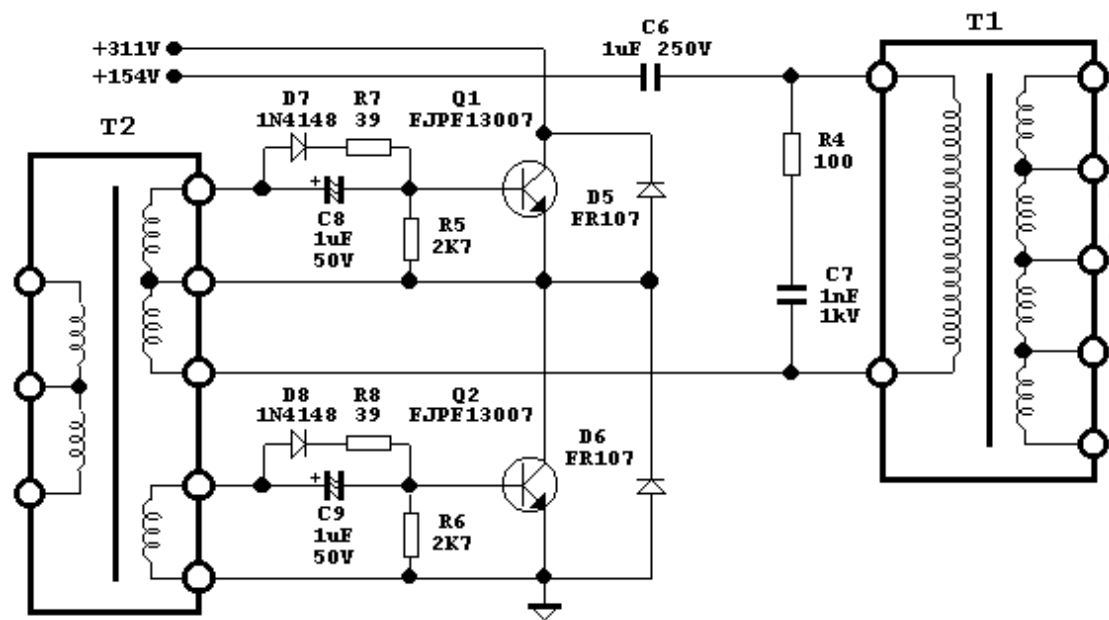
En la siguiente imagen se podrá observar la tensión en la inductancia del primario en “T2”, la medición se hizo con respecto al punto medio y los dos extremos correspondientes a colector de “Q4” y colector de “Q3”.



2-24 Conmutación “Q3” y “Q4”.

2.4.3.7 G- Conmutación de potencia.

Posterior a la etapa “F”, la etapa de conmutación de potencia se encargará de tomar el divisor de tensión en los condensadores “C1” y “C2” de la etapa “B” y transformarla en tensión alterna, por lo que la topología usada en este conversor es de medio puente.



2-25 Etapa de conmutación de potencia.

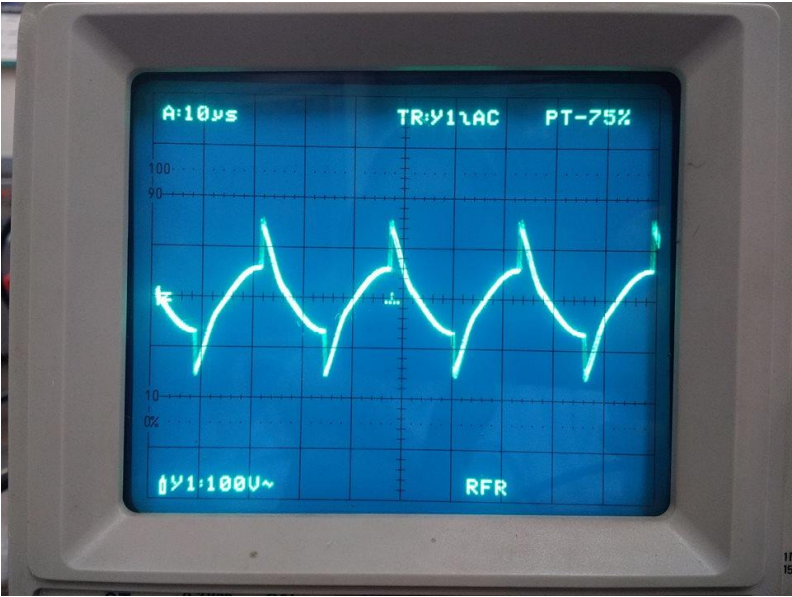
El campo magnético inducido al secundario del transformador “T2” polarizará a los transistores “Q1” y “Q2” que son transistores de conmutación NPN de potencia, capaces de manejar corrientes de 16 amperes y tensiones superiores a los 400v (FR107). Estos al igual que los transistores drivers, conmutarán intercaladamente, abriendo y cerrando paso a los 154V DC ($V_{cc}/2$).

El principio de operación, al usar la topología medio puente, utiliza los condensadores de entrada cargados por el trabajo de la rectificación de onda completa, tomando el divisor de tensión y utilizando el primario del transformador “T1” como carga.

Al momento de que los transistores drivers polaricen a “Q1” y “Q2” esté en corte, este dejará fluir la intensidad suministrada por “C2” en la etapa “B”, tomando el primer divisor de tensión, y haciendo fluir la corriente hasta la tierra virtual (en medio de “C2” y “C1”) fluyendo la corriente desde “C7” hasta “R4” por el primario.

Una vez que el transistor “Q1” esté en corte y sea “Q2” el que conduzca, el divisor de tensión se tomará desde el condensador “C1”, cambiando la dirección de la corriente por el transformador.

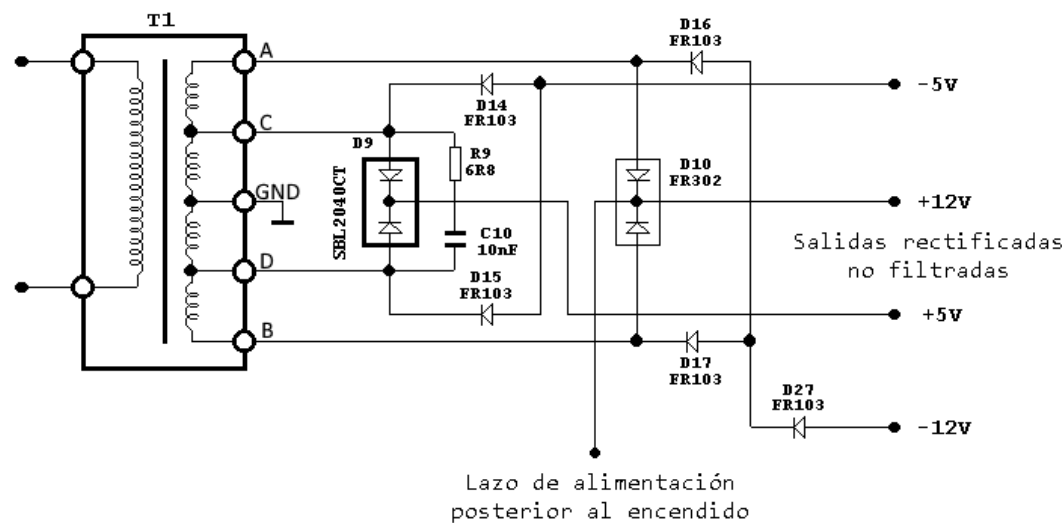
En la imagen “2-26” se podrá observar la señal alterna correspondiente a los puntos de entrada del transformador “T1”. La imagen, al ser tomada con la fuente ATX sin ninguna carga, esta definirá el ciclo de trabajo al mínimo a una frecuencia de 38.000 Hz a una amplitud de 160V Ac.



2-26 Señal alterna en primario de “T1”.

2.4.3.8 H- Rectificadores de salida.

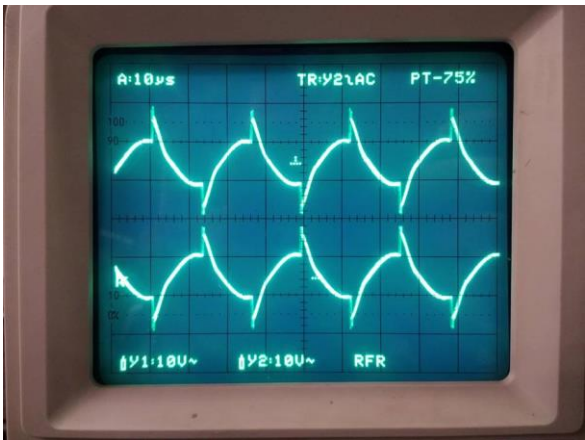
Posterior al transformador “T1”, está presente la etapa rectificadora, que acondiciona las señales con el fin de separar los semiciclos positivos y negativos correspondientes a las líneas de tensiones de salida y obtener su correspondiente polaridad para luego ser filtradas en la siguiente etapa.



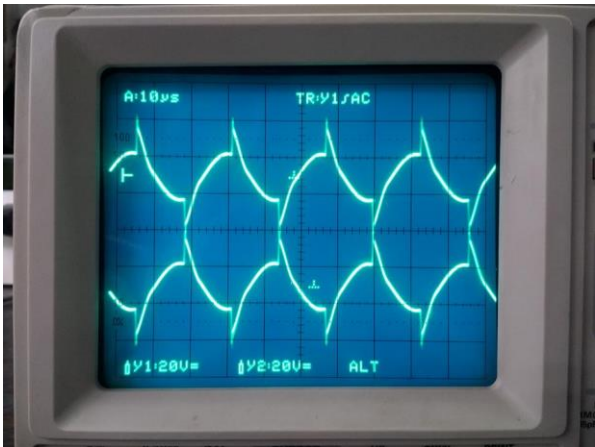
2-27 Etapa “H” de rectificación.

Como se puede apreciar en la imagen, “T1” posee un arreglo interno en su embobinado con un punto medio, dónde contiguamente irán las líneas de 5v (C y D) y 12v (A y B) previo al filtrado. Esta configuración además permite que estas salidas posean un desfase de 180° con respecto su línea homologa, de esta manera colocando un diodo en cada salida y uniéndolas, se obtendrá una rectificación de onda completa.

En las siguientes imágenes se puede observar el desfase efectuado por las inductancias y la configuración del embobinado del transformador (180° una con respecto a la otra).



2-28 Punto “C” y “D” c/respecto a GND 24v Peak.



2-29 Punto “A” y “B” c/respecto a GND 31v Peak.

Cada salida se dividirá en un carril positivo y otro negativo, esto debido a la polarización directa e inversa de los diodos rectificadores “Shottky”, ocupados por la alta frecuencia que posee esta señal (Frecuencia de conmutación de 38462 Hz). En el caso de los semiciclos positivos, habrá diodos capaces de manejar corrientes mayores de 3 Amperes, sin embargo, en los diodos polarizados por el semiciclo negativo, solo entregarán la corriente de fuga máximo que puedan antes del voltaje de ruptura.

Las tensiones previamente rectificadas y separadas estarán listas para ir a la etapa “I” de filtrado. Cabe destacar que en este tipo de fuentes es común ver circuitos integrados con ambos diodos en su interior, estos poseen la apariencia de un transistor y son capaces de manejar las altas conmutaciones y corrientes que son requeridos para las líneas de tensión.

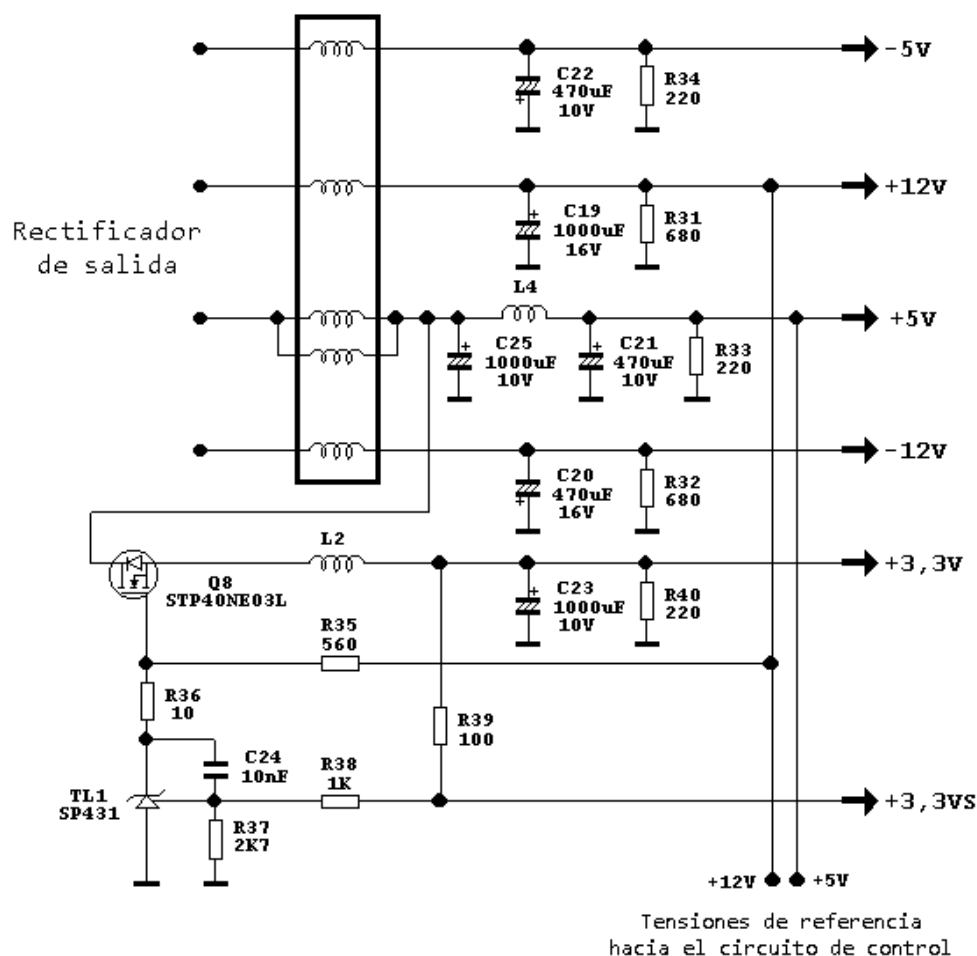
2.4.3.9 I- Filtros de salida.

Como etapa final están los filtros de salida, su función es estabilizar la energía proveniente de las etapas anteriores y entregar energía de manera segura a los componentes de hardware que se alimentaran directamente desde este punto.

Como primera instancia se tiene una bobina toroidal de núcleo de ferrita, donde reposan las espiras de las diferentes líneas de tensión provenientes de “T1” y sus rectificadores (líneas de +5Vdc, -5Vdc, +12Vdc y -12Vdc respectivamente).

La función principal de esta bobina es suavizar la partida, suprimir los transientes o picos de tensión que podrían generarse en las etapas anteriores y eliminar en parte el rizado producto de las señales rectificadas con anterioridad.

El resto del trabajo lo realizan los condensadores y resistencias a la salida de la bobina toroidal, estos se encargan de lograr que la tensión sea lo más lineal posible, eliminando completamente el rizado, entregando una salida de tensión constante.



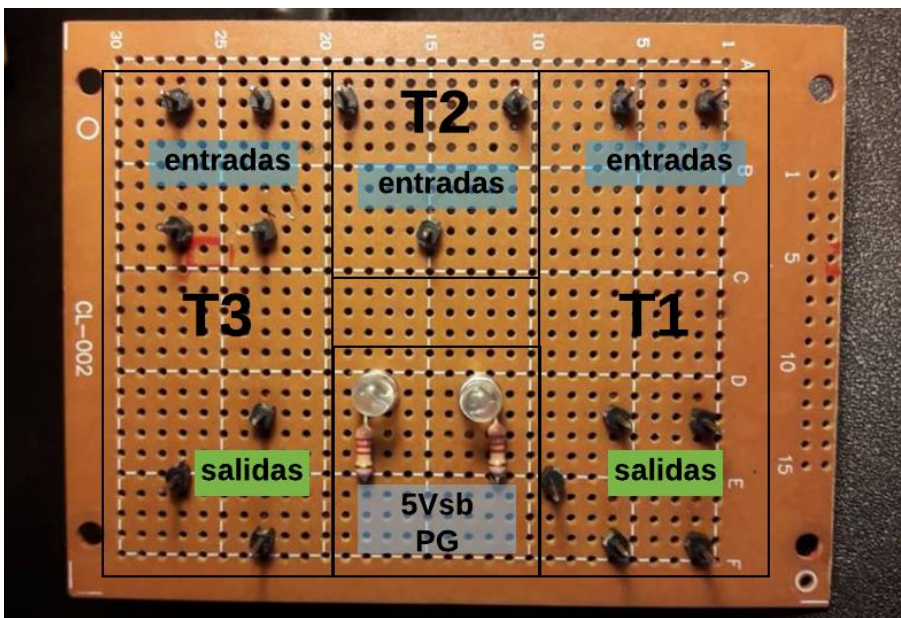
2-30 Etapa de filtros de salida.

Para las salidas de 3.3Vdc, se toma una línea del carril general para la alimentación de 5Vdc y esta es regulada a través de un mosfet que, a su vez, es controlado por un circuito sensor autoajustable con un zenner regulable como referencia. Dicho zenner se ajusta de acuerdo a la tensión censada por la referencia de la señal tomada en la salida +3.3Vsense y además, actúa como referencia para el circuito de control (hacia TL494), el que posteriormente se encarga de regular el ciclo de trabajo para lograr tensiones de salida estables a medida que la carga aumenta o disminuye.

2.5 Maqueta.

2.5.1 Implementación.

Terminado el análisis de las etapas que componen a la fuente, se procedió a soldar en esta, distintos puntos de prueba a una placa de baquelita, que irá colocada en la parte superior del chasis por medio de separadores, de esta manera se obtendrá acceso de manera sencilla a los puntos de medición de “T1”, “T2” y “T3”. Además, se incluyó dentro de la misma placa, dos LEDS indicadores de estado representando los 5Vsb y el PG.

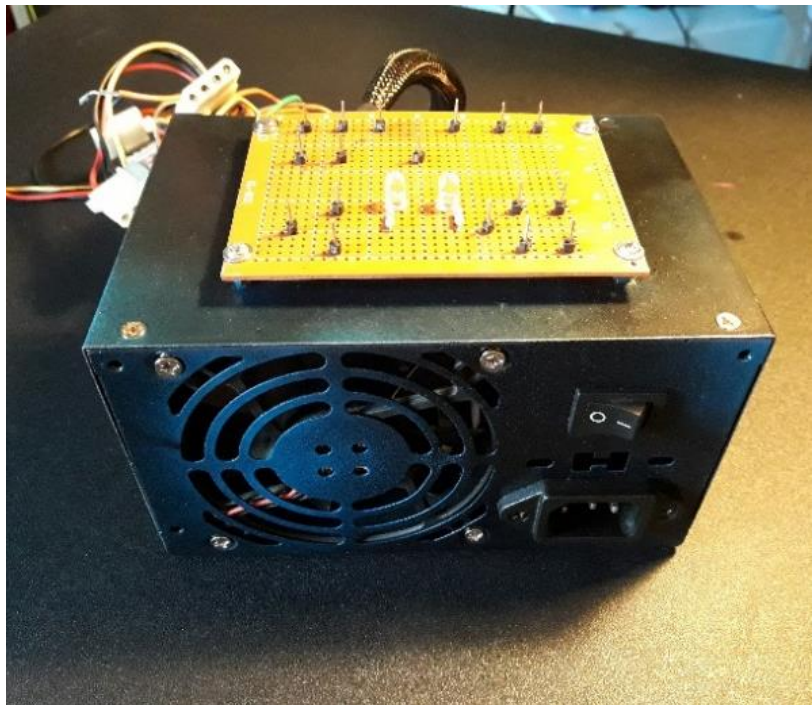


2-31 Distribución de pines.

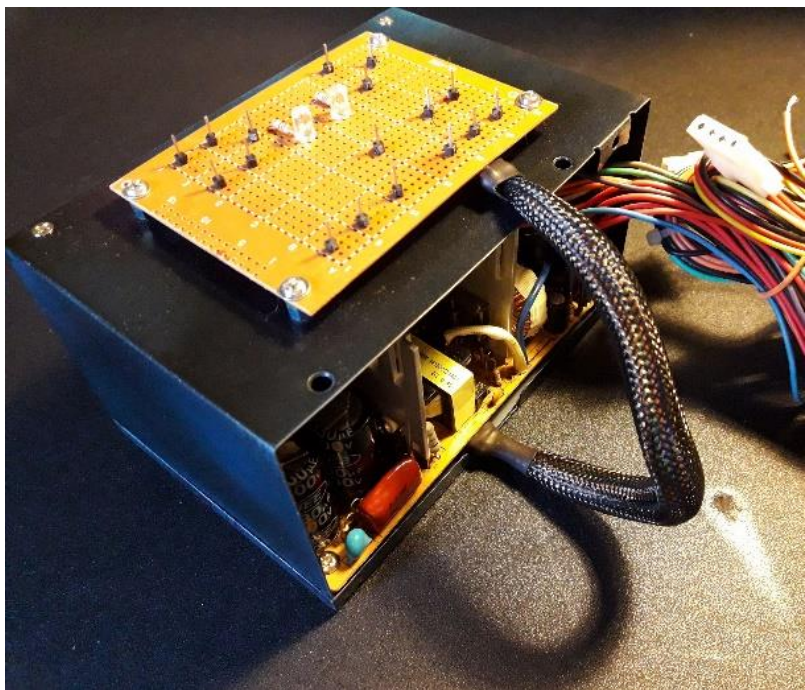
2.5.2 Lista de cambios de la fuente original.

- Filtros de línea y protecciones.
- Diodos rectificadores (quemados).
- Transistores drivers Q4 y Q3 (quemados).
- Diodos D23 y D24 en T2 (quemados).
- Circuito integrado KA7500B por TL494.
- Módulo LM393.
- Extracción cara lateral chasis.
- Pintado al chasis.
- Implementación de placa impresa de baquelita en parte superior del chasis y sus respectivos soportes.

Se puede apreciar en las siguientes imágenes la implementación de una tarjeta impresa con pines de salida, de los cuales se pueden medir las señales más significativas que ayudaron a entender el comportamiento de distintas etapas.



2-32 Maqueta vista trasera.



2-33 Maqueta vista frontal.

2.5.3 Ejercicios prácticos.

Con el fin de tener más información con respecto a la energía entregada por la fuente (Potencia en Watts) se realizaron mediciones en laboratorio de corrientes y tensiones entregadas por la fuente de poder, considerando la tabla de valores de corriente aportados por el fabricante que puede aportar cada salida de alimentación.

	Entradas AC		Salidas DC					
Voltaje	110V 50Hz	230V 50Hz	+5V	+3.3V	+12V	-12V	-5V	+5V SB
Corriente	6A	3A	23A	14A	8A	0.5A	0.5A	1.2A

2-34 Tabla de valores entregadas por el fabricante.

Como es sabido popularmente, los valores especificados o nominales no son reales, es decir, estos difieren de los realmente medidos. Además, en productos de calidad genérica se suele ocupar valores estandarizados que no siempre representan o se acercan a los que realmente operan, es por esto que se procedió a medir los valores de tensión que aportaba la fuente en sus salidas más importantes utilizando un voltímetro en las líneas de +3.3V, +5V y +12V respectivamente, dando como resultado, una diferencia ínfima en adición no mayor a los 50mV sin carga en cada una de estas.



2-35 Mediciones realizadas en la línea de +12V en vacío.

El siguiente paso fue calcular la carga mínima que podía ser conectada en estas salidas, dividiendo la tensión por la corriente que esta supuestamente aportaba.

$$\text{Resistencia de carga} = \frac{V \text{ (Tension)}}{I \text{ (Corriente)}}$$

Para esto se utilizó el carril de +12V que, según los datos del fabricante, esta podía aportar una corriente de 8 Amperes, por lo tanto, esto indica que la carga o resistencia mínima a conectar sería de 1.5Ω (ohm). Luego de tener estos datos se utilizó cargas resistivas de mayor tamaño, con el objetivo de medir la caída de tensión en esta a medida que se iba reduciendo en tamaño.

En la siguiente tabla se muestran las resistencias conectadas para realizar las pruebas con valores fijos y sus tensiones medidas.

Valor Óhmico de resistencia	Tensión medida en la resistencia.	Corriente medida en serie a la resistencia.
100Ω ¼ W	11.96V	0.11A
68Ω ¼ W	11.83V	0.17A
33Ω ½ W	11.67V	0.34A
10Ω 1 W	11.49V	1.12A
Reóstato de tubo cerámico 3Ω 10W	11.38V	3.74A

2-36 Tabla de valores resistivos conectados con sus tensiones y corrientes medidas.

Con estas resistencias conectadas entre la línea de 12V de la fuente se pudo obtener la medición de la tensión y la corriente que pasaba a través de las cargas conectando el Amperímetro en serie a estas, como resultado, se obtuvieron los valores con los cuales se sacaron las siguientes conclusiones.

La energía disipada en forma de calor se mostró notablemente alta, aunque no excesiva en las cargas a partir desde los 68 ohm en disminución, requiriendo resistores de mayor tolerancia a potencia disipada.

A pesar de que no se notó recalentamiento en la fuente ni en los cables, no se continuó disminuyendo la carga, ya que, por convención, los fabricantes de dispositivos computacionales recomiendan que los valores de tensión entregados por la fuente deben tener una tolerancia +/- del 5% como máximo, teniendo valores entre los 11.4V mínimo y 12.6V máximo respectivamente, lo que demuestra que estos valores ya no son aceptados en cuanto a la alimentación de componentes se trata.

Esto demuestra con toda seguridad, que los valores nominales mostrados en este tipo de equipos de calidad genérica no son de fiar, ya que, si bien podrían acercarse a estos, las condiciones podrían no ser favorables o incluso peligrosas para los dispositivos conectados.

Conclusión.

Cuando se aprende sobre fuentes conmutadas, se aprende la forma en la que hoy se suministra energía a la mayoría de los dispositivos electrónicos de la manera más eficiente y eficaz de hacerlo, esto gracias a sus componentes discretos, capaces de modular el ancho de pulso de una señal continua, sin grandes pérdidas de potencia ni la necesidad de costosos y robustos componentes.

El impacto de esta clase de fuentes en la cultura moderna es casi inadvertido, no obstante, el desarrollo y la confección de fuentes conmutadas será una pieza fundamental en el avance de la tecnología, ya que cada vez, esta se vuelve más exigente en cuanto a precisión, control y versatilidad al momento de energizarse, lo que hace a la fuente switching hasta ahora el método más completo de hacerlo.

Este informe abarcó los distintos métodos utilizados por conversores, para modificar las propiedades físicas como la amplitud del voltaje, por medio del corte y saturación de elementos activos controlados, esto con el propósito de acondicionar el concepto para una correcta interpretación del análisis de la fuente ATX, que fue físicamente estudiada e intervenida para lograr comprobar distintas conjeturas de modo empírico con la medición e interpretación de las distintas señales efectuadas, que gracias a aquello se logró comprender la correlación de las distintas etapas constituyentes de la fuente para así confeccionar una maqueta en base a esta misma, con pines de medición para tener acceso a las señales más significativas de manera cómoda y ergonómica, completando de esta manera el objetivo principal propuesto al principio del informe.

Las distintas complejidades dentro del desarrollo del informe, como cuestionamientos teóricos y prácticos, fueron resueltas a medida que se profundizaba en el estudio de las fuentes conmutadas y se investigaba en el modelo de la fuente ATX, por medio del diagrama circuital de esta. La correcta lectura del diagrama circuital, fue indispensable al momento de analizar cómo es la forma en que este es capaz de entregar tensiones continuas, reguladas y con un circuito de protección por sobre tensión.

El remplazo de componentes mencionados anteriormente en la lista permitió mejorar habilidades tanto en soldadura como en el análisis efectuado para determinar cuál componente era el más propenso a estar en mal estado por algún error como corto circuito al momento de trabajar en mediciones, además de desarrollar algoritmos al momento de energizar y hacer mediciones para tener el mínimo porcentaje posible de cometer una falla.

Sin duda las fuentes switching seguirán mejorando en cuanto a técnicas de conversión, calidad de componentes y en su circuitería, para que de esta manera se cumpla el mismo propósito que efectúan ya desde hace más de 30 años, pero con rendimientos aún más favorables, interferencias electromagnéticas más atenuadas, y tamaños aún más compactos, mejorando y a su vez alejándose de la obsolescencia hasta que eventualmente se creen tecnologías mejores.

Bibliografía.

- [1] Sergio Briceño, Fuentes de tensión continua que operan por conmutación, segunda edición [Julio 1992].
- [2] www.monografias.com, Fuentes conmutadas del tipo ATX, [En línea], <<https://www.monografias.com/trabajos75/fuentes-conmutadas-tipo-atx/fuentes-conmutadas-tipo-atx2.shtml>>, [Junio 2000].
- [3] Juan Aguilar, Francisco Muñoz, Francisco Ogayar, Electrónica de potencia: Convertidores Dc/Dc, [En línea], <https://issuu.com/jaguilarpena/docs/conversores_dc-dc>, [Octubre 1995].
- [4] danyk.cz, AT and ATX PC computer supplies schematics, http://danyk.cz/s_atx_en.html [2002].
- [5] Jose Castillo, La fuente de alimentación de PC, [En línea], <<https://es.slideshare.net/Jomicast/la-fuente-de-alimentacin-del-pc>>, [Enero 2013].
- [6] Jose Castillo, Las fuentes de alimentación conmutada (switching), [En línea], <<https://es.slideshare.net/Jomicast/las-fuentes-de-alimentacin-conmutadas-switching>> [Abril 2013].
- [7] Antonio Nachez, Electrónica de potencia aplicaciones de la conversión CC-CC Fuentes conmutadas, [En línea] <<https://diegoclimbing.files.wordpress.com/2014/11/fuentes-conmutadas-cc-a-cc.pdf>>, [2003].

Fuente de ilustraciones y tablas.

Capitulo - Número de ilustración - Fuente.

1-1 https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada#Comparaci%C3%B3n_entre_Fuente_de_alimentaci%C3%B3n_conmutadas_y_lineales

1-2 https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada#Comparaci%C3%B3n_entre_Fuente_de_alimentaci%C3%B3n_conmutadas_y_lineales

1-3 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía editor online “lucidchart.com”).

1-4 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-5 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía freeware “Paint.NET”).

1-6 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-7 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-8 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

1-9 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

1-10 Elaborado por: Cristóbal Obrist.

1-12 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía editor online “lucidchart.com”).

1-13 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-14 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-15 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-16 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía editor online “lucidchart.com”).

1-17 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-18 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía simulador online “easyeda.com”).

1-19 Elaborado por: Pedro Fuica (vía simulador online “easyeda.com”).

1-20 Elaborado por: Pedro Fuica (vía simulador online “easyeda.com”).

2-1 mercadolibre.com.ar/MLA-640981451-fuente-550w-kanji-dixit-pc-_JM

2-2 blogspot.com/2015/07/fuente-de-poder.html

2-3 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”).

2-4 ebay.com/itm/MaxUs-PM-230W-ATX-Computer-Switching-Power-Supply-Unit-PSU-Desktop-PC-/272772195955

2-5 Elaborado por: Pedro Fuica, Cristóbal Obrist (vía editor online “lucidchart.com”).

2-6 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-7 Elaborado por: Pedro Fuica (Fotografía).

2-8 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”).

2-9 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-10 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía freeware “Paint.NET”).

2-11 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-12 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-13 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-14 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-15 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-16 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-17 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-18 Elaborado por: Cristóbal Obrist (vía freeware “Paint.NET”).

2-19 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-20 Elaborado por: Pedro Fuica (Fotografía).

2-21 Elaborado por: Pedro Fuica (Fotografía).

2-22 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-23 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-24 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-25 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-26 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-27 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-28 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-29 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-30 Elaborado por: Pedro Fuica (vía freeware “Paint.NET”) http://danyk.cz/s_atx_en.html

2-31 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-32 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-33 Elaborado por: Cristóbal Obrist (Fotografía).

2-34 Elaborado por: Pedro Fuica (Tabla de datos en fuente PM-230W).

2-35 Elaborado por: Pedro Fuica (Fotografía).

2-36 Elaborado por: Pedro Fuica.