



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.**

TEMA:

“DISEÑO DE UNA FUENTE DC DUAL SIMÉTRICA DE ALTA POTENCIA”.

AUTOR.

Br. José Noel Gaitán Guerrero.

Br. Ever Enrique Ruiz Nicaragua.

TUTOR.

Msc. José Manuel Arcia Salmerón

Prof. Titular Dpto. Electrónica FEC

JUNIO 2019

Managua, Nicaragua.

Índice de contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	JUSTIFICACIÓN	3
III.	OBJETIVOS.....	4
	Objetivo general.	4
	Objetivos específicos.....	4
IV.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	5
	1. Fuente de alimentación del sistema de control CH1 (CH2).	6
	2. Cálculos fuente de alimentación del sistema de control.	7
	3. Bloque de potencia y rectificador controlado CH1 (CH2).	8
	4. Filtrado del voltaje rectificado/LC.....	11
	5. Lógica de conexión de todo el sistema de potencia y su protección.....	14
V.	SISTEMA DE CONTROL	17
	1. Control de fase para variar el ángulo de disparo alfa α , CH1 (CH2).	17
	2. Programación del TCA 785, generación de rampa sincronizada.	17
	3. Programación del circuito ráfaga	19
VI.	CONTROL PROPORCIONAL [7]	23
	1. Amplificador de error.	25
	2. Control de límite de corriente (CLC)	28
VII.	DISEÑO DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3	31
	1. Cálculos de la potencia del transformador (T3)	31
	2. Cálculo del número de espiras	32
	3. Cálculo del calibre del conductor.	34
VIII.	CONCLUSIONES	35
IX.	RECOMENDACIONES	37

X. Manual de funcionamiento:.....	38
XI. Tabla de costo	43
XII. ANEXOS	i
Montaje en Breadbord	ii
Diseño de PCB control.	ii
Diseño PCB Tiristores (SKKL92).....	iv
Proceso de planchado en tarjeta virgen	iv
Preparación a introducir al ácido nítrico	v
Etapa final impreso terminado.....	v
Montaje de dispositivos	vi
Montaje terminado CH1, CH2 control	vi
Ensamble de bobina para filtro LC	vii
Montaje en carcasa robusta	vii
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS DISPOSITIVOS USADOS.....	Vii
XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras 1. Diagrama en bloques fuente de alta potencia.	5
Figuras 2. Fuente de Alimentación de sistema de control, CH1(CH2)	6
Figuras 3. Puente rectificador controlado, usando 2 módulos SSKKL92.....	8
Figuras 4. Bloque de potencia con interface de control.	10
Figuras 5. Procesos transitorios en una fuente de Vdc rectificada.	11
Figuras 6. Conexión del circuito de fuerza, control y etapa de potencia.....	16
Figuras 7. Circuito de sincronía y rampa del TCA785.....	18
Figuras 8. PPM y rampa del TCA785 para cargas Resistivas.....	19
Figuras 9.Circuito generador de pulso alfa en ráfagas de 1kHz.....	20
Figuras 10. Tren de pulso alfa hacia tiristores.....	22
Figuras 11.Diagrama sistema de control proporcional.....	24

Figuras 12. Señal de referencia proporcional.....	24
Figuras 13. Amplificador de error con LM324.....	26
Figuras 14. Circuito limitador de corriente (CLC).....	28
Figuras 15. Transformador de potencia.....	32
Figuras 16. carátula delantera manual de funcionamiento.....	38
Figuras 17. conexión de salida manual de funcionamiento.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. regulador lm7812.....	8
Tabla 2. Variación del Angulo de disparo.....	14
Tabla 3. Coeficiente k según potencia.....	33
Tabla 4. De costo	43

I. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Ingeniería es una institución de educación superior que pretende contribuir a la transformación tecnológica y al desarrollo sustentable de Nicaragua y la región Centroamericana. Partiendo de la visión de esta alma mater es importante señalar que todo proyecto tiene sus facetas siendo el periodo de pruebas el que determinará el éxito del mismo, en el caso de la facultad de electrotecnia y computación (FEC) siendo más exacto la carrera de ingeniería electrónica, cuenta con laboratorios destinados para que el estudiante pueda realizar ensayos de circuitos electrónicos de interés, obviamente los tipos de experimentos que se pretenden probar para obtener un óptimo funcionamiento como son estas variables (voltaje, corriente, señal), si bien es cierto el producto de voltaje y corriente es lo que conocemos como potencia más sin embargo este elemento se ha atenuado por el simple hecho que nuestros circuitos experimentales no demandan una alta potencia y por estas razones las fuentes de alimentación usadas en la carrera de ingeniería electrónica son de corriente directa en 30 voltios y 3 amperios, es decir, la potencia es inferior a 100 watts.

Esto es una gran limitante, debido a que no se pueden realizar prácticas o proyectos que demanden alta potencia, por ejemplo, un amplificador de audio de unos 1000 watts, un inversor de más 500 watts, etc.

La idea de esta tesis nació de la necesidad de experimentar un controlador de carga para un sistema eólico, se requería simular la energía generada por el sistema eólico, que con la variación del viento esta sube o baja según corresponde, pero debido a que no se disponía de una fuente de DC de alta potencia la prueba no se desarrolló satisfactoriamente.

Este trabajo viene a llenar este vacío, sin embargo, al ser de alta potencia sus costos son muy elevados y por eso se optó por el reciclaje de partes, tales como:

Transformador de potencia, capacitores de alto microfaradio y alta capacidad de voltaje, así como los módulos interruptores de alta potencia y otros. La fuente que se propone tiene un comportamiento lineal, se aprovecha sus ventajas tales como:

- Simplicidad de diseño.
- Operación suave y capacidad de manejar cargas bajo ruido en su salida y una respuesta dinámica muy rápida.
- Es estabilizada y de alta eficiencia.

Por esta razón no se eligió la fuente conmutada ya que estas producen más ruido en la salida y entrada radian interferencia electromagnética y de radiofrecuencia y esto puede dificultar el control y esto no deberá ser ignorado durante la fase de diseño

Las fuentes conmutadas toman proporciones de energía de la entrada en pulsos de tiempos limitados para transferirlos a la salida en otras condiciones de corriente y tensión por lo que lleva mayor tiempo (funcionamiento lento) de restablecimiento al circuito para soportar variaciones en la entrada. Esto se llama respuesta transitoria

Como resultado, se ha construido una fuente de DC de dos canales iguales e independientes, con voltajes y corrientes ajustables y estabilizadas, que es capaz de entregar hasta 50Vdc, 25 amperios y si se le conecta en serie daría 100Vdc en 25 amperios, si se le conecta en paralelo, daría 50Vdc y 50 amperios.

Con este trabajo, se considera, se está haciendo un aporte a la FEC para el desarrollo de trabajos de electrónicos de alta potencia.

II. JUSTIFICACIÓN

Constantemente se tiene una fuente de voltaje en un amplificador de audio, inversor o cualquier equipo o sistema que requiera un voltaje DC para su funcionamiento, como es un elemento necesario e imprescindible en un circuito de esta índole. La problemática es que, para alta potencia, en la carrera de ingeniería electrónica no se cuenta con este tipo de fuentes con alta capacidad de potencia y que además tenga buena protección de corriente. Pensando en una solución a este problema, se ha diseñado una fuente dual de alta potencia, ajustable, estabilizada y con protección de sobre corriente y con alta eficiencia.

Esta fuente permite el paso de corriente desde cero hasta 25 A ajustables, esto se logrará mediante una lógica de control proporcional, Hoy en día la electrónica de potencia aprovecha los avances y recurso de la tecnología como son: fabricación de circuitos integrados de control de alto desempeño y dispositivos semiconductores de alta potencia, que trabajan bajo la supervisión de un control electrónico (tal es el caso del tiristor) puesto que las diversas aplicaciones implican requerimientos energéticos particulares que demandan ciertas características a los dispositivos y éste es el principio de este trabajo.

Ejemplificando, para poder activar un IC de audio a 12 voltios de corriente directa (está claro que lo conectaremos a la red domiciliar de 120 voltios AC), necesitaríamos conectar un transformador que reduzca esos 120 voltios de corriente alterna (AC) aun voltaje de 14 voltios (AC) y aproximadamente 2 amperios y luego rectificarlos y estabilizarlos, pero si podemos hacer tal cosa en baja potencia, ¿porque no aplicar la misma logística en alta potencia?, este principio es el que se ha adoptado puesto que los valores de voltaje y corriente que emplearemos serán altos, así la fuente que se propone tiene salida dual de 50 voltios y 25 amperios en cada canal , con sus respectivas protecciones.

III. OBJETIVOS

Objetivo general.

Diseñar y construir una fuente DC dual simétrica de alta potencia, 25 amperios y 50V por canal.

Objetivos específicos.

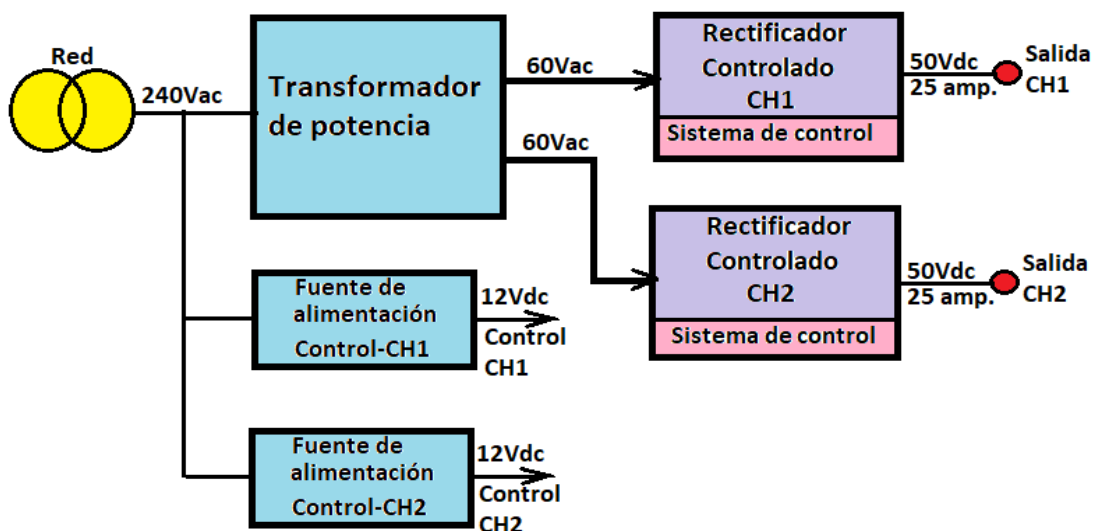
1. Diseñar un transformador de potencia a la medida, es decir 2x1250VA.
2. Construir un transformador utilizando la técnica de reciclaje partiendo de un núcleo existente.
3. Diseñar fuente de DC ajustable usando rectificadores semicontrolados en base a Tiristores y filtro LC, usando como circuito principal de control el TCA 785.
4. Ensamblar la fuente en carcasa robusta para la explotación y uso seguro de la misma.
5. Realizar manual de funcionamiento de la fuente para una correcta operación del equipo.
6. Incorporar la información económica del costo de producción del prototipo. Para crear una referencia en factibilidad para posibles trabajos futuros de esta misma índole.

IV. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Los aparatos electrónicos se conectan a la red eléctrica 120V o 240V de tensión en corriente alterna, sin embargo, estos aparatos y sus componentes realmente trabajan en corriente continua y generalmente a niveles de voltajes más bajos. Siendo este, el motivo de que lleven una fuente de alimentación de DC.

La fuente de alimentación del sistema de control se encarga de transformar la corriente alterna en corriente continua y regula la tensión de salida a unos valores determinados. El voltaje de trabajo que se ha seleccionado en corriente alterna es 240V (debido a alta potencia (2500W) y así evitar recalentamiento en los conductores por efectos del alta corriente 25A) y se transforma en corriente continua de 12V a la salida para la alimentación de la circuitería de control, por otro lado, esta fuente de poder de alta potencia (2500W), con posibilidad de ajuste del voltaje y corriente de salida según la necesidad.

Según lo planteado se necesitan dos fuentes completamente iguales e independientes en parámetros de entrada y salida, para controlar dos canales de 2500W para esto se alimenta la circuitería electrónica de control por separado. (Ver fig.1)

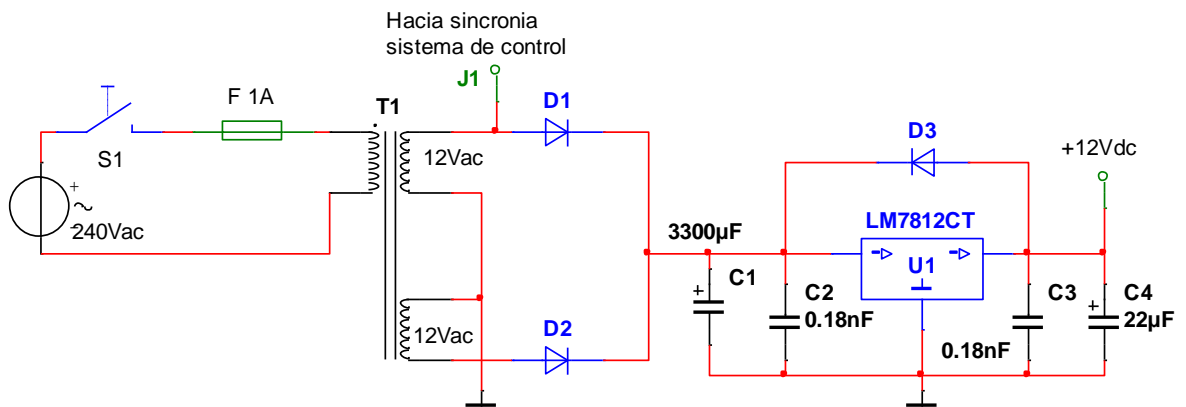


Figuras 1. Diagrama en bloques fuente de alta potencia.

1. Fuente de alimentación del sistema de control CH1 (CH2).

La fuente de alimentación del sistema de control tanto para el canal 1 como para canal 2 es igual e independiente. Ambas garantizan un voltaje de 12Vdc estabilizado y un voltaje de 12Vac en las terminales (J1 y J2) para la sincronía del sistema de control con la red eléctrica (ver fig.2).

Para garantizar los 12Vdc, se rectifica el voltaje de AC por medio de los diodos D1 y D2 y se filtra por medio del capacitor C1 (ver Fig.2), se estabiliza usando un regulador genérico típico, LM7812. Este integrado es capaz de entregar hasta 1A [1] sin embargo el IC 555 consume 5mA [2], TCA785 5mA [3], LM324 5mA [4] Y los Led típicamente consume 10mA por lo tanto se demandan menos de 100mA al regulador de voltaje LM 7812, por lo que no necesita disipador de calor. Los capacitores C2 y C3 sirven para eliminar ruido a la entrada y salida del regulador LM7812. El diodo D3 protege al integrado U1 de posibles corrientes inversas provenientes de la carga o sistema de control y C4 ayuda al LM 7812 a estabilizar el voltaje de salida (12v).



Figuras 2. Fuente de Alimentación de sistema de control, CH1(CH2)

El transformador T1 es capaz de suministrar 12/24Vac en 1A. El voltaje aplicado al primario es de 240Vac, Para este propósito, se usa un transformador comercial LP-573, el cual se alimenta con 240 Vac y a la salida entrega 12 Vac con tap-Central o 24 Vac en los extremos del secundario (ver Fig. 2). Los 24 Vac activan al contactor (K1) que pone en marcha al transformador de potencia T3 (ver Fig.6).

2. Cálculos fuente de alimentación del sistema de control.

Se considera un nivel de voltaje de rizo inferior al 5%, la corriente que demanda el circuito de control es inferior a los 100mA.

Se calcula el voltaje máximo a la salida del rectificador y se obtiene.

$$V_{max} = V_{ac}\sqrt{2} - V_{diodo} \quad (1.1)$$

$$V_{max} = 12\sqrt{2} - 0.7v = 16.22v$$

Factor de rizo.

$$f_r = 5\% \frac{V_{rrms}}{V_{max}} \times 100\% \quad (1.2)$$

$$V_{rrms} \frac{5}{100} \times 16.22 = 0.81 V_{rrms} \quad \text{valor efectivo.}$$

Voltaje de rizo pico a pico.

$$V_{rpp} = 2 * \sqrt{3} * V_{rms} \quad (1.3)$$

$$V_{rpp} = 2 * \sqrt{3} * 2.78 = 2.8V$$

Con esta información se calcula el capacitor que nos garantiza que el factor de rizo no supere el 5% esperado, así:

$$V_{rizo (rms)} = V_{rrms} = \frac{I_{DC}}{2*\sqrt{3}FC} \quad (1.4)$$

$$V_{rrms} = \frac{100mA}{2*\sqrt{3}*120*C} = 0.81V$$

Despejando el valor del capacitor C1:

$$C_1 = \frac{100mA}{2*\sqrt{3} \times 120 \times 0.81} = 2970\mu F \quad (1.5)$$

Se selecciona el valor próximo superior, así

$$C_1 = 3300\mu F.$$

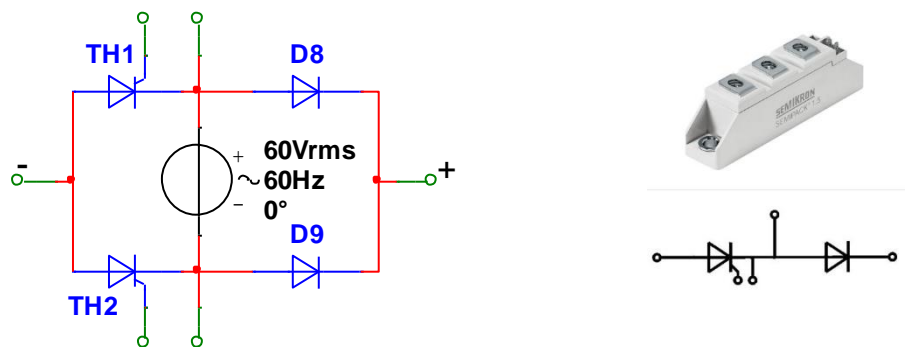
Selección del regulador de voltaje: Se considera los 12Vdc requeridos y la corriente demandada por el circuito de control (menos de 100mA), se selecciona el LM7812, Los datos de operación están en la tabla 1.

Tabla 1. regulador lm7812.

Modelo regulador	Rango in operacional (v)	Rango out operación (v)	Corriente (A)	Potencia (w)
LM-7812	14.5 – 27	11.5 - 12.5	1	15

3. Bloque de potencia y rectificador controlado CH1 (CH2).

Se busca entregar alta potencia a la carga (2500W), por eso la eficiencia de la etapa de potencia se diseña de tal forma que tienda a 1. Por esta razón se selecciona un rectificador controlado de onda completa formado por los tiristores TH1 y TH2 y los diodos de potencia D8 y D9, formado por dos módulos de potencia SKKL92 (ver fig.3).



Figuras 3. Puente rectificador controlado, usando 2 módulos SSKKL92

Los módulos de potencia SKKL92 soportan hasta 70A [8]. Debido a que tiene incorporado el tiristor TH1 (2) y el diodo D8 (D9). Lo que facilita la conexión y mejora la eficiencia de los dispositivos semiconductores de potencia.

Como se aprecia el voltaje del secundario del transformador de potencia T3 (ver Fig.3), tiene un potencial de 60Vrms, este voltaje se rectifica así:

- **Semiciclo positivo.**

Conducen el diodo D8 y el tiristor TH2, este último es controlado por el pulso alfa proveniente del sistema de control.

- **Semiciclo negativo.**

Conducen el diodo D9 y el tiristor TH1, igual es controlado por el pulso alfa proveniente del sistema de control.

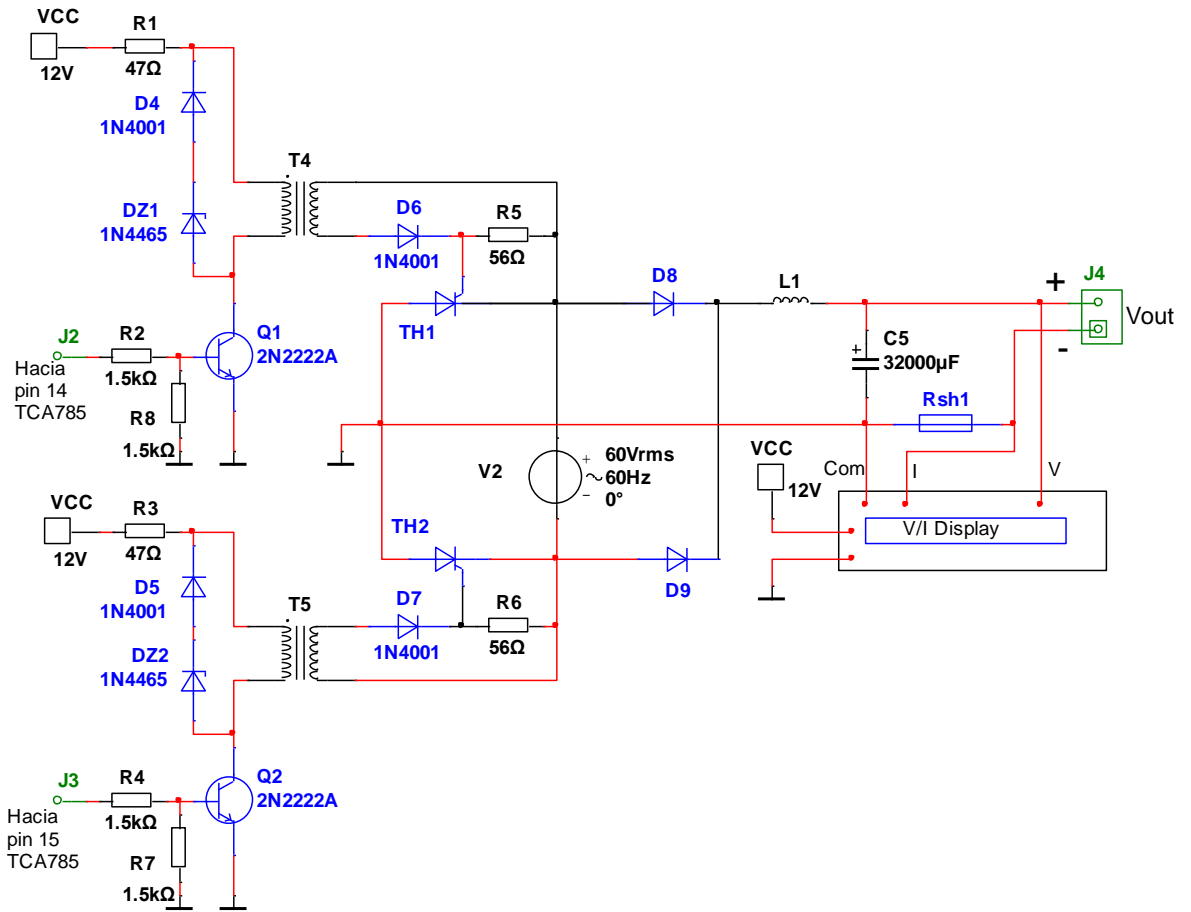
Se señala que los tiristores TH1 y TH2 se activan con un pulso a su compuerta no referido a tierra, a estos se les aplica la señal de excitación vía transformadores de aislamiento T4 y T5 (ver Fig. 4)

Lógica de funcionamiento, Semiciclo positivo (ver Fig.4):

Están polarizados en directa el diodo D8 y TH2, aunque, la corriente hacia la carga solo fluye cuando el sistema de control envíe pulso de excitación a la terminal J3. Este pulso se amplifica por Q2 transfiriéndose a T5 y desde el secundario se envía a la compuerta G2 de TH2. Para evitar conducción inversa, el pulso se rectifica por medio de D7, R6 es de bajo homeaje y sirve para garantizar que el tiristor TH2 sólo encienda por presencia de pulso de compuerta G2.

Se señala que, durante la presencia de pulso de excitación, el núcleo de T5 almacena energía y cuando el pulso desaparece, se auto induce un voltaje inverso y con mayor magnitud que el voltaje aplicado, por esta razón esta energía es capturada por medio de D5 y DZ2 y regresan esa energía a la fuente de dónde provino.

Finalmente, R3 sirve para garantizar el nivel óptimo de 1Voltio entre compuerta y cátodo de TH2. R4 limita la corriente de base de Q2.



Figuras 4. Bloque de potencia con interface de control.

Semiciclo negativo (ver Fig.4).

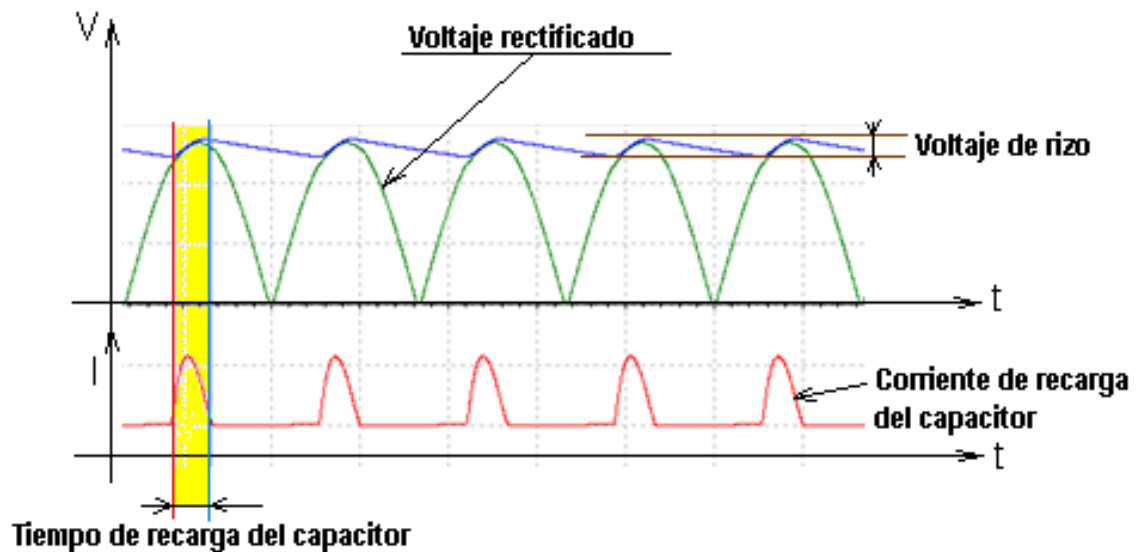
Están polarizados en directa el diodo D9 y TH1, sin embargo, la corriente hacia la carga solo fluirá cuando el sistema de control envíe pulso de excitación a la terminal J2. Este pulso es amplificado por Q1 y transferido a T4 y desde el secundario se envía la compuerta G1 de TH1. Para evitar conducción inversa, el pulso se rectifica por medio de D6. R5 es de bajo homeaje y sirve para garantizar que el tiristor TH1 solo se encienda por presencia de pulso de compuerta G1. El resto es simétrico al Semiciclo positivo.

El voltaje de salida se entrega a la carga por medio de J4. Tanto el voltaje(V) como la corriente (I), se miden y muestran por medio del display de V, I. Para medir la corriente se usa una Rshunt (R_{sunt1}) de 16mOhmios.

4. Filtrado del voltaje rectificado/LC.

La demanda de corriente por parte de la carga es de 25A esto hace que se utilice un capacitor de alto faradiage, lo que conlleva a una sobredemanda de corriente para cargar este capacitor, hasta 10 veces la corriente de carga, esto significa que, al momento de la recarga del capacitor en cada Semiciclo, ocurrirá una sobredemanda de corriente (ver fig.5, franja amarilla), lo que trae como consecuencia:

- Alta demanda de potencia en el momento de recarga del capacitor
- Desmejora en el factor de potencia
- Alta capacidad de corriente de los diodos rectificadores
- Aumento de pérdidas por recalentamiento



Figuras 5. Procesos transitorios en una fuente de Vdc rectificada.

Para elevar la eficiencia del módulo de potencia se introduce el filtro LC, formado L_1 y C_5 (ver Fig.4), en potencia se toman 1000uF por cada A, en este caso serían 25000uF para 25A, pero el capacitor disponible es de 32000uF.

Para que el filtro LC sea efectivo, se considera que la frecuencia de resonancia del filtro (ω_f) debe ser menor que la frecuencia de la fundamental de la red

eléctrica ya rectificada (ω_1), es decir debe filtrar las armónicas de orden superior, así:

$$\omega_f < \omega_1 \quad (6.0)$$

Donde:

- 1 es la frecuencia de la fundamental de la red
- $\omega_1 = m * 2\pi 60 = 754 \text{ rad/seg}$ (6.1)

- $\omega_f = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{rad/seg}$ (6.2)

- $m=2$ para onda completa [3.3]

Debido a que la impedancia de salida del filtro, para cualquier armónica debe ser menor que la resistencia de carga, la capacidad del filtro se obtiene de la condición:

$$n \omega_1 C R_L \gg 1. \text{ Valor guía para seleccionar el capacitor} \quad (6.4)$$

Como la corriente programada es de 25 A, se selecciona $C=32000\mu\text{F}$.

Al confirmar, para (6.4) $n=1$ cumple la condición.

$n \rightarrow$ es el número de la armónica y para R_L se obtiene:

$$R_L = \frac{V_{DC}}{I_{RL}} \quad (6.5)$$

$$R_L = \frac{50V}{25A} = 2 \Omega \quad \text{es la resistencia que ve el filtro.}$$

El factor de rizo es la componente del voltaje de AC, presente en el voltaje de DC.

Para efectos prácticos este se considera inferior al 5% de $V_{dc}=50V$.

$$f_r = 5\% = \frac{V_{rrms}}{V_{dc}} \times 100\% \quad (1.6)$$

$$V_{rrms} = \frac{5}{100} \times 50 = 2.5 V_{rrms}$$

$$V_{rpp} = 2 \times \sqrt{3} \times V_{rms} \quad (1.7)$$

$$V_{rpp} = f_r = 2\sqrt{3} \times 2.5 V_{rms} = 8.65V$$

Con esta información se calcula el capacitor que nos garantizará que el factor de rizo no supere el 5% esperado, así:

$$V_{rizo (rms)} = V_{rrms} = \frac{I_{DC}}{2 \cdot \sqrt{3} FC} \quad (1.8)$$

$$V_{rizo (rms)} = V_{rrms} = \frac{25A}{2 \times \sqrt{3} \times 120 \times 24\mu f} = 2.5V$$

Despajando C de **(1.8)** se obtiene:

$$C_5 = \frac{25 A}{2 \times \sqrt{3} \times 120 \times 2.5} = 24,054\mu f$$

Despejamos el valor del capacitor C5, obtenemos 24054uF, sin embargo, se selecciona 32000 uF porque es el que estaba disponible.

Cálculo del inductor (L1):

$$f_{rn} = \frac{V_{r rms}}{V_{dc}} = 0.05 \approx n^2 \omega_1^2 LC - 1 \quad (1.9)$$

$$f_{rn} = \frac{2.5v}{50v} = 0.05$$

Despejando de **(1.9)** se obtiene L

$$L = \frac{1.05}{\omega_1^2 C} = 57\mu H \rightarrow L = 60\mu H, \quad \text{para } n=1$$

Confirmando:

$$\omega_f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1.10)$$

$$\omega_f = \frac{1}{\sqrt{60\mu H \times 32000\mu f}} = 721.6$$

El voltaje de DC para un rectificador no controlado de onda completa es:

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{rms2}}{\pi} \quad (1.11)$$

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 60V}{\pi} = 53.8V,$$

Para un rectificador controlado, el voltaje de DC, depende del ángulo (α) de disparo de cada tiristor (TH1 y TH2), donde $0^\circ < \alpha < 180^\circ$.

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{rms2}}{2 \cdot \pi} * (1 + \cos(\alpha)) \quad (1.12)$$

$$V_{dc} = \frac{0.636 * V_{max}}{2} * (1 + \cos(\alpha))$$

Donde:

$$V_{max} = \sqrt{2} * V_{rms2}$$

Al hacer un barrido de α desde 0° hasta 180° , en la tabla 2 se puede ver el desplazamiento del voltaje en función de los grados de α . Para obtener los resultados, alfa debe estar en radianes.

Tabla 2. Variación del Angulo de disparo.

Vrms2	60V																		
Alfa, en grados	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Alfa, en radianes	0	0,175	0,349	0,524	0,698	0,873	1,05	1,222	1,396	1,571	1,7453	1,9199	2,094	2,269	2,443	2,618	2,793	2,967	3,142
Vdc, controlado	53,86	53,45	52,23	50,25	47,56	44,24	40,4	36,14	31,61	26,93	22,253	17,719	13,46	9,619	6,3	3,608	1,624	0,409	0

Estos resultados muestran la dependencia del Vdc de salida respecto al ángulo de disparo alfa, $V_{dc} = f(\alpha)$.

5. Lógica de conexión de todo el sistema de potencia y su protección

La alimentación primaria de los transformadores T1, T2 y T3 es de 240Vac, este último es el transformador de fuerza.

Debido a que T3 demanda hasta 50A, se activa por medio del contactor K1. De la Fig.6 se observa que cuando se activa el interruptor S1 se tienen 24 voltios en los extremos del secundario de T1 y T2 siendo T1 el voltaje que excita y enclava al contactor K1, se energiza el primario de T3, produciendo 60Vrms en cada una sus salidas.

Cada uno de los primarios de los transformadores, lleva su respectiva protección, para T1 y T2, se le conecta un fusible de 1amperio respectivamente. En cambio, para T3 se le conecta un fusible de 20 amperios debido a la potencia que este maneja (2500w). Su cálculo se obtiene:

$$P_{Transf.} = 2 * (1.34P_{RL}) \quad (2.1)$$

$$P_{Transf.} = 2 * (1.34 * 25A * 50V)$$

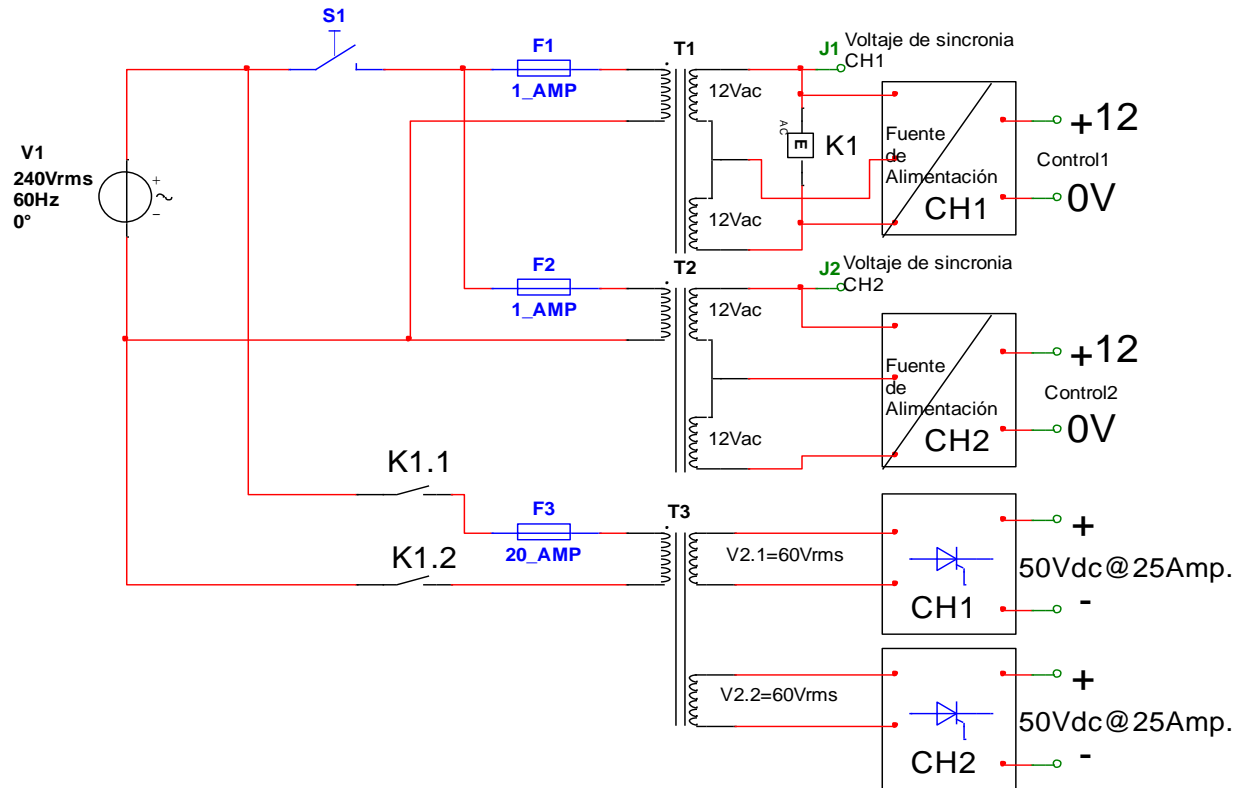
$$P_{Transf.} = 3350va.$$

$$I_{fusible} = \frac{P_{Transf.}}{V_{ac}} \quad (2.2)$$

$$I_{fusible} = \frac{3350va}{240v}$$

$$I_{fusible} = 13.95Amp$$

Con esta información se seleccionó un fusible de 20 amperios.



Figuras 6. Conexión del circuito de fuerza, control y etapa de potencia.

A la salida de los transformadores T1 y T2 se tiene un convertidor de voltaje que produce 12Vdc para la alimentación de la lógica de control, y a la salida del transformador T3 se tiene dos salidas independientes de 60Vrms. Este voltaje se aplica al rectificador controlado de onda completa en base a tiristores (SKKL92), que al cambiar el ángulo de disparo (α) se puede variar el voltaje de salida en cada canal, desde 0V hasta los 50Vdc, (ver Tabla 2).

V. SISTEMA DE CONTROL

1. Control de fase para variar el ángulo de disparo α , CH1 (CH2).

El voltaje de salida en cada canal, depende del ángulo de disparo (α) que llega a las terminales J2 y J3 de la fig.4. Este ángulo (α) es generado por el circuito de control de fase TCA785.

El TCA785 es un modulador por posición de pulso PPM, (position pulse modulation), monolítico que a lo interno contiene parte lineal y parte digital, se entiende como un IC de control de fase o sea que produce en sus salidas pulsos que están debidamente sincronizadas con la red de AC.

El circuito integrado TCA785 está enfocado en aplicaciones de control de fase para tiristores, triacs. Los pulsos de disparo se pueden regular desde 0 hasta 180 grados. Las aplicaciones típicas incluyen circuitos convertidores, reguladores de AC y controles de corriente trifásicos.

2. Programación del TCA 785, generación de rampa sincronizada.

En el pin10 se conecta un capacitor cerámico y en el pin 9 un resistor, Estos se calculan de tal forma que la amplitud de la rampa (V_{10max}) no supere los 5Vmax que se programó.

$$V_{10 \max} = \frac{V_{ref} * K * t}{R_9 * C_{10}} \quad (2.3)$$

$V_{ref}=3V$ suministrados por el pin 8 del TCA [1]

$K=1.1 \pm 20\%$ constante de calibración [1]

$t=$ Es el periodo de la rampa.

$500pF < C_{10} < 1\mu F$, lo seleccionamos en 100nF [1]

Dónde:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60hz} = 16.66ms \quad (2.4)$$

$$t = \frac{T}{2} = \frac{16.66ms}{2} = 8.33ms \text{ periodo de rampa} \quad (2.5)$$

Sustituyendo valores en (2.3) se obtuvo el valor de R9:

$$V_{10 \max} = \frac{3v \cdot 1.1 \cdot 8.33ms}{R9 \cdot 100nf} = 5V$$

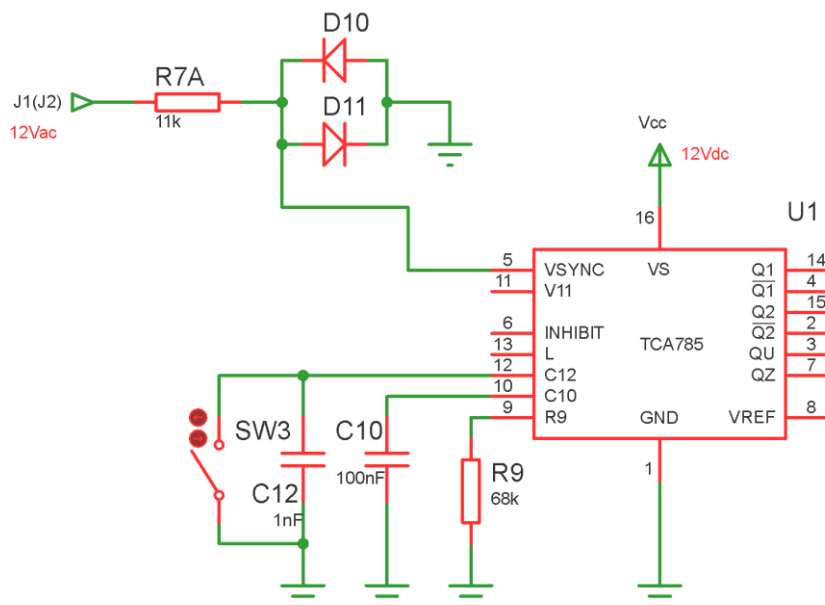
$$R9 = \frac{3v \cdot 1.1 \cdot 8.33ms}{5v \cdot 100nf}$$

$$R9 = 54.978k \quad \text{se selecciona } 68k$$

Programación del TCA 785, Sincronía.

Con los valores seleccionados se obtiene una rampa de amplitud 5Vmax. La sincronía de la misma se hace por medio del pin5. Al resistor R7 se le aplican 12Vac provenientes del transformador T1 (T2) y por medio de este los diodos D10 y D11 rectifican la onda a $\pm 0.7V$ de amplitud.

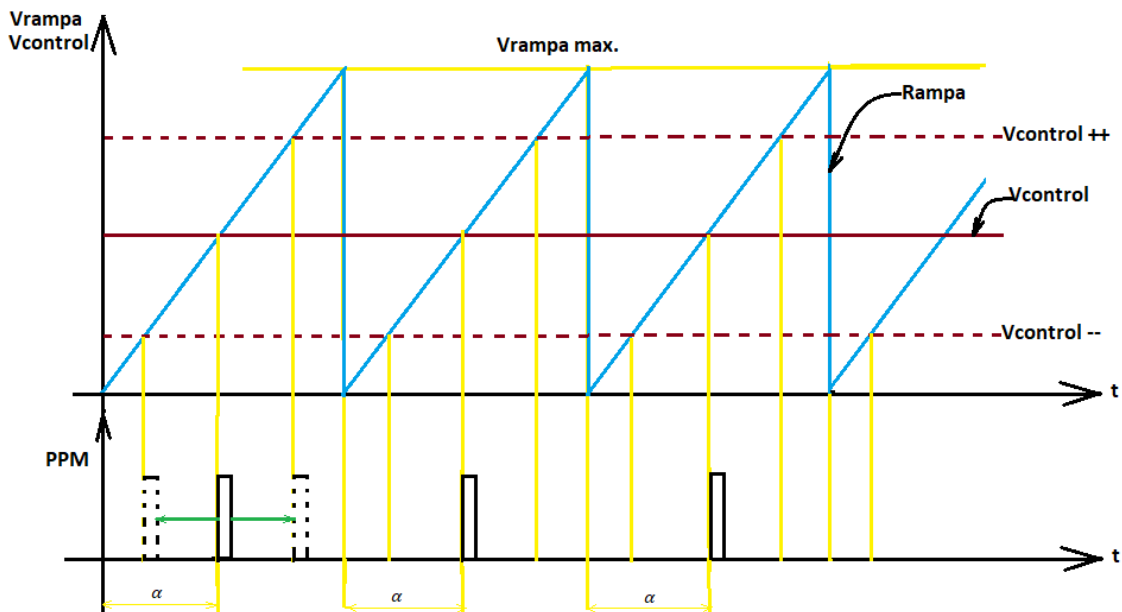
Cada vez que el TCA785 detecta que la señal en el pin5 pasa por cero, anula la amplitud de la rampa y esta vuelve a crecer. Este proceso se repite en cada Semiciclo.



Figuras 7. Circuito de sincronía y rampa del TCA785.

Programación del TCA 785, generación de los pulsos alfa de salida.

Los pulsos de salida (α) del TCA785 se obtienen en el pin15 para un Semiciclo y pin14 para el otro Semiciclo. Estos son los pulsos PPM de la fig.8. Estos pines se habilitan por medio del pin13, por lo que este se conecta a 12vdc (ver Fig.9).



Figuras 8. PPM y rampa del TCA785 para cargas Resistivas.

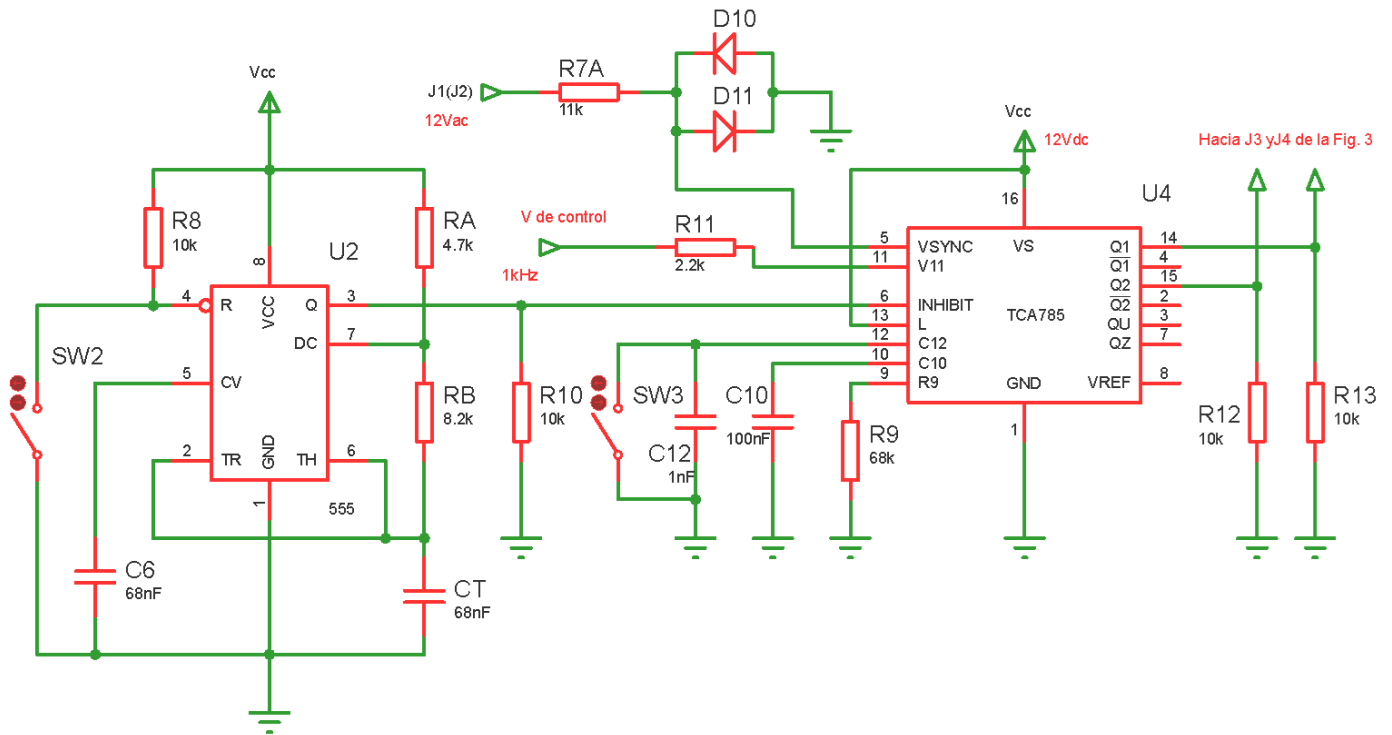
Ampliación de los pulsos de salida para cargas Inductivas.

Los pulsos que entrega el TCA 785 en los pines 14 y 15 son de corta duración 1us [1] destinados solo para cargas resistivas (ver Fig.8), sin embargo también se pensó el hecho de que la carga fuese inductiva, de serlo se produce un retraso de la onda por lo que se hizo necesario ampliar estos pulsos, enviando a tierra el pin12 del TCA 785 por medio del interruptor sw_3 (este interruptor es solo para la explicación) y así aplicar ráfagas de pulsos provenientes del LM 555 a las compuertas de los tiristores y de esta manera ellos se puedan activar. (Ver Fig.9).

3. Programación del circuito ráfaga

Se aprovecha el terminal pin 6 del TCA 785 para aplicarle la ráfaga de alta frecuencia (1kHz) provenientes del IC LM555 (ver Fig.9).

Esta ráfaga se debió a que el tiempo de encendido de los tiristores es lento (100-400us) [2] y se hizo con la finalidad de no forzar la compuerta del tiristor con un solo pulso para poder encenderlo.



Figuras 9. Circuito generador de pulso alfa en ráfagas de 1kHz.

Cálculo del timer 555 como astable, 1kHz:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1\text{kHz}} = 1\text{ms} \quad (2.6)$$

$$T_{ON} > T_{OFF} \quad (2.7)$$

Seleccionamos:

$$T_{on} = t_1 = 0.6\text{ms} \quad \wedge \quad T_{off} = t_2 = 0.4\text{ms} \quad \wedge \quad C_T = 68\text{nf}$$

Despejando Rb de:

$$t_2 = 0.693(Rb * C_T) \quad (2.8)$$

$$Rb = \frac{0.4ms}{0.693 * 68nf}$$

$$Rb = 8.4k \quad \text{seleccionamos } 8.2k$$

Despejando Ra de:

$$t_1 = 0.693(Ra + Rb) * C_T \quad (2.9)$$

$$Ra = \frac{t_1}{C_T * 0.693} - Rb$$

$$Ra = \frac{0.6ms}{68nf * 0.693} - 8.2k$$

$$Ra = 4.5k \quad \text{seleccionamos } 4.7k$$

Tiempo en alto t_1 :

$$t_1 = 0.693(Ra + Rb) * C_T$$

$$t_1 = 0.693(4.7k + 8.2k) * 68nf$$

$$t_1 = 0.6ms$$

Tiempo en bajo t_2 :

$$t_2 = 0.693(Rb * C_T)$$

$$t_2 = 0.693(8.2k * 68nf)$$

$$t_2 = 0.4ms$$

$$T = t_1 + t_2 \quad (3.1)$$

$$T = 0.6ms + 0.4ms$$

$$T = 1ms$$

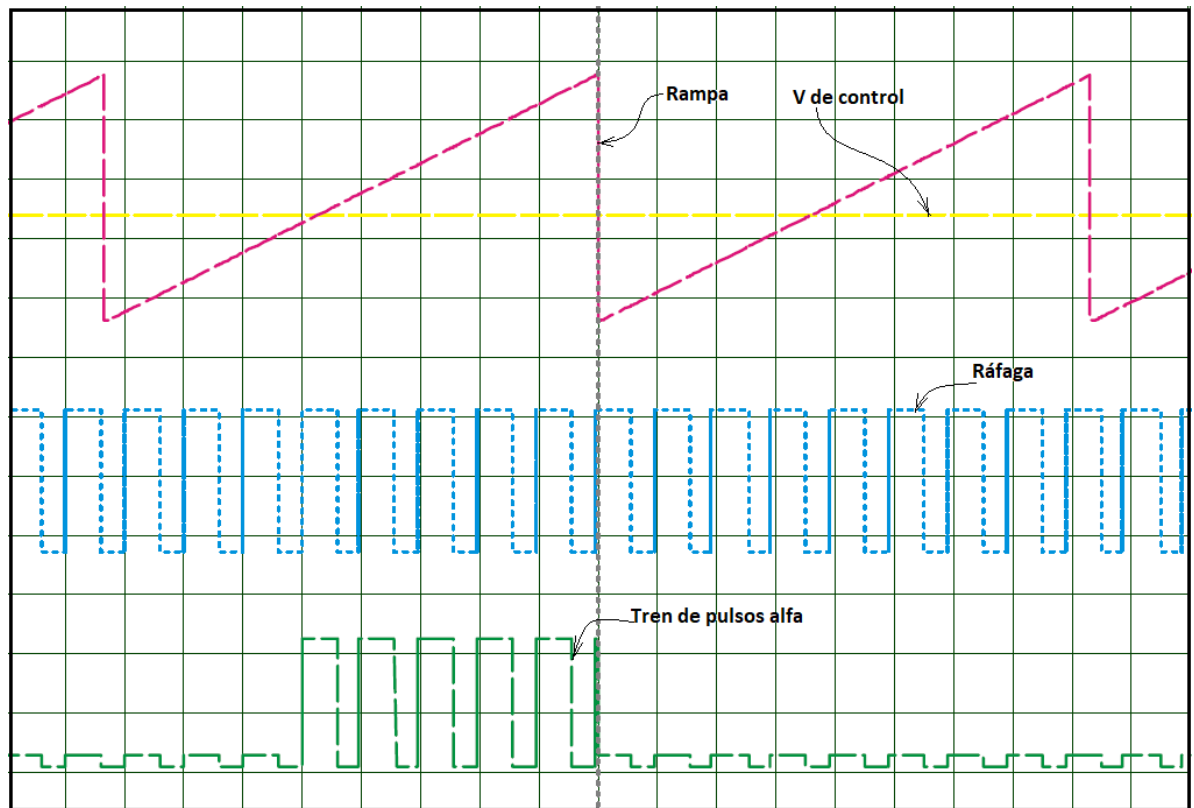
Ciclo de trabajo:

$$D = \frac{t_1}{t_1+t_2} 100\% \quad (3.2)$$

$$D = \frac{0.6ms}{0.6ms + 0.4ms} 100\%$$

$$D = 60\%$$

Observe que el pin4 del NE555 (Ver Fig.9). Tiene conectado un interruptor sw_2 . Si se conecta a tierra, el NE555 se bloqueará y este a su vez envía un nivel bajo al pin 6 del TCA785 (inhibit). Esta función se usa para limitar la corriente (CLC).



Figuras 10. Tren de pulso alfa hacia tiristores.

En la Fig.10 se muestra la simulación de las formas de onda de la señal rampa, el voltaje de control, la señal ráfaga proveniente del timer NE555 y por último la señal tren de pulsos que excitan a los tiristores, esta última señal surge cuando la amplitud de la rampa, supera a la señal voltaje de control.

VI. CONTROL PROPORCIONAL [7]

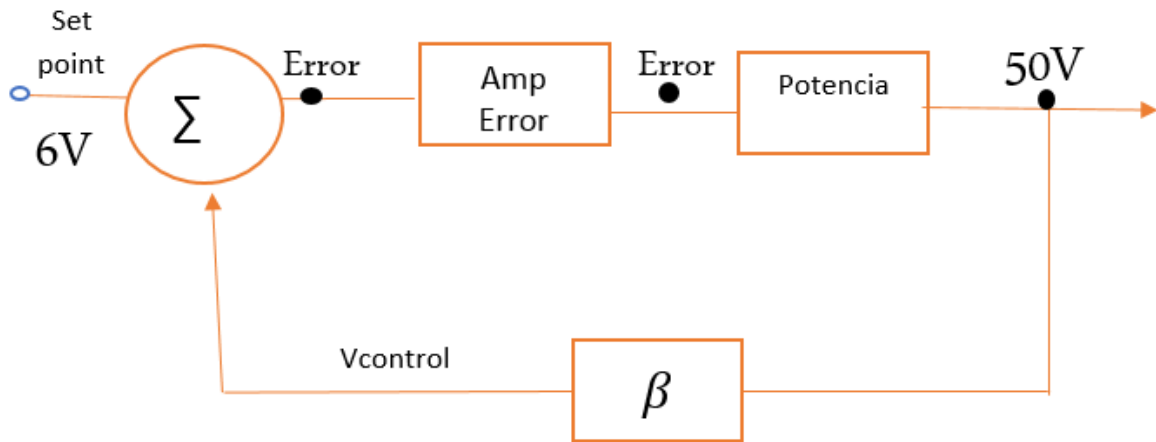
Lo que se pretende conseguir es un margen de error muy pequeño para que este sistema de control tenga buen seguimiento y se aproxime lo más rápido posible al voltaje que queremos llegar, para esto se necesita de un controlador que relacione matemáticamente esta diferencia a su salida, es decir que actúe de modo proporcional y así se pueda alcanzar un punto de equilibrio. El que haya una diferencia nos indica que tiene que haber dos señales que compararse, produciendo un error a la salida, que recibe el controlador y a su salida manda el mismo error solo que multiplicado por una constante definido por el mismo, la planta recibe la información y manda una vez más la lectura al comparador que al no detectar margen de error este habrá alcanzado un punto de equilibrio.

Esta lógica se aplica a este sistema de control formado por LM324, ya que el TCA no posee amplificador de error, sin embargo, por efectos de diseño se aprovecha el LM324, este es un op-am cuádruple de alta ganancia, es decir, posee dos amplificadores duales con entrada diferencial, se aprovecha el primer par para el control de voltaje y lo restante para control del límite de corriente usando la misma topología.

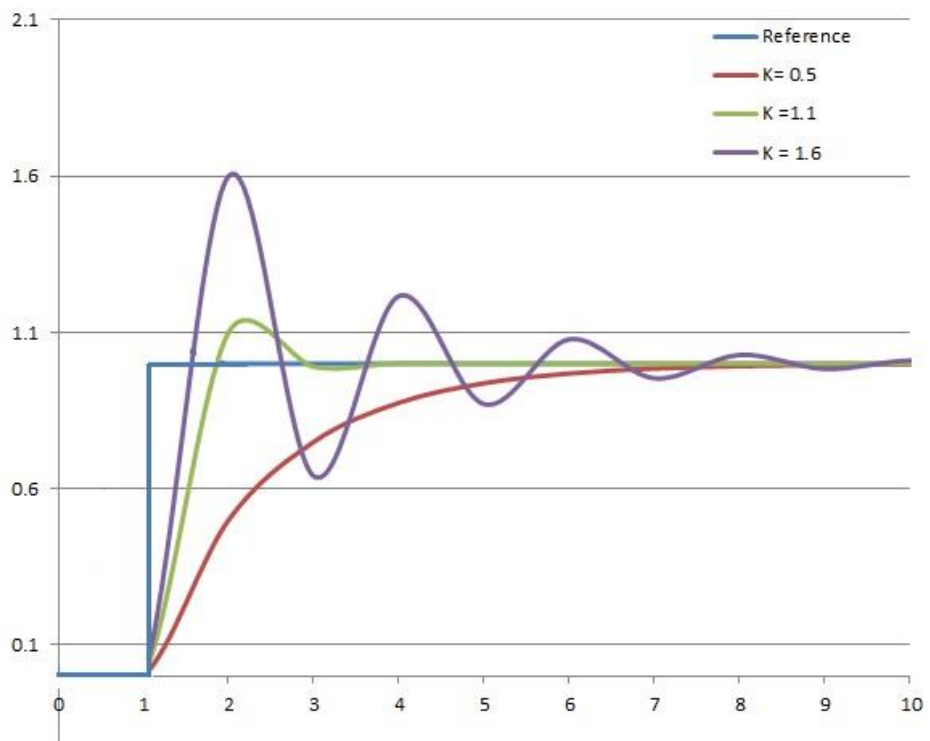
Aplicando esta lógica se programa una referencia a la entrada del sumador de 6.59v, el control será programado con el LM324 al cual se le programa una ganancia (4.6) que determina el crecimiento de la pendiente k ver fig.12 y de este se toman dos opamps U3: A y U3: B de la fig.13 [3]:

La planta será el módulo de potencia que se va a controlar mediante el pulso a la compuerta

β Es el que representa el valor real que se tiene a la salida de la fuente al que le llamamos voltaje de control 6v



Figuras 11. Diagrama sistema de control proporcional.



Figuras 12. Señal de referencia proporcional.

1. Amplificador de error.

El TCA 785 no tiene amplificador de error, debido a esto no se puede hacer un circuito de retroalimentación negativa o lazo cerrado. Es por esto que se aplican dos amplificadores operacionales con (LM324) para garantizar un voltaje de referencia y compararlo con el voltaje de control. Este voltaje último representa el voltaje de salida que queremos controlar (50Vdc).

El voltaje de salida alcanza un máximo de 50Vdc por tanto se toma una muestra de la misma por medio de un divisor de voltaje formado por los resistores R_{18} y R_{20} . A este divisor de voltaje se ha llamado Voltaje de control=6V. Es decir, estos 6V representan a 50Vdc.

Tiempo de respuesta.

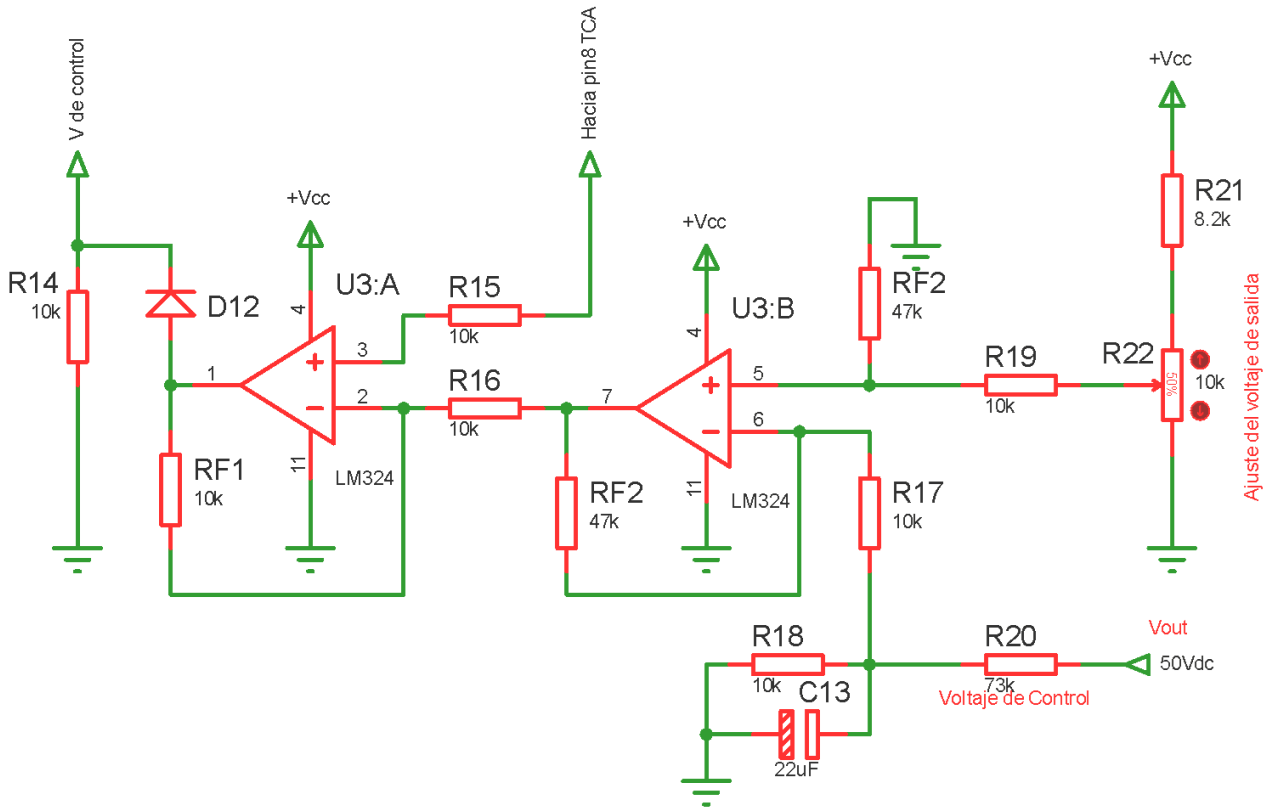
El voltaje de salida $V_{dc}=50V$, pasa por un divisor de voltaje R_{20} y R_{18} , creando un voltaje de 6v, llamado voltaje de Control. Para efectos de evitar pulsaciones provenientes de la Resistencia de carga se procede a conectar un capacitor C_{13} . Esto hace que se genere cierto retardo en la lectura del voltaje de control $V_{control}=6V$:

$$\tau = 0.693R_{18}C_{13} \quad (3.3)$$

$$\tau = 0.693 \times 10k \times 22\mu f$$

$$\tau = 0.152Seg.$$

Esto significa que el sistema reaccionará hasta que transcurran 152mSeg después de transcurrida la variación de voltaje, Considerando la magnitud de potencia es una excelente velocidad de respuesta.



Figuras 13. Amplificador de error con LM324.

En la terminal superior de R22 (potenciómetro o $V_{adj.}$) debemos obtener los mismos 6V del Voltaje de control para que entre ellos se puedan comparar.

$$V = I * R \tag{3.4}$$

$$I_{Div} = \frac{V_{control}}{R_{22}} = \frac{6}{10K} = 0.6mA$$

$$R_{21} = \frac{+V_{cc} - V_{adj.}}{I_{Div}} = \frac{12 - 6}{0.6mA} = 10K.$$

Nota: En el proceso de prueba, se encontró 8.2K para R_{21} Como valor optimo, para garantizar que el $V_{adj.}$ Sea ligeramente mayor que el voltaje de control, se obtuvo que $V_{adj.} = 6.59V$. Siendo el valor definitivo en $R_{21} = 8.2K$

Cálculo de la ganancia:

El voltaje de referencia que entrega el TCA785 es de 3V y el voltaje del pin7 de U3B ver fig. 13, debe ser ligeramente menor que el $V_{ref(TCA)}$. Se selecciona para $V_{pin7}=2.8V$

$$V_{pin7} = AV_{in} \quad (3.5)$$

$$A = \frac{R_{f2}}{R_{17}} \quad (3.6)$$

$$V_{in} = (V_{adj.} - V_{control}) \quad (3.7)$$

$$V_{pin7} = AV_{in} = \frac{R_{f2}}{R_{17}} (V_{adj.} - V_{control}) = 2.8V$$

Se asigna 10k para R_{17} , Despejando R_{f2} se tiene:

$$R_{f2} = \frac{2.8V * R_{17}}{(V_{adj.} - V_{control})}$$

$$R_{f2} = \frac{2.8V * 10k}{(6.59v - 6v)}$$

$$R_{f2} = 47k$$

Sustituyendo en (3.6) La ganancia es:

$$A = \frac{47k}{10k}$$

$$A = 4.7$$

Lógica de funcionamiento:

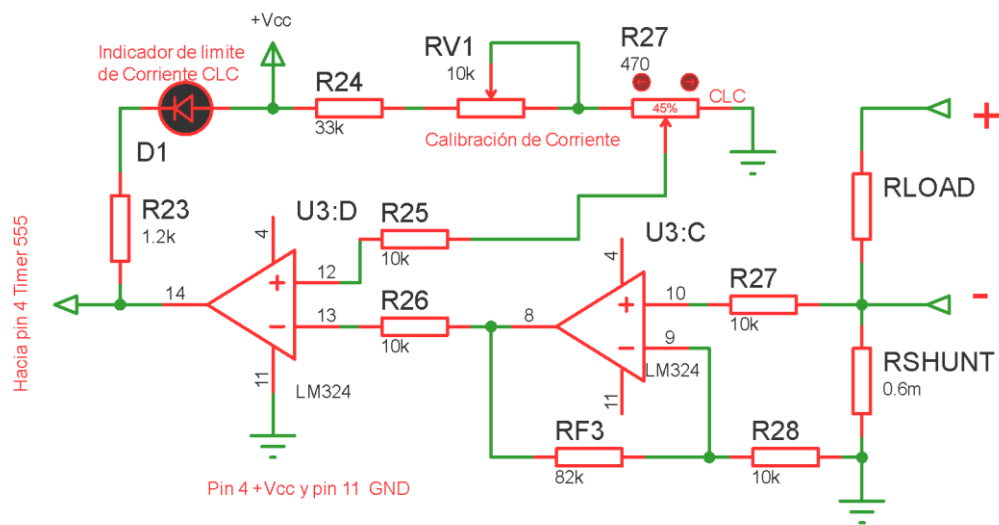
Cuando el Voltaje de control tiende a subir, se aproxima al $V_{adj.}$. Y se provoca una disminución del voltaje de entrada de U3B. Esa diferencia de voltaje se amplifica por 4.7 y hace que el voltaje en el pin7 disminuya, a su vez esto provoca que aumente el voltaje a la entrada de U3A ver fig. 13 debido a la presencia del $V_{ref(TCA)}$, por este efecto se produce un voltaje a la salida de U3A y con ello se modula

la posición del pulso (PPM) a la salida del TCA785. Esto hace que el Control no suba más y estabiliza el voltaje a la salida.

Por el contrario, si el Voltaje de control baja, se aleja del V_{adj} . Esta diferencia se amplifica por 4.7 y hace que el V_{pin7} aumente, y se acerca al $V_{ref(TCA)}$ y finalmente provoca que el voltaje en el pin1 de U3A disminuya ver fig. 13 y el ángulo alfa disminuye y con ello conducen durante más tiempo los tiristores TH1 y TH2, ajustando finalmente el voltaje de salida y lo estabiliza.

2. Control de límite de corriente (CLC)

La corriente programada para esta fuente alcanza el valor de 25 A máximos, por medio de un circuito llamado CLC (control limit current) se garantiza que la corriente en la carga solo tenga el valor programado. La programación para cualquier valor intermedio lo debe hacer el usuario final.



Figuras 14. Circuito limitador de corriente (CLC).

Como se tiene 25A en la carga, Se procede a instalar una resistencia especial de prueba llamada Rshunt [4], y es de muy bajo homeaje para evitar pérdidas por caída de tensión. Se usó de 0.64mOhmios aproximadamente, se producirá 16mV cuando por ella circulen 25 A. siendo un voltaje muy bajo no es procesable, por esta razón se amplifica para producir un voltaje más alto a la salida de U3C, pin8=150mV de esta manera poder compararlos. Ver Fig.14

$$V_{pin8} = AV_{in} \quad (3.8)$$

$$A = \frac{R_{f3}}{R_{28}} + 1 \quad (3.9)$$

$$V_{in} = V_{shunt} = 16mv$$

$$V_{pin8} = AV_{in} = \left(\frac{R_{f3}}{R_{28}} + 1\right) * 16mv = 150mV$$

Se asigna 10k para R_{28} , Despejando R_{f3} se tiene:

$$R_{f3} = \left(\left(\frac{150mv}{16mv}\right) - 1\right) + R_{28}$$

$$R_{f3} = \left(\left(\frac{150mv}{16mv}\right) - 1\right) * 10K$$

$$R_{f3} = 82K$$

Sustituyendo en (3.9) La ganancia es:

$$A = \frac{82k}{10k} + 1$$

$$A = 9.2$$

Con este dato se seleccionó el voltaje en el potenciómetro, $V_{R27}=150mV$ Ver

Fig.14

Aplicando ley de ohm a R_{27} se obtiene la corriente que pasa por este así:

$$V = I * R \quad (4.1)$$

$$I_{Div} = \frac{V_{R27}}{R_{27}} \quad (4.2)$$

$$I_{Div} = \frac{150mv}{470} = 0.32mA$$

Calculando R_{21} se obtiene:

$$R_{21} = \frac{+V_{CC} - V_{R27}}{I_{Div}} \quad (4.3)$$

$$R_{21} = \frac{12 - 150mV}{0.32mA} = 36K.$$

El potenciómetro Rv1 sirve para calibrar la entrega de corriente a 25 A máximos.

Lógica de funcionamiento:

A circular corriente por Rshunt, se produce caída de voltaje=16mV que se amplifica por U3C, y produce $V_{pin8}=150mV$, este voltaje se compara con el voltaje $V_{R27}=V_{adj2}=150mV$. Cuando la corriente en la carga aumenta, aumenta la caída en Rshunt y aumenta el voltaje en el pin 8, si este voltaje se iguala con V_{adj2} , se produce una caída brusca a la salida del pin14 de U3D Ver Fig.14 y pone en reset al timer 555 y a su vez al TCA785. En la Fig.9 aparece el interruptor sw2, esto simula el efecto de enviar a tierra el pin4 del timer 555.

El nivel de V_{adj2} determina la magnitud de la corriente que ha de circular por la resistencia de carga (R_{LOAD}). El usuario puede variar este voltaje y con ello programar la corriente que ha de circular por la carga.

VII. DISEÑO DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3

Se desea obtener hasta 50Vdc a la salida del convertidor. Este lleva incorporado un filtro LC, más el puente rectificador, se procede a encontrar el nivel óptimo del voltaje en rms en el secundario del transformador. Señalamos que este transformador tiene dos canales iguales y aislados:

1. Cálculos de la potencia del transformador (T3)

$$V_{DC(promedio)} = \frac{2\sqrt{2} * V_{rms2.1}}{\pi} \quad (4.4)$$

$$V_{DC(promedio)} = \frac{2\sqrt{2} * 60v}{\pi} = 53.8v$$

Este es el voltaje esperado a la entrada del filtro L₁C₅ ver fig.15. Solo se necesitan 50Vdc, Se toma 59V de reserva por alguna variación de la red eléctrica comercial

$$V_{rms2.1(2.2)} = 2 * VDiodo + V_{DC(promedio)} \quad (4.5)$$

$$V_{rms2.1(2.2)} = (2 * 1.4) + 59v$$

$$V_{rms2.1(2.2)} = 61.8v$$

La corriente en el secundario se obtiene de la suma de todas las corrientes, es decir la de recarga del capacitor más la corriente de demanda de RL.

$$VA_{2.1} = 1.34P_{dc} \quad (4.6)$$

$$VA_{2.1} = 1.34 * 50 * 25 = 1625VA,$$

$$VA_{2.1} = 1625VA,$$

Al despejar la corriente se obtiene:

$$i_{2.1} = \frac{VA_{2.1}}{V_{rms}} \quad (4.7)$$

$$i_{2.1} = \frac{VA_{2.1}}{60_{rms}} = \frac{1625}{60}$$

$$i_{2,1} = 27.91A \quad \text{lo redondeamos a } 28A.$$

Con esta información se obtienen los datos constructivos del transformador:

- $E_i = V_{rms2.1(2.2)} = 60V_{rms}$, tensión en el secundario
- $I_{2,1} = 28A$ Amperios

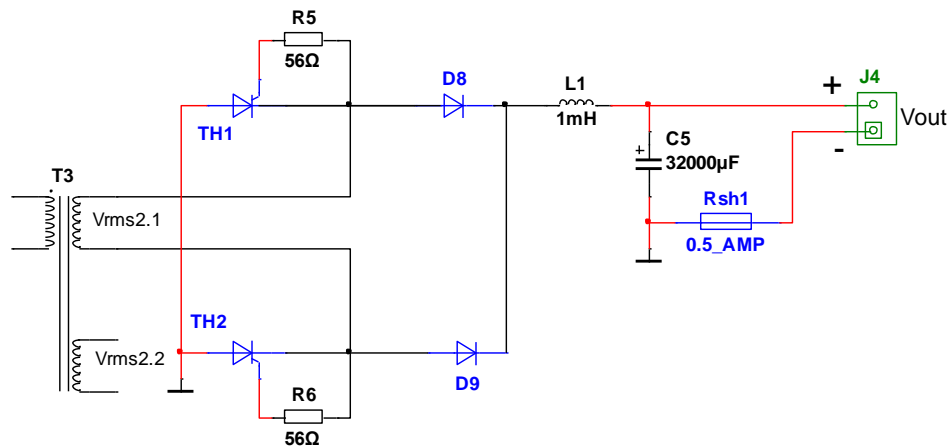
$$VA_{2,1(real)} = V_{rms2.1} * I_{2,1} \quad (4.8)$$

$$VA_{2,1(real)} = 60V * 28A = 1680VA$$

Como se tienen dos canales iguales, la potencia total del transformador es:

$$VA_{2trans} = 2 * VA_{2(real)} \quad (4.9)$$

$$VA_{2trans} = 2 * 1680VA = 3360VA$$



Figuras 15. Transformador de potencia.

2. Cálculo del número de espiras

Para determinar el número de espiras se debe determinar el tamaño del corte transversal del núcleo:

$$S_n = k\sqrt{VA_{Trans}} \quad (5.1)$$

$$S_n = 1.1 * \sqrt{3360} = 63.76cm^2$$

Tabla 3. Coeficiente k según potencia.

Coeficiente (k) para chapa magnética de grano orientado	
VA del transformador	Coeficiente (K)
25(o menos) -100 VA	0.70-0.85
100-500 VA	0.85-1.00
500-1000 VA	1.00-1.10
1000-3000 VA	1.10-1.20

Sabiendo S_n se calcula el número de espiras a partir de la fórmula:

$$\omega_i = \frac{E_i \cdot (1 + f_p) 10^4}{4K_f K_r f S_n \beta_m} \quad (5.2)$$

Donde:

- E_i , tensión en el secundario
- K_f Coeficiente de forma, toma diferentes valores:

Voltaje armónico = 1.11

- K_r Coeficiente de relleno o apilamiento. Para núcleo laminado = 0.8-0.9, se seleccionó $K_r = 0.85$.
- f Es la frecuencia de la red, 60Hz.
- S_N Corte transversal del núcleo y se mide en cm^2
- β_m Inducción magnética en Tesla. 0.9T para el acero al Silicio lamina 96.
- f_p Factor de perdidas, para VA superiores a 3KVA se toma igual al 10%.

$$\text{Secundario: } \omega_{2.1} = \omega_{2.2} = \frac{60(1 + 0.1)10^4}{4 \times 1.1 \times 0.85 \times 60 \times 0.9 \times 63.76} = 50.79 \approx 51 \text{ espiras}$$

3. Cálculo del calibre del conductor.

$$d_{2.1} = d_{2.2} = 1.13 \times \sqrt{\frac{i_{2,1}}{J}} \quad (5.3)$$

$$d_{2.1} = d_{2.2} = 1.13 * \sqrt{\frac{28}{2}} = 4.22mm.$$

Donde $J = \frac{A}{mm^2}$, [5] es la densidad de corriente del alambre de cobre de los conductores del transformador.

La corriente en el primario se calcula considerando las pérdidas que ocasiona la corriente de magnetización del núcleo:

$$A_1 = \frac{VA_2}{\eta * V_1} \quad (5.4)$$

$$A_1 = \frac{3360}{0.9 * 240} = 15.5A, \eta \text{ es la eficiencia del transformador}=0.9$$

$$D_1 = 1.13 \times \sqrt{\frac{i_1}{J}} \quad (5.5)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{15.5}{2}} = 2.28mm$$

En el equivalente en AWG [6], se tiene:

- Primario AWG = #9
- Secundario AWG = #5. Señalamos que el máximo número que se encontró en el mercado local fue el AWG#8, por eso la corriente se limita de 35 A a 25 A.

VIII. CONCLUSIONES

La culminación del diseño de la fuente de alimentación DC dual de alta potencia es una fuente que consta de dos canales totalmente independiente y es ajustable a 25A y 50Vdc por canal, independientemente de las dificultades encontradas que no abonaban para la realización de este trabajo, tales como la carencia de herramientas apropiadas, el material que representó arduo trabajo el conseguirle no fueron obstáculo para responderles con un compromiso firme para con nosotros mismos y a pesar que en algún momento parecíamos perder la batalla, persistimos con un arduo trabajo, esmero sacrificio y dedicación para que al final se tenga esa satisfacción de decir se finalizó **exitosamente** el objetivo principal, puesto en marcha en todo el diseño, logrando de esta manera construir una fuente de alta potencia y **alta eficiencia** utilizando un transformador reciclado, partiendo de un núcleo existente.

Con la implementación de esta tesis queda demostrado, lo importante que es saber seleccionar el núcleo de transformador y el calibre de alambre a usar para posteriormente diseñar un correcto devanado, de igual manera se logró fusionar los conocimientos adquiridos en la clase de electrónica de potencia con la práctica para lograr el resultado programado y al final se logra construir un transformador de alta potencia a la medida es decir 2x1680watt para esto se usa la técnica de reciclaje para un núcleo ya existente empleando un calibre de conductor número (8) en base a cálculos previamente realizados.

Este proyecto ha permitido enriquecer nuestros conocimientos al experimentar el funcionamiento de rectificadores controlados en base a tiristores y filtro LC, manteniendo **alta eficiencia para una fuente lineal**. Se logra obtener los siguientes datos.

Potencia de salida=2x50x25=2500W

Potencia de entrada=3360W

Así $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{2500}{3360} 100\% = 74\%$, lo que es altamente excelente para una fuente lineal!

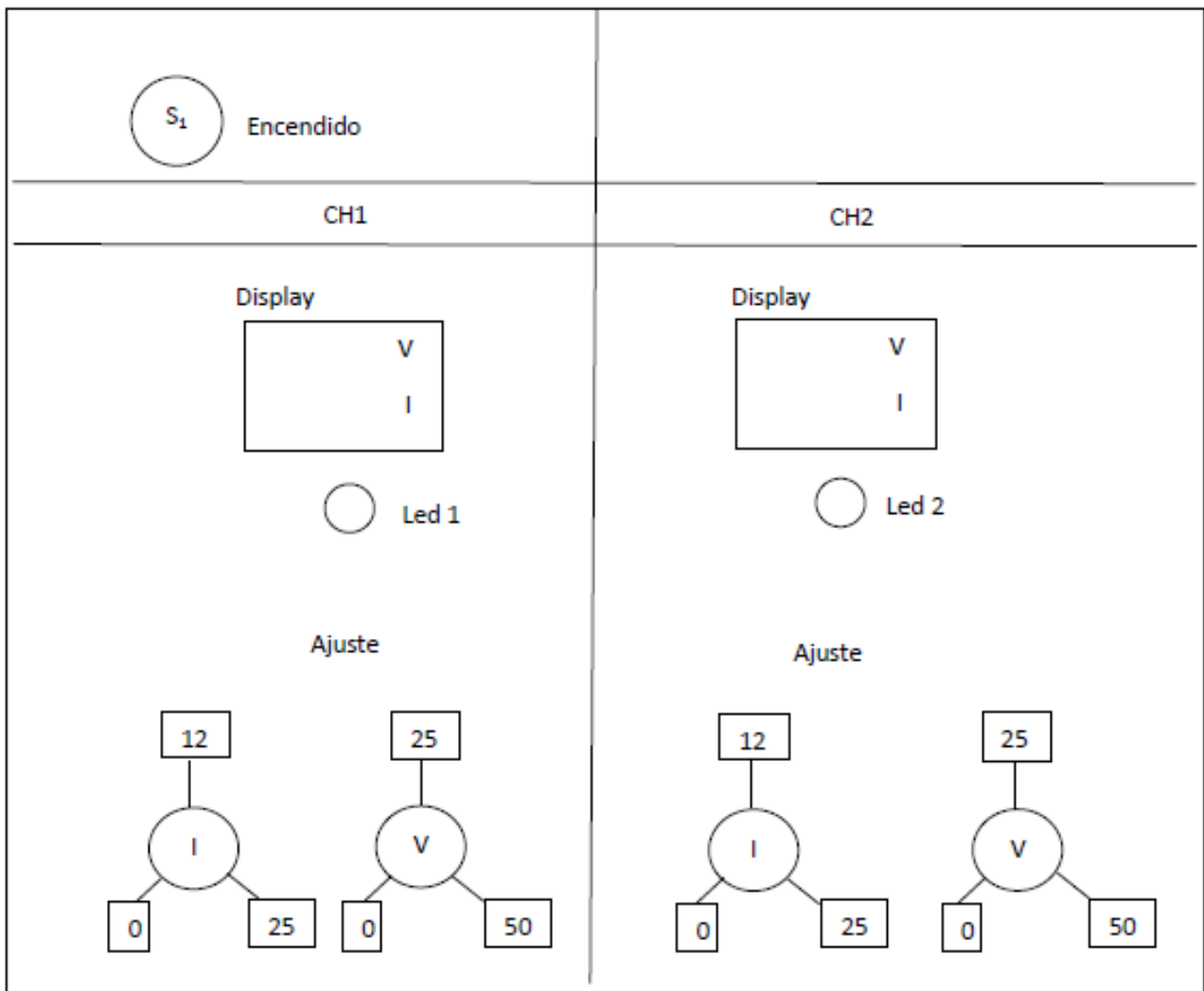
Con esta fuente de poder se pretende ayudar al desarrollo de proyectos electrónicos de potencia tales como: inversores DC/AC, amplificadores de audio, controladores de carga para generadores eólicos o fotovoltaicos y otros. Esto ayudará a que los estudiantes puedan probar el funcionamiento de sus experimentos que demanden alta potencia puesto que antes no se podían realizar por la carencia de este tipo de fuente de poder de alta potencia, de esta manera se brinda un apoyo a futuros profesionales con un uso seguro y motivación de futuras investigaciones e implementación de proyectos de potencia.

IX. RECOMENDACIONES

En este trabajo monográfico se proporciona el diagrama general de fuente de poder de alta potencia el cual podrá ser usado como base para cualquier mejora que se le pueda hacer tales como:

- Usar un transformador más grande que suministre más potencia.
- sustituir el sistema de control PPM por PWM usando el SG3524 que posee amplificador de error y límite de corriente.
- Cambiar el sistema de control haciéndolo más compacto usando lógica programable por medio del sistema de control en base a arduino.
- Imprimir la caratula de la fuente con papel adhesivo para mejor presentación de nuestro proyecto.
- Agregarle a la estructura en sus patas ruedas y a la misma vez un sistema de freno para anclarlo en el punto de trabajo.
- Aplicar técnica de seguridad ya que se está trabajando con un voltaje de red 240Vac y tener cuidado con el área de potencia.

X. Manual de funcionamiento:



Figuras 16.carátula delantera manual de funcionamiento.

Seguridad en el área de trabajo:

- a) Mantenga el área de trabajo limpia y bien iluminada, para prevenir un accidente.
- b) No exponer a la humedad de ser así aumentaría el riesgo de descarga eléctrica.

Seguridad personal:

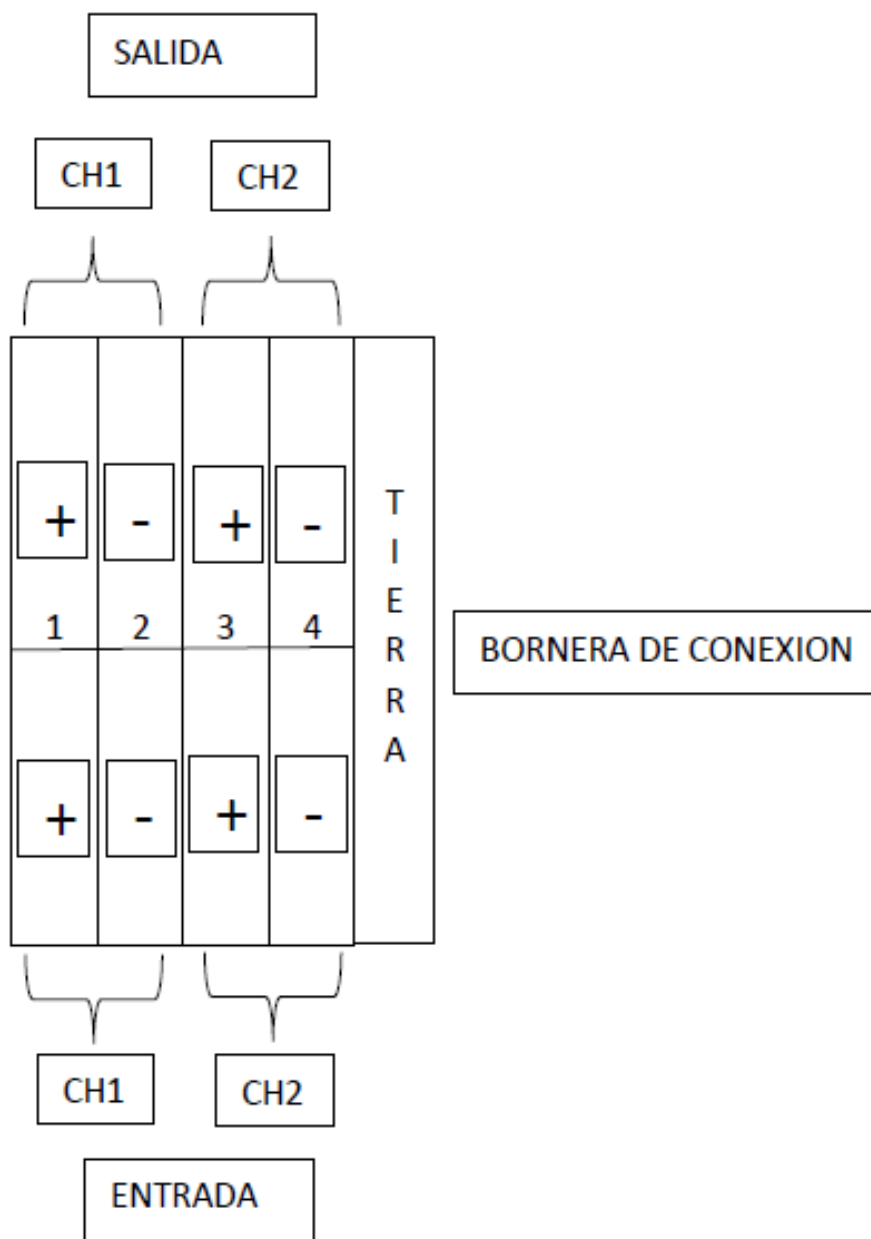
- a) Permanezca alerta controle lo que está haciendo utilice el sentido común un momento de descuido mientras se opera puede provocar lesiones personales graves.
- b) Evite el encendido por accidente asegúrese de que el interruptor S_1 este en la posición de apagado.

Pasos a seguir para el uso de fuente de poder:

- a) Asegúrese que el interruptor S_1 este en la posición "Apagado".
- b) Las perillas de ajuste V , I estén la posición cero respectivamente.
- c) Conecte el cable principal a la red eléctrica 240VAC.
- d) El interruptor S_1 la posición de encendido ubicado en la parte superior del panel. (se iluminarán los Display de CH1 Y CH2 respectivamente), además se encenderán los diodos LED rojos del limitador de corriente.
- e) Ajuste el nivel de corriente con el que va a trabajar, $0 < I_{Salida} < 25$ amperios. El diodo LED indicador de límite de corriente del canal seleccionado se apagará.
- f) Si la demanda de corriente llega al límite ajustado el LED correspondiente para cada canal se activará (led_1 y led_2). La señalización advertirle que está excediendo el límite de corriente que usted ha seleccionado. En este caso el voltaje disminuirá y la corriente se enclavará en el nivel ajustado.
- g) Los Display le mostraran el voltaje y corriente que se está entregando a la carga.

- h) Evite el cortocircuito en las terminales de salida de cada canal de la fuente de poder. Recuerde que es una fuente con límite de corriente y ésta hará su máximo esfuerzo por mantener la corriente y puede causar el colapso de los fusibles de entrada.
- i) El voltaje de salida se puede ajustar $0 < V_{\text{salida}} < 50\text{Vdc}$. En el nivel seleccionado, el voltaje permanecerá estable para todo el rango de corriente que entrega la fuente.
- j) Los dos canales son totalmente independientes, lo que permite su conexión tanto en serie, como en paralelo. Esto se tiene que hacer desde afuera. La fuente no lo hace automáticamente.
- En Paralelo. Conectar positivo de un canal con positivo del otro canal, igual con el negativo. Debe ajustar la corriente igual para cada canal. En este régimen se pueden obtener hasta 50Vdc en 50 Amperios.
 - En Serie. Conectar el negativo de un canal, con el positivo del otro canal. Este punto será el común y los otros extremos serán el positivo y negativo de los dos canales respectivamente. En este régimen se pueden obtener hasta 100Vdc y 25Amperios. La corriente en cada canal se debe seleccionar igual.
- k) El fabricante no asume responsabilidad por el mal uso de este equipo. ***¡Los daños materiales o su integridad física corren por su cuenta!***, por eso debe revisar bien su puesto de trabajo y cumplir con las orientaciones aquí señaladas. No olvide que este es un equipo de alta potencia y se requiere de experiencia para su uso.

Conexión de carga



Figuras 17.conexión de salida manual de funcionamiento.

Viéndolo de manera frontal en la parte trasera de la estructura, en la parte inferior izquierda encontramos los bornes de salida que se leerán del 1 al 5 y de izquierda a derecha.

- a) Conecte la salida correspondiente al canal seleccionado (si ha sido CH1)
- b) La terminal positiva de su carga deberá conectarla al borne 1 que corresponde a la terminal positiva de la fuente.
- c) La terminal negativa de su carga deberá conectarla al borne 2 que corresponde a la terminal positiva de la fuente.
- d) la terminal de tierra de su carga deberá conectarla al borne 5 correspondiente a la bornera de puesta a tierra.
- e) Conecte la salida correspondiente al canal seleccionado (si ha sido CH2)
- f) La terminal positiva de su carga deberá conectarla al borne 3 que corresponde a la terminal positiva de la fuente.
- g) La terminal negativa de su carga deberá conectarla al borne 4 que corresponde a la terminal positiva de la fuente.
- h) La terminal de tierra de su carga deberá conectarla al borne 5 correspondiente a la bornera de puesta a tierra

XI. Tabla de costo

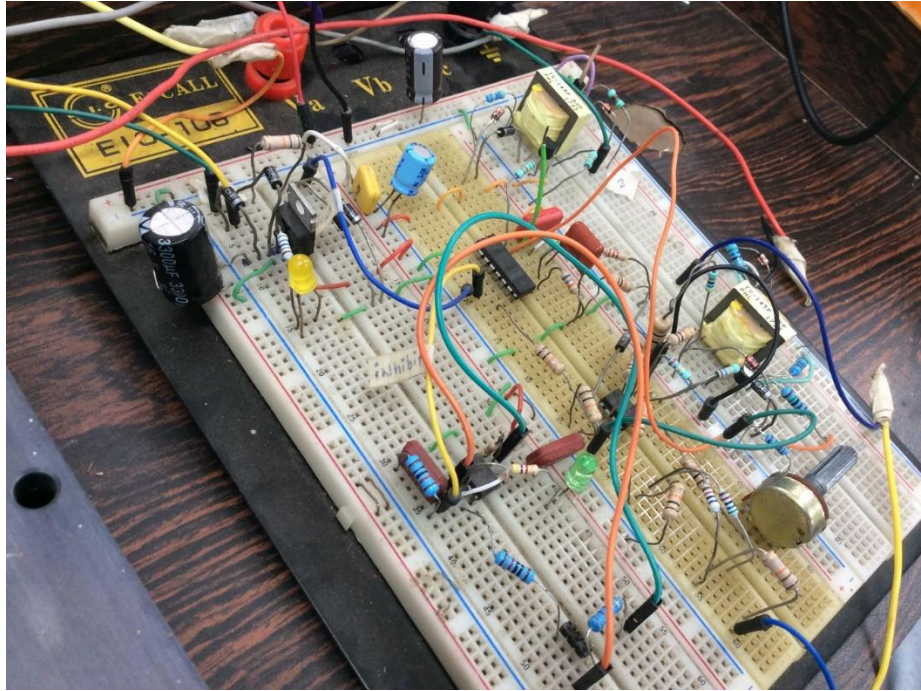
Tabla 4. De costo

DESCRIPCION	PRECIO /UNIDAD c\$	CANTIDAD A UTILIZAR	TOTAL c\$
RESISTENCIA 10K 1/4 W	3	24	72
RESISTENCIA 100K 1/4 W	4	4	16
RESISTENCIA 4.7K 1/4 W	4	2	8
RESISTENCIA 8.2K 1/4 W	4	2	8
RESISTENCIA 1.5K 1/4 W	4	8	32
RESISTENCIA 56 1/4 W	4	4	16
RESISTENCIA 47 1/4 W	4	4	16
RESISTENCIA 68K 1/4 W	4	2	8
RESISTENCIA 33K 1/4 W	4	1	4
POTENCIOMETRO 10K	30	4	120
POTENCIOMETRO 440	490	2	980
DIODO 1N4007	15	20	300
DIODO ZENER 1N4333A	15	4	60
DIODOS LEDS	5	4	20
CAPACITOR CERAMICO 68nF	12	4	48
CAPACITOR CERAMICO 100nF	15	2	30
CAPACITOR CERAMICO 33nF	15	4	60
CAPACITOR CERAMICO 0.18nF	15	4	60
CAPACITOR ELECTROLITICO 3300UF/25V	40	2	80
CAPACITOR ELECTROLITICO 22UF/63V	30	4	120
TRAFO DE AISLAMIENTO TY-145P	654	4	2616
TRAFO LP 573 12v tap 1A	360	2	720
IC TCA 785	495	2	990
IC NE555	20	2	40
IC LM 324	30	2	60
BASE 8 PINES	5	2	10
BASE 14 PINES	8	2	16

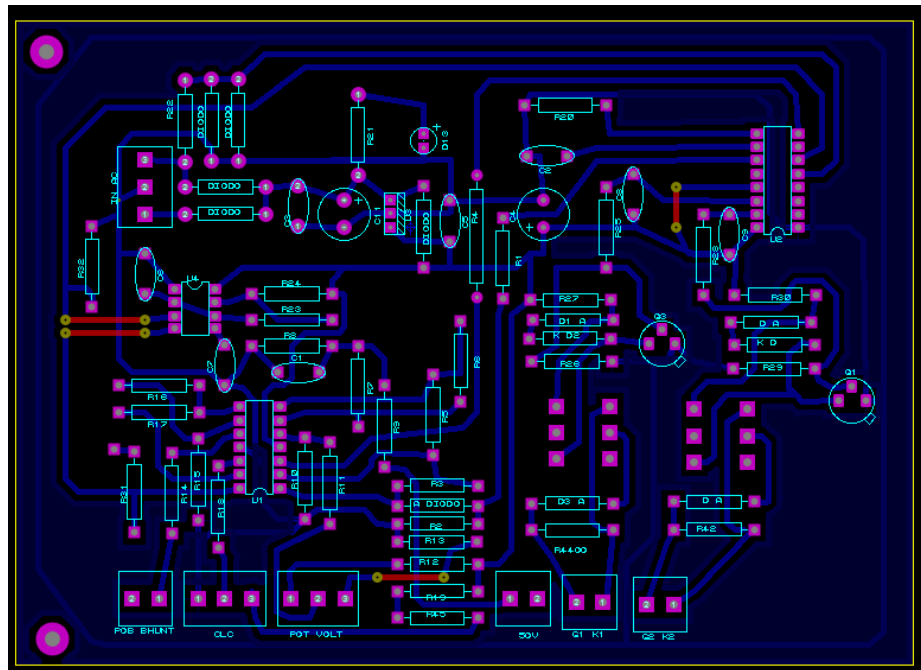
BASE 16 PINES	8	2	16
REGULADOR LM 7812	30	2	60
TRANSISTOR 2N2222A	20	4	80
MEDIDOR WR-005 CON RESISTENCIA SHUNT 100A	732	2	1464
BOBINA L1 NUCLEO 1mH,25A	700	2	1400
CAPACITOR 32000uF/100V	1800	2	3600
TRAFO DE POTENCIA NUCLEO 60VX2,30A	39240	1	39240
CONDUCTOR AWG 8	360	4	1440
CONDUCTOR AWG 12	280	1	280
ACIDO NITRICO LTR	100	1	100
BAQUELITA VIRGEN	225	2	450
ELABORACION DE ESTRUCTURA 48X38 CM	600	1	600
PAPEL PHOTOGRAFICO	80	1	80
ESTAÑO/YARDA	40	10	400
TERMINALES JOMPER	12	14	168
TERMINALES DE OJO	25	50	1250
TERMINALES DE GABETA	8	35	280
FUSIBLE 1A CON PORTAFUSIBLE 20A	5	2	10
CONTACTOR 24VAC	1000	1	1000
LAMINA ACRILICA 38 X 48 Cm	700	1	700
GOLOSOS 1 PULG	1	12	12
SPRAY / PINTURA	75	4	300
TUBO CUADRADO 3 MTRS	220	1.5	330
MODULO DE TIRISTOR SKKL92	2000	4	8000
CABLE TSJ 3X10 (MTRS)	130	3	390
VARIOS	1000	1	1000
MANO DE OBRA	10000	2	20000
TOTAL CORDOBAS C\$			89160
EQUIVALENTE EN DOLARES U\$			2800U\$

XII. ANEXOS

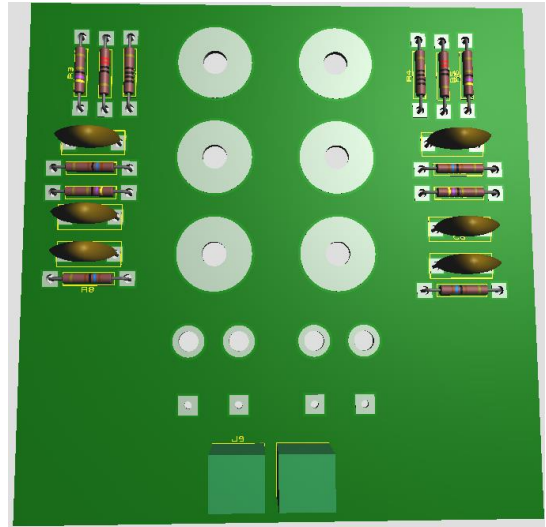
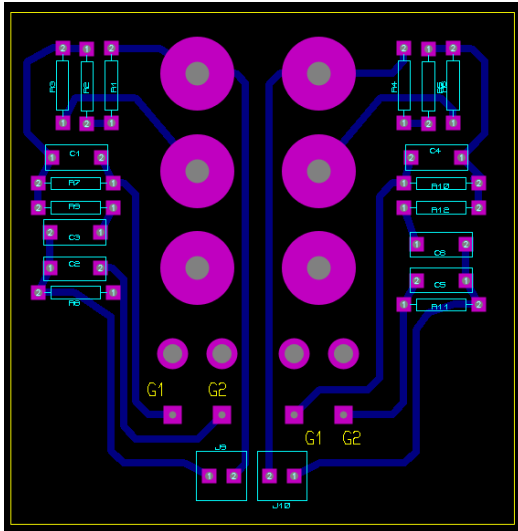
Montaje en Breadbord



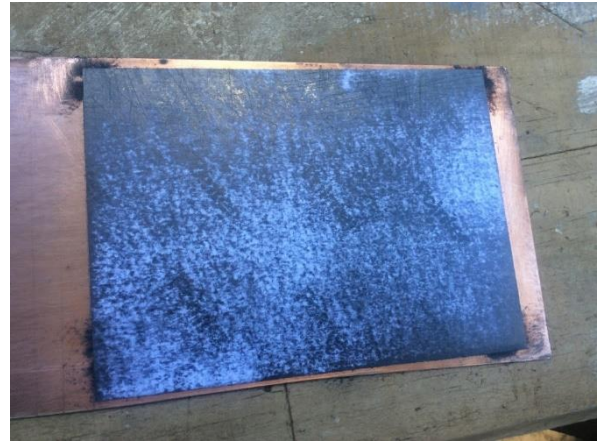
Diseño de PCB control.



Diseño PCB Tiristores (SKKL92)



Proceso de planchado en tarjeta virgen



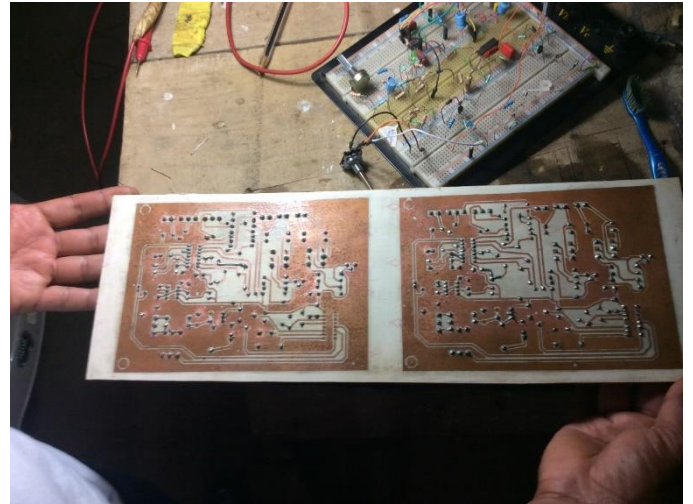
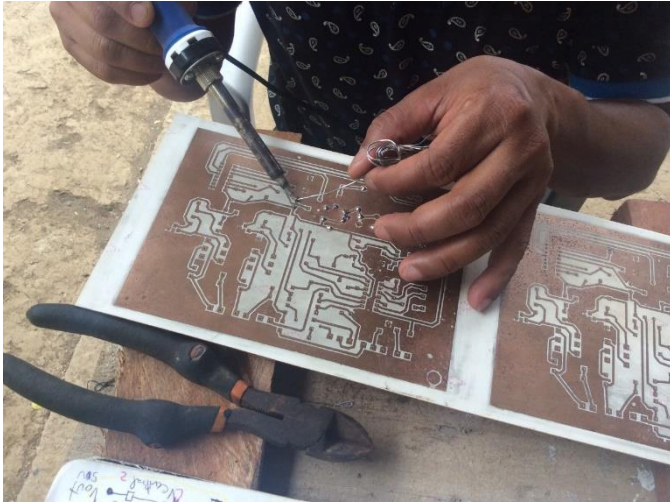
Preparación a introducir al ácido nítrico



Etapa final impreso terminado



Montaje de dispositivos



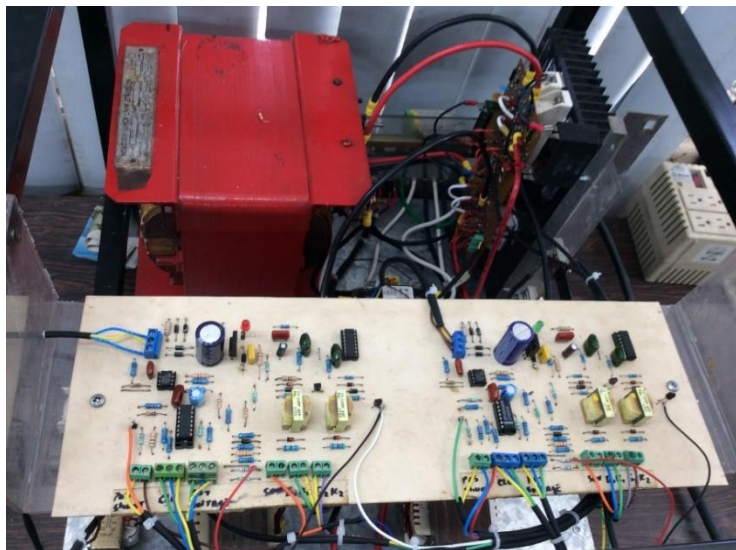
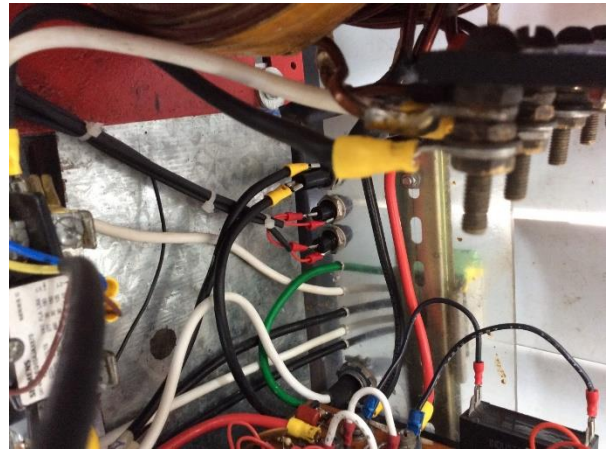
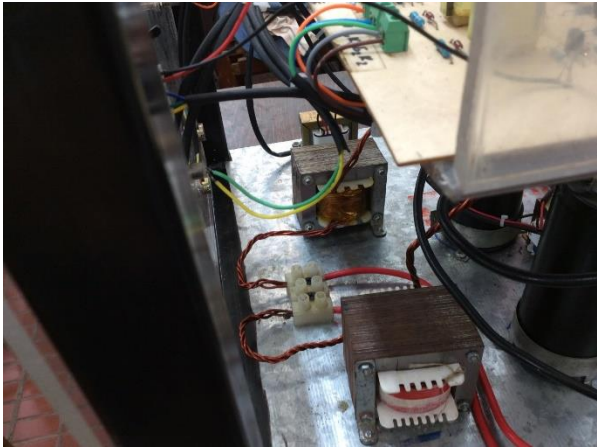
Montaje terminado CH1, CH2 control



Ensamble de bobina para filtro LC



Montaje en carcasa robusta



XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1.1) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.2) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.3) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.4) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.5) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.6) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.7) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.8) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.9) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.10) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.11) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (1.12) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (2.1) rashid
- (2.2) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (2.3) hoja de datos tca. Pág. 7
- (2.4) es.mwikipedia.org
- (2.5) hoja de datos tca. Pág. 3
- (2.6) www.areatecnologia.com
- (2.7) www.rinconingenieril.es
- (2.8) es.wikipedia.org
- (2.9) es.wikipedia.org

- (3.1) www.areatecnologia.com
- (3.2) www.rinconingenieril.es
- (3.3) informacionuft20.files.wordpress.com
- (3.4) análisis básico de circuitos en ingeniería IRWIN 5ta edición cap.2
- (3.5) tutorial amplificadores operacionales, tutronic
- (3.6) tutorial amplificadores operacionales, tutronic
- (3.7) tutorial amplificadores operacionales, tutronic
- (3.8) tutorial amplificadores operacionales, tutronic
- (3.9) tutorial amplificadores operacionales, tutronic
- (4.1) análisis básico de circuitos en ingeniería IRWIN 5ta edición
- (4.2) análisis básico de circuitos en ingeniería IRWIN 5ta edición
- (4.3) análisis básico de circuitos en ingeniería IRWIN 5ta edición
- (4.4) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (4.5) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc
- (4.6) tomado de dispositivos de electroconversion (RES).
- (4.7) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013
- (4.8) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013
- (4.9) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia
- (5.1) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013
- (5.2) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013
- (5.3) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013
- (5.4) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013
- (5.5) paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013

(6.0) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc

(6.1) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc

(6.2) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc

(6.3) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc

(6.4) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc

(6.5) paper prof.j.M. Arcia, diseño fuente de alimentación dc

[1] DATA SHEET TCA785

[2] MUHAMMAD rashid 3ra edición

[3]DATA SHEET LM 324

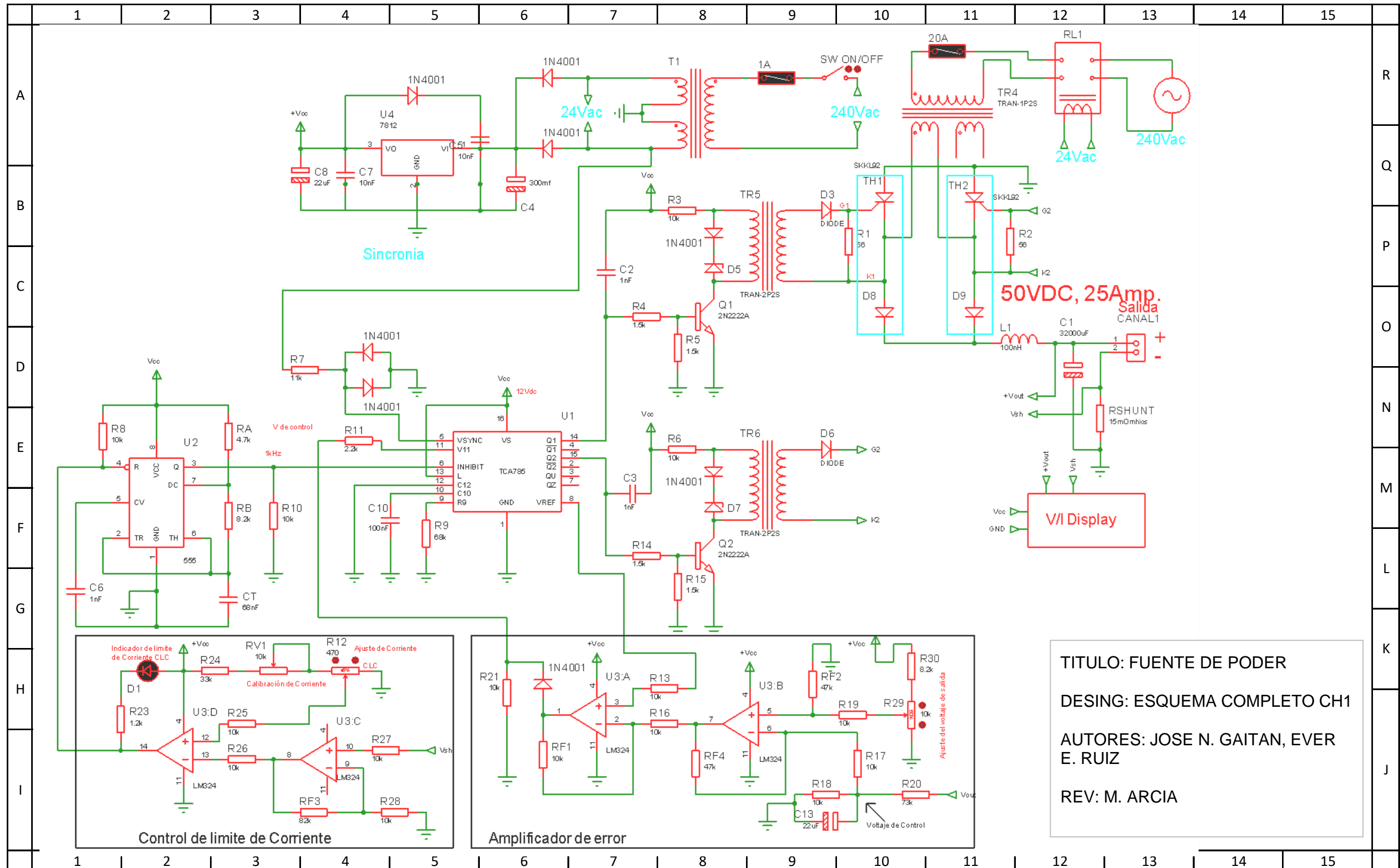
[4]<http://deif-cdn.azureedge.net>

[5] paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013

[6] paper prof.j.M. Arcia, electrónica de potencia 2013, tabla 4 calibre del cobre

[7] <https://www.youtube.com/watch?v=XI4YUB80OW8>

[8]Data sheet SKKL92



TITULO: FUENTE DE PODER
DESING: ESQUEMA COMPLETO CH1
AUTORES: JOSE N. GAITAN, EVER E. RUIZ
REV: M. ARCIA

Control de limite de Corriente

Amplificador de error

50VDC, 25Amp.
Salida CANAL1

V/I Display

Sincronia

V de control

Indicador de limite de Corriente CLC

Calibración de Corriente

Ajuste de Corriente

Ajuste del voltaje de salida

Voltaje de Control