

## **Examen de título**

Tema: Variador de frecuencia

Alumno: Jorge Fernando Lagos Núñez

Mail: [jorgelagos@terra.cl](mailto:jorgelagos@terra.cl)

Plan de estudio: Electrónica Industrial.

Profesor tutor: Ricardo Muñoz Toledo

# **INACAP.**

# Índice

Examen de título .....	1
Índice .....	2
Introducción.....	3
Variador de frecuencia.....	5
Principio de funcionamiento.....	5
Diagrama en bloques .....	8
Etapas rectificadoras.....	8
Control de frecuencia.....	9
Control de desfase y disparo.....	10
Etapa de acoplamiento.....	11
Etapa IGBT.....	14
Circuito esquemático .....	18
Variaciones y mejoras del esquemático central nº1 .....	19
Variaciones y mejoras del esquemático central nº2 .....	20
Vista interna del variador de frecuencia .....	21
Conclusiones.....	21
Bibliografía.....	23

## **Introducción**

La mayoría de variadores mantienen constante la velocidad del motor eléctrico mientras modifican la velocidad de la máquina por medio de un embrague mecánico, eléctrico o hidráulico. Los variadores electrónicos varían directamente la velocidad del motor. Para variar la velocidad de un motor es necesario cambiar el número de polos del motor, modificar su deslizamiento o variando la frecuencia de alimentación. El cambio de número de polos está limitado por los escalones fijos de velocidad que se obtienen. El control del deslizamiento se puede realizar variando el voltaje de alimentación al motor o empleando un rotor de resistencia variable, siendo ambos sistemas ineficientes y de altos costos operativos ó de mantenimiento. El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia.

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando con ello modificar su velocidad. Sin embargo, se debe tener presente que el cambio de frecuencia debe estar acompañado por un cambio del voltaje aplicado al motor para no saturar el flujo magnético dentro del rotor.

En gran parte de las industrias mucho de los equipos necesitan de un sistema de alimentación trifásico, la idea de este proyecto esta centrado en la posibilidad de poder controlar la frecuencia a voluntad del operador y la posibilidad de poder generar un sistema trifásico en caso de que el usuario no disponga de este sistema de alimentación.

En lo anterior descrito se puede decir, que:

1. Muchos de estos equipos tienen un costo elevado siendo por esta razón muy difíciles de poder ser adquiridos por pequeñas empresas, micro empresarios, etc.
2. Con estas dificultades en cuanto a costo este tipo de personas tendría que darse a la tarea de tener que conseguir equipos que cumplan con las mismas características y que no tengan la necesidad de este tipo de insumos ó la posibilidad de poder conseguir recursos extras para poder adquirir este tipo de equipo.
3. En caso de no disponer de recursos extras el usuario tendría que buscar insumos, los cuales cumplan con sus expectativas a un menor costo.
4. Reducir el costo de los variadores de frecuencia para que todo pequeño empresario tenga acceso a este tipo de equipamiento sin tener la necesidad de invertir una gran cantidad de dinero para esto.

De aquí nace la posibilidad de disponer y construir este tipo de equipos los cuales deben presentar una baja considerable en cuanto a costo. Al momento de comenzar con la fabricación de este variador, la idea era poder elaborar un equipo, el cual cumpla con las siguientes características:

1. Fácil construcción.
2. Bajo costo de fabricación.
3. Tiempo de fabricación mínimo.
4. Que no dependa de equipos externos para su fabricación y funcionamiento.
5. Que el costo de reparación sea mínimo.

6. El tiempo de reparación sea reducido.
7. que no se tenga que disponer de equipamiento externo para la reparación

Con todas estas características la idea es poder demostrar que no se necesitan de grandes recursos para poder lograr cumplir con todos los objetivos descritos anteriormente y de esta manera dar una solución efectiva rápida y confiable a problemas reales que se encuentran en distintos tipos de industrias y empresas.

# Variador de frecuencia

## *Principio de funcionamiento*

Es sabido que las señales trifásicas proporcionadas por la compañía eléctrica son de una frecuencia y un voltaje estable, el cual no puede ser alterado por el usuario.

Para muchos de los equipos utilizados en las industrias, es imprescindible contar con un sistema de control de frecuencia y voltaje variable, para poder así proporcionar un control al equipo. De aquí nace la necesidad de disponer de un sistema de control el cual realice estas tareas.

En la gran mayoría de los variadores que se ofrecen en el mercado, todos trabajan con etapas básicas las cuales están compuestas por:

- **Circuito Rectificador.** Recibe la tensión alterna y la convierte en continua por medio de un puente rectificador de diodos o tiristores.
- **Circuito intermedio** (filtros). Consiste en un circuito LC (condensadores y bobinas) cuya función principal es suavizar el rizado de la tensión rectificada.
- **Inversor.** Convierte el voltaje continuo del circuito intermedio, en uno de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Los variadores modernos emplean IGBT (transistor bipolar gate aislado) para generar los pulsos de voltaje de manera controlada.
- **Circuito de control.** El circuito de control enciende y apaga los IGBT para generar los pulsos de tensión y frecuencia variables. Además, realiza las funciones de supervisión de funcionamiento monitoreando la corriente, voltaje, temperatura, etc. con teclados e interfaces amigables de fácil empleo, para lo cual cada fabricante de estos insumos utiliza su propia etapa de control la cual en la gran mayoría de estos equipos esta gobernada por un microprocesador.

Los variadores de frecuencia más empleados son los PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) que emplean en el circuito de entrada puente de diodos rectificadores. En el circuito intermedio poseen condensadores y bobinas para disminuir el rizado del voltaje rectificado, además las bobinas ayudan a disminuir el contenido de armónico de la corriente generada por el variador de frecuencia y por ende a mejorar el factor de potencia. Algunos fabricantes emplean las bobinas de línea en lugar de las bobinas DC del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio, generar una caída de tensión mayor y disminuir la eficiencia del variador.

La sección del inversor utiliza los IGBT (transistor bipolar gate aislado) para convertir la tensión continua del circuito intermedio en una tensión de salida con frecuencia variable. Los IGBT envían pulsos de duración variable hacia el motor y como respuesta se obtiene una corriente casi senoidal.

Los IGBT conmutan a una frecuencia entre 2 a 16kHz, llamada frecuencia portadora. Una frecuencia portadora alta reduce el ruido acústico del motor pero disminuye la eficiencia y la longitud permisible del cable hacia el motor. Además, los IGBT generan mayor calor a una frecuencia portadora más alta. Los IGBT pueden generar altos picos de voltaje que son potencialmente perjudiciales para el motor. Estos picos se producen por el fenómeno de reflexión que duplica el voltaje del circuito DC. Cuando mayor es la longitud de los cables,

mayor el efecto de reflexión. Estos picos originan perforaciones en el aislamiento del motor y gradualmente lo van destruyendo. Algunos fabricantes solo permiten una longitud de 7m de cable hacia el motor. Para contrarrestar este efecto, se emplean las bobinas de motor, permitiendo en algunos casos una distancia de hasta 300 metros. Los nuevos IGBT de 3ra generación controlan mejor la generación de los pulsos de voltaje y por lo tanto el efecto de reflexión es menor.

Los variadores requieren de señales de control para su arranque, parada y variación de velocidad; así como enviar señales de referencia a otros dispositivos como PLC u otros variadores. Es importante que estas señales estén aisladas galvánicamente para evitar daños en los sensores o controles y evitar la introducción de ruido en el sistema de control.

Los variadores de frecuencia ofrecen una excelente alternativa de automatización de sistemas y control de energía en todo tipo de aplicaciones. Su empleo se ha incrementado enormemente en los últimos 10 años por los grandes beneficios que ofrece en el ahorro de energía, costos operativos y de mantenimiento. Además, si tenemos en cuenta que más del 60% de la energía eléctrica que se produce se consume en motores eléctricos, las aplicaciones potenciales de los variadores de frecuencia son enormes.

## **APLICACIONES TÍPICAS DE VARIADORES DE FRECUENCIA**

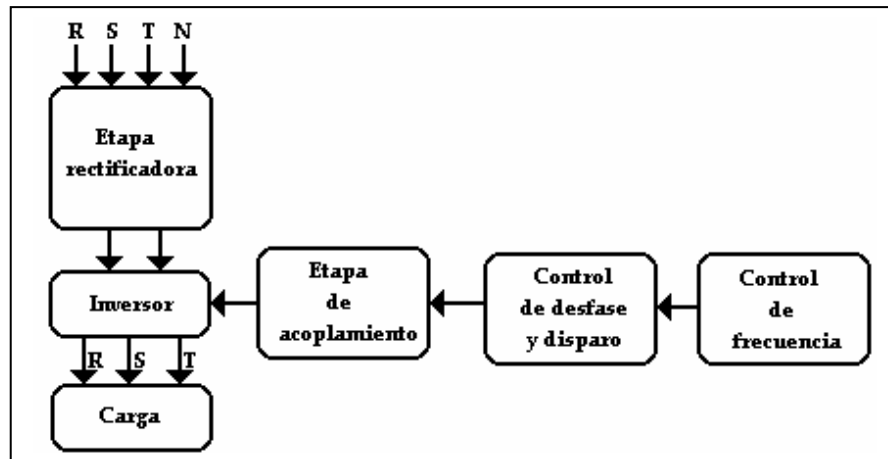
Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- **Fajas o cadenas transportadoras.** Para poder controlar y sincronizar la velocidad de producción de la planta de acuerdo al tamaño de producto.  
Ejm: transportadores de botellas o envases.
- **Bombas Centrífugas.** Para realizar un control de caudal determinado o para empleo en sistemas de presión constante y volumen variable. Es la aplicación ideal para un variador de frecuencia, porque representa enormes ahorros en consumo de electricidad. Típicamente reemplazan a sistemas con tanque hidroneumático, tanque elevado, intercambio de calor, etc.
- **Ventiladores Centrífugos.** Al igual que en el caso de bombas centrífugas, su empleo representa grandes ahorros de consumo de electricidad. Se emplean por ejemplo en ventiladores de calderas y hornos, control de presurización de salas de proceso, extractores de aire, torres de enfriamiento, etc.
- **Bombas de desplazamiento positivo.** Permiten un control exacto de caudal y dosificación por medio del control de la velocidad. Ejm: bombas de tornillo, de engranajes, bombas de lóbulos para transporte de chocolate, pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, etc.
- **Ascensores y elevadores.** Permiten un arranque y parada suave del elevador manteniendo el torque del motor, evitando así que la carga se mueva y se golpee.
- **Extrusoras y prensas de tornillo.** Reemplazan a los sistemas hidráulicos tradicionales proporcionando una variación amplia de velocidad y control total de torque. Ejm: prensas de harina de pescado, extrusoras de snacks, pasta, plásticos, etc.
- **Separadores Centrífugos.** Realizan un arranque suave y progresivo de la centrífuga evitando los picos de corriente.

- **Otras aplicaciones importantes** se dan en las laminadoras, prensas mecánicas, compresores de aire, máquinas textiles, máquinas herramienta, pozos de petróleo, etc.

Lo más importante para determinar si es factible el empleo de un variador de frecuencia, es tener un profundo conocimiento del proceso a ser controlado; así como conocer las ventajas y limitaciones comparado con otros sistemas alternativos. Es por lo general un proceso multidisciplinario que debe involucrar tanto a Ingenieros de Producción, de Proceso, Mantenimiento mecánico, eléctrico, electrónico, Instrumentistas, etc. iniciado por un deseo de obtener una ventaja de calidad y economía. Colocar un variador de frecuencia es hacer a un motor eléctrico "inteligente".

## Diagrama en bloques

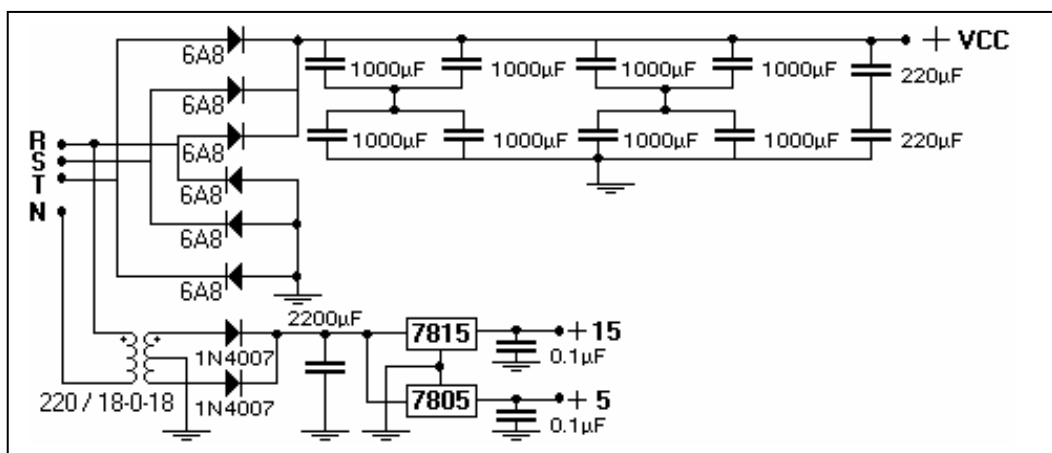


## Etapas rectificadoras

Esta etapa consta de 2 fuentes de alimentación de las cuales una de ellas es la que se encarga de proveer de energía a los sistemas de control del variador. Aplicara +5Volts para alimentar a la etapa de control de frecuencia y a la etapa de control de desfase y disparo, también esta fuente provee de +15volts a la etapa de acoplamiento, la otra es una fuente trifásica de onda completa no controlada, la cual rectifica las líneas trifásicas convirtiéndolas de AC a CC para posteriormente pasar por un filtro. La sumatoria de los filtros da como resultado un filtro total de  $2110\mu\text{F} \cdot 500\text{volts}$ .

La corriente máxima esta determinada por los diodos la fuente de poder, para este caso entregando una corriente máxima de 12 amperes, se debe de tener en consideración que el formato de un diodo rectificador de 12 amperes es del tipo industrial el cual complica el montaje en la placa, para eliminar este problema se construyeron 2 fuentes de poder cada una proporcionando 6 amperes. Después de esto la energía proporcionada por la fuente trifásica es entregada a la etapa de los IGBT.

Una posible variación en este circuito es aplicando SCR en reemplazo de los diodos ya que estos pueden controlar una mayor corriente y con este tipo de dispositivo se obtiene un control en cuanto al voltaje.



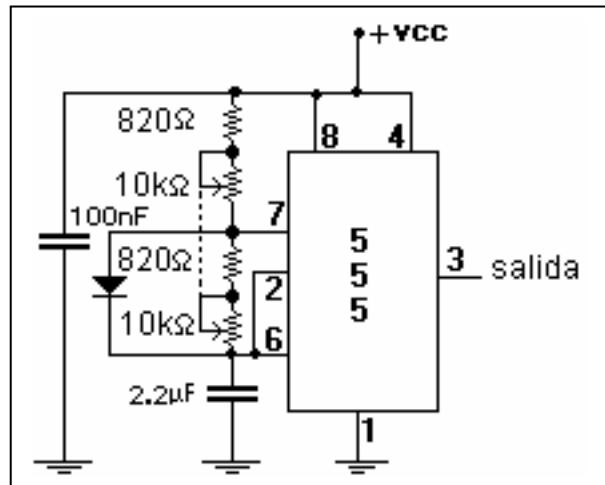


## Control de frecuencia

Esta etapa , solo consta de un temporizado estable ó clock ,el cual controla la frecuencia del equipo. Para esta etapa se selecciono el temporizador 555 por su facilidad de aplicación, bajo costo y por su gran disponibilidad en el mercado.

### Cálculos:

Para calcular la frecuencia mínima y máxima, se debe tener en consideración que este tipo de variador es de seis pasos, por consiguiente la frecuencia mínima y la frecuencia máxima deseada para el variador se debe multiplicar por 6, para poder determinar el valor de la frecuencia que debe existir en la salida del 555, para nuestro caso los valores son los siguientes:



Frecuencia mínima = 5hZ

$$5\text{HZ} \cdot 6 = 30\text{hZ}$$

Frecuencia máxima = 67 hZ

$$67\text{HZ} \cdot 6 = 402\text{hZ}$$

La frecuencia que se debe de obtener en la salida del 555 es de un mínimo 30hZ y un máximo de 402hZ

Se sabe que tiempo  $T = \frac{1}{f}$

Por consiguiente:

$$T_{\min.} = 1/30 = 33,333 \text{ ms.}$$

$$T_{\max.} = 1/402 = 2,487 \text{ ms.}$$

Estos tiempos dados incluyen los tiempos TON y TOFF de la señal, los cuales deben de ser separados en partes iguales para así obtener un ciclo positivo y negativo idénticos:

$$T_{\min.} = 33,333\text{m} / 2 = 16,6665\text{ms.}$$

$$T_{\max.} = 2,487\text{m} / 2 = 1,24375\text{ms.}$$

En esta etapa los tiempos TON y TOFF son aproximadamente iguales producto del diodo que se encuentra en paralelo a la resistencia y al potenciómetro. El tiempo se obtiene de la siguiente formula:

En donde:

T = tiempo en segundos

0,69 = constante

$$T = 0,69 \cdot R \cdot C$$

C = valor condensador en faradios

R = dependiendo de que frecuencia se desea calcular

El valor de la resistencia dependerá del valor de la frecuencia que se este calculando, ósea, para calcular la frecuencia máxima, el potenciómetro debe de estar en su valor ohmico mínimo, con esto se disminuye la resistencia de carga del condensador electrolítico, asiendo que la frecuencia sea máxima en la salida del 555, entonces para este calculo solo se debe de tomar la resistencia de  $820\Omega$  y para una frecuencia mínima, el potenciómetro de  $10k\Omega$  se a de colocar en el valor máximo entonces se debe de sumar el valor ohmico máximo del potenciómetro con la resistencia. Con esto en mente el calculo queda de la siguiente manera:

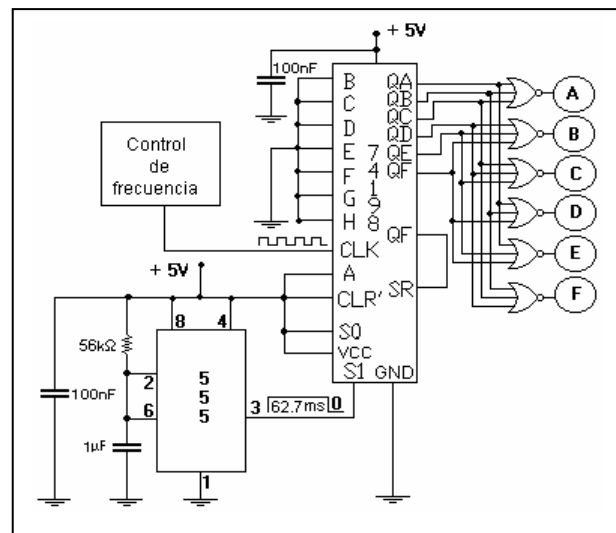
$$\begin{aligned} C &= 2,2\mu f \\ T &= 0,69 \cdot (820 + 10E3) \cdot 2,2E^{-6} \\ T &= 16,424ms. \end{aligned} \quad \begin{aligned} T^* &= 16,424E^{-3} \cdot 2 = 32,849ms. \\ F &= 1/T = 1/32,849E^{-3} = 30,441Hz \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 2,2\mu f \\ T &= 0,69 \cdot 820 \cdot 2,2E^{-6} \\ T &= 1,244ms. \end{aligned} \quad \begin{aligned} T^* &= 1.244E^{-3} \cdot 2 = 2,489ms. \\ F &= 1/T = 1/ 3,036E^{-3} = 401,683Hz \end{aligned}$$

La frecuencia mínima deseada en un principio era de 30hZ se obtuvo un valor de 30,44hZ y la frecuencia máxima era de 402hZ y se obtuvo 401,683hZ, si estos valores son divididos en por 6 se obtiene la frecuencia final de las líneas, ósea, 5,073hZ mínimo y como máximos 66,947hZ. Ambos valores son bastantes cercanos a los propuestos en un principio (5hZ y 67hZ), para mejorar en cuanto a la exactitud de la frecuencia deseada se debe remplazar las resistencias por potenciómetros de ajuste ya que con estos se puede lograr un valor ohmico mas preciso.

### Control de desfase y disparo

Esta etapa consta como se ve en la figura de un 555, un registro de desplazamiento de 8 bits y 6 compuertas NOR. El registro de desplazamiento genera un barrido en este caso de 6 bits. Cuando aya un franco positivo enviado por la etapa de control de frecuencia, desplazara 1 bits en la salida desde QA hasta QF luego reiniciándose automáticamente para posteriormente volver a generar un nuevo barrido, para posteriormente ser desplazado como se describió anteriormente.



Mientras que las 6 compuertas, generan el desfase y a la vez proporcionan los voltajes para poder excitar las entradas de la etapa de acoplamiento. El 555, se utiliza como temporizador básico, el cual tiene como función cargar los datos de la entrada del registro de desplazamiento al momento de encender el variador de frecuencia y mandarlos a las salidas del registro de desplazamiento mediante la aplicación de un pulso de aproximadamente de 62.7ms. a la entrada S1 del registro de desplazamiento. A este tipo de circuito de control ó disparo de se denomina de seis pasos.

## Etapas de acoplamiento

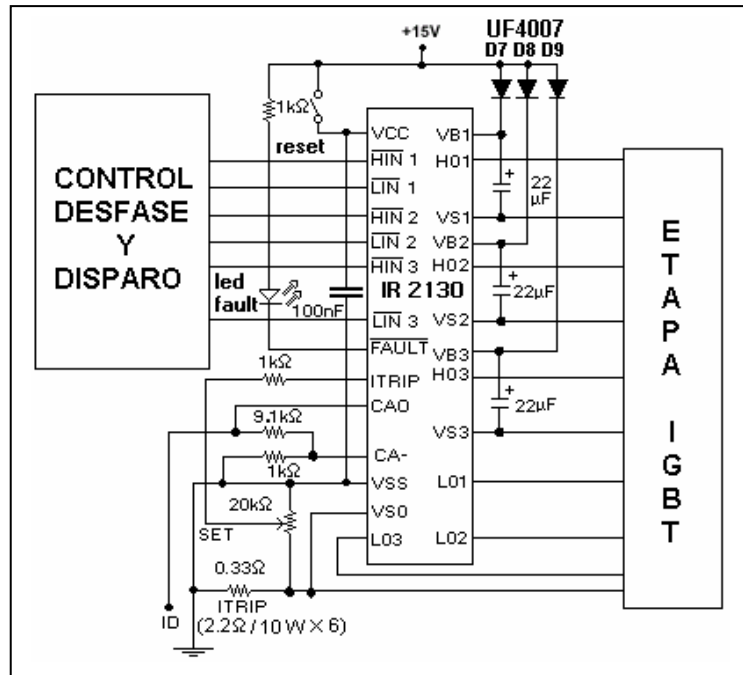


Diagrama esquemático etapa acoplamiento

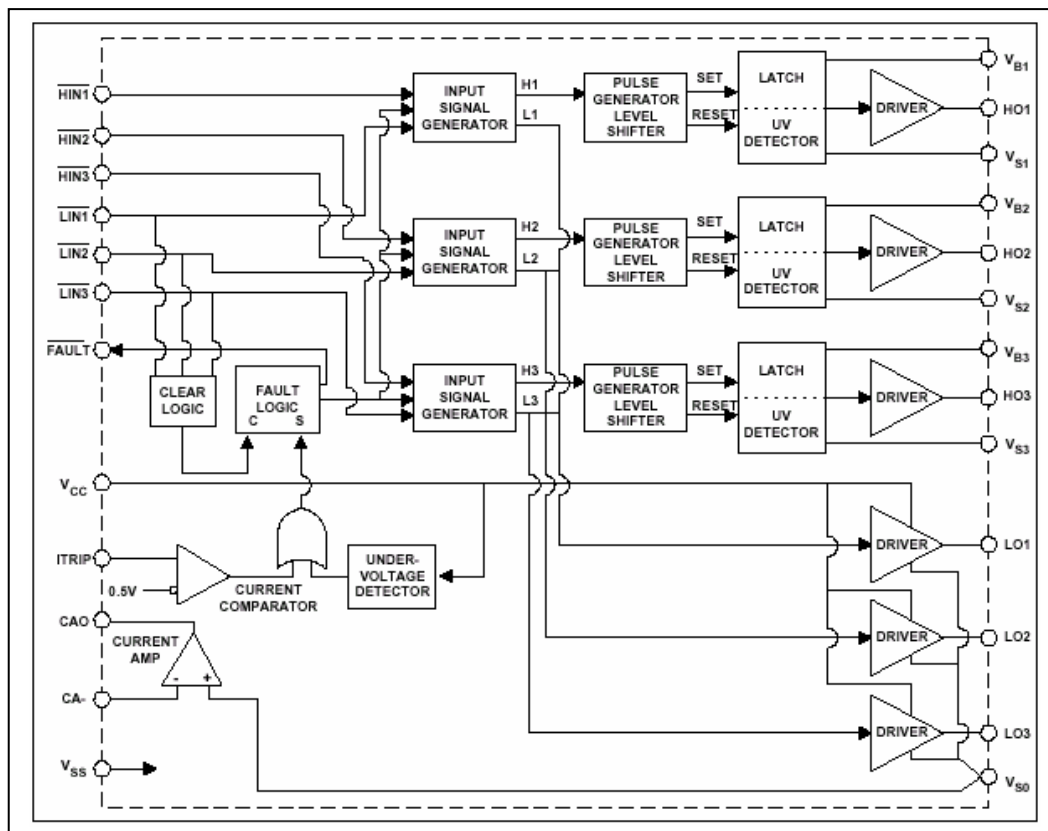


Diagrama de bloques interno del CI IR2130

## **Manejadores de salida**

Como se puede observar en la figura anterior el circuito consta de 6 manejadores de salida los cuales reciben sus entradas de los 3 generadores de señales de entrada, cada generador provee dos salidas, los tres manejadores bajos de salida están manejados directamente por el generador de señales L1, L2, L3. Pero las señales que maneja el lado alto H1, H2, H3 necesitan ser cambiadas de nivel antes de ser aplicada a los manejadores del lado alto.

Un circuito detector de bajo voltaje esta en todo momento monitoreando el nivel de VCC el cual provee una señal para inhibir las seis salidas de señales. Además hay circuitos individuales detectores de bajo voltaje para cada una de las salidas del lado alto.

La señal de ITRIP la cual puede ser derivada a un sensor de corriente en el circuito principal de potencia del equipo, es comparada con una referencia de 0.5volts y después va a una compuerta OR a la cual también llega una señal de bajo voltaje (UV), la salida de esta compuerta inhibirá las seis salidas de los generadores si se presenta una de sus dos entradas.

Un circuito lógico de FAULT que se activa por las señales de entrada de UV e ITRIP provee una señal TTL de salida, para indicación ó diagnostico de sistema. Hay también un amplificador interno de corriente que provee una señal análoga proporcional a la frecuencia del voltaje de VSS y VS0.

Una resistencia de monitoreo en el circuito de potencia principal puede proveer un voltaje positivo en VS0 y por medio de una resistencia de retroalimentación el amplificador de corriente puede ser escalado par generar un voltaje de 0 a 5 volts como una función de la carga actual.

## **Protección de bajo voltaje (UV)**

Una condición de bajo voltaje en el nivel de VCC definido como menos de 8.9 volts (cuando el VCC esta reducido) y menos de 9.3 volts nominal cuando VCC es incrementado causa que toda las salidas sean apagadas.

## **Protección de sobre corriente (ITRIP)**

En caso de un corto circuito o una sobrecarga es deseable apagar toda las salidas. Esto se logra a través de un comparador de corriente que monitorea la caída de voltaje en una resistencia de monitoreo (resistencia ITRIP), Instalada en el lado bajo y que es comparada con una referencia de 0.5 volts.

La salida del comparador de corriente y la del circuito de UV van a una compuerta OR, de esta forma cualquiera de las dos pueda hace actuar el circuito de FAULT.

## **Circuito de FAULT**

Este circuito consiste en un latch, el cual es puesto a 1 por cualquiera de las dos combinaciones mencionadas anteriormente, esta condición de 1 produce 2 señales de salida una de estas es usada para inhibir las 6 salidas de control y la otra salida aparece como un indicador de FAULT, esta condición se expresa como un nivel lógico bajo el cual es capaz de controlar un diodo led o un circuito externo. Esta condición de FAULT mantendrá las salidas bloqueadas hasta que el usuario mantenga las entradas del lado bajo en un nivel lógico 0 por mas de 10 microsegundos ó forzando VCC esto quiere decir eliminando la alimentación del circuito.

## **Manejadores de salida**

El IR2130 tiene seis manejadores de salida tres de estos referenciados a VS0 y tres manejadores flotantes capaces de trabajar con voltajes de offset de asta 600 volts positivos con respecto VS0. todas las salidas tienen lógica invertida todas ellas van a positivo con su correspondiente 0.5 volts de entrada, LIN ó HIN van a nivel bajo a menos que haya una condición de FAULT. La corriente de salida típica es de 250mA en el franco de subida y 500mA en el franco de bajada.

## **Manejadores de salida del lado bajo**

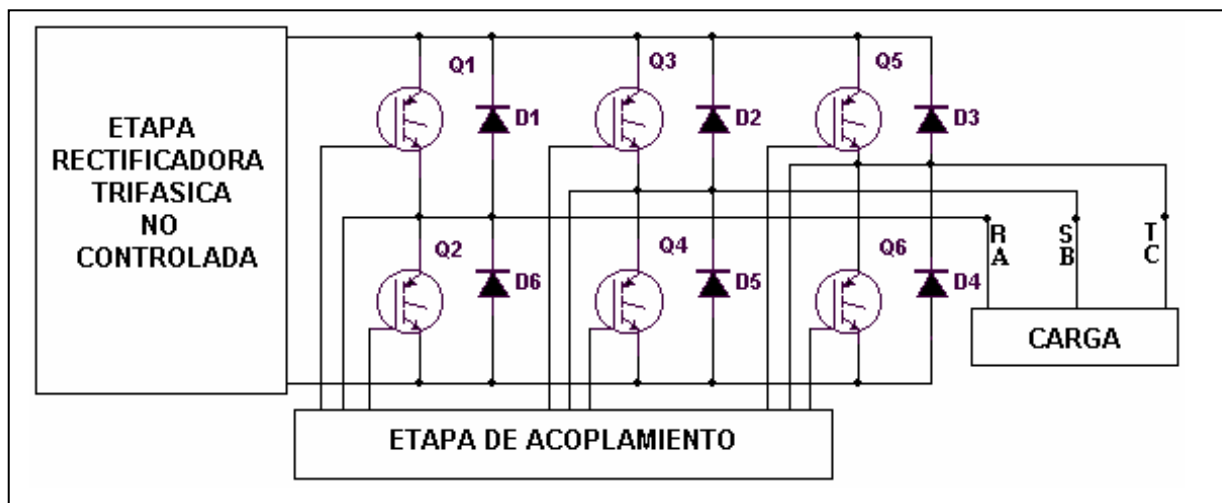
Por causas del requerimiento del amplificador de corriente y para incrementar la inmunidad al ruido entre la tierra de potencia y la tierra de referencia del circuito lógico, la capacidad de offset entre VS0 y el VSS es bidireccional entre  $\pm 5$ olts.

## **Manejadores del lado alto**

Cuenta con protección de UV individual y un offset que les permite un buen disparo de los dispositivos de potencia del lado alto.

Probablemente la mayor dificultad en cuanto a este circuito integrado es que no se encuentra en Chile, por eso debe de encargarse a EEUU u otro país que disponga de este dispositivo, el precio puede considerarse alto en un principio pero las características de control y seguridad para el circuito bien valen la pena.

## Etapa IGBT

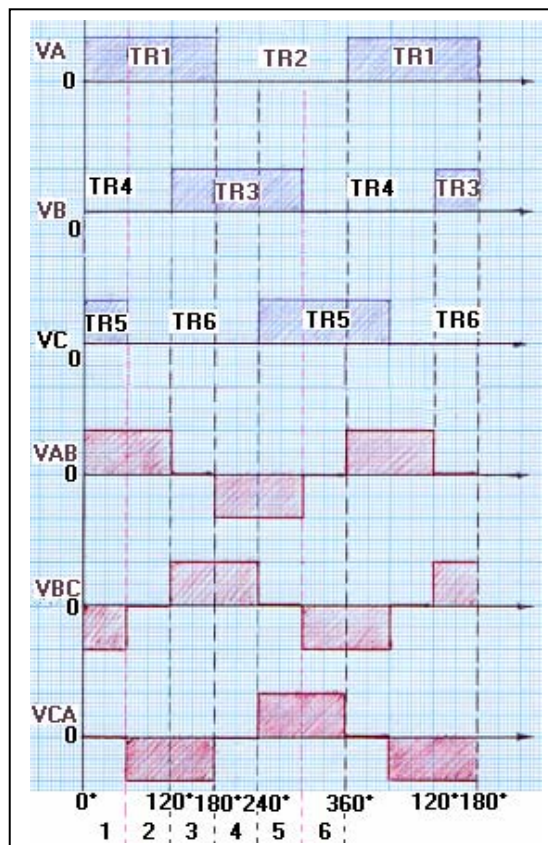


Esta etapa consta de 6 transistores de potencia, en este caso se utilizaron IGBT, lo cual es tan solo una opción de selección ya que también se pueden utilizar MOSFET y transistores de potencia, para lo cual se debe de tomar en consideración, la potencia y el voltaje al cual serán expuestos.

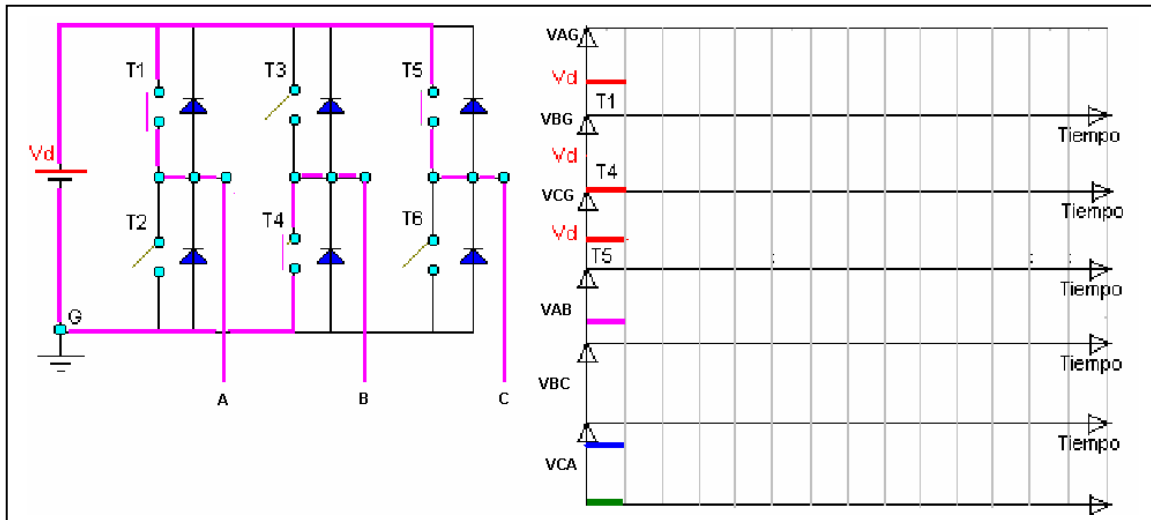
El conjunto de transistores se puede dividir en tres ramas, ósea:

- La rama R esta gobernada por los transistores Q1 y Q2
- La rama S esta gobernada por los transistores Q3 y Q4
- La rama T seta gobernada por los transistores Q5 y Q6

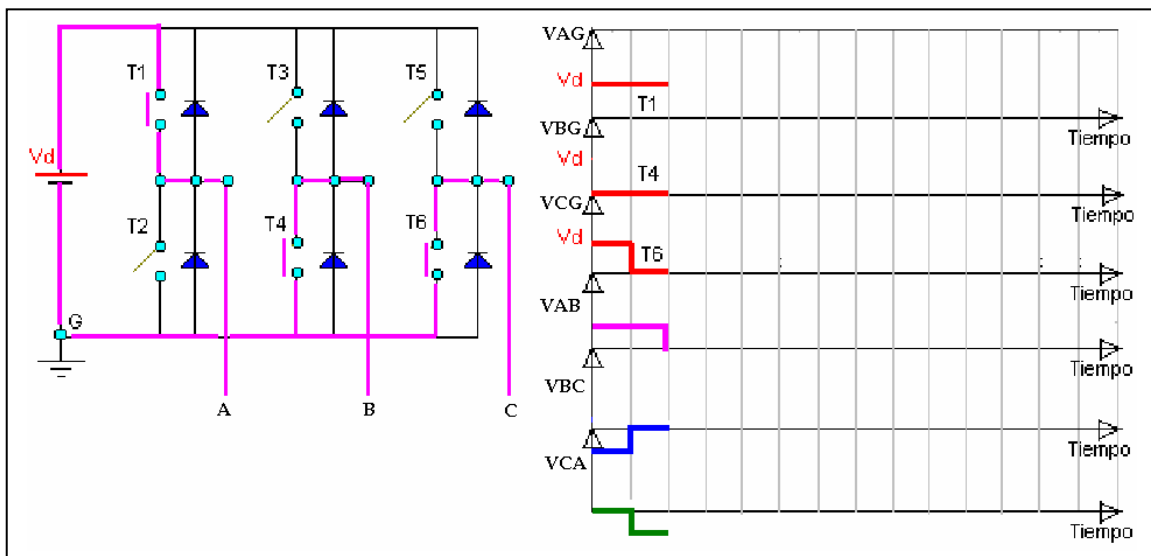
Cada uno de los transistores de potencia esta protegido por un diodo polarizado en inversa, estos diodos solo actuara cuando se utilice una carga inductiva. Como requisito de selección del diodo a de ser del tipo rápido. La forma de onda y los desfases de cada una de las salidas R, S, T ó A, B, C y de los transistores se puede ver en el diagrama de tiempo.



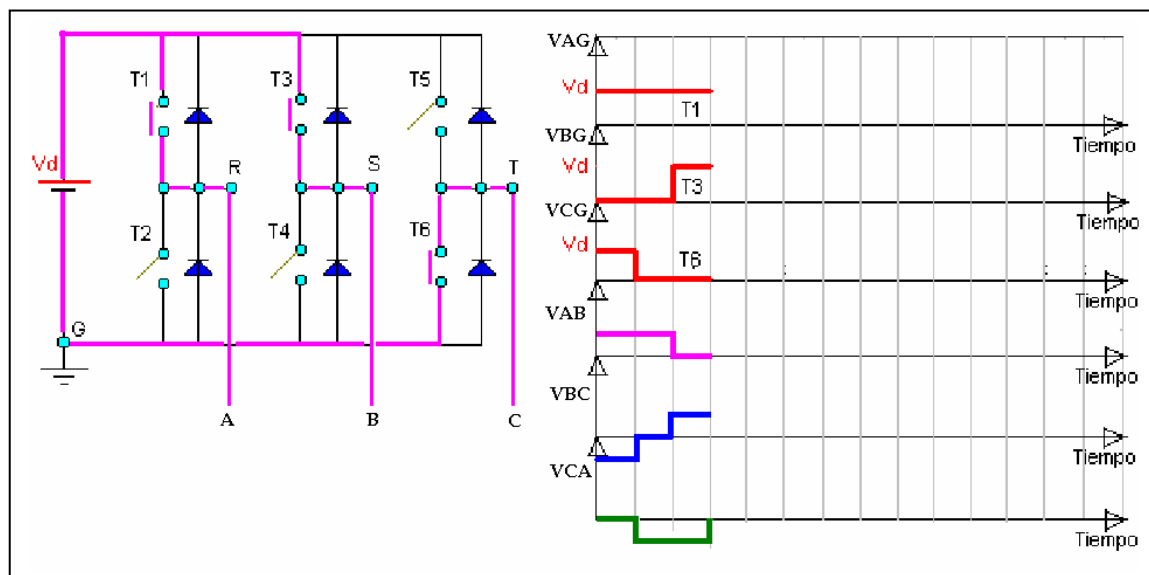
La forma de accionamiento de cada transistor y la forma de onda que estos provocan en las líneas se presenta a continuación de forma independiente



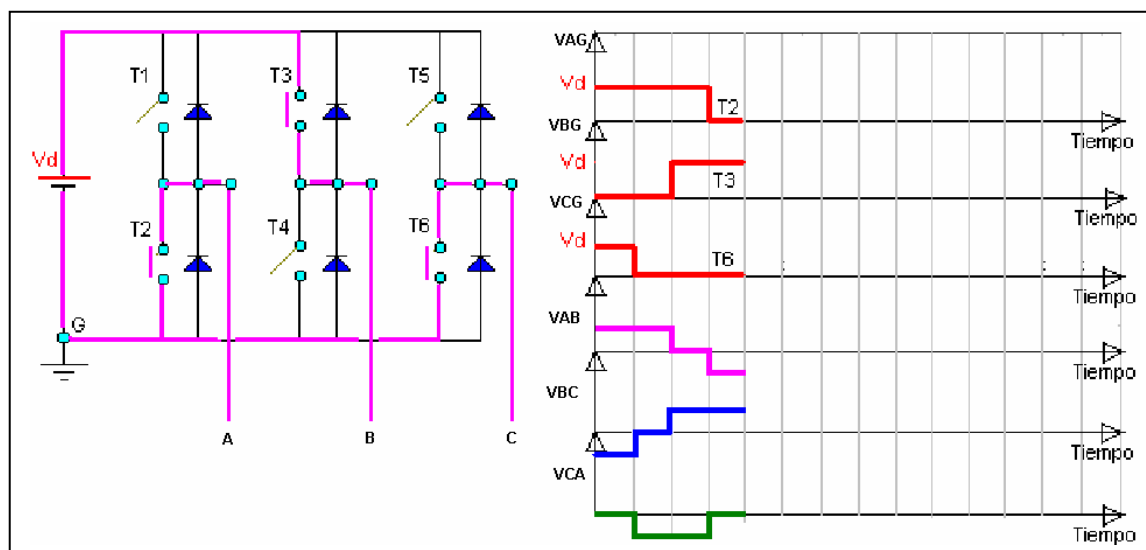
**Tiempo 1**



**Tiempo 2**

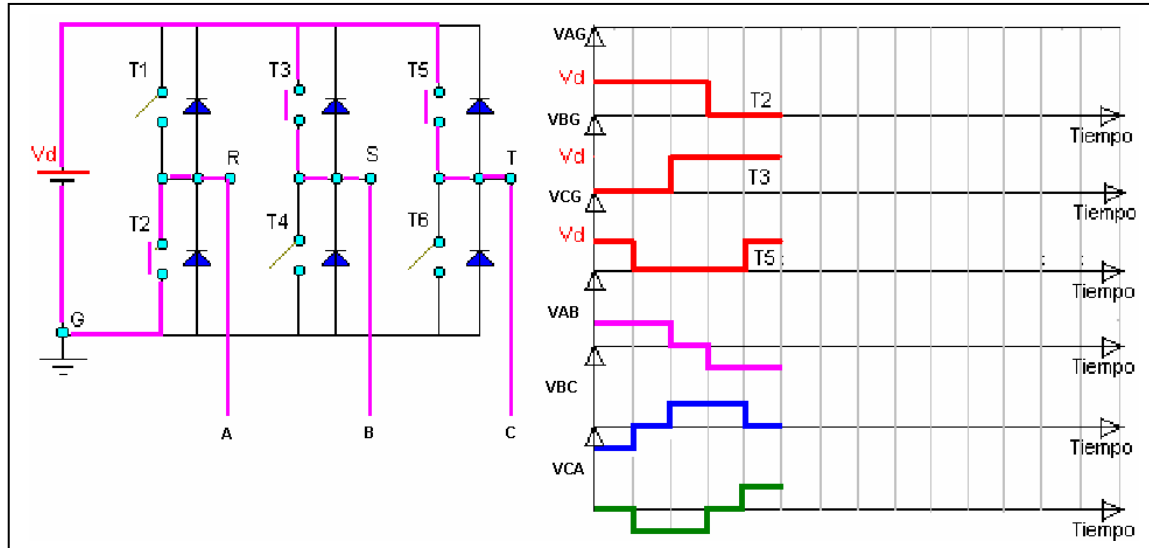


**Tiempo 3**

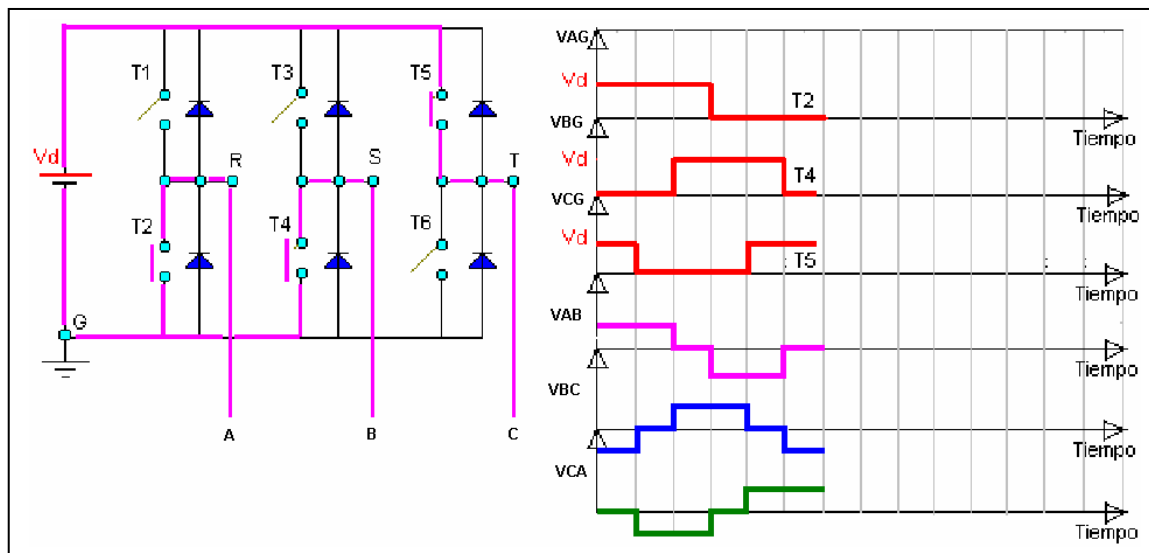


**Tiempo 4**



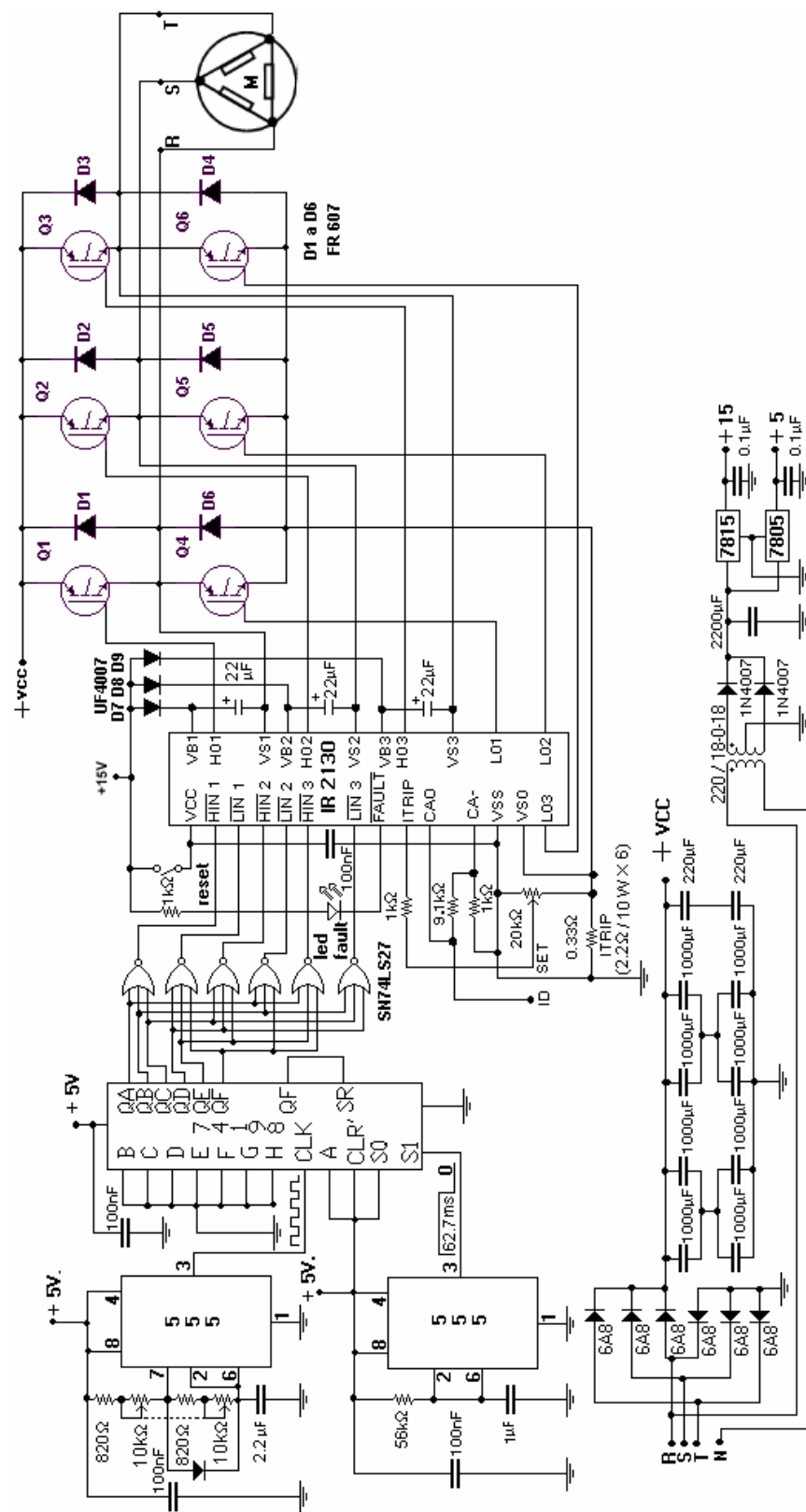


**Tiempo 5**



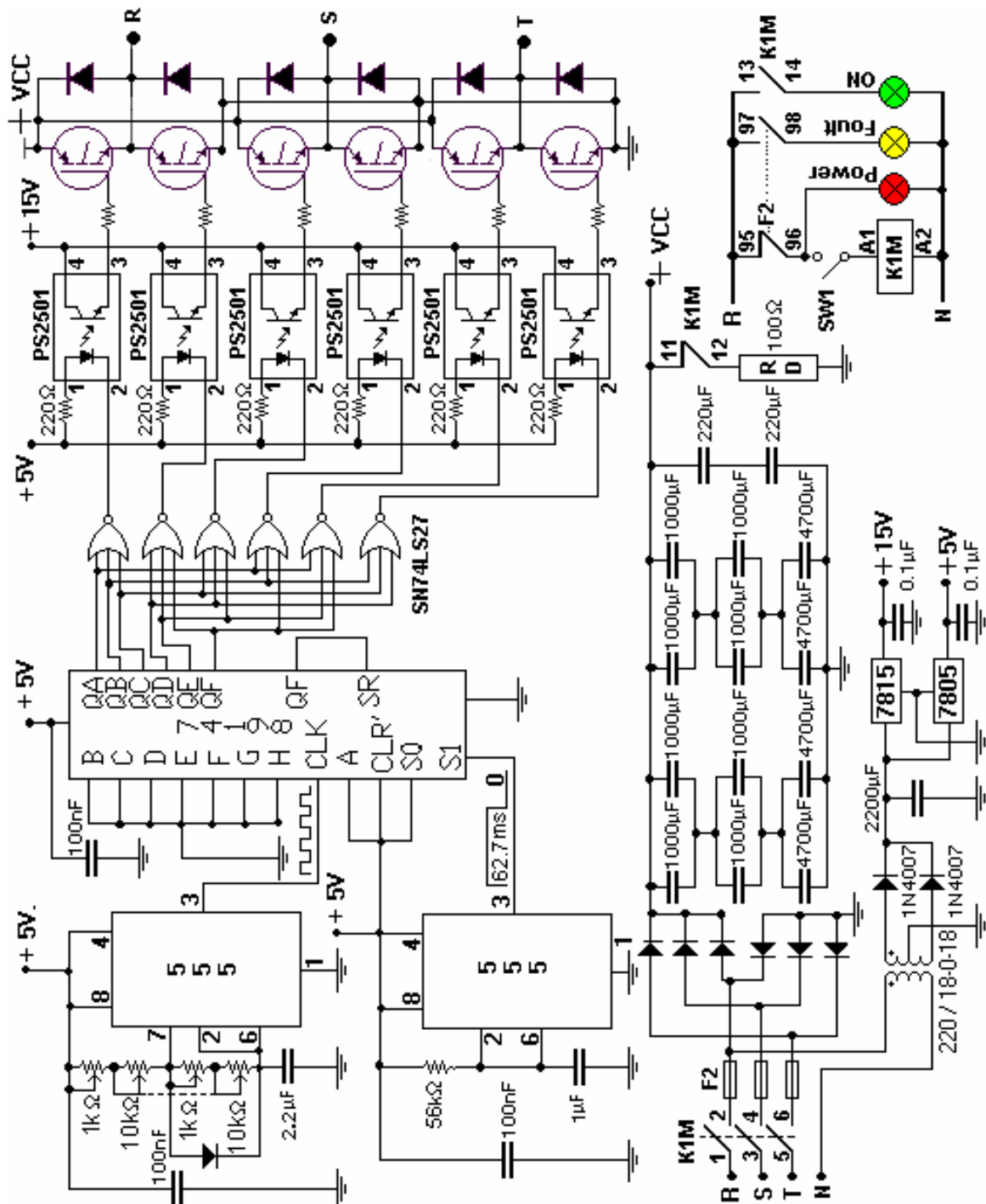
**Tiempo 6**

### Circuito esquemático

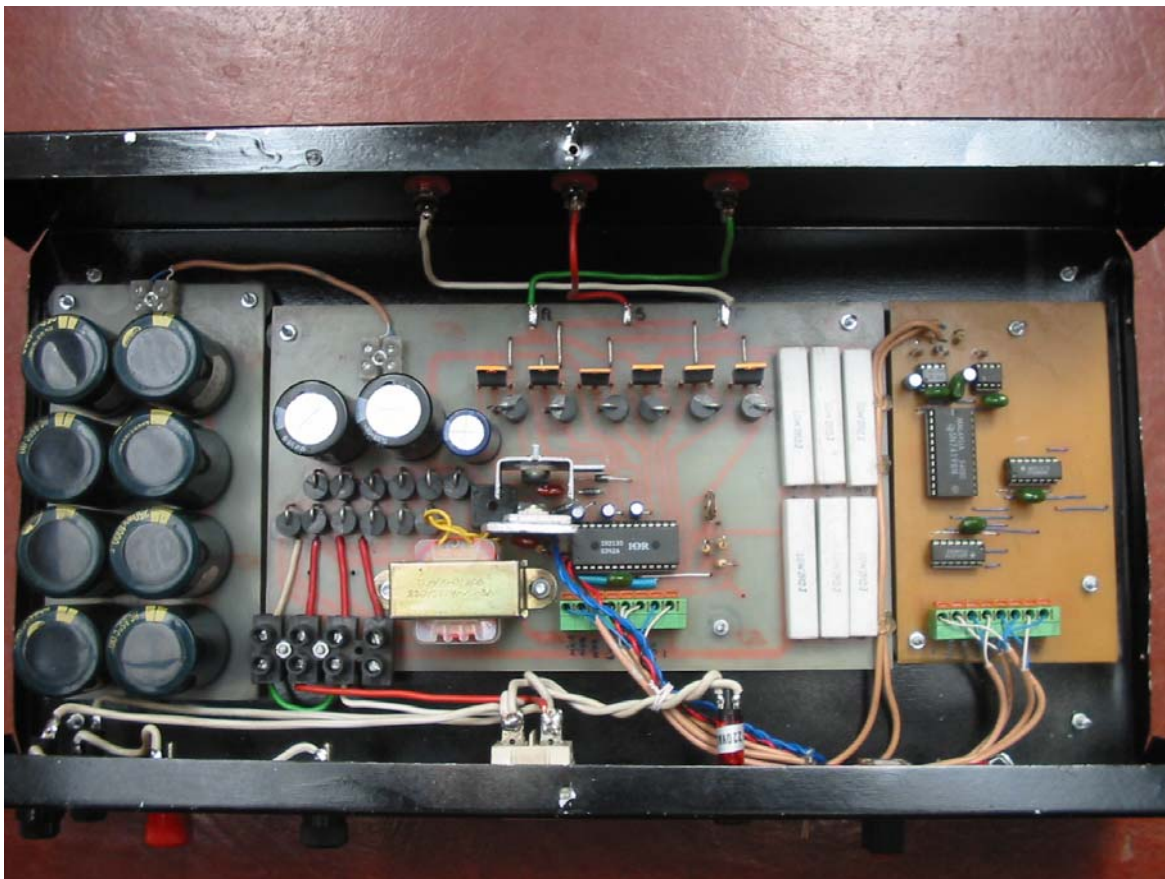




## Variaciones y mejoras del esquemático central n°2



### ***Vista interna del variador de frecuencia***



## **Conclusiones**

Este trabajo fue realizado pensando en lograr una economía en su elaboración y con esto disminuir el alto costo que debe pagar el usuario por estos equipos. El variador de frecuencia que se presentó se puede considerar como básico por esta razón a este circuito se pueden hacer bastantes mejoras como:

- La fuente de alimentación trifásica, en especial los diodos remplazarlos por SCR, así obtener un control del voltaje y obtener así una mayor corriente proveniente de la fuente, en caso de hacer esta variación se debe aumentar la potencia de la resistencia ITRIP
- Eliminar la fuente de alimentación de los circuitos de control y de acoplamiento para remplazarla por una fuente gobernada por zener, la idea es no tener que depender de un neutro para su utilización y de esta manera eliminar el transformador de esta fuente, con esto, disminuyendo el peso, espacio y las posibles interferencia provocadas por el campo magnético natural producido por este tipo de transformadores.
- En la etapa de filtros se puede eliminar unos pocos condensadores y utilizar filtros del tipo "L" o "T" o la combinación de ambas como lo son los filtros del tipo

“LL” ó “LT” etc. Este tipo de filtros no es nada mas que la combinación de condensadores electrolíticos y bobinas. Si se cambia a este tipo de filtros se podrá disminuir el espacio, peso y costo a lo cual conlleva utilizar solo condensadores electrolíticos como filtros.

- En la etapa de control se pueden remplazar las resistencias por potenciómetros de ajuste, con esto lograr una mayor exactitud al elegir la frecuencia máximas y mínimas del variador. En caso de que se desee aplicar mayores características de control como por ejemplo un panel de visualización, invertir la marcha, un dispositivo de freno en caso de emergencia, etc. Se debe de tener en consideración si vale la pena de seguir utilizando esta etapa de control o simplemente remplazarla por un dispositivo más dinámico, que ocupe menos espacio, y que sea más económico que utilizar cada una de estas parte por separado, ósea que un solo dispositivo gobierne toda estas funciones, entre los cuales se puede utilizar un perfectamente microcontrolador.

Lo descrito anteriormente no quiere decir que la combinación de los dispositivos utilizados sea poco conveniente, pero esta etapa de control es básica al igual que la secuencia que genera por esta razón me pareció poco rentable utilizar un microcontrolador ya que este dispositivo tiene un mayor costo que la sumatoria de los dispositivos utilizados en el circuito y en el caso de haberse utilizado, el variador dependería de circuitos externos para su armado y reparación.

El precio del variador dependerá de la potencia que se desee en las salidas, esto quiere decir, que si desea controlar una gran potencia, la fuente de alimentación trifásica, en especial los diodos deben de estar en un equilibrio con la potencia que se desea en la salida, al igual que la selección de los IGBT, si la utilización de IGBT no es conveniente producto del costo de estos o la corriente que soportan es demasiado grande en comparación a la fuente de poder y no se dispone de dispositivos mas pequeños en el mercado, se debe de buscar un remplazó teniendo en cuenta que el sobredimensionar estos dispositivo nos lleva a un mayor costo del equipo, una solución en caso de no disponer de IGBT, estos se pueden remplazar perfectamente por MOSFET.

En la elaboración de este proyecto los ramos a los cuales tuve que recurrir fueron:

- Electricidad 1 y 2
- Laboratorio de electricidad
- Taller electrónico
- Fuentes de alimentación
- Electrónica digital 1 y 2
- Maquinas eléctricas
- Control de potencia estado sólido
- Circuito de pulso
- Conversión de potencia y control de motores
- Taller de montaje
- Transistores

De los cuales el más recurrente por el tipo de proyecto fue conversión de potencia y control de potencia.

La finalidad que se buscaba con la puesta en marcha de este proyecto era poder disponer de un variador de frecuencia más económico y con esto una disminución considerable del costo de los variadores de frecuencia que se ofrecen en el mercado, siendo este tipo de proyecto una opción alternativa, con un menor costo y una gran eficiencia.

La educación que recibí por parte de INACAP me pareció excelente, contando este con una gran infraestructura, buenos implementos de trabajo para los talleres, una buena malla curricular, una gran biblioteca y una excelente calidad de los profesores que allí imparten clase.

De las cosas que me pareció deficiente, es que al momento de mi egreso, la ausencia de un laboratorio para el ramo de automatismo industria, ramo el cual solo se baso en teoría y para mi gusto es un ramo bastante interesante el cual me hubiese gustado poner en práctica lo que allí se me enseñó de forma teórica.

## **Bibliografía**

- Data sheet UF4007
- Data sheet FR607
- Data sheet IRG4PC50F
- Data sheet SN74198
- Data sheet IR2130
- Data sheet LM 555
- Documento INT985 (INTERNATIONAL RECTIFIER)
- Documento DT98-2a selección componentes bootstrap para el IC. De control (INTERNATIONAL RECTIFIER)