



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONVERTOR AC/DC CONTROLADO
DE 12 Y 24 PULSOS Y ANALIZADOR DE ARMÓNICOS A TRAVÉS DE LA
PC PARA EL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO”.**

DANILO JOSÉ CHANCUSIG CHICAIZA
MAYRA SOFÍA MASAPANTA HINOJOSA

LATACUNGA –ECUADOR

JULIO 2009

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado fué desarrollado en su totalidad por el señor **DANILO JOSÉ CHANCUSIG CHICAIZA** y la señorita **MAYRA SOFÍA MASAPANTA HINOJOSA**, previo a la obtención de su título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación.

Latacunga, Julio del 2009

Ing. Marcelo Silva

DIRECTOR

Ing. José Buchelli

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica del Ejército, a todos nuestros profesores, por sus conocimientos brindados en el transcurso de nuestra vida estudiantil, y de manera especial a los Ingenieros Marcelo Silva y José Buchelli, director y codirector del proyecto de grado, por su acertada guía y amistad brindada a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A la Ingeniera Katty Torres por facilitarnos el Laboratorio e importante colaboración para el desarrollo de este proyecto.

A todos nuestros amig@s y compañer@s por su apoyo en todo momento.

Danilo Ch.

Sofía M.

DEDICATORIA:

A Dios por permitirme vivir este momento y por todas sus bendiciones.

A mis padres Héctor y María que me han conducido por el sendero del bien, con amor y paciencia. No los defraudaré, los haré sentir orgullosos y verán que todos sus sacrificios no han sido en vano, gracias por todo el apoyo brindado y este triunfo es la cosecha de todo lo que sembraron en mí, es la mejor herencia que me pudieron dar, a mis hermanos Darío y Roxana, sigan adelante recuerden que con amor, trabajo y honestidad todo lo pueden lograr.

A una persona muy especial en mi vida Arturo Rodríguez, quien fue mi apoyo en todo momento, gracias por tu amor incondicional.

A todos y cada uno de ustedes gracias de todo corazón, es uno de mis tantos sueños hechos realidad.

Sofía M.

DEDICATORIA :

Agradezco a Dios y a la Virgen por darme la oportunidad de vivir.

Mi más sincero agradecimiento y reconociendo a mis padres Gonzalo y Gloria quiénes en todo momento y circunstancias de mi vida estuvieron a mi lado apoyándome incondicionalmente de todos los modos posibles así como también guiándome siempre por el camino del bien alentándome a siempre cumplir mis metas y objetivos emprendidos de todo corazón gracias.

Un profundo agradecimiento a mis hermanos Silvia, Jaime, Iralda y Gabriela los cuales siempre me apoyaron de toda manera con quienes siempre puede contar en cualquier instante de mi vida gracias por estar allí.

Un agradecimiento a todos los que de una u otra manera estuvieron apoyándome para culminar este objetivo

Danilo Ch.

INTRODUCCIÓN

Los convertidores de energía son de gran importancia en la evolución de la electrónica debido a que en la actualidad estamos en un mundo automatizado donde el uso de un computador se hace necesario. A través de distintos métodos electrónicos se pueden realizar conversiones bien definidas que proporcionan energía adecuada, de acuerdo a las necesidades de los equipos, las cuales entregan a la salida un potencial fijo de corriente directa, para obtener voltajes de salida variable empleando SCR's.

El objetivo de este trabajo es el de implementar un convertidores AC/DC Controlados de 12 y 24 pulsos con el análisis de armónicos correspondiente a través de una PC, que ayuden a los estudiantes de la ESPE-L a fortalecer sus conocimientos.

Para cumplir con el objetivo de este trabajo se dividió el documento en cuatro capítulos. El primero presenta el sustento teórico de la investigación realizada como base fundamental para el diseño de este módulo que se desarrollo en el capítulo dos.

El capítulo tres presenta las pruebas realizadas y los resultados obtenidos para luego en el capítulo cuatro indicar las conclusiones y recomendaciones que se llegó al terminar el proyecto.

Finalmente en anexos se presenta, guías de laboratorio, manual de usuario, hojas de especificaciones técnicas, para un óptimo funcionamiento de este convertidor.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	CONVERSORES ESTÁTICOS DE ENERGÍA.....	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	CLASIFICACIÓN DE PROCESADORES DE POTENCIA Y CONVERSORES.....	1
1.2.1	Procesadores De Potencia.....	2
1.2.1.1	DC.....	2
1.2.1.2	AC.....	2
1.2.2	Convertidores De Potencia.....	3
1.2.2.1	No Controlados.....	6
1.2.2.2	Semicontrolados.....	7
1.2.2.3	Controlados.....	8
1.2.2.4	Rectificadores Controlados Trifásicos.....	9
1.2.3	Factor De Potencia.....	28
1.2.4	Factor De Distorsión Armónica.....	33
1.3	CIRCUITO DE CONTROL DIGITAL.....	35
1.3.1	Característica Del Control Digital.....	36
1.4	INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	36
1.4.1	Tarjetas De Adquisición De Datos.....	37
1.4.2	Ventajas.....	38
1.5	SOFTWARE PARA ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.....	38
1.6	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....	40
CAPÍTULO II	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	43
2.1	ESPECIFICACIÓN DE REQUISITO DEL SISTEMA.....	43
2.2	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	44
2.2.1	Detector De Cruce Por Cero.....	45
2.2.2	Protecciones.....	45
2.2.3	Driver.....	45

2.2.4	Circuito De Control.....	45
2.2.5	Teclado.....	45
2.2.6	LCD.....	46
2.2.7	Carga.....	46
2.2.8	Acondicionamiento De Señales.....	46
2.2.9	Tarjeta De Adquisición De Datos.....	46
2.2.10	PC.....	46
2.3	DISEÑO DEL CONVERTOR AC/DC CONTROLADO DE 12 Y 24 PULSOS.....	47
2.3.1	Análisis General Del Proceso De Conmutación.....	47
2.4	CONVERTOR AC/DC CONTROLADO DE 12 PULSOS.....	47
2.4.1	Descripción General.....	47
2.4.2	Transformador Desfasador.....	50
2.5	CONVERTOR AC/DC CONTROLADO DE 24 PULSOS.....	63
2.5.1	Descripción General.....	63
2.5.2	Descripción Del Tipo De Conexiones Del Convertor AC/DC Controlado De 24 Pulsos.....	63
2.6	DISEÑO DEL ANALIZADOR DE ARMÓNICOS.....	75
2.7	SELECCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	78
2.8	DETALLES DE CONSTRUCCIÓN.....	80
2.9	OPERACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	84
2.9.1	Protección De Sobrevoltajes Y Corrientes.....	85
2.9.2	Protección DAQ.....	85
2.9.3	Protección Para La PC.....	86
CAPÍTULO III	RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	87
3.1	MEDICIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES AL EQUIPO.....	87
3.1.1	Convertor AC/DC De 12 Pulsos Controlado.....	87
3.1.2	Convertor AC/DC De 24 Pulsos Controlado.....	91
3.2	ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES....	95
3.3	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	95

3.4	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	95
-----	---------------------------------	----

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 98

4.1	CONCLUSIONES.....	98
-----	-------------------	----

4.2	RECOMENDACIONES.....	99
-----	----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES.....

100

ANEXOS.....

101

- A) Glosario de Términos.
- B) Hojas de Especificaciones Técnicas.
- C) Programación del Microcontrolador
- D) Guías de Prácticas
- E) Manual de usuario.

CAPÍTULO I

CONVERSORES ESTÁTICOS DE ENERGÍA

1.1 INTRODUCCIÓN

Los conversores estáticos de energía son circuitos de mucha importancia dentro de la electrónica de potencia ya que permiten convertir y controlar la energía eléctrica de acuerdo a las necesidades que se presenten.

Estos conversores emplean interruptores de estado sólido como son: diodos, SCR's, TRIAC's, dentro de los más comunes, además se tiene elementos más complejos tales como IGBT's, GTO's, etc. para aplicaciones de altas frecuencias donde la velocidad de conmutación debe ser alta.

1.2 CLASIFICACIÓN DE PROCESADORES DE POTENCIA Y CONVERSORES

Pueden ser de dos tipos¹:

- **Convertidores estáticos directos:** Utilizan una etapa para la conversión.
- **Convertidores estáticos indirectos:** Utilizan más de una etapa para la conversión.

¹ http://woody.us.es/~leopoldo/Store/tsp_13.pdf

Los convertidores estáticos de energía convierten la energía eléctrica de un tipo en otro utilizando dispositivos electrónicos.

1.2.1 PROCESADORES DE POTENCIA ²

Para un estudio sistemático de la electrónica de potencia, es útil clasificar a los conversores estáticos de potencia, en lo que se refiere a las condiciones de entrada y salida de las señales de tensión. En la mayor parte de los sistemas electrónicos de potencia, las entradas son las fuentes de señal AC. Dependiendo de la aplicación la salida puede tener los siguientes tipos de señales.

1.2.1.1 DC

- (a) magnitud regulada (constante)
- (b) magnitud variable

1.2.1.2 AC

- (a) frecuencia constante, magnitud variable
- (b) frecuencia variable y magnitud variable

Las señales de entrada y la carga AC, independiente una de otras, puede ser monofásica o trifásica. El flujo de potencia va desde la fuente a la carga. Hay excepciones, sin embargo los sistemas fotovoltaicos la energía va desde estos a la fuente de AC. En algunos sistemas la dirección de flujo de potencia es reversible dependiendo de las condiciones de operación.

² MOHAN, Underlan, Robbins, " POWER ELECTRONICS CONVERTER, APPLICATIONS, AND DESIGN", pag 9

1.2.2 CONVERSORES DE POTENCIA

Los conversores de potencia usualmente consisten en más de un conversor estático de energía en donde la operación de estos es desacoplada por medio de elementos de almacenamiento de energía tales como capacitores e inductores, debido a que el flujo de potencia instantáneo de la entrada no es igual al flujo de potencia instantáneo a la salida, por lo tanto un conversor es un módulo básico de un sistema de potencia. Este utiliza interruptores de estado sólido de potencia controlados por señales electrónicas (circuitos integrados) y posiblemente energía almacenada en elementos tales como inductores y capacitores.

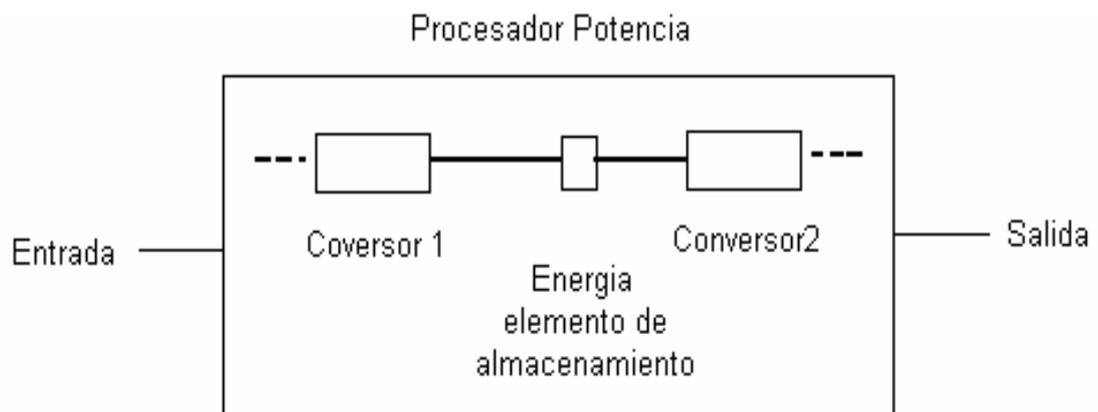


Figura 1.1 Esquema funcional del procesador de potencia.

Basados en las señales de entrada y salida los conversores pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

1. AC a DC
2. DC a AC
3. DC a DC

4. AC a AC

Se usará un convertor como un término genérico para referirse a un convertor que pueda realizar cualquiera de las funciones indicadas anteriormente. Para ser más específicos, en los convertidores AC-DC y DC-AC, rectificador se refiere a un convertor cuando el flujo de potencia promedio va desde el lado de AC a DC, inversor se refiere al convertor cuando el flujo de potencia va de lado de DC a AC.

De hecho el flujo de potencia a través de un convertor puede ser reversible en este caso, se refiere a este convertor en términos de su modo de operación como rectificador e inversor.

Como un ejemplo, se considera que el procesador de potencia de la Figura. 1.1 el cual representa el diagrama de bloques de un controlador de un motor AC Como se muestra en la Figura. 1.3, está formado por dos convertidores:

Convertor 1 opera como un rectificador que convierte la señal AC en DC y convertor 2 que opera como un inversor que convierte la señal DC en AC de frecuencia y magnitud variable. El flujo de potencia en el modo normal de operación es desde la fuente de AC a la carga que en este caso es un motor. Durante el frenado regenerativo, el flujo de potencia cambia de dirección (desde el motor a la fuente de AC) en cuyo caso el convertor 2 opera como un rectificador y convertor 1 opera como un inversor.

Adicionalmente se puede realizar otra clasificación de los convertidores de acuerdo a como los interruptores de estado sólido de potencia son activados y desactivados.

Hay tres posibilidades:

1. Convertidores de frecuencia de línea (conmutación natural), donde los voltajes de alimentación facilitan el apagado de los interruptores de estado sólido de potencia. Además los interruptores son activados en sincronización con el

voltaje de alimentación. Por consiguiente, los interruptores son activados y desactivados a la frecuencia de la señal de AC que puede ser de 50 o 60 Hz.

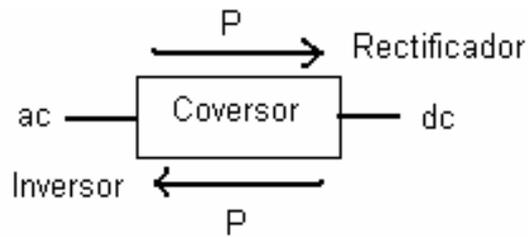


Figura 1.2 Conversores AC a DC.

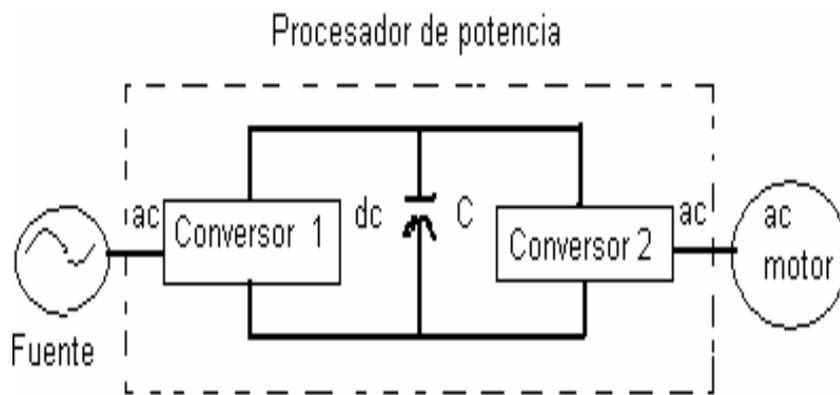


Figura1.3 Esquema funcional de un paseo de motor de AC.

2. Conversores conmutados (conmutación forzada), dónde los interruptores del conversor son activados y desactivados a frecuencias más altas que la frecuencia de la fuente de alimentación a pesar que la frecuencia de conmutación de los interruptores del conversor es alta, la salida del conversor puede ser una señal de DC o una señal de AC a frecuencias comparables de la fuente de alimentación, nótese en el conversor que si la entrada es una fuente de voltaje, la salida debe ser una fuente de corriente o viceversa
3. Conversores Resonantes o Quasi Resonantes, dónde los interruptores son activados y desactivados en los cruces por cero de las señales de voltaje o corriente de los elementos almacenadores de energía.

1.2.2.1 NO CONTROLADOS³

Estos convertidores se encuentran conformados en su totalidad por diodos los mismos que permiten que este diseño provea de un voltaje de salida constante por lo que se tiene un valor de potencia constante a su salida con un valor positivo a cero, esto indica que estará operando como rectificador.

Opera en un punto en el primer cuadrante figura. 1.4.

Por estar compuesto únicamente de diodos su costo económico es bajo

$$V_{do} = \frac{P}{\pi} \sqrt{2} V_s \sin \frac{\pi}{p} \quad (\text{Ec 1.1})$$

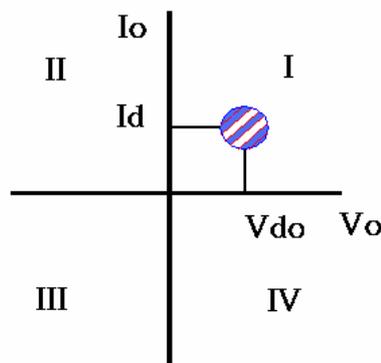


Figura.1.4 Conversor AC/DC no controlado cuadrante de trabajo

³ <http://metis.umh.es/jacarrasco/docencia/ei/Tema7/Tema7.pdf>

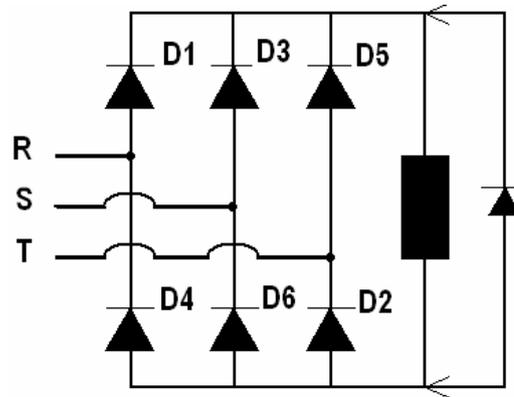


Figura 1.5 Esquema Conversor AC/DC no controlado de seis pulsos

1.2.2.2 SEMICONTROLADOS⁴

Compuesto de 50% de Diodos y un 50% de SCR's, su costo es considerable, el ángulo de disparo tendrá valores comprendidos entre 0° y 180° ($0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$), su potencia en función de su ángulo será positivo, opera como rectificador y trabaja en un cuadrante figura. 1.6.

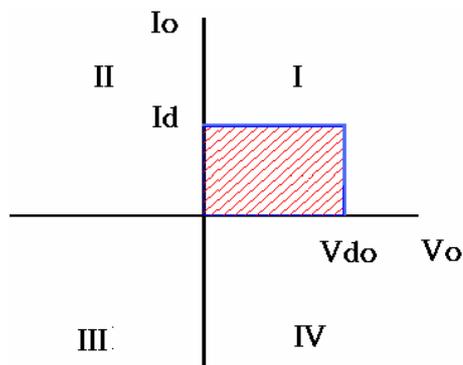


Figura.1.6 Conversor AC/DC semicontrolado, cuadrante de trabajo

⁴ <http://metis.umh.es/jacarrasco/docencia/ei/Tema7/Tema7.pdf>

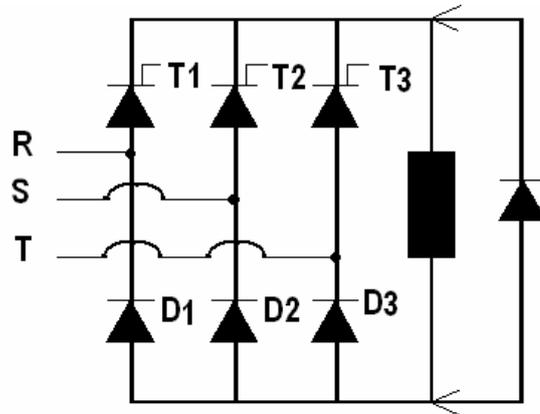


Figura.1.7 Esquema Conversor AC/DC semicontrolado

$$Vd\alpha' = \frac{p}{\pi} \sqrt{2} V_{sen} \frac{\pi}{p} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \quad (\text{Ec 1.2})$$

$$Vd\alpha' = Vdo \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \quad (\text{Ec 1.3})$$

$$Vd\alpha' = \left(\frac{Vdo + Vdo \cos \alpha}{2} \right) \quad (\text{Ec 1.4})$$

$$Vd\alpha' = \left(\frac{Vdo + Vd\alpha}{2} \right) \quad (\text{Ec 1.5})$$

1.2.2.3 CONTROLADOS

Conformado en su totalidad por SCR`s, su voltaje se incrementa o decrementa dependiendo de su ángulo de conducción, si su potencia es mayor que cero opera como rectificador y cuando la potencia es menor que cero opera como inversor sincrónico , trabaja en dos cuadrantes figura. 1.8

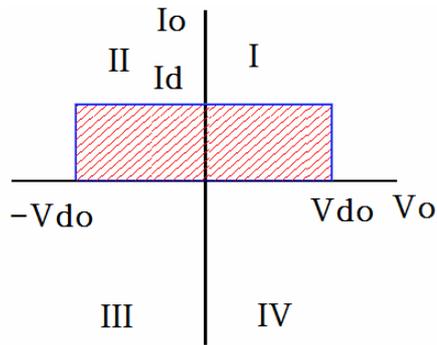


Figura.1.8 Conversor AC/DC controlado cuadrante de trabajo

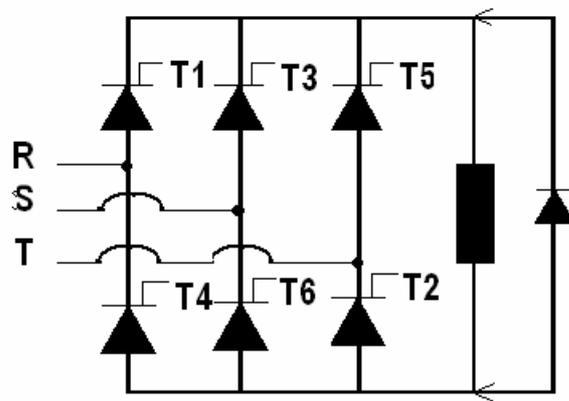


Figura.1.9 Esquema Conversor AC/DC no controlado

$$Vd\alpha = \frac{p}{\pi} \sqrt{2} V_{sen} \frac{\pi}{p} \cos \alpha = Vdo \cos \alpha \quad (\text{Ec 1.6})$$

$$Vd\alpha = \frac{p}{\pi} \sqrt{2} V_{sen} \frac{\pi}{p} \cos \alpha = Vdo \cos \alpha$$

$$0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2} \quad Vd\alpha > 0$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \quad Vd\alpha = 0$$

$$\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi \quad Vd\alpha < 0$$

1.2.2.4 Convertidores controlados trifásicos⁵

La figura 1.10 presenta un convertidor trifásico controlado de seis pulsos. En este caso el ángulo de disparo (α --> puede variar de 0° a 180°), se refiere al punto donde comenzaría a conducir el SCR como si fuese un diodo. El ángulo de disparo (α) corresponde al intervalo con el que se polariza directamente un tiristor y el momento en el que se le aplica la señal de puerta.

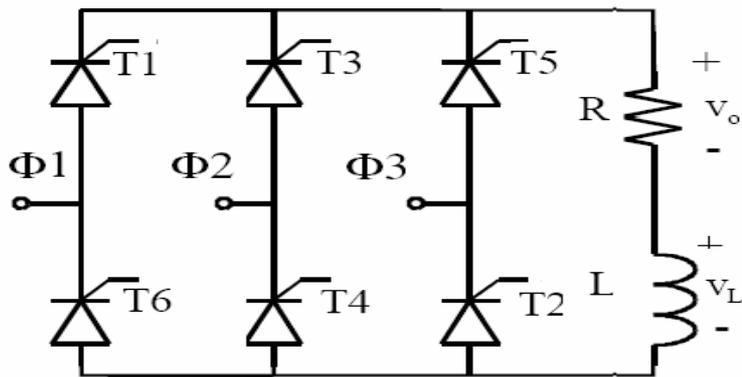


Figura 1.10 Convertidor trifásico controlado carga RL

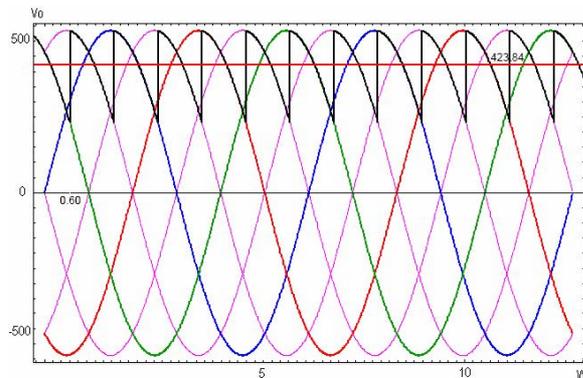


Figura 1.11 Formas de onda del convertidor trifásico controlado y carga inductiva

La tensión media de salida viene dada por:

$$\langle V_o \rangle = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\frac{2\pi}{3} + \alpha} V_{pL-L} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3V_{pL-L}}{\pi} \cos(\alpha) \quad (\text{Ec 1.7})$$

⁵ <http://metis.umh.es/jacarrasco/docencia/ei/Tema7/Tema7.pdf>

Como se puede ver este tipo de sistema puede trabajar también en la región de inversión para valores del ángulo de disparo mayores de 90° . La figura 1.12 presenta las formas de onda en tensión de un convertor trifásico controlado funcionando como inversor.

La figura 1.13 muestra la corriente por el tiristor 1 y por la línea 1 además de las tensiones de línea y salida.

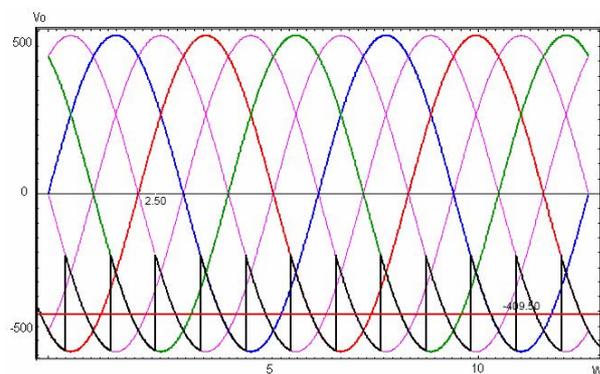


Figura 1.12 Formas de onda del convertor trifásico controlado y carga inductiva funcionando en la región de inversión

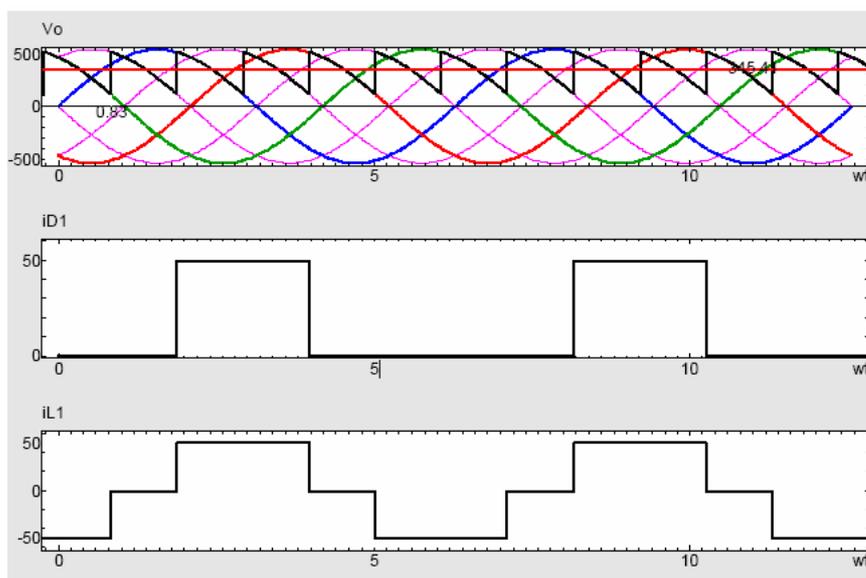


Figura 1.13 Formas de onda de la corriente por el tiristor 1 y la corriente por la línea 1 del convertor trifásico controlado y carga inductiva

- **Tolerancias de la tensión alterna y frecuencia de la red⁶**

Según las normas VDE los convertidores no deben salir de servicio si las tensiones alternas de entrada varían lentamente entre el 90 y el 110% de la tensión nominal (por ejemplo 220 o 380 V).

Los convertidores se diseñan en general para variaciones de la tensión de línea entre -15% y $+10\%$ de la tensión nominal, o sea si la tensión de red se mantiene dentro de estos márgenes de tolerancia, los dispositivos de regulación de los equipos pueden mantener a la tensión de salida constante dentro del margen de tolerancia estático (por ejemplo $\pm 0,5\%$).

Además de las variaciones de tensión pequeñas antes citadas se producen también caídas y sobretensiones no periódicas y de duración muy corta.

Las descargas atmosféricas pueden originar sobretensiones de hasta 100 veces la tensión nominal normal de la red.

Estas sobretensiones se limitan a valores tolerables por medio de descargadores de sobretensiones ubicados en el área de distribución de la red de baja tensión.

También se pueden producir sobretensiones como consecuencia de conexiones o desconexiones que se efectúen en la red.

En la figura 1.14 se representan los valores tolerables para las sobretensiones no periódicas y de duración muy corta, derivados de los valores máximos nominales de la tensión alterna de la red. El diseño de los convertidores debe ser tal que asegure su funcionamiento a sobretensiones cuyos valores se mantengan por debajo de la curva 1.

Para sobretensiones cuyos valores se encuentren en la zona entre las curvas 1 y 2 actuarán las protecciones que podrán interrumpir el servicio, pero sin que produzca daño alguno en los convertidores.

⁶ DE HANS Gumhalter, "SISTEMAS DE ALIMENTACION DE ENERGIA PARA LAS TELECOMUNICACIONES", Parte 1 Principios básicos, Pags90-92

Además de las sobretensiones deben tenerse en cuenta las caídas de tensión.

Para el caso de las de corta duración como las que si ocurren por conexiones o desconexiones de la red los convertidores deben seguir funcionando en tanto la tensión no caiga más que 15% de la tensión nominal de la red durante un lapso no mayor de 0,5 segundos. Los dispositivos de protección pueden interrumpir el servicio de los convertidores si las caídas son más prolongadas o de mayor valor que las indicadas.

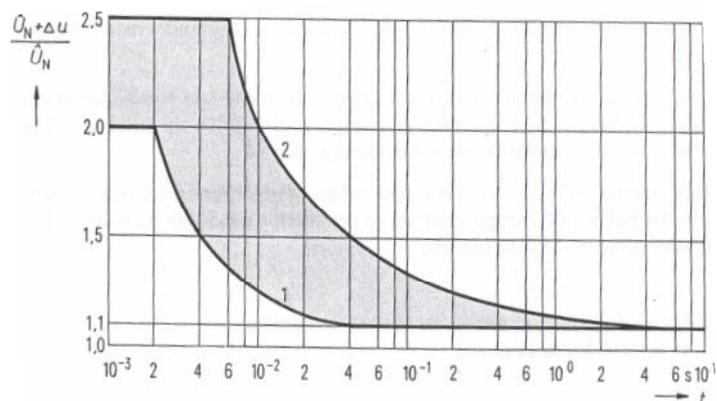


Figura 1.14 Valores admisibles de las sobretensiones no periódicas de la red en función del tiempo.

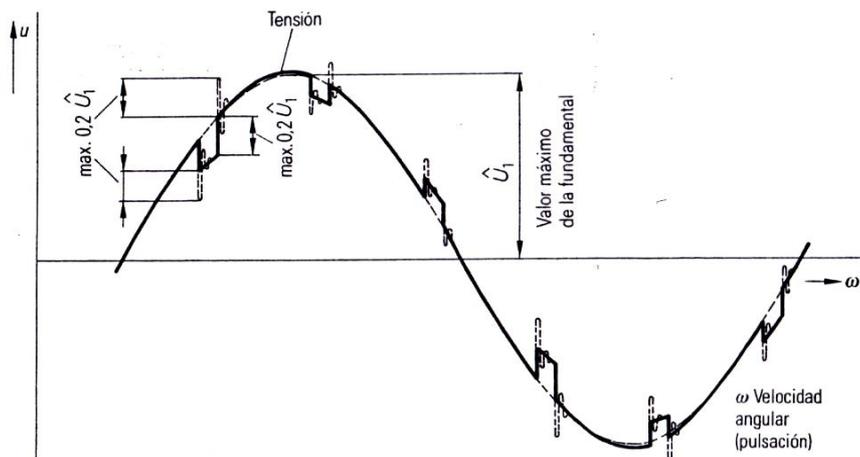


Figura 1.15 Valores admisibles de las caídas de tensión de red de duración muy corta

Como se puede observar en la figura 1.15, la diferencia entre la tensión alterna de la red y el valor instantáneo de la fundamental puede ser de hasta 20% del valor máximo de la misma.

Durante los procesos de conmutación por ejemplo se producen caídas, de duración muy corta, de la tensión alterna de la red.

En general, son raras las *variaciones de frecuencia* en las grandes redes interconectadas.

El sistema de regulación de los convertidores mantiene a la tensión de salida dentro del margen del $\pm 0,5\%$, aun para variaciones de hasta el $\pm 5\%$ de la frecuencia nominal de red f_N (en general 60 Hz).

Según normas VDE, los convertidores deben permanecer en servicio cuando en la red pública de energía eléctrica se producen variaciones de hasta $\pm 1\%$ del valor nominal de la frecuencia.

- **Forma de onda y coeficiente de distorsión armónica de la tensión alterna de red⁷**

Los equipos consumidores conectados a la red como los convertidores tiristritzados con regulación del ángulo de conducción, generan armónicas que repercuten sobre la red. Pero también en la propia red se generan armónicos.

Para que los convertidores funcionen correctamente, la red debe mantener los siguientes valores:

- El contenido armónico de la tensión alterna de red no debe ser mayor que 10%;
- No se superan, para cada armónica, los valores límites indicados por la curva 1 de la figura 1.16 (régimen continuo). Ninguna armónica (aunque

⁷ DE HANS Gumhalter, "SISTEMAS DE ALIMENTACION DE ENERGIA PARA LAS TELECOMUNICACIONES", Parte 1 Principios básicos, Pags92-98

sea muy breve, con una duración del orden de los segundos) podrá superar los valores límite de la curva 2 de la figura 1.15 (valores de duración muy corta);

- El máximo valor instantáneo de la tensión alterna no será mayor que 20% del respectivo valor máximo de la fundamental (ver figura 1.15)

El valor de k (coeficiente de distorsión armónica) da una cuantificación del contenido armónico de la tensión alterna

$$k = \frac{\text{Valor eficaz de las armónicas}}{\text{Valor eficaz de la magnitud alterna}} \quad (\text{Ec. 1.8})$$

Si la tensión alterna de red conforma una senoide ideal, el valor del coeficiente de distorsión armónica toma al valor $k = 0$.

Además valen:

$$k_u = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U} = \sqrt{1 - g_u^2} \quad (\text{Ec. 1.9})$$

$$k_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I} = \sqrt{1 - g_i^2} \quad (\text{Ec. 1.10})$$

K_u = coeficiente de distorsión armónica de voltaje.

K_v = coeficiente de distorsión armónica de corriente.

g =contenido armónico de la fundamental.

g_u = contenido armónico de la fundamental de voltaje.

g_i = contenido armónico de la fundamental de corriente.

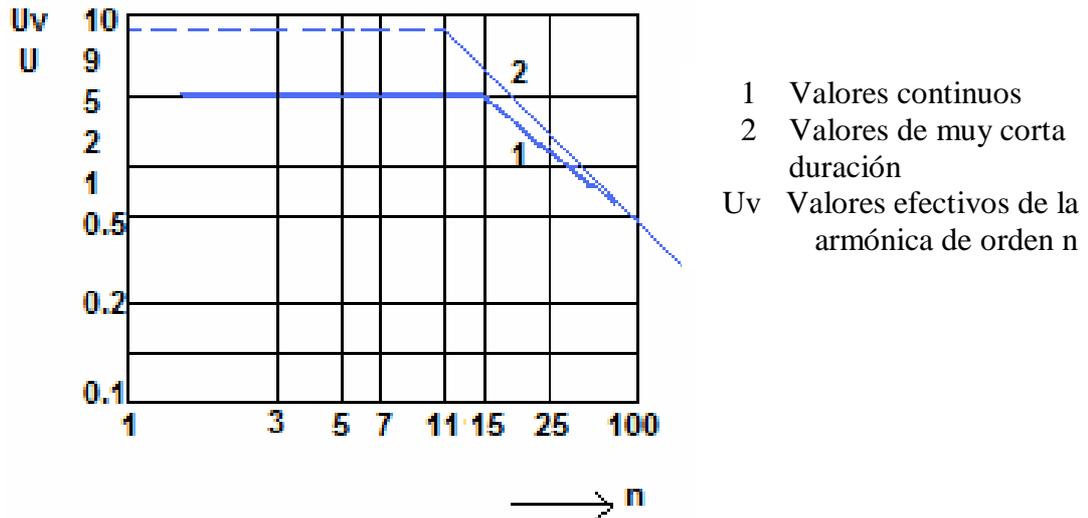


Figura.1.15 Valores límites para las armónicas en la tensión alterna de la red.

El número de pulsos p del convertidor define qué corrientes armónicas actuarán. (ver tabla 1.1); las mismas tendrán las frecuencias $n \cdot f$ con el número de armónica:

$$n = k \cdot p \pm 1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \text{ y en la cual } n > 1 .$$

Las amplitudes de las armónicas son inversamente proporcionales a su número de orden a condición que las corrientes que se toman de la red sean rectangulares o escalonadas (ángulo de superposición $u = 0$ y condiciones ideales de filtrado de la corriente continua).

La corriente armónica ideal de número v tiene independientemente del ángulo de control el valor eficaz:

$$I_{ni=\frac{1}{n}} = I_{L1i}$$

es la fundamental de la corriente de línea ideal (en la red)

I_{L1i} el contenido armónico ideal de la corriente alterna es:

$$g_{1i} = \frac{I_{L1i}}{I_L^i}$$

La fundamental de la corriente de línea ideal (en la red) es:

Para conexión monofásica

$$I_{L1i} = \frac{I_d \cdot U_{di}}{U_L}$$

$$I_{L1i} = \frac{I_d \cdot U_{di}}{\sqrt{3} \cdot U_L}$$

y para conexión trifásica

U_L tensión de línea

U_{di} tensión continua ideal

I_d corriente continua

En circuitos conversores no controlados el desfase de las armónicas está prefijado, en cambio en los controlados dichas armónicas dependen del ángulo de control (figura 1.18).

Toda oscilación periódica puede ser representada como sumatoria de componentes senoidales (figura. 1.16).

La forma de onda cuadrada ideal de la corriente, válida para determinado equipo consumidor en una red de tensión senoidal, contiene numerosos componentes de diferentes frecuencias.

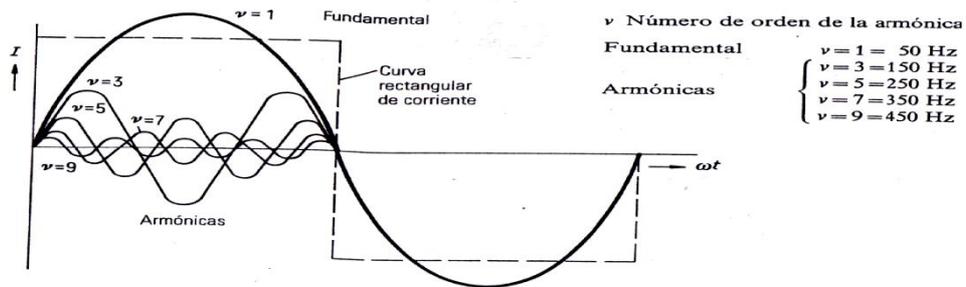


Figura.1.16 Fundamental y armónicas de la tensión de la red

Para la siguiente tabla empleamos una señal de frecuencia entre 50 o 60 Hz.

Tabla 1.1 Números de orden impares para n desde 1 hasta 25, para una frecuencia de 50Hz.

n	f	p número de pulsos		
		2	6	12
		$\frac{I_{\nu i}}{I_{L1 i}} \%$		
1	50	100	100	100

3	150	33.33	---	---
5	250	20	20	---
7	350	14,29	14,19	---
9	450	11,11	---	---
11	550	9,09	9,09	9,09
13	650	7,69	7,69	7,69
15	750	6,67	---	---
17	850	5,88	5,88	---
19	950	5,26	5,26	---
21	1050	4,76	---	---
23	1150	4,35	4,35	4,35
25	1250	4	4	4

La frecuencia de red para 60 Hz es la fundamental (100%) y por eso se le asigna el número de orden $n = 1$. Las armónicas oscilan con múltiplos enteros de la fundamental ($y = 3$ hasta $n = 25$). Cuanto mayor es la frecuencia, menor es la amplitud de la armónica de modo que también disminuye su efecto perturbador.

El valor de la intensidad de la corriente armónica es el mismo para todos los circuitos e independiente del número de pulsos p (siempre que exista la respectiva frecuencia en los circuitos con p elevado no existen las componentes bajas).

La armónica N°11 (número de orden $n = 11$) con la frecuencia de 550 Hz se observa que la corriente armónica ideal tiene igual valor, o sea 9,09 para todos los números de pulsos $p = 2, 6$ y 12.

El incremento del número de pulsos p influye favorablemente debido a que las armónicas de baja frecuencia, o sea las de mayor ponderación, se eliminan.

En los convertidores tiristorizados monofásicos con corriente de hasta 25 A se utilizan en general circuitos convertidores conectados en puente monofásico semicontrolado de dos pulsos.

Para corrientes de 25 a 200 A se utilizan en general convertidores tiristorizados conectados en puente trifásico controlado de seis pulsos.

En cada uno de los convertidores tiristorizados de 500 y 1000 A, respectivamente se utilizan dos circuitos puentes trifásicos controlados (de seis pulsos), con lo cual cada equipo presenta un funcionamiento más favorable, de doce pulsos.

La relación entre la armónica de orden n y la fundamental es función del número de orden, el ángulo de control y la superposición de las ondas de corriente. Todas las reactancias inductivas, tanto del lado de la red como del de los SCR's, originan un retardo en la transferencia de corriente en SCR's en el proceso de conmutación. Estas reactancias distorsionan los flancos de la onda de corriente que circula por el circuito de conmutación; entonces, la forma de onda, que idealmente es cuadrada, pasa a ser trapezoidal (figura.1.17). Al trabajar con ángulo de control constante las amplitudes de las armónicas disminuyen con el incremento de las mencionadas reactancias. Por efecto de la superposición las armónicas de orden superior se amortiguan en mayor grado que las de menor orden. Cuanto mayor es el ángulo de superposición u o sea cuanto mayores son las inductancias presentes en el circuito de corriente tanto más se alargan las semioscilaciones trapezoidales y se reducen los valores eficaces de las armónicas reales. El ángulo de superposición depende no sólo de la inductancia del circuito sino también del ángulo de control.

Entre la corriente continua con "filtrado ideal" (figura 1.17a) y la corriente pulsante en el límite de la discontinuidad (figura 1.17c) se puede suponer una variación continua del contenido armónico. Con la aproximación en dirección al uno de discontinuidad se incrementan notablemente los valores de la quinta y séptima armónica, mientras que disminuyen las armónicas de mayor orden.

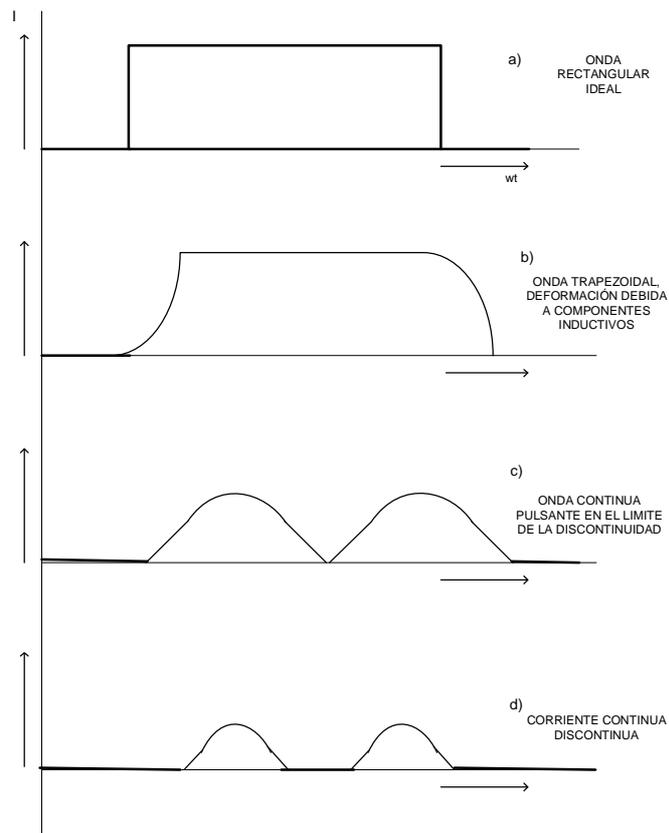


Figura 1.17 Contenido armónico en función de la forma de la corriente

Tabla 1.2 Corriente armónicas con convertidor trifásico puente controlado (de seis pulsos)

n	lv	
	I1	
	Con forma de onda	Con corriente continua

	rectangular de la corriente	pulsante en el límite de la discontinuidad
5	0,2	0,48
7	0,14	0,17
11	0,09	0,08
13	0,07	0,05

En la tabla 1.2 se dan las relaciones de la corriente armónica I_V con respecto a la fundamental I_1 para una forma de onda rectangular de la corriente continua pulsante, utilizando un convertor trifásico puente controlado de seis pulsos.

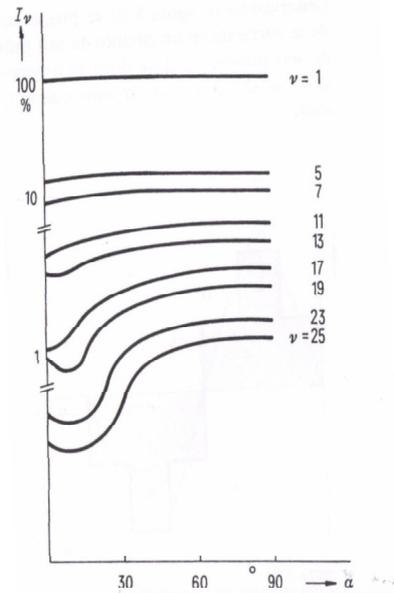
En la tabla 1.3 se indican los valores empíricos para determinar las corrientes armónicas previsibles en la red utilizando un convertor trifásico puente controlado de seis pulsos.

El ángulo de control $\alpha=0$ (conducción total) corresponde como se sabe a un convertor no controlado y con $u = u_o$ es cuando la conmutación tiene su máxima duración. Las armónicas son muy reducidas en este caso. Con el ángulo de control máximo se obtiene la mínima conducción pero no implica un máximo de las armónicas. Este máximo se obtiene aproximadamente con una conducción media.

En la figura 1.18 se ilustra la corriente armónica L_v en función del ángulo de control d para las diferentes armónicas de orden v (fundamental con $n = 1 = 100\%$). En el ejemplo se eligió un convertor trifásico puente controlado (de seis pulsos).

I_v = corriente continúa

α =ángulo de control



V	$\frac{I_{\text{max}}}{I_e} \%$
5	30
7	12
11	6
13	5

Tabla 1.3 Relación entre la componente máxima de las corrientes armónicas y la corriente eficaz.

Figura 1.18 Corriente armónica en función del ángulo de control

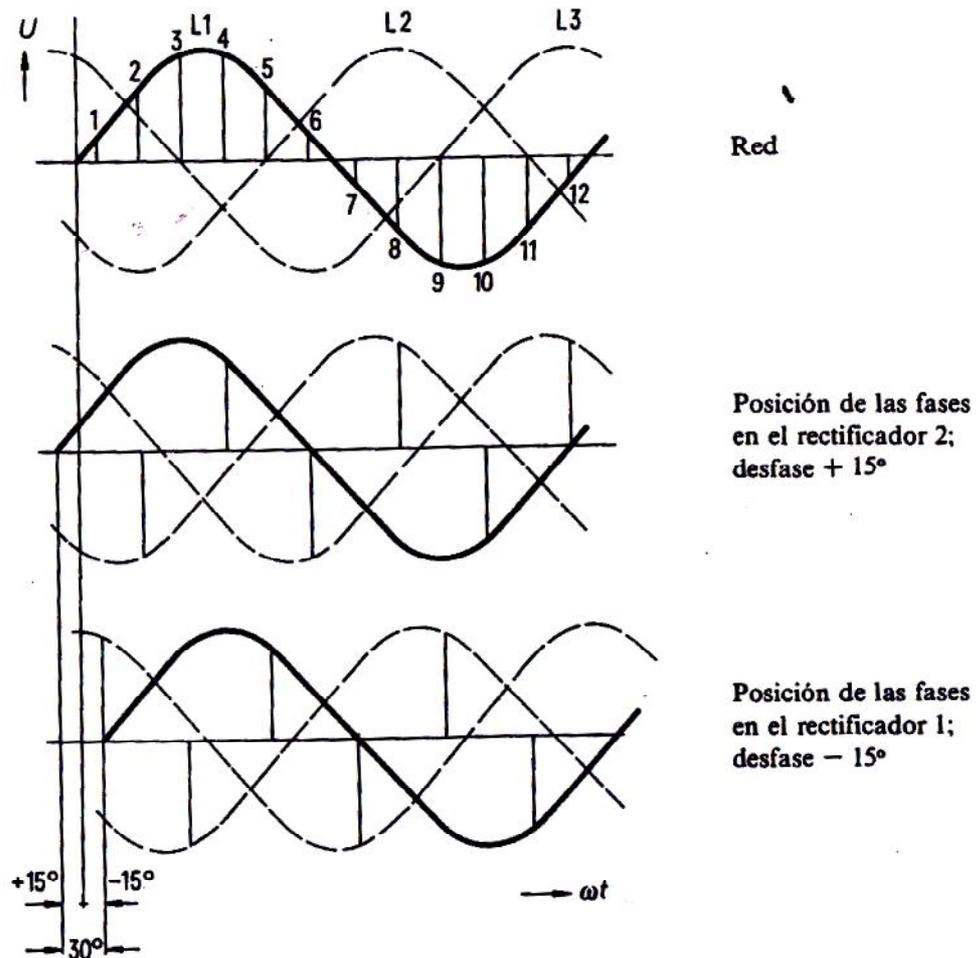
- **Medidas dirigidas a reducir las reacciones sobre la red⁸**

Existen diferentes posibilidades para atenuar la generación de armónicas o suprimir su propagación a la red. Lo más simple es impedir, por medio de un circuito adecuado (con elevado número de pulsos), la generación de armónicas.

⁸ DE HANS Gumhalter, "SISTEMAS DE ALIMENTACION DE ENERGIA PARA LAS TELECOMUNICACIONES", Parte 1 Principios básicos, Pags99-103

Otra posibilidad consiste en reducir las armónicas recurriendo a procedimientos especiales de disparo de los SCR's.

También utilizando *filtros* se puede reducir la propagación de armónicas a la red.



1 a 12: puntos de disparo referidos a la posición de las fases de la red (12 pulsos)

Ejemplo: disparo a 112°

Figura 1.20 Desfase por efecto de un transformador desfasador

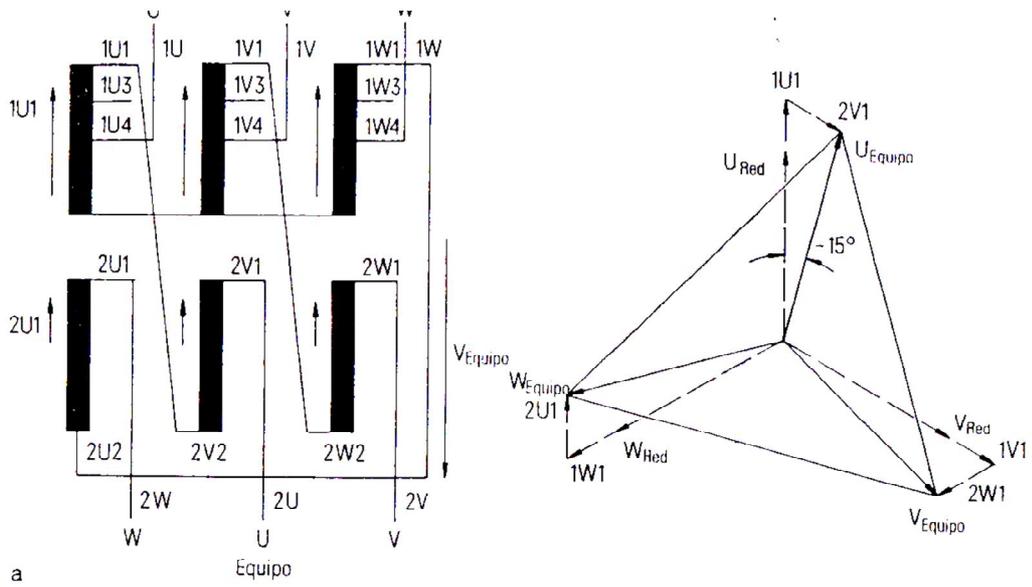


Figura 1.20a Transformador desfasador lado del primario.

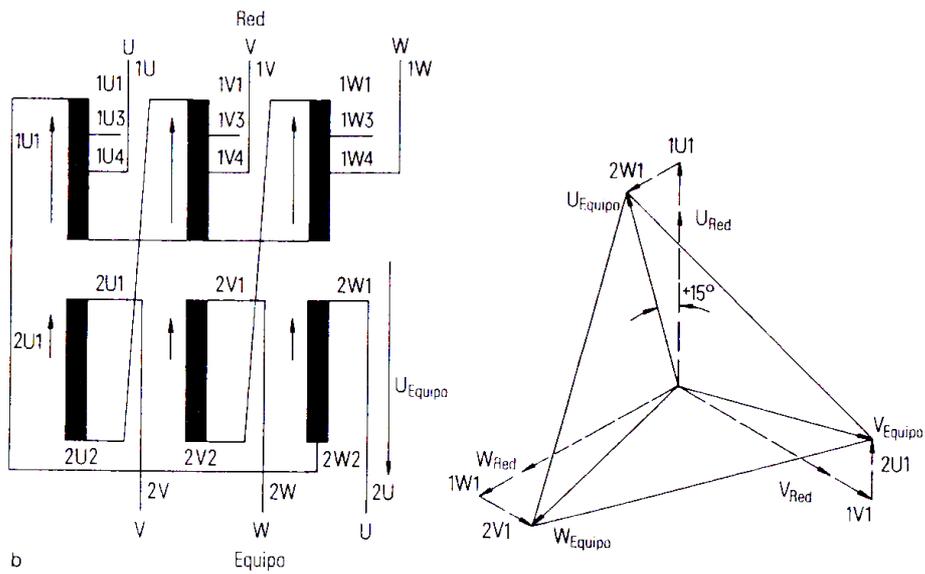


Figura 1.20b Transformador desfasador lado del secundario.

Hasta hace poco se utilizaba un transformador desfasador para aumentar los pulsos y, por lo tanto, reducir las reacciones de convertidores tiristorizados (de 500 y 1000 A - GR10) sobre la red.

Dos convertores forman siempre un "par". En uno de ellos, el desfase de la tensión del primario es $+15^\circ$ y en el otro -15° (figura 1.20 a y b), de donde resulta sobre la red el efecto originado, en general, por un circuito de doce pulsos.

En la figura 1.20a se representa un transformador desfasador conectado para que la tensión atrase 15° y en la 1.20b para que adelante 15° . Este desfase se obtiene subdividiendo arrollamientos con diferente número de espiras entre distintas columnas del transformador desfasador. Se podrá utilizar este transformador, además, para adaptar la tensión nominal en redes que no sean de 380 V.

En los equipos de 500 y 1000 A, de nuevo diseño, se utilizan dos circuitos puente trifásico controlado, respectivamente. Como el transformador principal utilizado posee dos bobinados secundarios con tensiones desfasadas en 30° se obtiene de esta manera también el efecto, sobre la red, de un circuito de doce pulsos, pero, en este caso, para cada uno de los equipos.

Observando la figura 1.21 se puede comparar la forma de onda escalonada de la corriente en un circuito de seis pulsos con uno de doce. Frente al circuito de seis pulsos, en el de doce se observa que alcanza a mejorar notablemente la forma de onda de la corriente que se aproxima bastante a la corriente senoidal ideal.

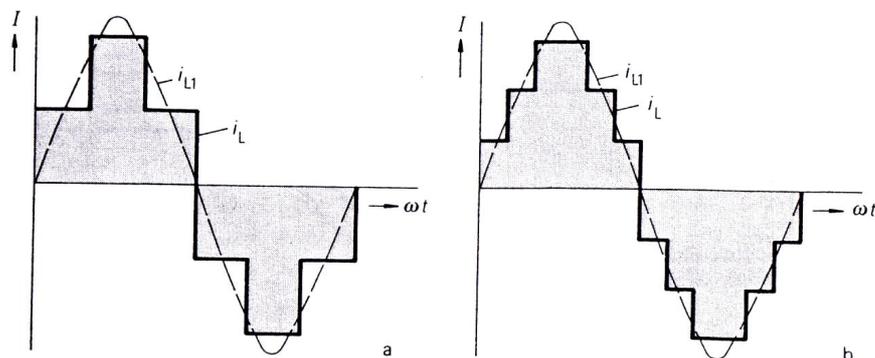


Figura 1.21 Forma de onda escalonada ideal de la corriente de red en convertores a: circuito de seis pulsos, b: de doce pulsos.

Supresión de armónicas de corriente por medio del control por ciclos integrales

En el control por ciclos integrales (conmutación de ciclos enteros) el tiristor se dispara o permanece bloqueado durante ciclos enteros permitiendo el pasaje o bloqueando la corriente durante lapsos definidos. A mayor número de ondas completas bloqueadas, menor es la tensión de salida.

Supresión de armónicas de corriente por filtros

Para eliminar las armónicas generadas por los convertidores se pueden utilizar filtros en los circuitos de baja tensión (también denominados circuitos de filtrado o de absorción) que se sintonizan en la frecuencia de las armónicas (figura 1.22). En general se utilizan en la práctica filtros para la 5ª, 7ª, 11ª y 13ª armónica.

Para las armónicas 11ª y 13ª se utiliza un filtro común sintonizado en la 12ª. De esta forma se atenúan considerablemente las armónicas de corriente.

Si se desprecian todas las resistencias óhmicas y se excluyen las capacitancias de la red, se puede reemplazar ésta por una inductancia X_{LN} , la cual define en los bornes de conexión del convertidor A una potencia de cortocircuito de la red, S_k . La reactancia activa para la v^{a} armónica es entonces vX_{LN} .

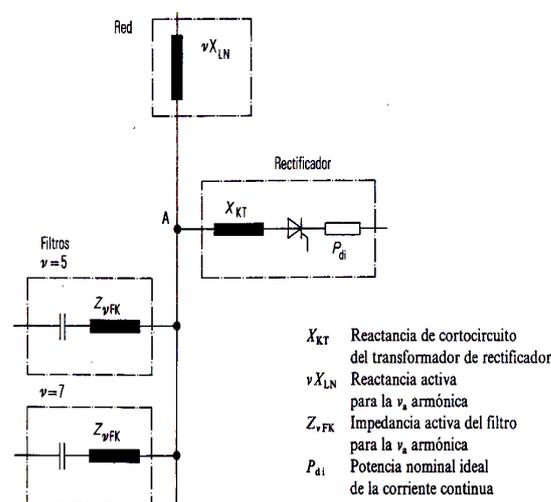


Figura 1.22 Conexión de convertidor y de los filtros a la red

Si en los bornes (o sea en la proximidad del convertidor de corriente) se conectan filtros cuyas inductancias y capacitancias se han dimensionado con valores tales que tengan una resonancia en serie para la armónica que se requiera atenuar (o sea un cortocircuito para esa frecuencia) y como se ofrece un circuito de muy baja impedancia para esas corrientes armónicas, las mismas no fluyen hacia la alimentación de la red sino a través de los filtros.

Por debajo de su frecuencia de resonancia, los filtros presentan características capacitivas, también para la fundamental, pudiéndose utilizar para complementar la compensación del factor de potencia de la instalación.

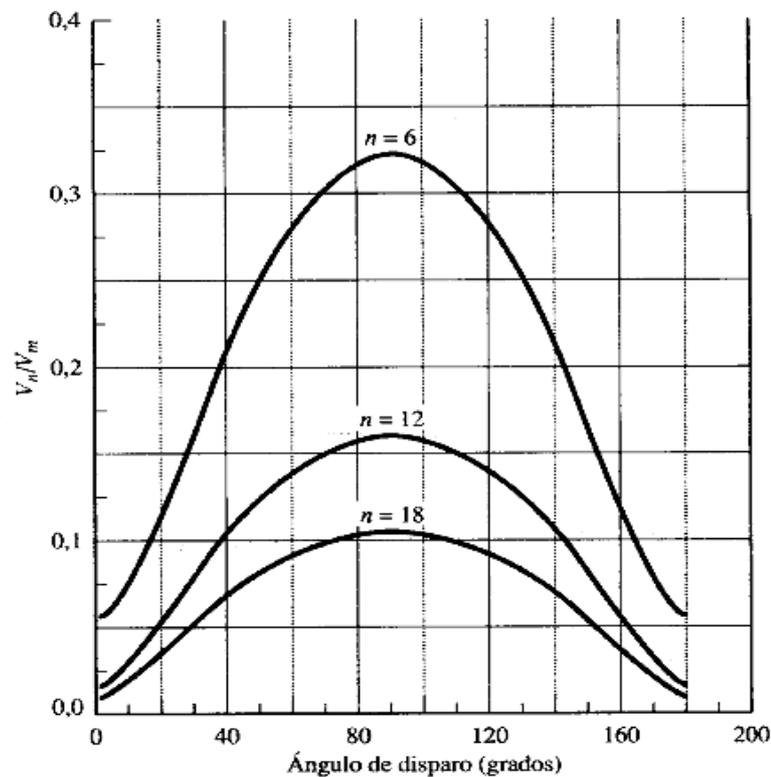


Figura 1.23 Armónicos normalizados de la tensión de salida en función del ángulo de disparo para el convertidor trifásico controlado con carga igual a fuente de corriente (Electrónica de Potencia, Hart, pag. 158).

1.2.3 FACTOR DE POTENCIA⁹

El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente; esto es:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (\text{Ec. 1.11})$$

- Comúnmente, el factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

- Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Tipos de potencia

- **Potencia efectiva(P)**

La potencia efectiva o real es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo.

Unidades: Watts (W)

- **Potencia reactiva(Q)**

La potencia reactiva es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores.

Unidades: VAR

⁹ <http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor%20potencia.pdf>

- **Potencia aparente(S)**

La potencia aparente es la suma geométrica de las potencias efectiva y reactiva; es decir:

Unidades: VA

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{Ec. 1.12})$$

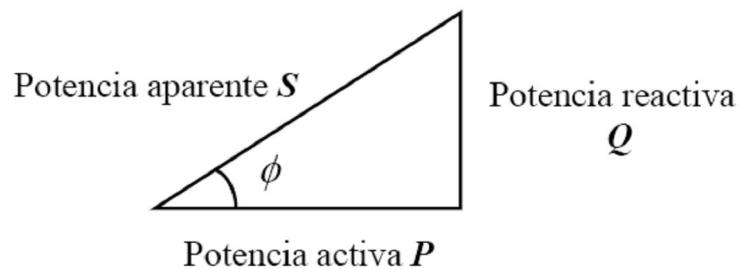


Figura 1.24 Triángulo de potencias

De la figura 1.24 se observa

$$\frac{P}{S} = \cos \phi \quad (\text{Ec. 1.13})$$

Por lo tanto;

$$FP = \cos \phi \quad (\text{Ec. 1.14})$$

En electrotecnia, el ángulo nos indica si las señales de voltaje y corriente se encuentran en fase.

Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia ($FP = \cos \phi$) puede ser:

- Adelantado
- Retrasado
- Igual a 1.

Tipos de cargas

- **Cargas resistivas**

En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, el voltaje y la corriente están en fase.

- Por lo tanto,

$$\phi = 0$$

- En este caso, se tiene un factor de potencia unitario.

Cargas inductivas

En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto al voltaje.

- Por lo tanto,

$$\phi < 0$$

- En este caso se tiene un factor de potencia *retrasado*.

Cargas capacitivas

En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje.

- Por lo tanto,

$$\phi > 0$$

- En este caso se tiene un factor de potencia adelantado.

Diagramas fasoriales del voltaje y la corriente

- Según el tipo de carga, se tienen los siguientes diagramas:

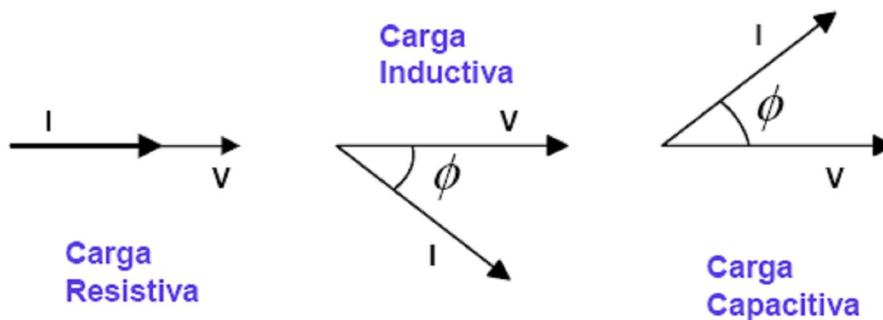


Figura 1.25 Diagramas fasoriales según el tipo de cargas

El bajo factor de potencia

Causas:

Para producir un trabajo, las cargas eléctricas requieren de un cierto consumo de energía.

Cuando este consumo es en su mayoría energía reactiva, el valor del ángulo ϕ se incrementa y disminuye el factor de potencia.

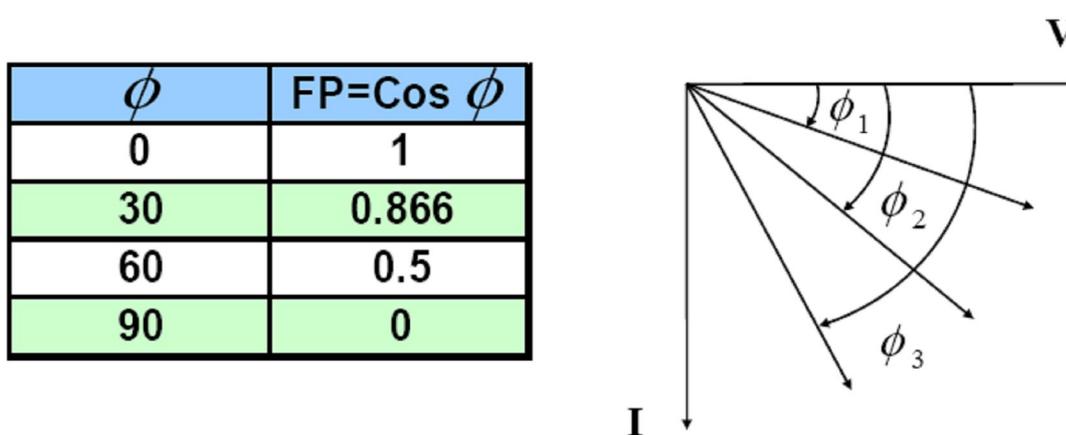


Figura 1.26 Factor de potencia Vs. Ángulo

Problemas técnicos:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.

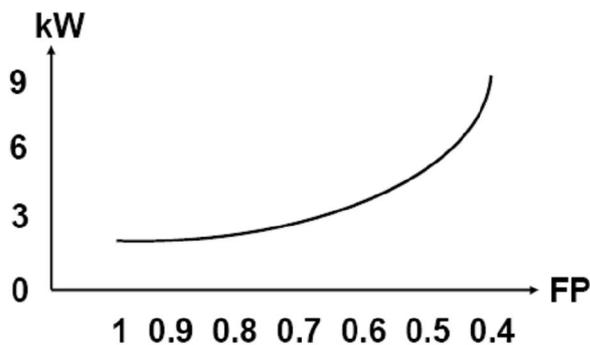


Figura 1.27 Pérdidas en un conductor VS factor de potencia

Beneficios por corregir el factor de potencia

Beneficios en los equipos:

- Disminución de las pérdidas en conductores.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones.

Beneficios económicos:

- Reducción de los costos por facturación eléctrica.
- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.

- Bonificación de hasta un 2.5 % de la facturación cuando se tenga factor de potencia mayor a 0.9

Compensación del factor de potencia

- Las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento.
- Esta demanda de reactivos se puede reducir e incluso anular si se colocan capacitores en paralelo con la carga.
- Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.

1.2.4 Factor de distorsión armónica (THD)¹⁰

Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda senoidal, se dice que la señal está distorsionada.

La distorsión puede deberse a:

- Fenómenos transitorios tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por cortocircuito entre otras.

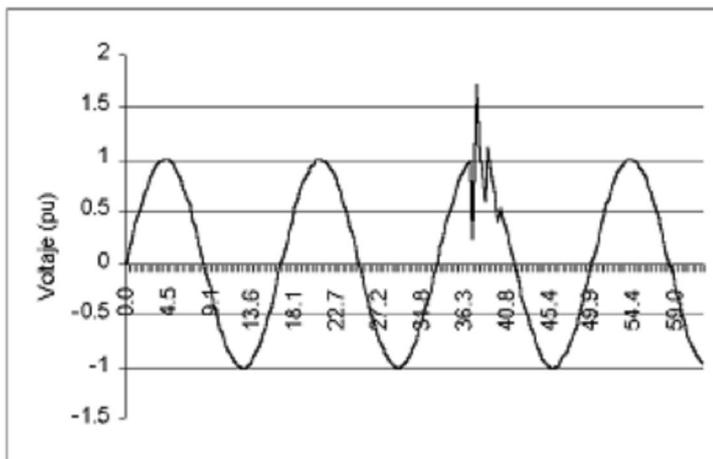


Figura 1.28 Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores

¹⁰<http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf>

- Condiciones permanentes que están relacionadas con armónicas de estado estable.

En los sistemas eléctricos es común encontrar que las señales tendrán una cierta distorsión que cuando es baja, no ocasiona problemas en la operación de equipos y dispositivos. Existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión, dependiendo de la tensión de operación y de su influencia en el sistema.

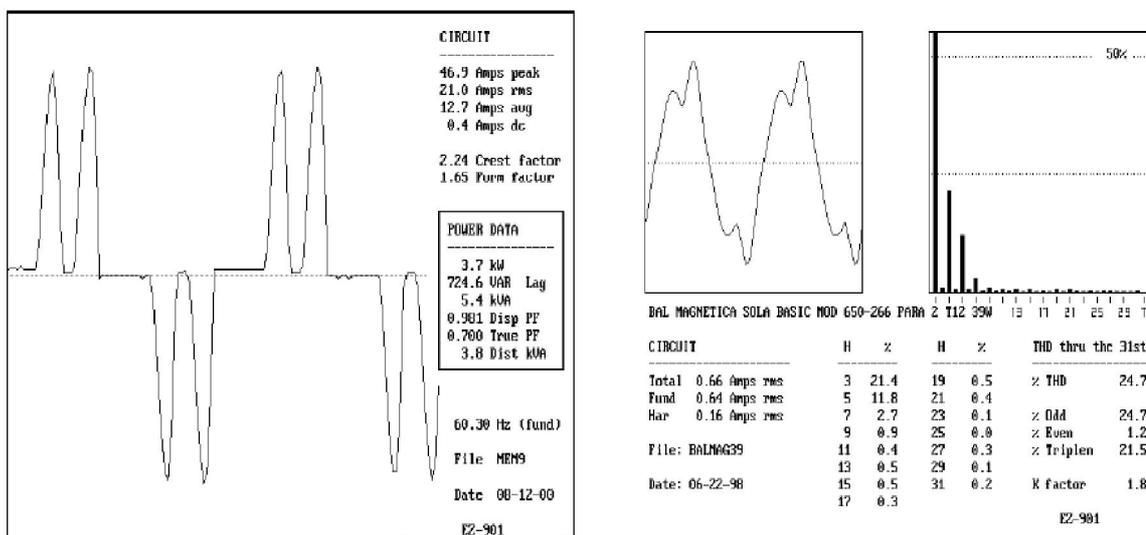


Figura 1.29 Forma de onda de corriente en el variador de velocidad de CA.

La distorsión armónica total nunca debe estar por encima del 1%. De estarlo, en lugar de enriquecer la señal, la distorsión empieza a desvirtuarla.

THD también son las siglas en inglés de Third Harmonic Distortion, que es otro parámetro que indican algunos equipos.

Definición matemática del THD ¹¹

Si en un sistema no lineal introducimos un tono de frecuencia f_0 , en la salida tendremos ese mismo tono (con una amplitud y fase posiblemente diferentes) y, sumado a él, otros tonos de frecuencia $2f_0, 3f_0, \dots$ llamados armónicos del tono fundamental f_0 . Pues bien, el THD se calcula así

$$THD = \frac{\sum \text{Potencia de los armónicos}}{\text{Potencia Total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}{P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N} \quad (\text{Ec. 1.15})$$

donde P_0 es la potencia del tono fundamental y P_i con $i > 0$ es la potencia del armónico i -ésimo que contiene la señal. Todas las medidas de potencia se realizan en la salida del sistema, mediante un filtro paso banda y un osciloscopio o bien mediante un analizador de espectro.

En realidad existen varios criterios para definir el THD, el más común es que se acaba de explicar, que considera potencias (y no valores eficaces como otros criterios).

1.3 CIRCUITOS DE CONTROL DIGITAL.

Los controles digitales brindan grandes beneficios a la electrónica en sus diversas aplicaciones que esta tiene, pues permiten el manejo de grandes potencias con diseños de controles pequeños y de bajo costo lo que permite la optimización y mejor manejo de recursos así como el de sus prestaciones. Los circuitos de control digital son una combinación de componentes que actúan conjuntamente y realizan un determinado objetivo. Un sistema no está limitado a los objetivos físicos, el concepto del sistema puede ser aplicado a fenómenos abstractos y físicos.¹²

¹¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Distorci%C3%B3n_arm%C3%B3nica

¹² <http://iaci.unq.edu.ar/Materias/Cont.Digital/Apuntes/ApuntePagina/02Introduccion.pdf>

1.3.1 Características del Control Digital

Como características básicas del control digital se pueden mencionar las siguientes:

- No existe límite en la complejidad del algoritmo. Cosa que sí sucedía anteriormente con los sistemas analógicos.
- Facilidad de ajuste y cambio. Por el mismo motivo anterior un cambio en un control analógico implica, en el mejor de los casos, un cambio de componentes si no un cambio del controlador completo.
- Exactitud y estabilidad en el cálculo debido a que no existen derivadas u otras fuentes de error.
- Uso del computador con otros fines (alarmas, archivo de datos, administración, etc.)
- Costo vs. número de lazos. No siempre se justifica un control digital ya que existe un costo mínimo que lo hace inaplicable para un número reducido de variables.
- Tendencia al control distribuido o jerárquico. Se ha pasado de la idea de usar un único controlador o computador para toda una planta a la de distribuir los dispositivos inteligentes por variable o grupos de estas e ir formando estructuras jerárquicas.

1.4 INTERFACE DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

La Adquisición de Datos, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital.

1.4.1 TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Las tarjetas DAQ son tarjetas insertables que permiten la entrada y salida de datos del computador a otros aparatos, donde se conectan sensores y actuadores, para interactuar con el mundo real. Los datos que entran y salen pueden ser señales digitales o análogas, o simplemente conteos de ocurrencias digitales, tanto de entrada, como de salida.¹³

Son por lo general las interfaces entre la señal y un PC. Podría ser en forma de módulos que pueden ser conectados a la computadora de los puertos (paralelo, serie, USB, etc.) o ranuras de las tarjetas conectadas a (PCI, ISA) en la placa madre. Las tarjetas DAQ a menudo contienen múltiples componentes (multiplexores, ADC, DAC, TTL-IO, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM). Estos son accesibles a través de un bus por un micro controlador, que puede ejecutar pequeños programas.

El controlador es más flexible que una unidad lógica dura cableada, pero más barato que una CPU de modo que es correcto para bloquear con simples bucles de preguntas.¹⁴

Driver software normalmente viene con el hardware DAQ o de otros proveedores, y permite que el sistema operativo pueda reconocer el hardware DAQ y dar así a los programas acceso a las señales de lectura por el hardware DAQ. Un buen conductor ofrece un alto y bajo nivel de acceso.

Ejemplos de Sistemas de Adquisición y control: DAQ para recoger datos (datalogger) medioambientales (energías renovables e ingeniería verde). · DAQ para audio y vibraciones (mantenimiento, test). DAQ + control de movimiento (corte con laser). DAQ + control de movimiento+ visión artificial (robots modernos).

¹³<http://www.monografias.com/trabajos22/manipulacion-datos/manipulacion-datos.shtml>

¹⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos

1.4.2 Ventajas

- Flexibilidad de procesamiento
- Posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores (a fin de analizar los posibles errores)
- Gran capacidad de almacenamiento.
- Rápido acceso a la información y toma de decisión
- Adquisición de gran cantidad de datos para poder analizar.
- Posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo.
- Facilidad de automatización, etc.

Se utiliza en la industria, la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad entre otras aplicaciones.

1.5 SOFTWARE PARA ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

El análisis Armónicos permite identificar problemas de origen armónico, minimizar disparos por contaminación por estos, diseñar y verificar filtros, y reportar violaciones a los límites de distorsión. Los cálculos integrales de flujo de carga y muestreo de frecuencias se llevan a cabo aplicando modelos armónicos detallados y filtros de componente no-entera. Los resultados se muestran en forma gráfica, donde se incluye el orden armónico, espectros de frecuencia, formas de onda

Este software permite obtener la corriente de frecuencia fundamental y el perfil de tensión del sistema para el cálculo de distorsiones armónicas y el despliegue de las formas de onda , además del análisis indica las corrientes armónicas y tensiones de cada condensador y la potencia reactiva total, la corriente eficaz RMS, la tensión eficaz RMS y la tensión de pico.

Este está basado de acuerdo a los requerimientos del sistema de convertidores AC/DC controlados donde se realizará el análisis de armónicos los mismos que se requerirá observar las corrientes y voltajes de acuerdo al número de pulsos presentes el mismo para lo cual se empleado para este caso el paquete de software LabVIEW, el mismo que nos permite una mejor compatibilidad y facilidad de manejo al emplear la tarjeta de adquisición de datos.

Este software presenta facilidad para el diseño del analizador de armónicos ya que dentro de la estructura de labview existen instrumentos virtuales denominados Vis debido a que su funcionamiento y apariencia se asemejan a los reales permitiendo una mejor relación entre el usuario y el tratamiento de las señales citando como ejemplos multímetros, osciloscopios, leds etc., además permite el almacenamiento y procesamiento de la información manejada lo cual permite acceder a la mismo en cualquier momento.

LabVIEW es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos, puertos serie y GPIB's (Buses de Intercambio de Propósito General).

Es un lenguaje de programación de propósito general, como es el Lenguaje C o Basic, pero con la característica que es totalmente gráfico, facilitando de esta manera el entendimiento y manejo de dicho lenguaje para el diseñador y programador de aplicaciones tipo SCADA.

Incluye librerías para la adquisición, análisis, presentación y almacenamiento de datos, GPIB y puertos serie. Además de otras prestaciones, como la conectividad con otros programas, por ejemplo de cálculo, y en especial MatLAB.

Está basado en la programación modular, lo que permite crear tareas muy complicadas a partir de módulos o sub-módulos mucho más sencillos. Además estos módulos pueden ser usados en otras tareas, con lo cual permite una programación más rápida y provechosa.

También ofrece la ventaja de “debugging” en cualquier punto de la aplicación. Permite la posibilidad de poner “break points”, ejecución paso a paso, ejecución hasta un punto determinado y se puede observar como los datos van tomando valores a medida que se va ejecutando la aplicación. Además también lleva incorporado generadores de señales para poder hacer un simulador.

1.6 Motores de Corriente Continua¹⁵

Los motores D.C se clasifican de acuerdo al tipo de bobinado del campo como motores Serie, Shunt, Shunt estabilizado, o Compuesto (Compound). Sin embargo algunos de ellos pueden ser auto excitados o de excitación separada o pueden tener campos de imán permanente.

Ellos muestran curvas muy diferentes de torque-velocidad y se conectan en diferentes configuraciones para diferentes aplicaciones.

Algunos motores D.C utilizan imán permanente como campo principal, especialmente los de potencia (HP) fraccionada (1/4,1/2,3/4) y baja potencia.

Los motores de imán permanente tienen la ventaja de no requerir una fuente de potencia para el campo, pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización por cargas de choque eléctricas o mecánicas. Los campos de imán permanente no se pueden ajustar para entonar el motor para ajustarse a la aplicación, como pueden los de campo bobinado.

- **Motor Shunt**

En un motor Shunt, el flujo es constante si la fuente de poder del campo es fija. Asuma que el voltaje de armadura E_t es constante. A medida que la corriente de la carga disminuye desde plena carga a sin carga, la velocidad debe aumentar proporcionalmente de manera que la fuerza contra electromotriz E_c aumentará para mantener la ecuación en balance. A voltaje nominal y campo completo, la velocidad del motor shunt aumentará 5% a medida que la corriente de carga

¹⁵ <http://apuntes.rincondelvago.com/motores-de-corriente-continua.html>

disminuya de plena carga a sin carga. La reacción de armadura evita que el flujo de campo permanezca absolutamente constante con los cambios en la corriente de la carga. La reacción de armadura, por lo tanto causa un ligero debilitamiento del flujo a medida que la corriente aumenta. Esto tiende a aumentar la velocidad del motor. Esto se llama “inestabilidad” y el motor se dice que está inestable.

- **Motor Serie**

En un motor serie, el flujo del campo es una función de la corriente de la carga y de la curva de saturación del motor. A medida que la corriente de la carga disminuye desde plena carga, el flujo disminuye y la velocidad aumenta. El incremento de velocidad es pequeño al principio pero aumenta a medida que la corriente se reduce. Para cada motor serie, hay una mínima carga segura determinada por la máxima velocidad de operación segura.

- **Motor Compuesto (Compound)**

Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo shunt como se ve en la figura. Este campo serie, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre grueso, es conectado en serie con la armadura y lleva la corriente de armadura.

El flujo del campo serie varía directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal shunt. Los motores compound se conectan normalmente de esta manera y se denominan como compound acumulativo.

Esto provee una característica de velocidad la cual no es tan “dura” o plana como la del motor shunt, no tan “suave” como un motor serie. Un motor compound tiene un limitado rango de debilitamiento de campo, la debilitación del campo puede resultar en exceder la máxima velocidad segura del motor sin carga. Los motores D.C compound son algunas veces utilizados donde se requiera una respuesta estable de torque constante a través de un amplio rango de velocidad.

- **Motor Shunt Estabilizado**

Para vencer la potencial inestabilidad de un motor recto shunt y reducir la “caída” de velocidad de un motor compound, un ligero devanado serie es arrollado sobre el devanado shunt. El flujo del devanado serie aumenta con la corriente de carga y produce un motor estable con una característica de caída de velocidad para todas las cargas.

El devanado serie es llamado un campo estabilizador o “stab” y el motor un motor shunt estabilizado. La regulación de velocidad de un motor shunt estabilizado es típicamente menor al 15%.

La mayoría de los motores Reliance Super RPM y RPM III son shunt estabilizados. Cuando el campo shunt del motor es debilitado para aumentar la velocidad a un nivel de operación mas alto, el flujo del devanado serie llega a ser un porcentaje mayor del flujo total, de manera que a medida que la corriente aumenta, la caída de velocidad es un porcentaje mayor que antes.

En aplicaciones donde la inestabilidad resultante pudiera afectar seriamente el funcionamiento de la máquina (movida por el motor), el campo serie puede desconectarse. En aplicaciones donde los efectos de estabilidad nos son críticos, como en un frenado regenerativo, el campo serie puede utilizarse para mejorar el rendimiento que el provee.

Cuando el campo serie no se conecta, el fabricante del control debe asegurar que la máxima velocidad segura del motor no es excedida y debe reconocer la pérdida de torque que resulta de la operación del motor shunt estabilizado sin el devanado serie.

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

2.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

El diseño y montaje de los convertidores consiste en dar el alcance necesario para el estudio y aplicación de los mismos en el campo industrial, para lo cual los dispositivos utilizados en el presente proyecto ayudarán en el aprendizaje de forma teórica y práctica a los estudiantes de la ESPE-L, ya que presentará las respectivas seguridades a fin de evitar percances en el desarrollo de las prácticas, contará además con guías de conexión.

Para el efecto se estableció que la implementación se lleve a cabo en los siguientes términos.

1. Este proyecto es muy importante, ya que permite la reducción de armónicos presentes en un convertidor y hace analogía con respecto al número de pulsos obtenidos de acuerdo a la conexión con los interruptores SCR'S.
2. Reutilización de los módulos de potencia, los mismos que se han venido utilizando en el aprendizaje en prácticas anteriores además de otros componentes que satisfagan las necesidades del usuario.
3. Diseño e implementación de los módulos de SCR'S para obtener los resultados deseados en cuanto a número de pulsos, voltajes y la presentación de armónicos.
4. Selección de software y tarjeta de adquisición de datos que garanticen una plena visualización de los parámetros eléctricos.
5. Acondicionar las diferentes señales eléctricas que para el caso son trifásicas, para no perder la información del estado de presentación de los armónicos.

6. Diseño de un sistema de visualización para los parámetros eléctricos de los convertidores, el mismo que mostrará el estado de funcionamiento de los componentes.
7. Generación de la documentación técnica necesaria: guías del laboratorio.

2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

En la figura 2.1 se presenta el diagrama de bloques empleado para el diseño.

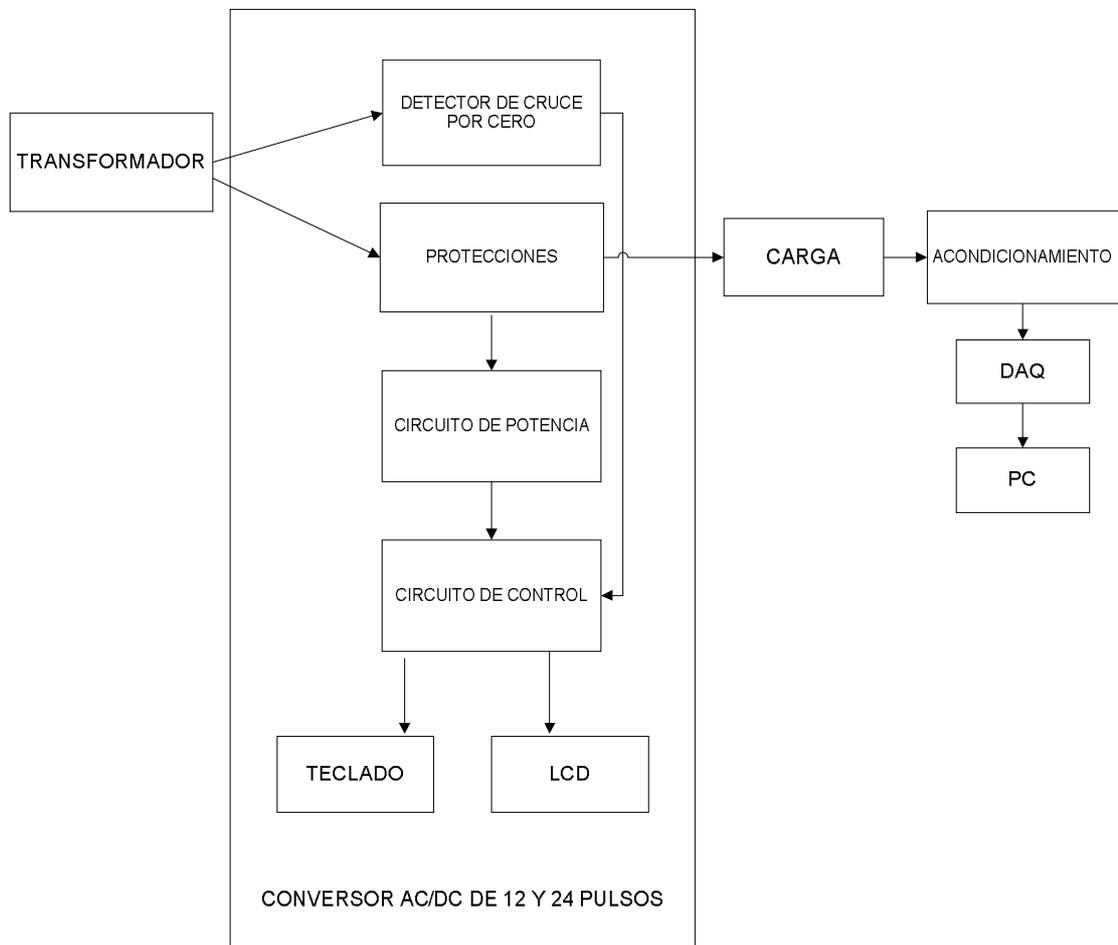


Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema

2.2.1 Detector de cruce por cero

Este circuito es de gran utilidad, porque la señal eléctrica que aquí se origina informa al circuito de control el inicio de un nuevo semiciclo de onda, para que este nuevamente realice el respectivo control. Una vez detectado el punto del cruce por cero se procede a efectuar el respectivo activado de los SCR's, estos deben ser disparados en intervalos de 1.388mseg, es decir cada 30° para el convertor de 12 pulsos y de 0,6972 mseg, cada 15° para el de 24 pulsos.

2.2.2 Protecciones.

Son esquemas de protección para elementos electrónicos que se utiliza para prevenir condiciones de fallas, que se crean por la presencia de anomalías en el convertor AC/DC, las cuales están en cada placa de potencia.

2.2.3 Driver.

Es un circuito que se utiliza para el disparo de los SCR's que generan señales de excitación para que se produzca la conmutación de los estados del elemento de potencia.

2.2.4 Circuito de control.

Es el cerebro del convertor AC/DC implementado con tres microcontroladores uno de ellos es el maestro Atmel atm128, el mismo que controla todo el circuito en este se realiza la sincronización de los disparos del convertor de 12 pulsos, también para generar señales y crear pantallas de visualización, y los otros dos son sus esclavos, que funcionan con el convertor de 24 pulsos.

2.2.5 Teclado.

Se utiliza para digitar las opciones que requiera el convertor AC/DC como es el ángulo de disparo. Y también como modo de acceso al software del sistema.

2.2.6 LCD.

Se utiliza para la presentación animada de las opciones y menús controlados por el microcontrolador.

2.2.7 Carga.

Se utiliza para visualizar y confirmar los efectos que producen el conversor.

2.2.8 Acondicionamiento de señales.

Este bloque representa a las sondas de tensión y corriente, estas permiten el cambio de nivel de tensión y el cambio de corriente a tensión, respectivamente; de esta manera se obtiene un valor de voltaje entre ± 10 V, que puede ser ingresado a la DAQ.

2.2.9 Tarjeta de adquisición de datos.

Es la representación de un computador convencional, que a través de este se procede a realizar la programación por medio del software Labview, en donde además permite al usuario tener una interfaz gráfica para visualizar la cantidad de armónicos presentes en el sistema

2.2.10 PC.

A través de la PC se puede visualizar los datos provenientes del la DAQ a través del software que para este caso será Labview en el cual se va ha analizar todas las formas de ondas del sistema.

2.3 DISEÑO DEL CONVERTOR AC/DC CONTROLADO DE 12 Y 24 PULSOS.

Los convertidores trifásicos son uno de los componentes más utilizados en la industria, trituradoras, aplicaciones en el endurecimiento de piezas de acero, equipos de tracción, controladores de velocidad, convertidores AC/DC

Por el nivel de potencia que maneja y la distorsión armónica que introduce al sistema es importante realizar un análisis detallado de este tipo de carga para estudiar su impacto en el sistema.

2.3.1 ANÁLISIS GENERAL DEL PROCESO DE CONMUTACION.

Condiciones ideales.

Para el estudio del convertidor considerando condiciones ideales se supondrá lo siguiente:

La red trifásica es un conjunto de tres fuentes de tensión perfectamente sinusoidales de amplitud y frecuencias balanceadas y con equilibrio perfecto de sus fases.

Los SCR's se consideran como interruptores que permiten el flujo de corrientes en una sola dirección.

Se considera la inductancia de la línea de alimentación despreciable.

2.4 CONVERTOR AC/DC CONTROLADO DE 12 PULSOS

2.4.1 Descripción general

El sistema de 12 pulsos se utiliza ya sea para amplificar voltaje o corriente en la carga, esto se hace conectando dos convertidores de 6 pulsos en paralelo o en serie.

La corriente absorbida en la red es la misma, independientemente de la configuración utilizada, por lo que una ventaja en el uso del convertor de 12 pulsos es su manipulación en el ángulo de disparo (α) desde $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$, obteniendo un voltaje y corriente variable a la salida el mismo que va desde 0 hasta el voltaje nominal de la carga.

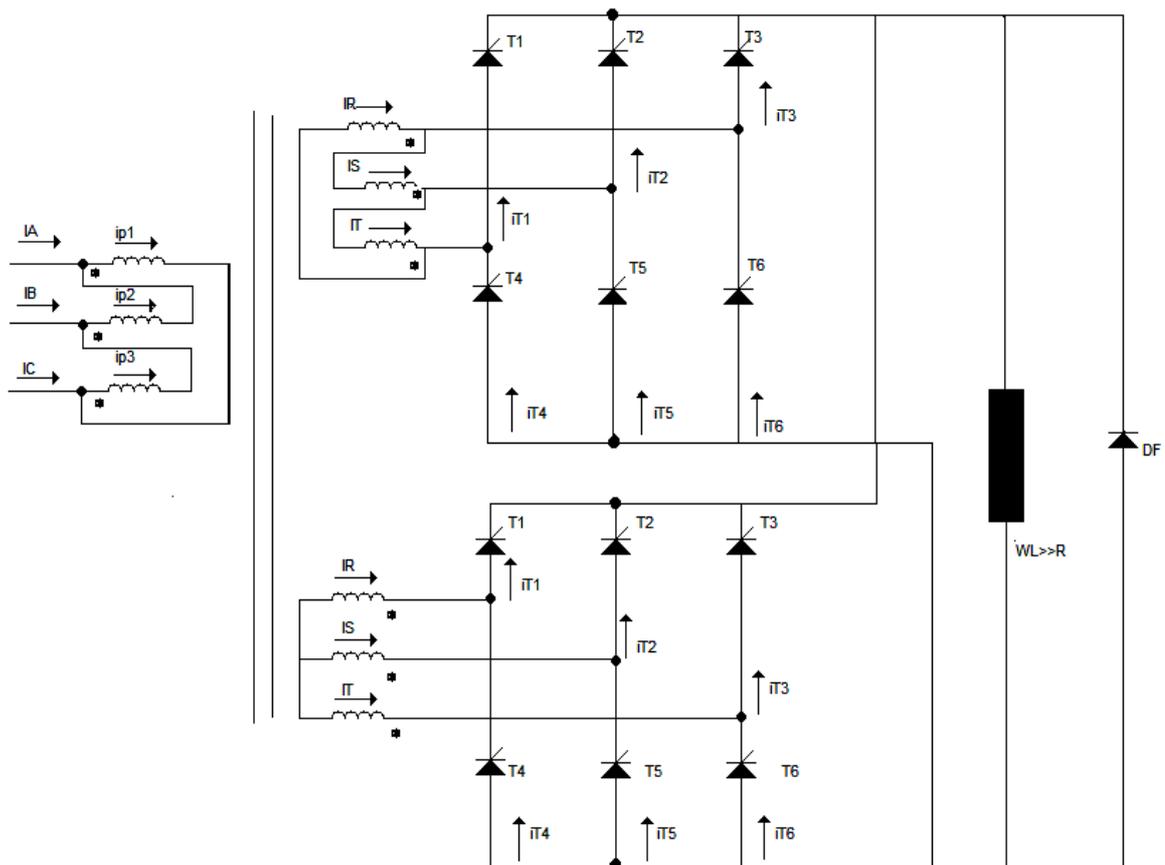


Figura 2.2 Convertor AC/DC controlado de 12 pulsos, asociación en paralelo

El convertor de 12 pulsos controlado tiene la ventaja de introducir menos distorsión armónica, si a este lo comparamos con un convertor no controlado.

En este convertor utilizamos un transformador que tenga dos secundarios (transformador desfasador), o a través de dos transformadores.

Para este convertor se utiliza la conexión de alimentación en los secundarios, la una en “estrella” y la otra en “delta”, la misma que nos permitirá tener un desfase de 30 grados eléctricos entre los respectivos voltajes de alimentación de los convertidores, consiguiendo así un menor rizado a la salida del convertor además de una corriente de línea en el primario del transformador de alimentación con una característica más sinusoidal.

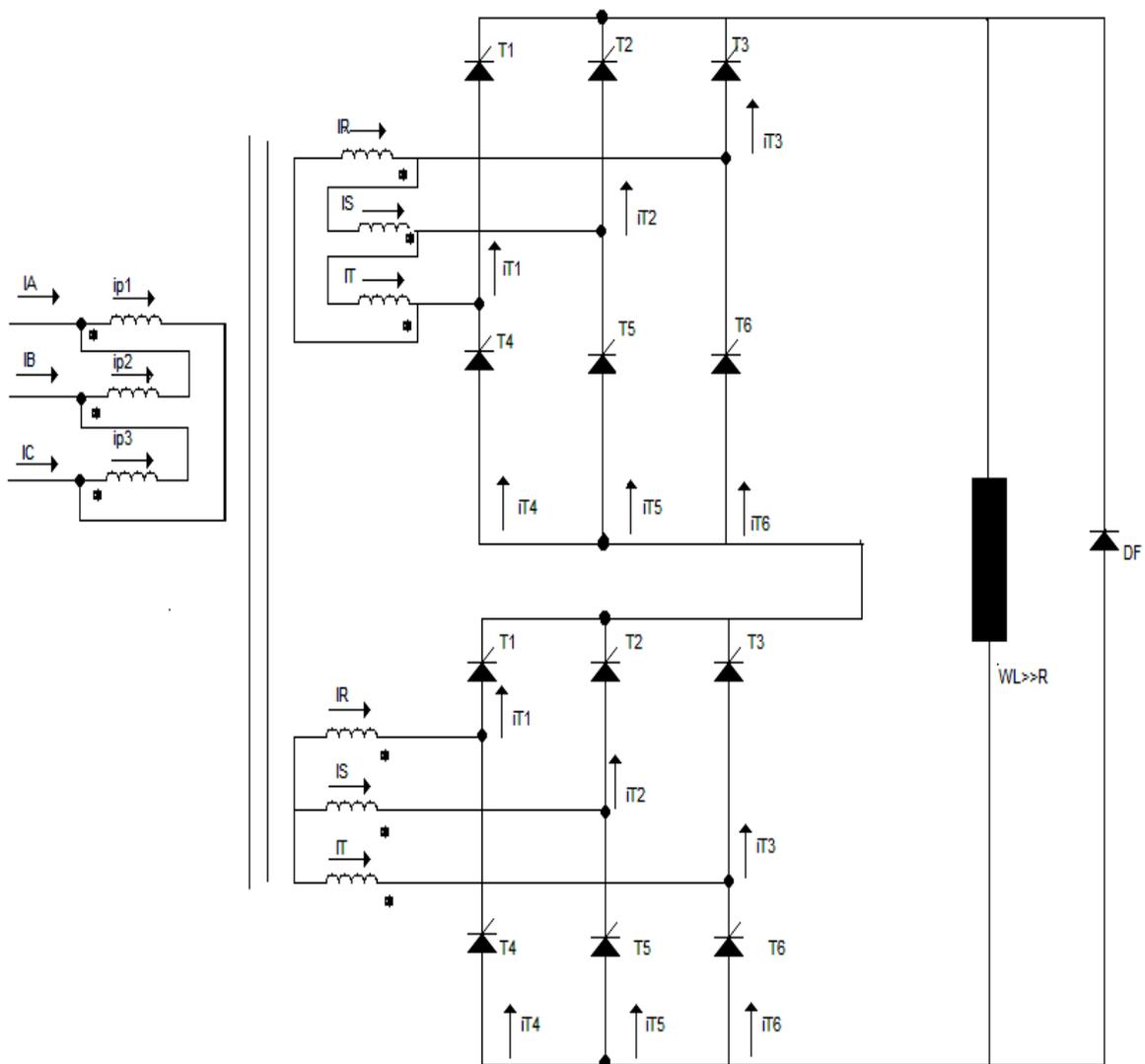


Figura 2.3 Convertor AC/DC controlado de 12 pulsos, asociación en serie

2.4.2 Transformador desfasador.

Permite desfasar una señal sinusoidal este desfasaje está comprendido entre 0 y 90 grados eléctricos, donde a la salida se obtiene una salida de igual frecuencia que la original pero desfasada cierto ángulo.

El transformador desfasador debe ser alimentado su parte primaria por una fuente trifásica y dependerá de su conexión, el desfasaje que se obtendrá a la salida del transformador (secundarios) da como resultado que los voltajes y corrientes de salida de ambos secundarios tengan un desfase de 30° eléctricos para el caso de un conversor de 12 pulsos, cumpliendo con la ecuación 2.1 mostrada anteriormente presenta el siguiente valor de desfasaje.

$$\frac{V_A}{V_{1A}} = \frac{i_{1A}}{i_A} = \frac{r_t}{\sqrt{3}} \quad \text{(Ec. 2.1)}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{p}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{12}$$

$$\lambda = \frac{\pi}{6}$$

$$\lambda = 30^\circ$$

La figura 2.4 muestra el esquema de conexión del transformador desfasador para el conversor AC/DC de 12 pulsos.

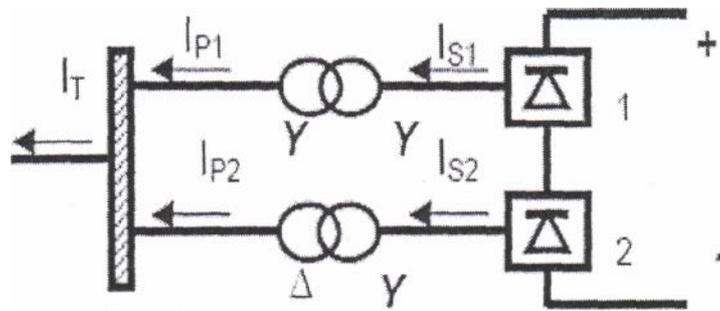


Figura 2.4 Conexión del transformador desfasador

Por medio de una conexión Yy o Dy en uno de los transformadores se logra un desfase de $\pm 30^\circ$. Para el caso del tercer armónico, por ejemplo, el desfase es $\pm 30 \cdot 3 = \pm 90^\circ$ lo que hace que quede en contrafase con el tercer armónico producido por el otro convertidor.

En la figura 2.5 se representan los voltajes y sus secuencias además de los sentidos de rotación que son resultado del tipo de conexión, tanto en el primario (conexión D), como en los secundarios del transformador desfasador Dy₁₁ y Dd₀.

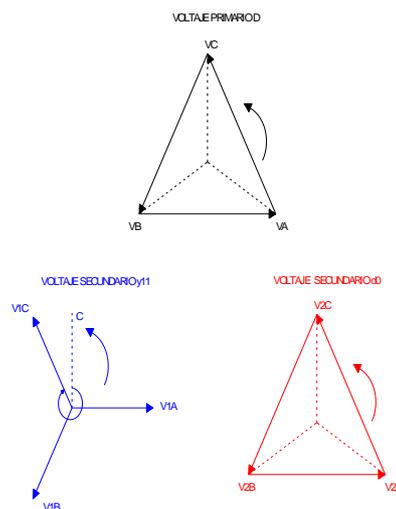


Figura 2.5 Sentido de rotación de los voltajes: a) En el primario V_A, V_B, V_C ; en el primer secundario V_{1A}, V_{1B}, V_{1C} ; y en el segundo secundario V_{2A}, V_{2B}, V_{2C}

Tomando como referencia los voltajes del primario y de los voltajes de los secundarios de cada devanado de la figura 2.5, se obtiene la secuencia del diagrama fasorial de voltajes, el mismo que se presenta en la figura 2.6.

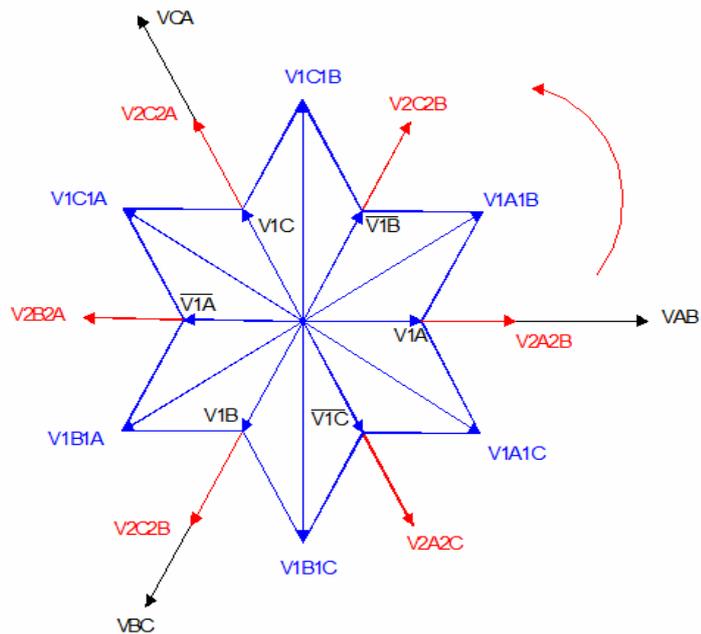
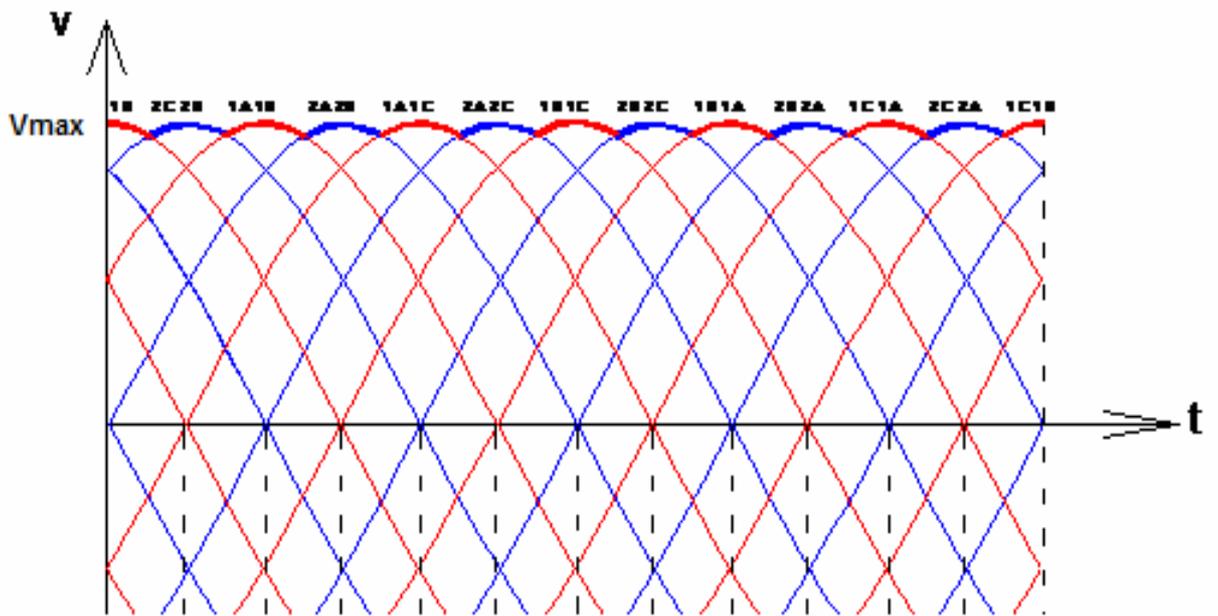


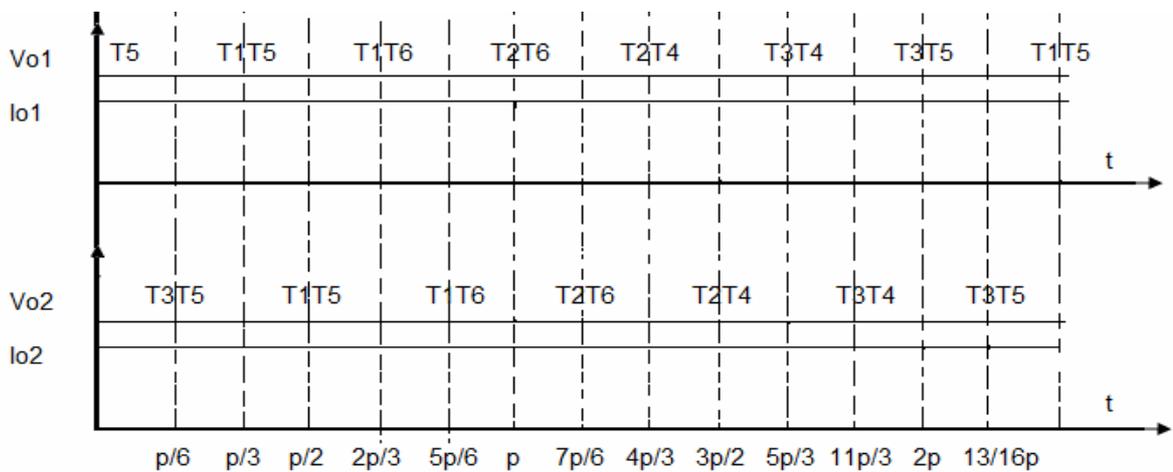
Figura 2.6 Diagrama fasorial del convertidor de 12 pulsos

Mediante la secuencia de los voltajes de entrada de los convertidores, se determinó los voltajes y corrientes de cada convertidor, en donde se obtiene los voltajes V_{o1} y V_{o2} y las corrientes I_{o1} e I_{o2} .

La secuencia de los voltajes de entrada, así como los voltajes y corrientes de salida de cada convertidor de 6 pulsos, sirve para formar el convertidor de 12 pulsos cuya forma de onda se representan en la figura 2.7



a)



b)

Figura 2.7 a) La secuencia de los voltajes de entrada de los convertidores 1 y 2 b) voltajes y corrientes de salida de los convertidores de 6 pulsos.

En la figura 2.7 se observa claramente el voltaje V_{o1} y la corriente I_{o1} que son el resultado de la conducción de los SCR's del convertidor 1.

T5; T1T5; T1T6; T2T6; T2T4; T3;

Para el caso del voltaje V_{o2} y la corriente I_{o2} ; la conducción de los SCR's del convertor 2 será:

T3T5; T1T5; T1T6; T2T6; T2T4; T3T4;

El voltaje total V_o y la corriente total I_o , en la salida del convertor de doce pulsos son resultado de los voltajes y corrientes de salida de los convertidores de seis pulsos conectados en serie o en paralelo como se indica en la figura 2.7 El voltaje de salida tendrá menos rizado que el de 6 pulsos debido a que actúan los dos voltajes de salida (V_{o1} y V_{o2}) mostrado en la ecuación 2.2; mientras que la magnitud de la corriente será como se indica en la ecuación 2.3.

Voltaje de salida del convertor de 12 pulsos

$$V_{o_1} = \frac{p}{\pi} \times V_{\max} \times \text{sen} \left(\frac{180^\circ}{p} \right) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$V_{o_1} = \frac{12}{\pi} \times V_{\max} \times \text{sen} \left(\frac{180^\circ}{12} \right)$$

$$V_{o_1} = \frac{12}{\pi} \times V_{\max} \times \text{sen} (15^\circ)$$

Corriente de salida del convertor de 12 pulsos

$$I_o = I_{o_1} + I_{o_2} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

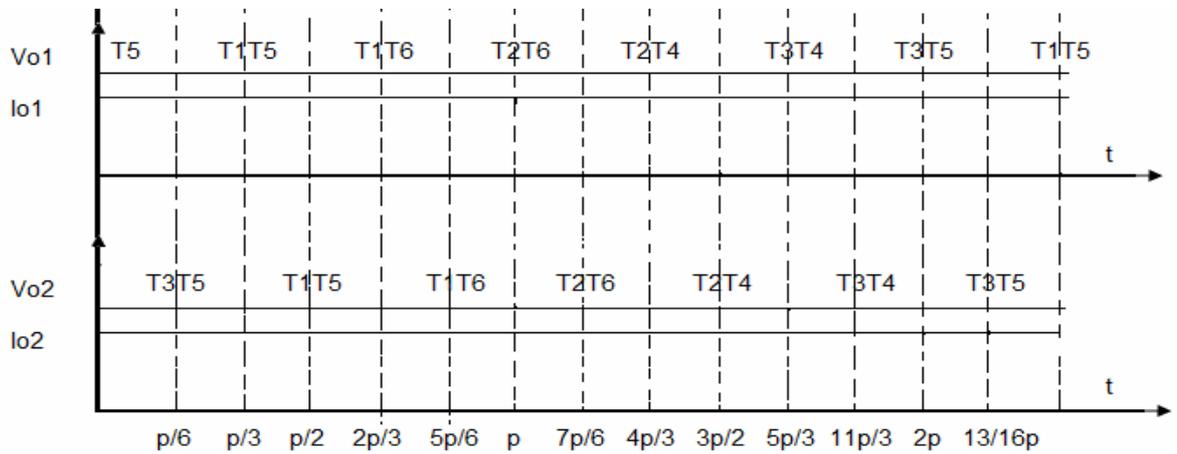


Figura 2.8 Voltaje y corriente de salida del conversor de 12 pulsos

Conocido la corriente de salida de cada conversor de 6 pulsos y la secuencia de conducción de los SCR's de los convertidores, se puede determinar las corrientes de cada SCR's.

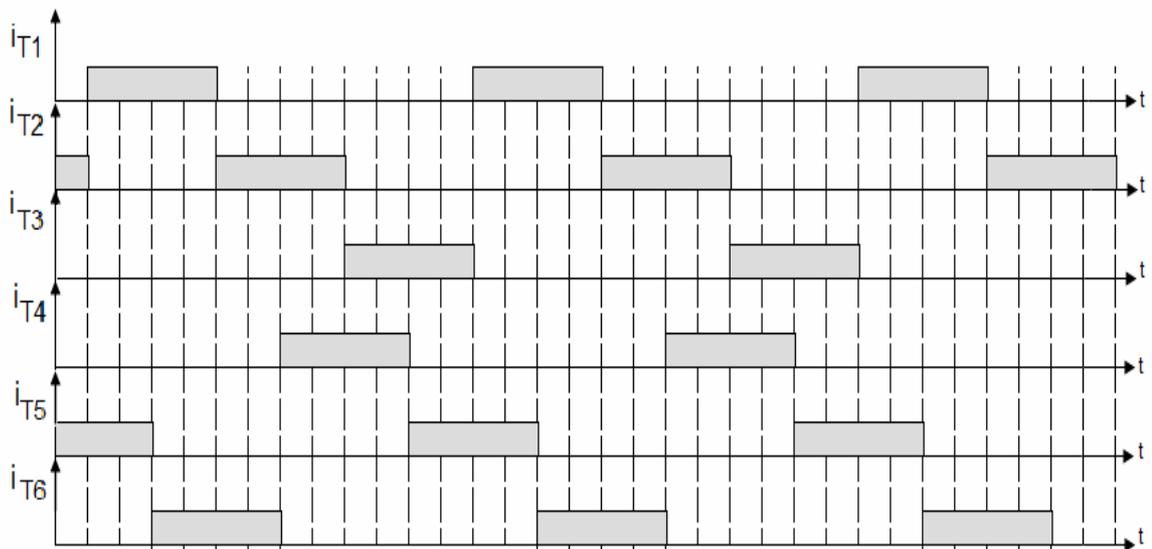


Figura 2.9 Corrientes en los SCR's del conversor 1

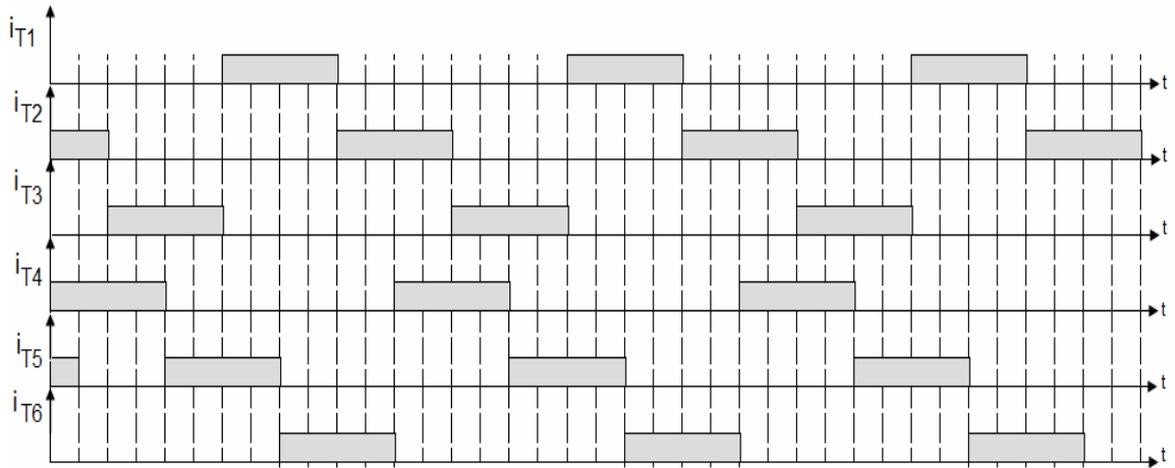


Figura 2.10 Corrientes en los SCR's del convertor 2

Mediante el análisis de nodos, se plantea las ecuaciones de corrientes de entrada del convertor 1:

$$i_{2A} = i_{T1} - i_{T4} \quad \text{Corriente de línea 1A}$$

$$i_{2B} = i_{T2} - i_{T5} \quad \text{Corriente de línea 1B}$$

$$i_{2C} = i_{T3} - i_{T6} \quad \text{Corriente de línea 1C}$$

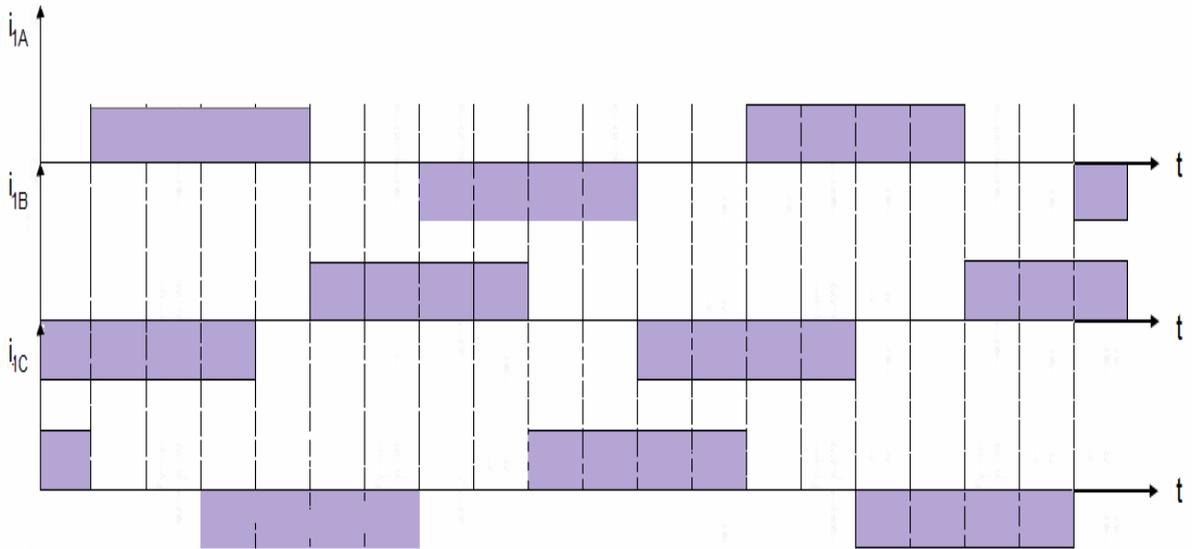


Figura 2.11 Corrientes de entrada del convertor 1

Conocidas las corrientes de los convertidores 1 y 2 que son las corrientes de salida a los secundarios del transformador de alimentación conexión y_{11} y d_0 con las cuales se puede encontrar las corrientes que circulan por el lado primario del transformador.

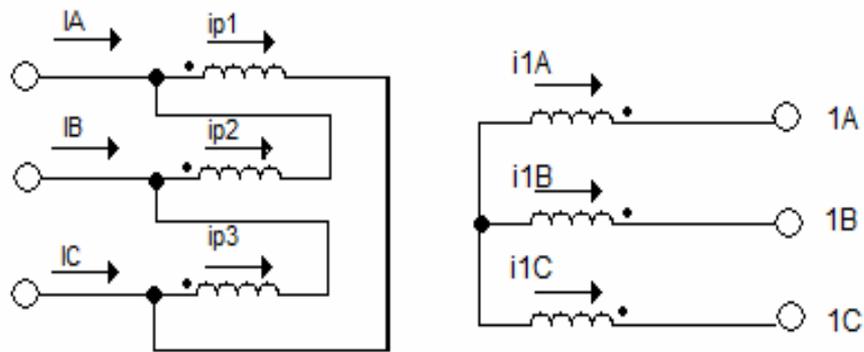


Figura 2.12 Corrientes de fase en la conexión D y11

La relación de transformación para la conexión Dy11 considerando los voltajes de fase-fase y por las corrientes producidas en el lado primario (conexión delta) y en lado secundario (conexión estrella) se muestra en la ecuación 2.4.

$$\frac{V_A}{V_{1A}} = \frac{i_{1A}}{i_A} = \frac{r_t}{\sqrt{3}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Por lo tanto la corriente del primario será:

$$i_{p1} = \frac{i_{1A}}{r_t} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Conociendo la corriente de línea del primario del transformador desfasador en la conexión Dy11 que se da mediante la relación de transformación se pueden plantear las ecuaciones para las corrientes en el bobinado del lado primario:

$$i_{p1} = \frac{i_{1A}}{r_t} \quad \text{Corriente de fase Ip1}$$

$$i_{p2} = \frac{i_{1B}}{r_t} \quad \text{Corriente de fase Ip2}$$

$$i_{p3} = \frac{i_{1C}}{r_t} \quad \text{Corriente de fase Ip3}$$

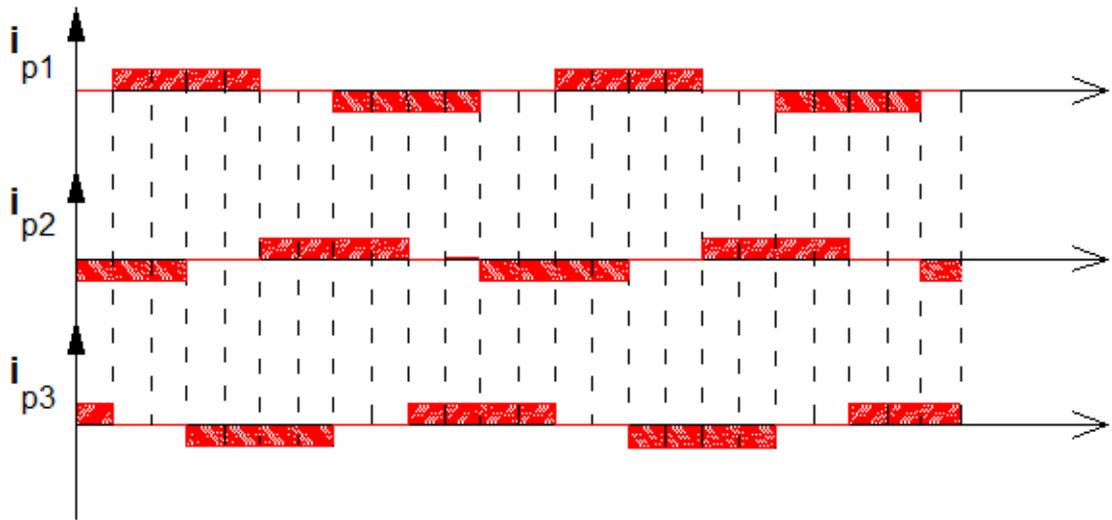


Figura 2.13 Corrientes de fase que circulan por los devanados del primario resultado de la conexión Dy11

Las corrientes en el primario que son resultado de la conexión Dd₀ (conversor 2) tendrán la forma de onda y valor matemático indicado en la figura 2.14.

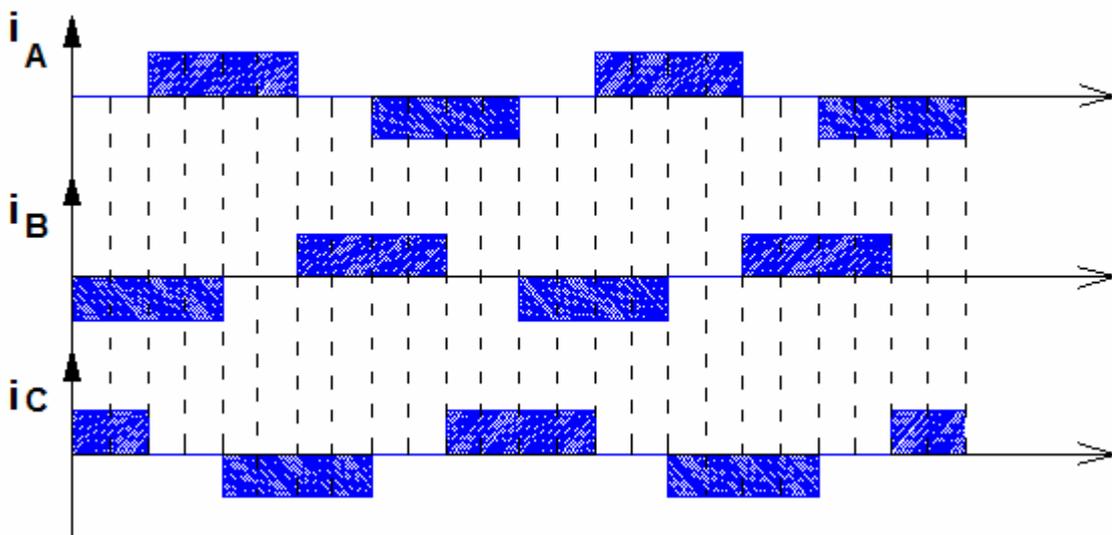


Figura 2.14 Corrientes de línea del primario del transformador que son resultado de la conexión Dd₀.

$$i_A = \frac{i_{1A}}{r_t}$$

Corriente de línea IA

$$i_B = \frac{i_{1B}}{r_t}$$

Corriente de Línea IB

$$i_C = \frac{i_{1C}}{r_t}$$

Corriente de Línea IC

Conocidas las corrientes de fase que circulan por los devanados del primario figura 2.14 resultado de la conexión Dy_{11} , mediante el análisis de nodos; se plantea las ecuaciones para obtener las corrientes de línea del primario en base a esta conexión. Estas formas de onda y el análisis de nodos se indican en la figura 2.15.

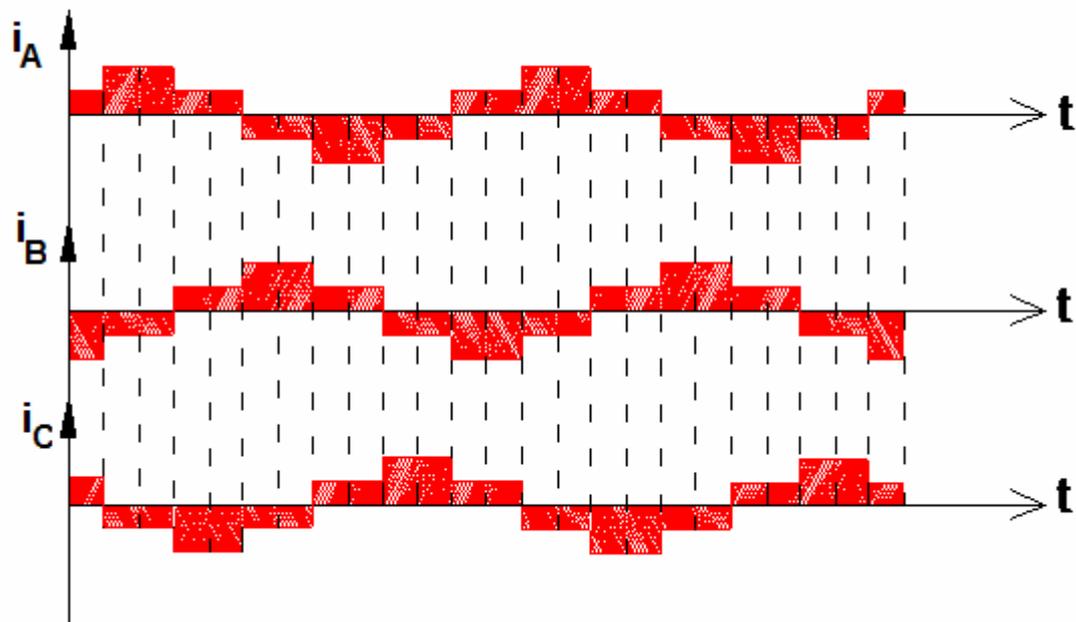


Figura 2.15 Análisis de SCR's y corrientes de línea del primario del transformador resultado de la conexión Dy_{11} .

$$i_A = i_{p1} - i_{p2} \quad \text{Corriente de línea A}$$

$$i_B = i_{p2} - i_{p3} \quad \text{Corriente de línea B}$$

$$i_C = i_{p3} - i_{p1} \quad \text{Corriente de línea C}$$

En el primario se verán las corrientes inducidas tanto por la Dy_{11} como por la conexión Dd_0 , teóricamente la corriente de línea del primario (conexión delta) va a tener la misma dirección que la corriente de línea del secundario en conexión delta (d_0); y desfasada 30° con respecto a la corriente de línea del secundario en conexión estrella (y_{11}), su representación se indica en la figura 2.16

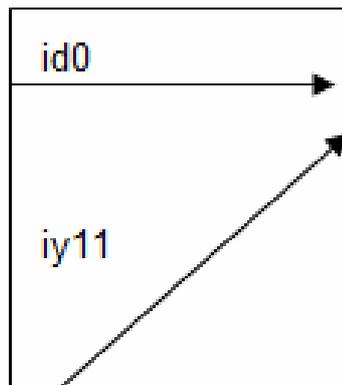


Figura 2.16 Dirección de las corrientes en la conexión $Dy_{11}d_0$

Conocido el desfase de estas corrientes, las corrientes resultantes de la superposición tanto de las corrientes Dy_{11} como la conexión Dd_0 , se indican en la figura 2.17.

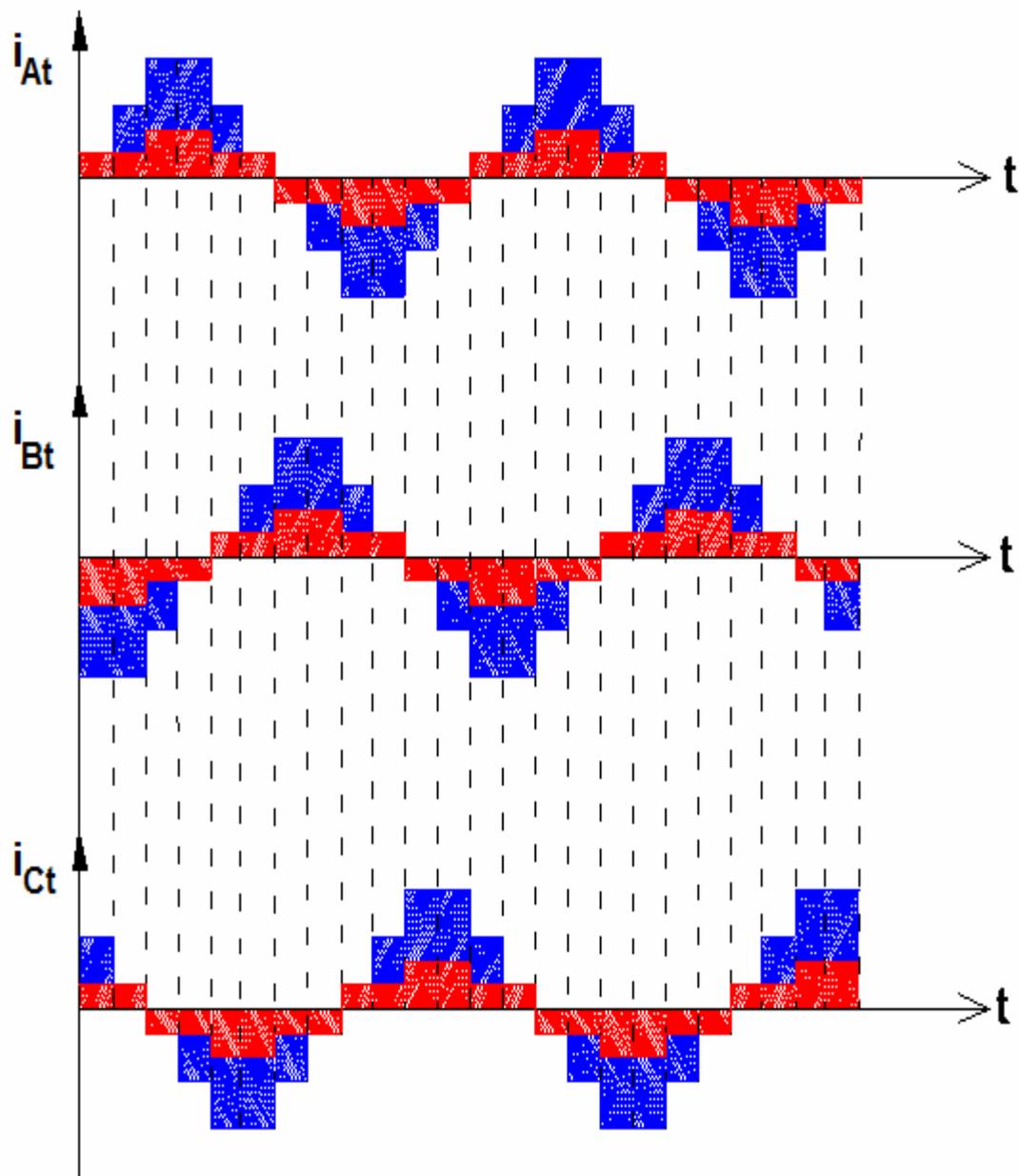


Figura 2.17 Corrientes producidas por el conversor de 12 pulsos en el lado primario del transformador de alimentación

2.5 Conversor AC/DC controlado de 24 pulsos.

2.5.1 Descripción General.

El conversor AC/DC de 24 pulsos controlado está conformado en su totalidad de SCR's, los cuales son controlados al variar su ángulo de disparo, lo que permite obtener a la salida un valor de tensión variable en la carga, pudiéndose partir estos desde valores bajos hasta valores altos aceptados por la carga, realizando el control del ángulo de los SCR's a través de Microcontroladores que permiten el activado y desactivado de estos para su control.

La constitución del conversor de 24 pulsos controlado, está compuesta de 4 conversores de 6 pulsos controlado conectados ya sea en serie o en paralelo.

Este conversor aporta notablemente a la disminución mayoritaria de armónicos, ya que la corriente de abastecimiento es la misma que proviene de la red por lo que el aprovechamiento de recursos es mayor y por ende permite un mejor funcionamiento de los equipos a los cuales alimenta el sistema.

La parte del control se la realiza a través de tres Microcontroladores los mismos que se encargarán del cebado de los SCR's, empleando la señal proveniente del detector de cruce por cero para su activación, adicionalmente se emplea un LCD gráfico para la visualización y el teclado para la selección del ángulo de disparo.

2.5.2 Descripción del tipo de conexiones del conversor AC/DC controlado de 24 pulsos.

Para la implantación de este sistema se requiere de transformadores los mismos que deben presentar un primarios con 2 secundarios los que aportaran al sistema con los desfasajes requeridos para un buen trabajo del conversor, así también se requerirá de una fuente de alimentación trifásica, la cual alimentará a los transformadores, adicionalmente se incorpora un sistema, de control encargado del manejo del conversor.

En el lado de los secundarios los transformadores tendrán n estructuras delta las mismas que deberán tomarse en cuenta de acuerdo al requerimiento de sistema, con un ángulo de desfasaje 15° eléctricos el mismo que se demuestra con la fórmula siguiente.

$$\frac{V_A}{V_{1A}} = \frac{i_{1A}}{i_A} = \frac{r_t}{\sqrt{3}} \quad \text{(Ec. 2.6)}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{p}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{24}$$

$$\lambda = \frac{\pi}{12}$$

$$\lambda = 15^\circ$$

Para las salidas de los transformadores la conexión se lo realizará de la manera siguiente:

En los secundarios se realiza la unión delta del transformador para la primera salida realizándose la unión entre 0V y 120V, por lo que la primera salida viene dada por los puntos de unión 208V, que provee al sistema una alimentación, el desfase necesario de -7.5° eléctricos, que van dirigidas al primer grupo de SCR's.

En lo que concierne a la segunda salida su unión en delta requiere un cambio en los puntos de conexión entre 120V y 208V obteniéndose a la salida de este modo se obtiene un desfase necesario de -22.5° las cuales van alimentadas al segundo grupo de SCR's.

En lo referente a las terceras salidas la unión es similar a la primera uniéndose los punto 0V y 120V conectados en delta y la salida obtenida es 208V, variándose la salida de esta debido a la conexión del primario lo que ocasiona que obtengamos un desfase de $+7.5^\circ$ al tercer grupo de SCR's.

Para la obtención de la cuarta salida la unión es la misma que la segunda, entre los puntos entre 120V y 208V y conectados en delta, ocasionando la salida a través de 0V, se tiene así un desfase de $+22.5^\circ$, variando su valor positivo debido al tipo de conexión del primario los mismo que se suministrarán al cuarto grupo de SCR's.

La conexión completa para el desfase se muestra en la figura 2.18

Al terminar con todas las conexiones anteriormente nombradas, conectar los SCR's que están en circuito abierto, luego todos los cátodos forman un punto en común y serán la parte positiva de la carga, sus ánodos irán a las bobinas allanadoras ver figura 2.18

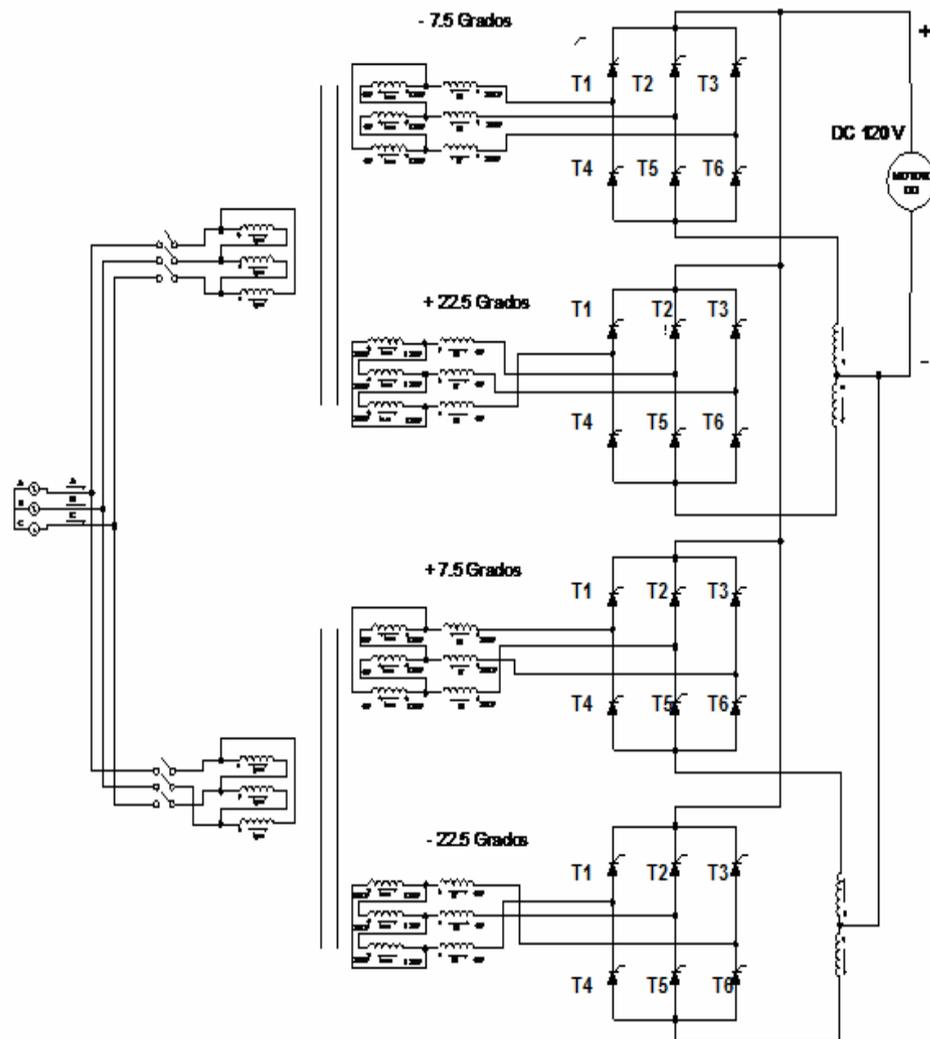


Figura 2.18 Conversor AC/DC de 24 pulsos controlado

El primer transformador tiene la conexión $Dd_{11-75}d_{0.75}$ y el segundo tiene la conexión $Dd_{0.25}d_{11.25}$, al realizar la conexión en paralelo permite la obtención de cuatro convertidores de SCR's con desfaseamiento de $-22.5^\circ, -7.5^\circ, +7.5^\circ, +22.5^\circ$ lo cuál implementa un convertidor de 24 pulsos.

En la fase de referencia de AC los armónicos dominantes son el 23^{avo} y el 25^{avo}. En el análisis de armónicos los resultados confirman lo antes expuesto.

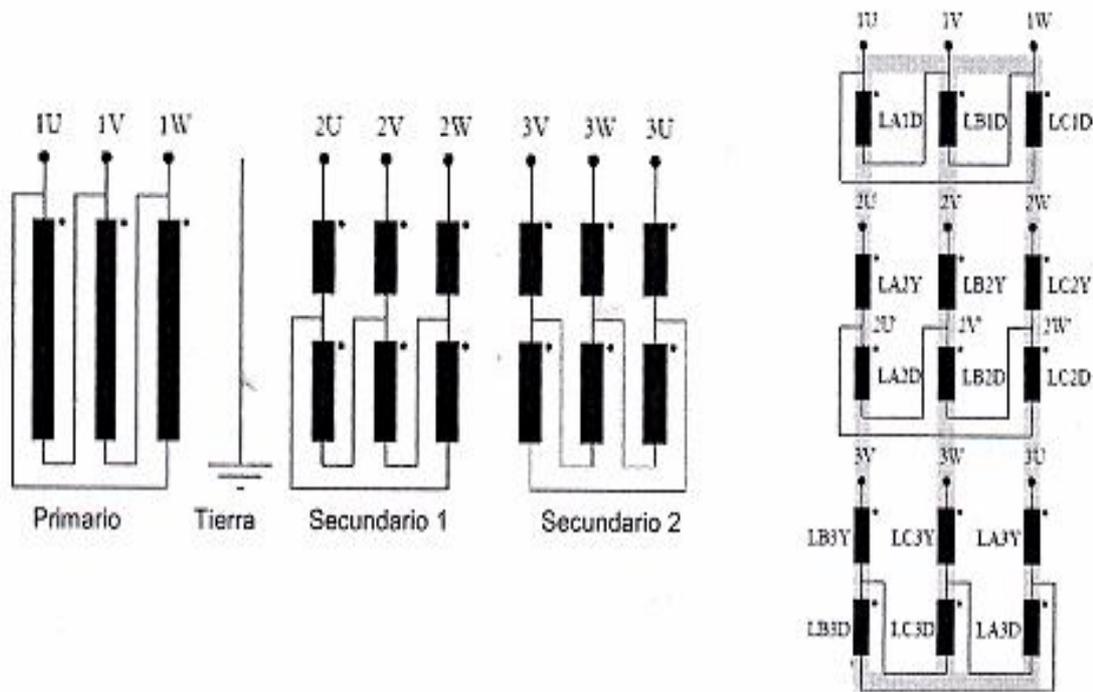


Figura 2.19 Conexión $Dd_{11-75}d_{0.75}$

La implementación del convertidor permite la obtención de los voltajes y corriente de salida en los cuatro convertidores.

La forma de onda de voltaje y corriente se muestra en la figura 2.20

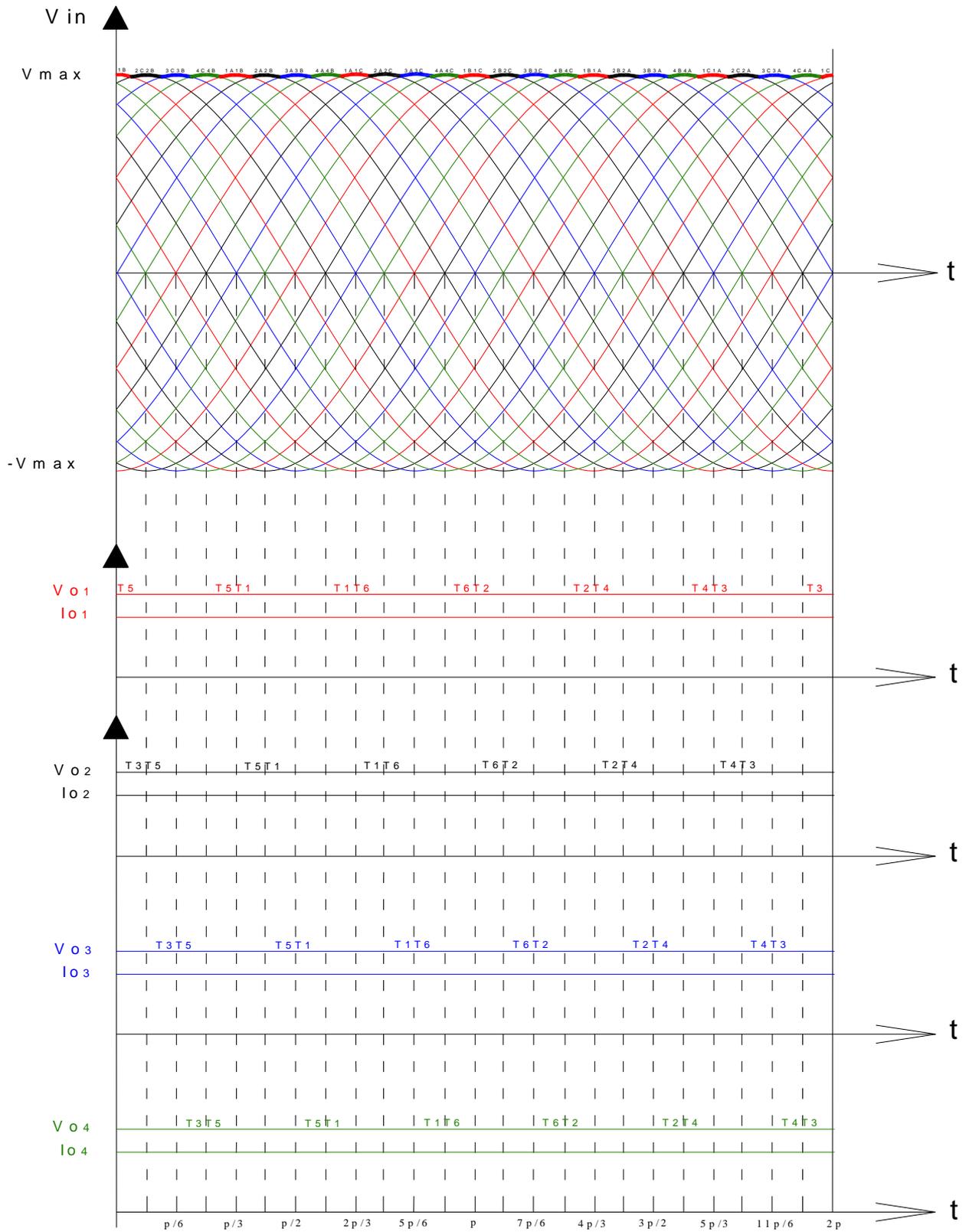


Figura 2.20 Secuencia de los voltajes en los convertidores 1, 2, 3 y 4

La salida de voltaje para el convertidor 1 se obtiene de la secuencia siguiente de conducción de SCR:

T5T1: T1T6: T6T2: T2T4: T4T3: T3T5:

En el caso del voltaje V_{o2} y I_{o2} , la conducción de los SCR's del convertidor 2 será:

T3T5: T5T1: T1T6: T6T2: T2T4: T4T3:

Para el caso del convertidor 3 los voltajes y corrientes la conducción de los SCR's será:

T4T3: T3T5: T5T1: T1T6: T6T2: T2T4:

Por ende para el convertidor 4 los voltajes y corrientes la conducción de los SCR' será;

T2T4: T4T3: T3T5: T5T1: T1T6: T6T2:

Como resultado de la unión de estos cuatro grupos de convertidores se obtiene como voltaje final V_o y corriente final I_o , que nos da como resultado el convertidor de 24 pulsos controlado, el mismo que presenta menos rizado en el voltaje de salida que los de menos pulsos. La ecuación 2.7 permite determinar el voltaje de salida del convertidor de 24 pulsos.

Convertidor de 24 pulsos controlado voltaje de salida:

$$V_o = \frac{p}{\pi} V_{\max} \times \text{sen}\left(\frac{180^\circ}{p}\right) \quad \text{(Ec. 2.7)}$$

$$V_o = \frac{24}{\pi} V_{\max} \times \text{sen}(7.5^\circ)$$

La ecuación 2.8 permite determinar la corriente de salida del convertidor de 24 pulsos.

Convertor de 24 pulsos controlado corriente de salida:

$$I_o = I_{o_1} + I_{o_2} + I_{o_3} + I_{o_4} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

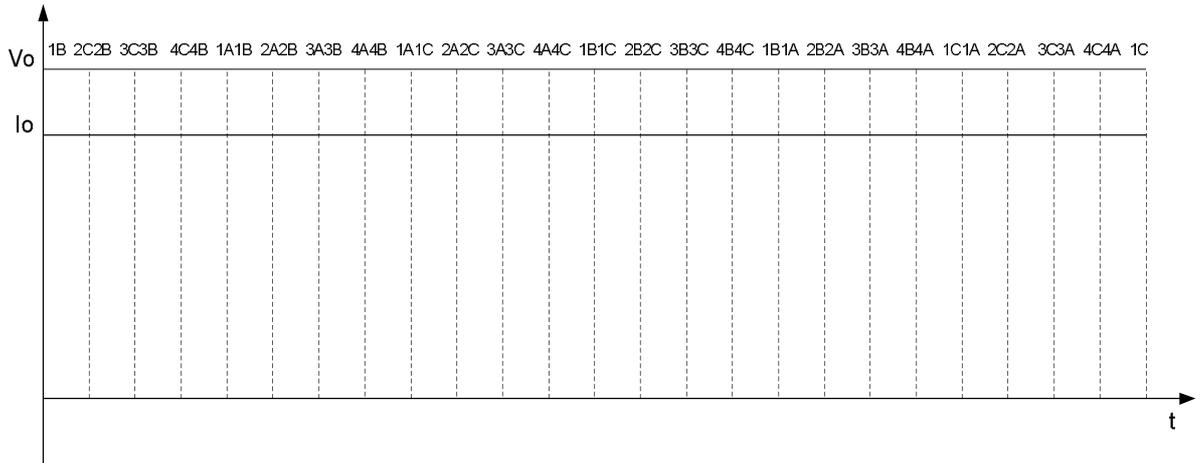


Figura 2.21 Voltaje y Corriente de salida del convertor de 24 pulsos controlado.

La figura 2.22, 2.23, 2.24, y 2.25 muestra la corrientes en cada SCR's para los convertidores 1 y 2.

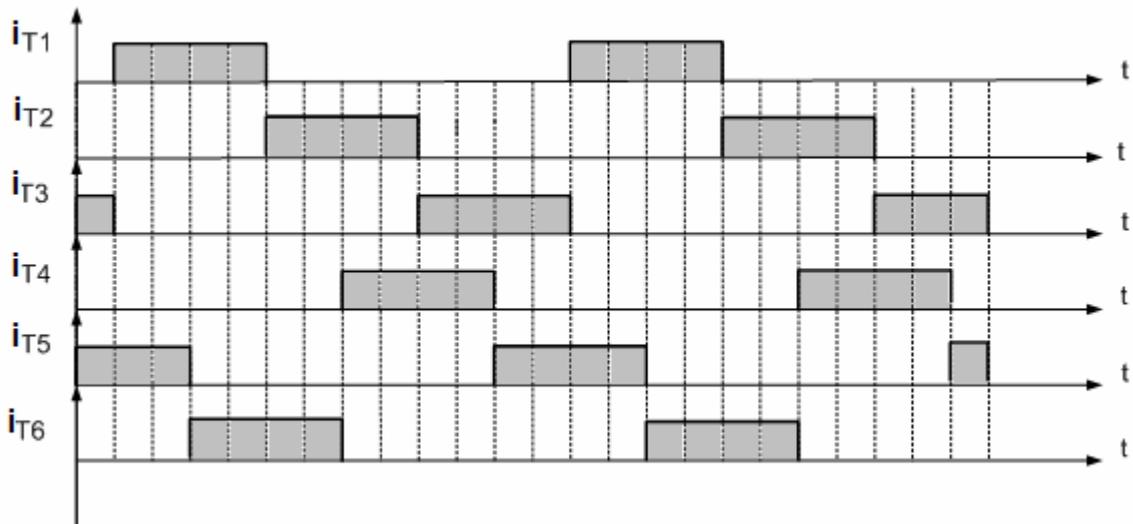


Figura 2.22 Corriente en los SCR's del convertidores parciales 1, 2, 3 y 4.

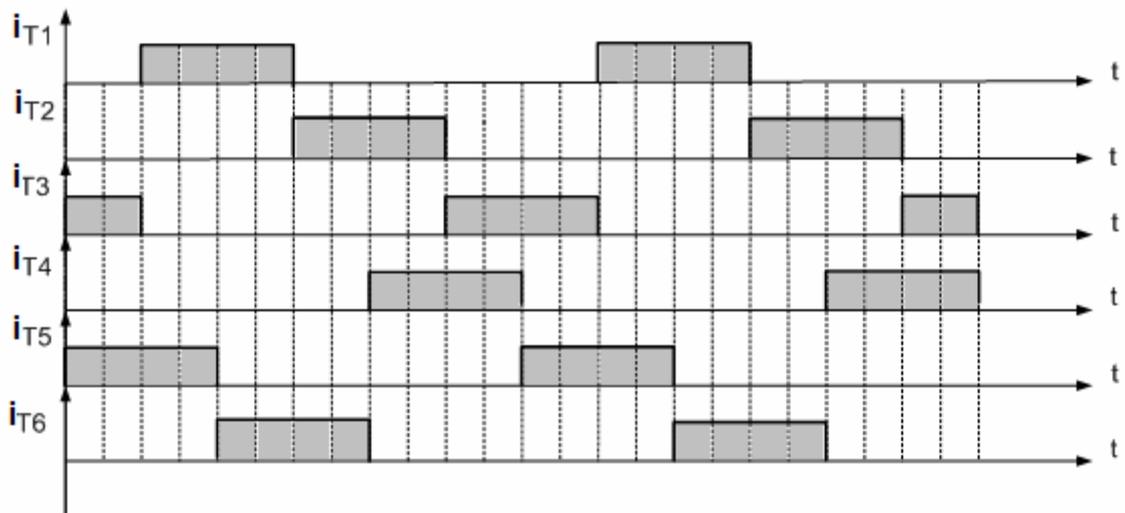


Figura 2.23 Corriente en los SCR's del conversor 2

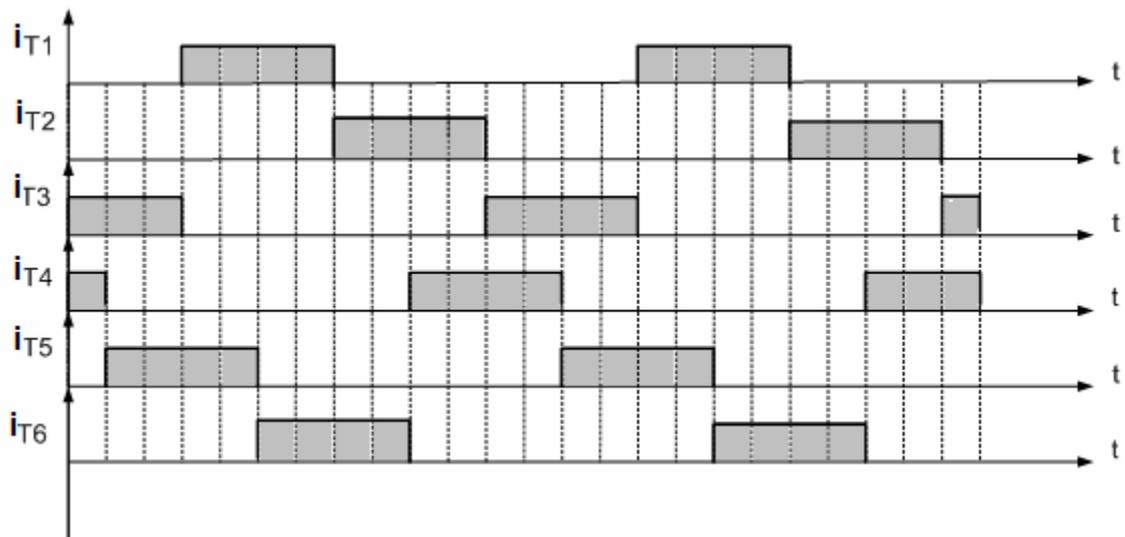


Figura 2.24 Corriente en los SCR's del conversor 3

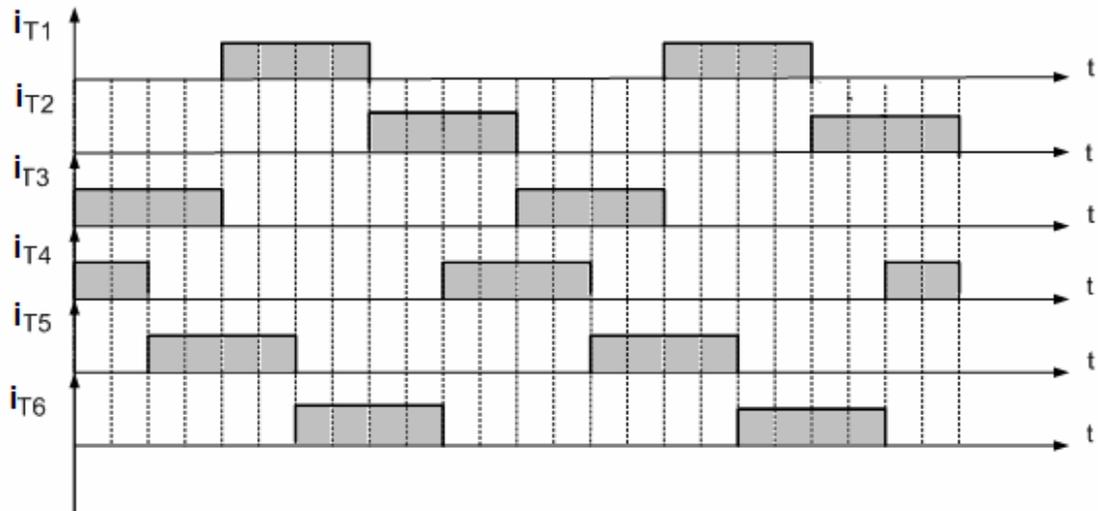


Figura 2.25 Corriente en los SCR's del conversor 4

A continuación se muestra las formas de onda de la corriente en los secundarios del transformador de cada conversor así como sus respectivas ecuaciones.

Corriente de línea 1A

$$i_{1A} = i_{T1} - i_{T4}$$

Corriente de línea 1B

$$i_{1B} = i_{T2} - i_{T5}$$

Corriente de línea 1C

$$i_{1C} = i_{T3} - i_{T6}$$

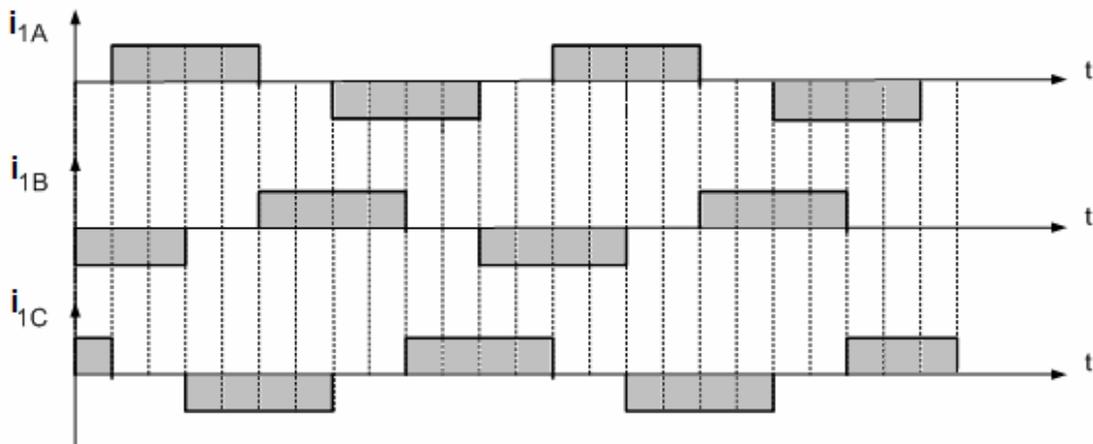


Figura 2.26 Corriente de entrada del conversor 1

Corriente de línea 2A

$$i_{2A} = i_{T1} - i_{T4}$$

Corriente de línea 2B

$$i_{2B} = i_{T2} - i_{T5}$$

Corriente de línea 2C

$$i_{2C} = i_{T3} - i_{T6}$$

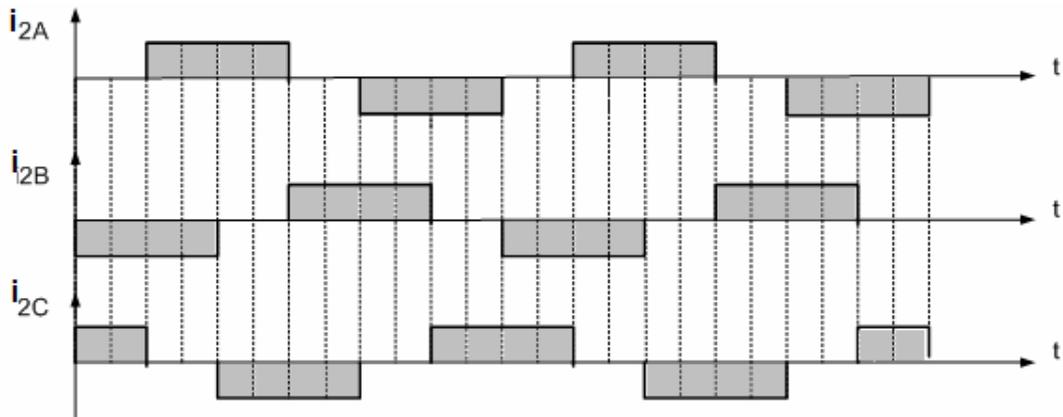


Figura 2.27 Corriente de entrada del conversor 2

Corriente de línea 3A

$$i_{3A} = i_{T1} - i_{T4}$$

Corriente de línea 3B

$$i_{3B} = i_{T2} - i_{T5}$$

Corriente de línea 3C

$$i_{3C} = i_{T3} - i_{T6}$$

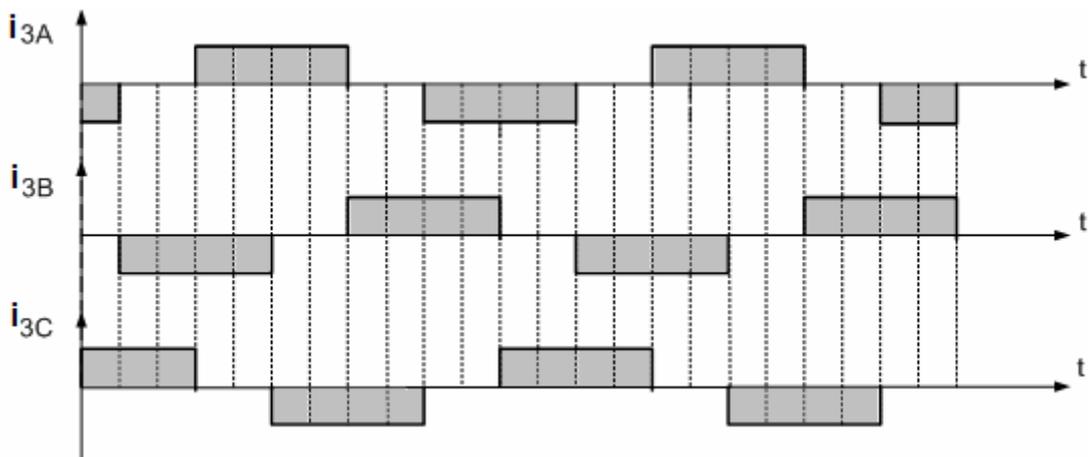


Figura 2.28 Corriente de entrada del conversor 1

Corriente de línea 4A

$$i_{4A} = i_{T1} - i_{T4}$$

Corriente de línea 4B

$$i_{4B} = i_{T2} - i_{T5}$$

Corriente de línea 4C

$$i_{4C} = i_{T3} - i_{T6}$$

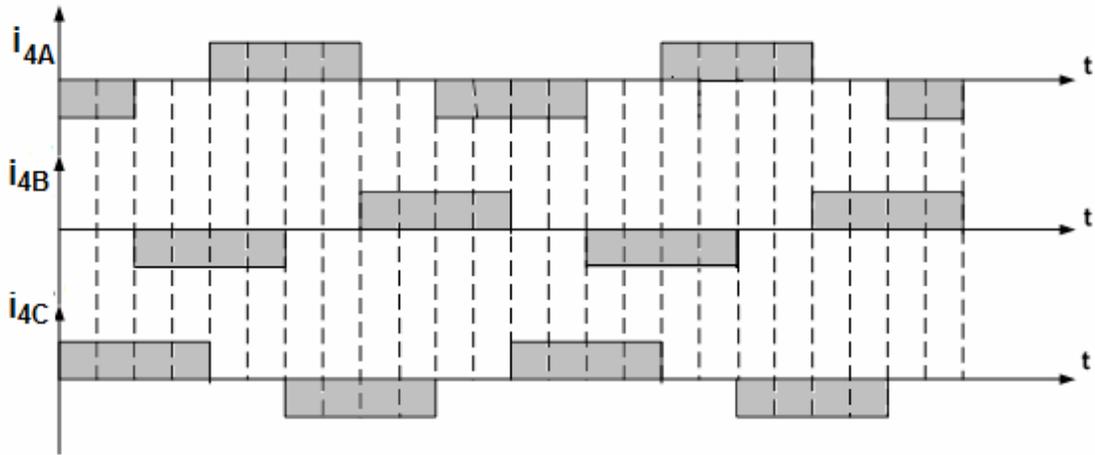


Figura 2.29 Corriente de entrada del convertor 4

Una vez determinada las formas de onda en los secundarios se puede obtener la forma de onda de corriente en el primario para el convertor de 24 pulsos como se muestra en la figura 2.30

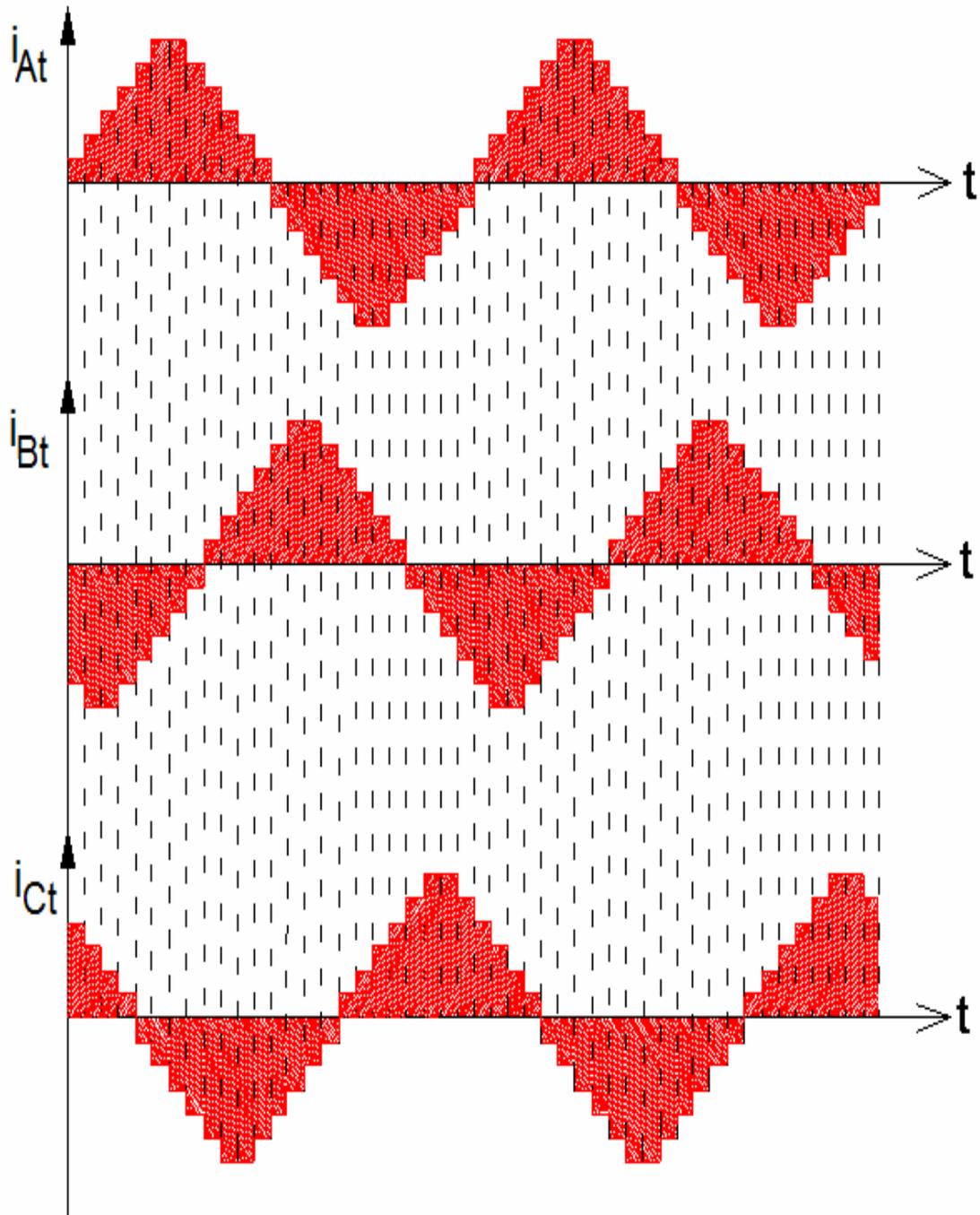


Figura 2.30 Corrientes producidas por el convertor de 24 pulsos controlado en el lado del primario del transformador.

2.6. DISEÑO DEL ANALIZADOR DE ARMÓNICOS

El diseño del analizador de armónicos para el sistema de los convertidores AC/DC controlados, se lo plantea de acuerdo a los requerimientos del mismo, en donde además de los armónicos se visualiza formas de onda de corriente y voltaje de acuerdo al número de pulsos presentes, el mismo que se lo ha realizado en el paquete de software LabVIEW.

La funcionalidad del paquete de software para el diseño del analizador de armónicos es utilizado debido a su interface amigable al usuario, lo que permite crear instrumentos virtuales como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene un juego comprensivo de herramientas para adquirir, analizar, desplegar, y guardar los datos, así como herramientas para ayudar a solucionar problemas de código.

En LabVIEW, se construye una interfaz del usuario, en el panel frontal con los mandos y los indicadores. Los mandos son botones, diales, y otros mecanismos de entrada, los indicadores son Leds, y otros despliegues de rendimiento. La interfaz del usuario se presenta en el panel frontal, al cual se agrega un código usando Vis, que se encuentra en el diagrama de bloques.

En las figuras 2.31 y 2.32 a, b, c y d se muestran, el panel frontal y el diagrama de bloques del analizador de señales respectivamente, los mismos que cumplen con los requerimientos del sistema.



Figura 2.31 Panel frontal del analizador de armónicos

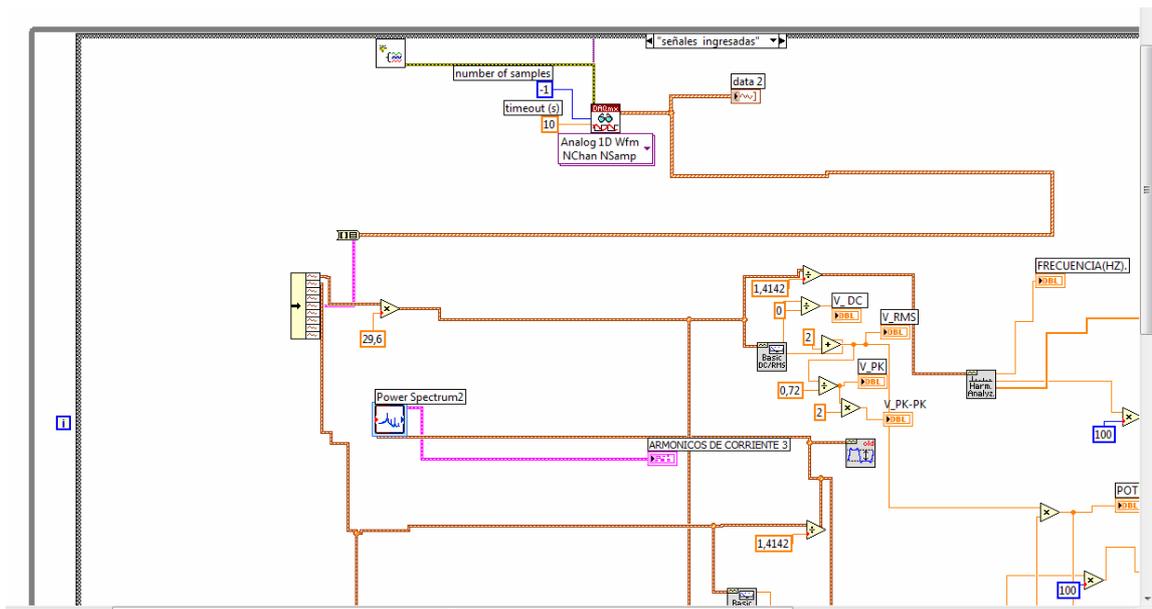


Figura 2.32 a Pantalla de diagrama de bloques del analizador de señales.

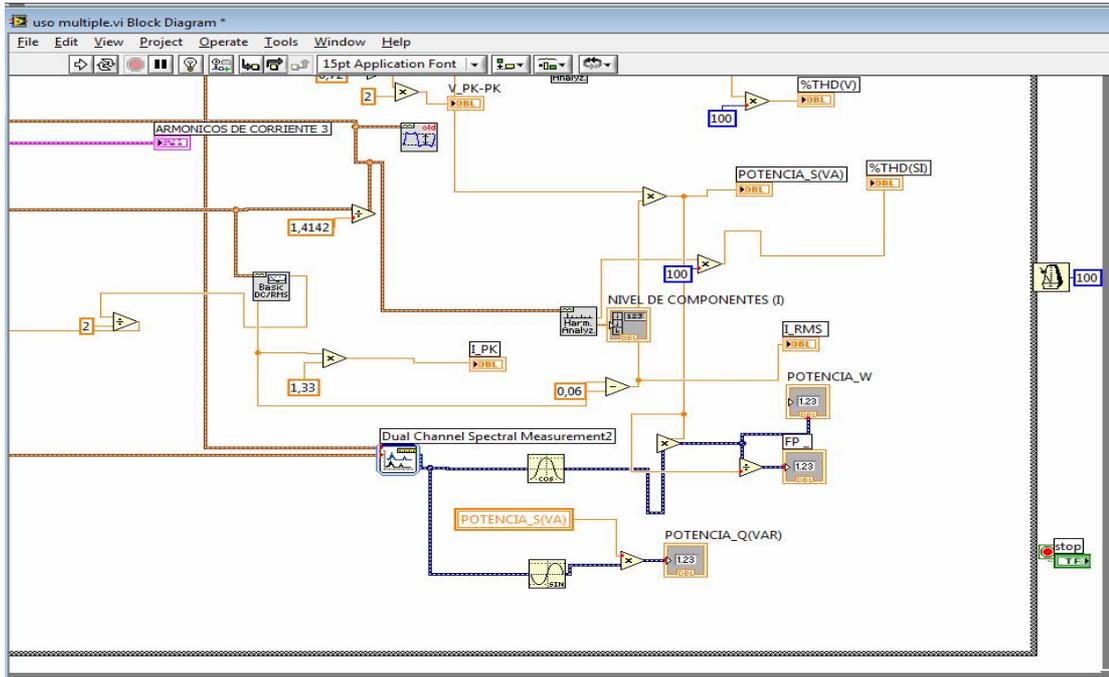


Figura 2.32 d Diagrama de bloques del analizador de señales

2.7. SELECCIÓN DE LA TARJETA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la selección y utilización de la tarjeta DAQ se debe tener en cuenta soporte, manejabilidad, entradas, salidas y otros parámetros acorde a los requerimientos del sistema, en el presente proyecto se utiliza la tarjeta National Instruments USB-6009 Data Acquisition (DAQ) Devices, debido a sus prestaciones y las características que a continuación se presenta.



Figura 2.33 Tarjeta NI USB-6009.

CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES

- Pequeño y portátil
 - Entradas analógicas 8SE/4DI (SE=single ended) (DI=Differential)
 - Resolución de entrada (bits) 14 bits
 - Rango máximo de pruebas de 48 (KS/s)
 - Rango de entrada (V) de ± 1 a ± 20 .
 - Salidas analógicas 2
 - Resolución de salida 12 bits
 - Rango de salida (Hz) 150 Hz
 - Rango de salida (V) de 0 a 5
 - . Líneas digitales I/O 12 (TTL/LVTTL/CMOS)
 - Contador de 32-Bit
 - Trigger Digital
 - Conectores incorporados, trasladables para más facilidad y una conectividad efectiva.
 - DAC en las salidas análogas para exactitud en las señales de salida.
- **El Software recomendado**
 - LabVIEW
 - LabWindows/CVI

- **Los Servicios de la medida El software (incluido)**

- NI-DAQmx
- Ready-to-run logger de datos.

- **Los Sistemas operativos**

- Windows 2000/XP Mac OS X1 Linux®1 Pocket PC Win CE Bus USB.

En el anexo C se muestra las especificaciones técnicas de la tarjeta.

Para la utilización de la tarjeta debe instalarse el driver NI-DAQmx Base, para Windows 2000/XP que viene adjunto con la tarjeta, que luego se verifica en el MAX de LabVIEW, para un buen funcionamiento en los programas donde se requiera adquirir datos.

2.8 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN.

Para la construcción del módulo del conversor AC/DC de 12 y 24 pulsos controlado se tomó en cuenta los siguientes aspecto.

2.8.1 Módulo controlado formado por SCR's de potencia.

El circuito impreso del módulo de SCR's (potencia, control, sincronización, protecciones) se lo diseñó en el software ARES 7.5 Profesional de Proteus.

Para facilitar el montaje, la etapa de potencia se realizó en 4 placas, con las protecciones necesarias tanto para voltaje y corriente, como se indica en la figura 2.32

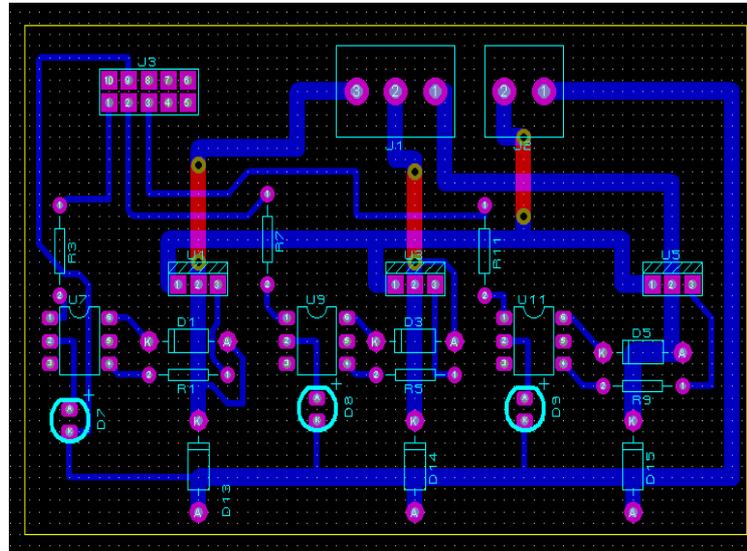


Figura 2.34 Diseño de las pistas para los SCR's de potencia.

- Una vez realizado la placa se suelda y barniza todos los elementos que conforman, como se indica en la figura 2.35.

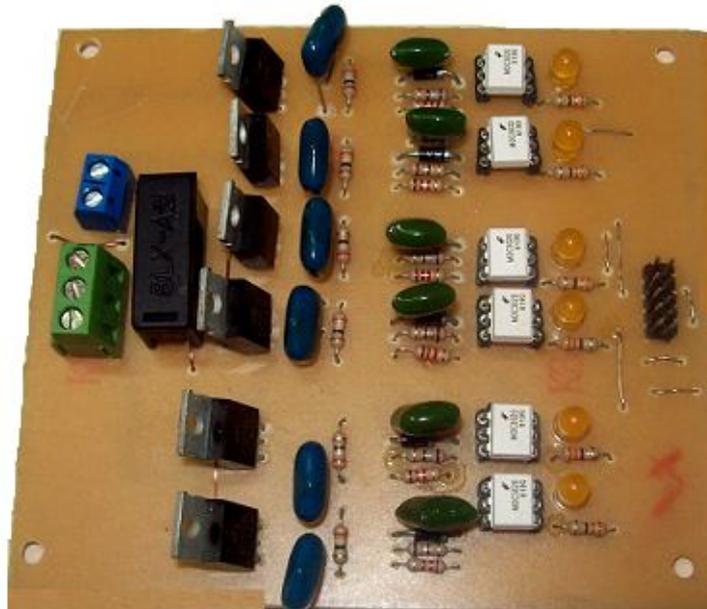


Figura 2.35 Placa formada por Los SCR's

- Con el mismo procedimiento anterior se diseña las placas para los detectores de cruce por cero (una por cada conversor de 6 pulsos) , la placa y sus elementos se indica en la figura 2.36 y 2.37.

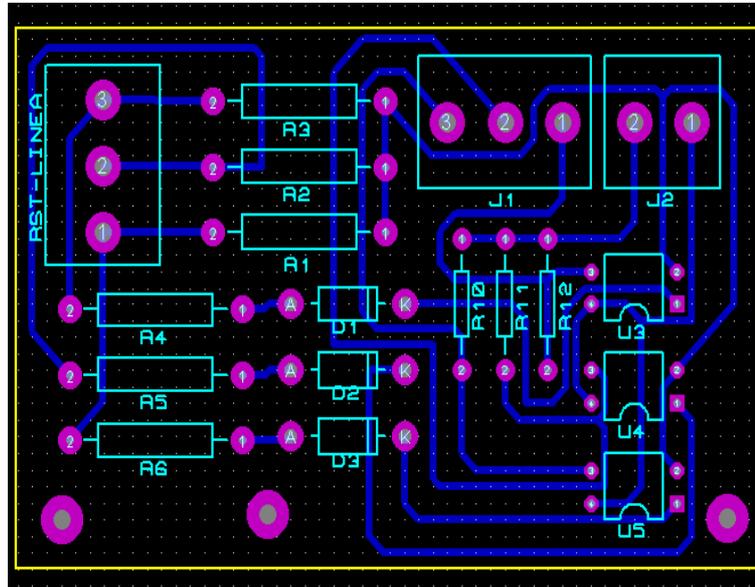


Figura 2.36 Pistas del detector de cruce por cero.

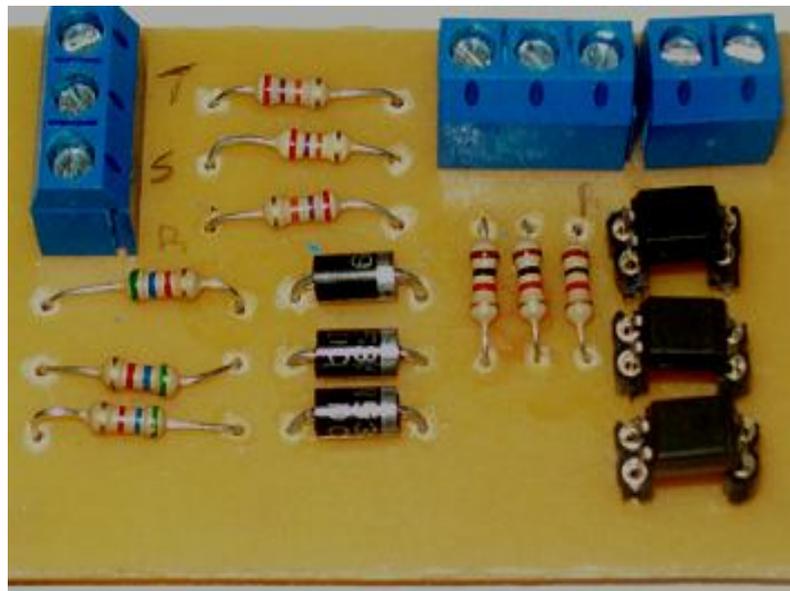


Figura 2.37 Placa final del detector de cruce por cero.

- Las pistas de la etapa de control que contiene a los Microcontroladores se la diseño en base al software ya mencionado, el resultado se muestra en las figura 2.38 y 2.39.

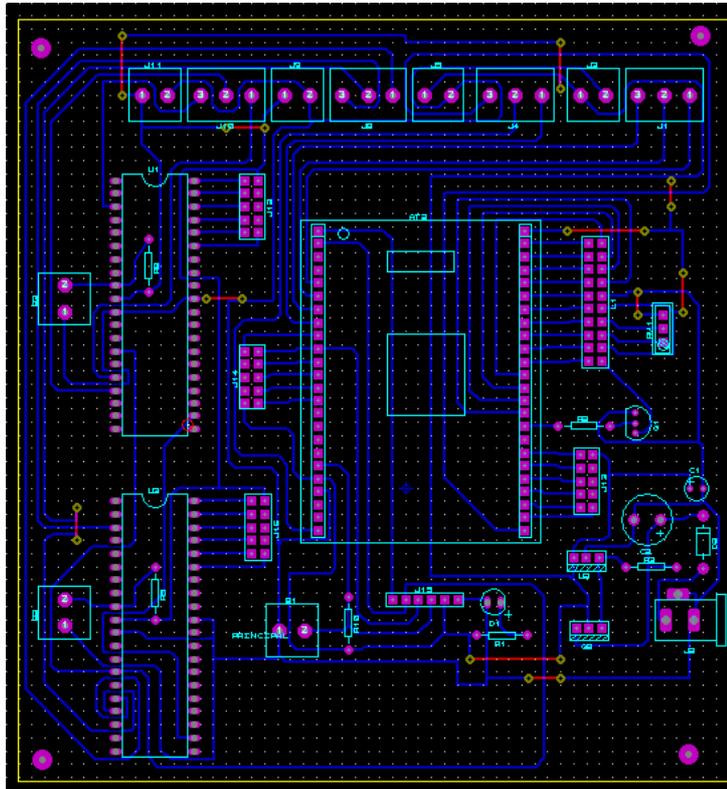


Figura 2.38 Diseño da las pistas de los Microcontroladores.

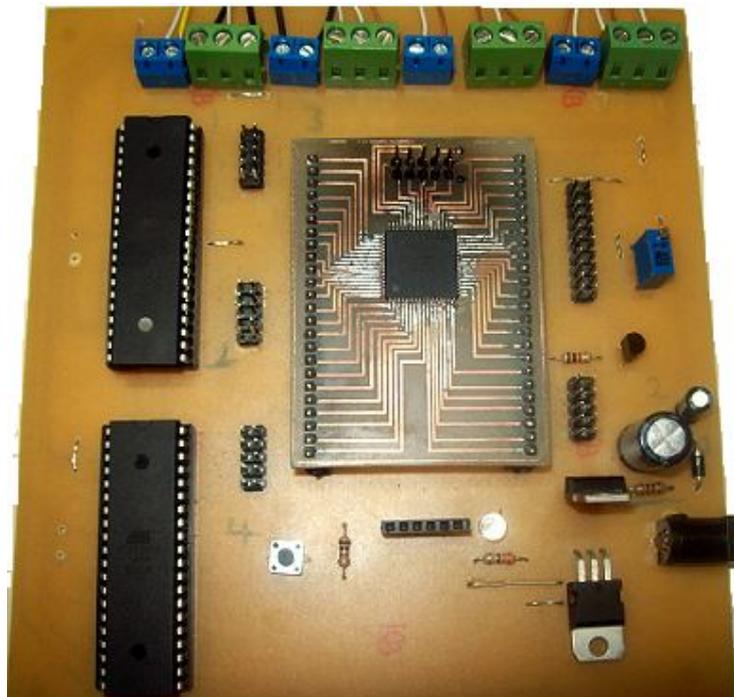


Figura 2.39 Placa de control montaje final de los elementos que conforman la placa de control.

- Culminada la parte de soldadura de los elementos en las diferentes placas, así como la verificación de que los mismos se encuentra operando de forma normal, se procede a la integración de todas las etapas que constituyen el módulo AC/DC controlado, como se muestran en la figura 2.40 y 2.41.

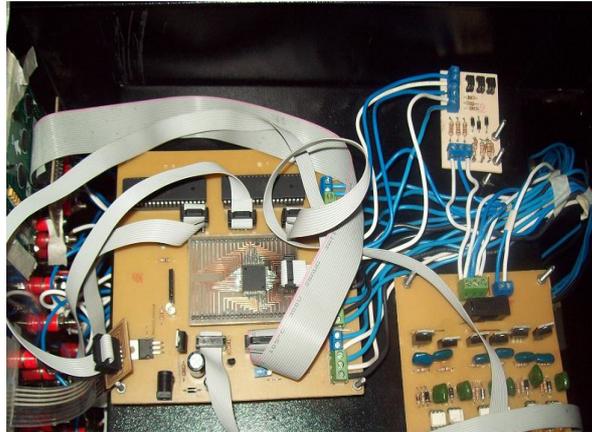


Figura 2.40 Integración de la etapa de control.



Figura 2.41 Vista frontal del módulo conversor AC/DC controlado.

2.8 OPERACIÓN DE LAS PROTECCIONES.

Para un seguro funcionamiento del equipo, así como para el usuario el módulo conversor tiene varias protecciones.

2.8.1 Protecciones

Para proteger al SCR's de su corriente máxima de operación se utilizan fusibles (de 2A) en el lado de la carga, así como en los secundarios de cada transformador

Para la protección contra las variaciones de voltaje se utilizan las redes Snubber que consiste en una combinación de diodos, condensadores y resistencias, como se indica en la figura 2.42.

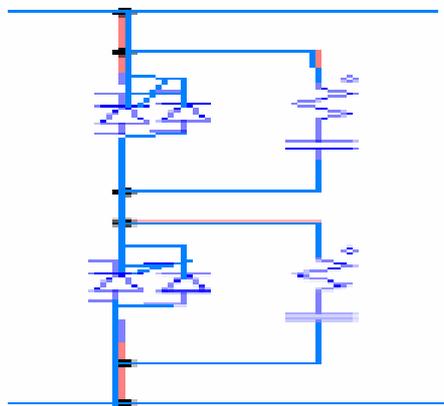


Figura. 2.42 Redes Snubbers.

2.8.3 Protección DAQ.

Para el buen funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos tomamos en cuenta las características de operatividad de la misma que soporta voltajes de +/- 20V, por lo cual se emplea las sonda de intensidad y de tensión que proporcionan una señal acondicionada y dentro de los parámetros que soporta la DAQ las mismas que se indican en las figuras 2.43 y 2.44

Rangos de operación de las sondas:

- Sonda de Intensidad.

Entrada: COM +/- 1A,+/-10A.

Salida: +/-10V

Aislación: 600V



Figura 2.43 Sonda de Intensidad.

➤ Sonda de Tensión.

Entrada: COM +/- 30V,+/-300V.

Salida: +/-10V

Aislación: 600V



Figura 2.44 Sonda de Tensión

2.8.4 Protección para la PC.

Debido a que la tarjeta DAQ está conectada directamente a la PC, y esta está protegida del voltaje de entrada a través de sondas de voltaje y corriente, permitirán a la PC trabajar en modo seguro sin ningún tipo de riesgo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 MEDICIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES AL EQUIPO

Para verificar el funcionamiento del módulo construido se implementó en el laboratorio de control eléctrico, una aplicación para el control de un motor de DC.

A través del analizador de armónicos existente en el laboratorio y del analizador construido a través de la PC se procedió a realizar la comprobación de las señales y parámetros obtenidos en ambos sistemas.

3.1.1 Conversor AC DC de 12 pulsos controlado.



Figura 3.1 Conexión del convertor de 12 pulsos acoplado a un motor DC.

La disminución de los armónicos es mucho más relevante debido al desfase que presentan la corriente y el voltaje, además de la disminución del índice de distorsión armónica y el aumento de los pulsos del convertor.

La figura 3.2 muestra el voltaje y la corriente de entrada.

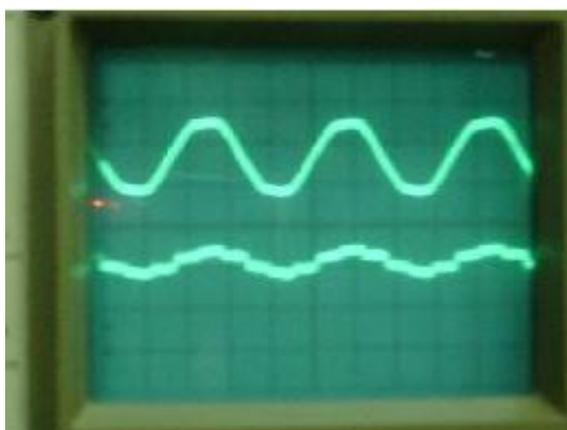


Figura 3.2 Formas de onda de voltaje y la corriente a la entrada del conversor de 12 pulsos

La siguiente figura nos muestra la forma de onda del voltaje de línea así como su voltaje de salida rectificado de 12 pulsos.

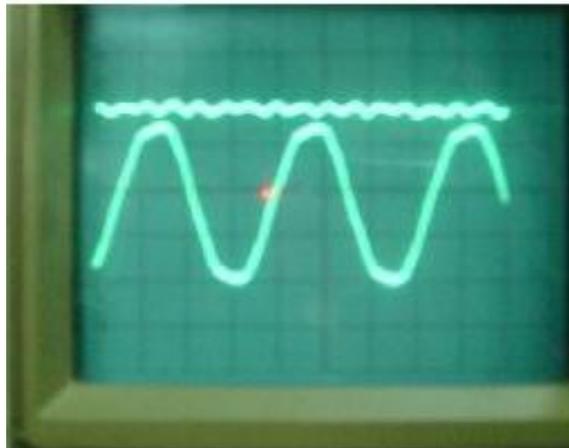


Figura 3.3 Señal de salida del conversor de 12 pulsos controlado y voltaje de entrada.

En este conversor se observa que los armónicos, se han reducido significativamente mostrando que este tipo de conversor tiene más estabilidad a nivel industrial, el %THD disminuye en comparación con los convertidores no controlados del mismo número de pulsos.

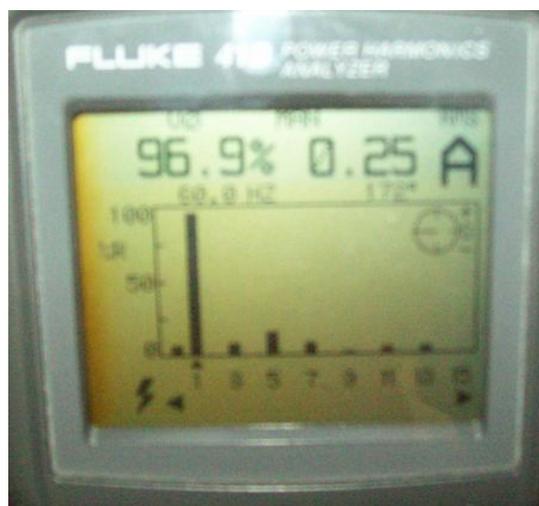


Figura 3.4 Armónicos presentes en el convertor de 12 pulsos vistos con el analizador de armónicos del laboratorio.

En la figura 3.5 se muestra las mediciones obtenidas en el analizador de señales a través de la PC, diseñado en este proyecto.

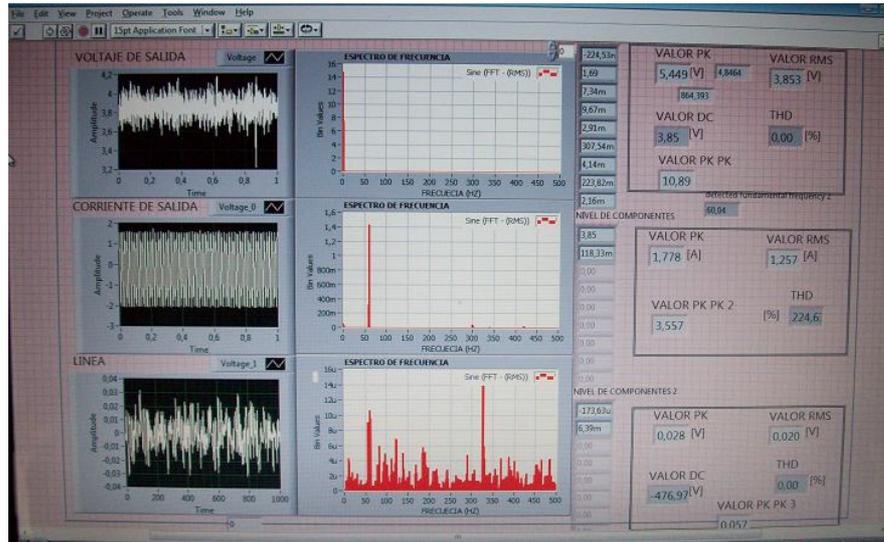


Figura 3.5 Análisis de las señales en el convertor de 12 pulsos vistos por medio de la PC.

En la Tabla 3.1 se muestran las mediciones obtenidas en el convertor de 12 pulsos

Tabla 3.1 Mediciones obtenidas en el convertor de 12 pulsos

VALORES TOMADOS EN EL CONVERTOR DE 12 PULSOS CONTROLADO			
PARÁMETROS	ANALIZADOR DE ARMÓNICOS	ANALIZADOR DE SEÑALES EN LA PC	ERROR (%)
AMPLITUD DE CORRIENTE PK	1,34	1,35	-0,74
CORRIENTE RMS(ARMS)	0,95	0,956	-0,63
FACTOR DE POTENCIA	0,95	0,95	0
FRECUENCIA FUNDAMENTAL(Hz)	60	60	0

POTENCIA ACTIVA P (W)	52	51	1,92
POTENCIA APARENTE S (VA)	54	55	-1,85
POTENCIA REACTIVA Q (VAR)	0,96	0,96	0
THD CORRIENTE (%)	24,10%	24,39%	-1,20
VOLTAJE PICO DE LINEA (V)	80,3	80,7	-0,49
VOLTAJE RMS (VRMS)	57,7	58,1	-0,69
VOLTAJE ENTRE LINEAS (V)	37,5	37,5	0
VOLTAJE DE SALIDA (V)	120	120	0
THD VOLTAJE (%)	4,30%	4,42%	-2,79

3.1.2 Conversor AC DC de 24 pulsos controlado.

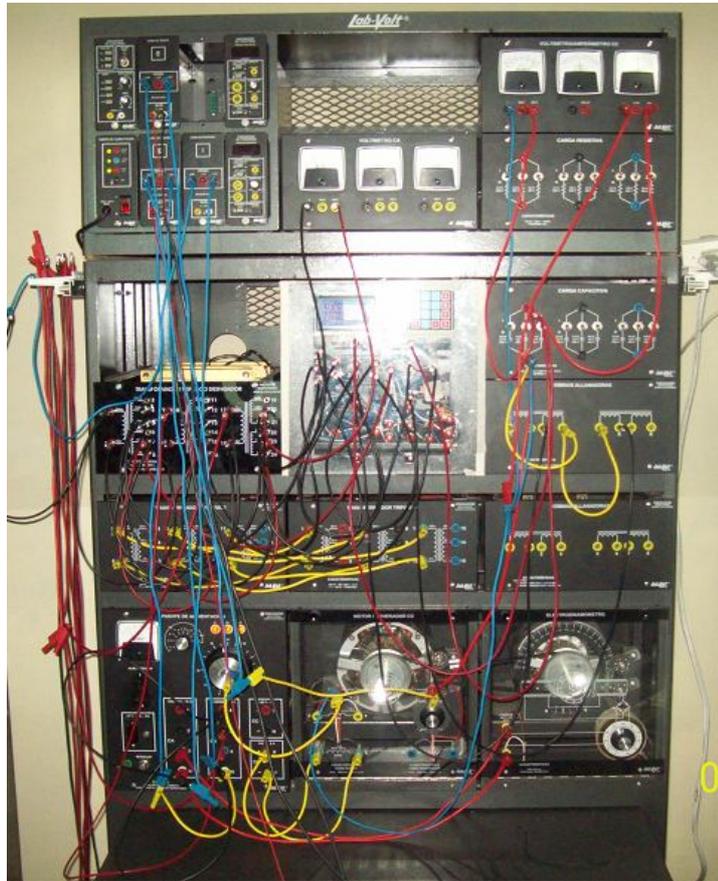


Figura 3.6 Montaje final del convertor controlado de 24 pulsos

Para constatar el funcionamiento del módulo construido se implementó en el laboratorio de control eléctrico, una aplicación para el control de un motor de DC.

Para constatar el buen funcionamiento de todo el sistema se procedió a la toma de mediciones del tipo de señal que debe obtenerse a la salida de cada etapa, para lo cual se empleo el osciloscopio, equipos de medida, el analizador a través de la PC así como un analizador de armónicos existente en el laboratorio.

En la figura siguiente se muestra la forma de onda tanto de voltaje como de corriente obtenida en la salida del convertor.

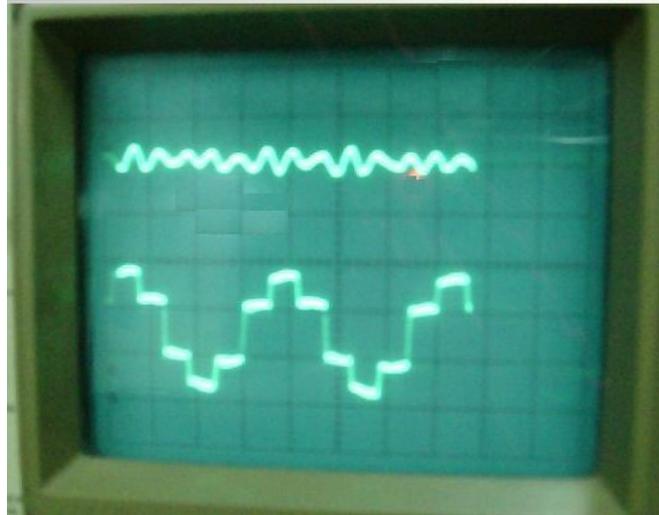


Figura 3.7 Formas de onda del conversor de 24 pulsos.

En la figura 3.8 se muestra el voltaje de línea así como el voltaje a la salida del conversor.

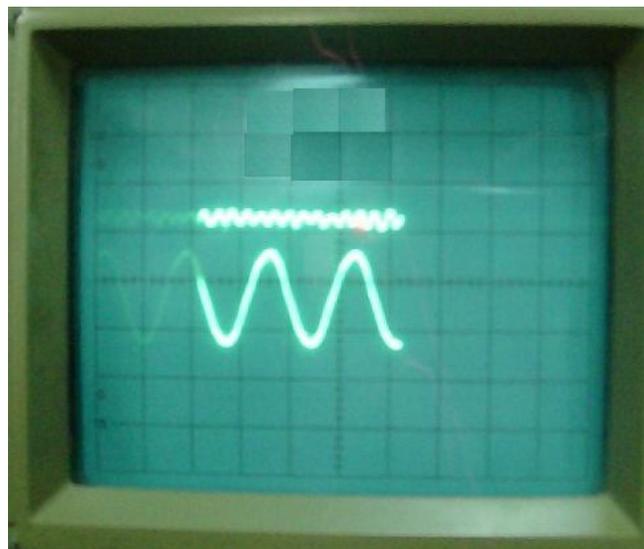


Figura 3.8 Formas de onda en la carga.

Al realizar el análisis de los armónicos presentes en el conversor de 12 pulsos controlado con respecto al de 24 pulsos controlado se notó claramente la superioridad y mejor desempeño de este conversor debido a la disminución de los armónicos para este caso el 5to y 7mo, demostrándose así que a mayor número de pulsos estos tienden a atenuarse y de manera similar el %THD se reduce.

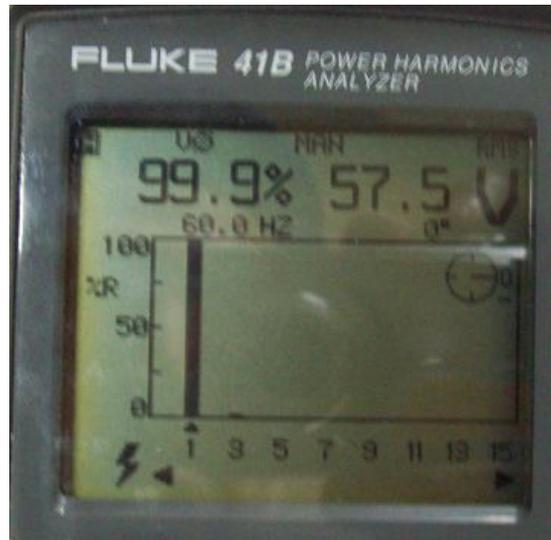


Figura 3.9 Armónicos presentes en el convertor de 24 pulsos empleando el analizador de armónicos.

En la figura siguiente se muestra todas las señales tomadas a través de la DAQ y analizadas a través de software en la PC.

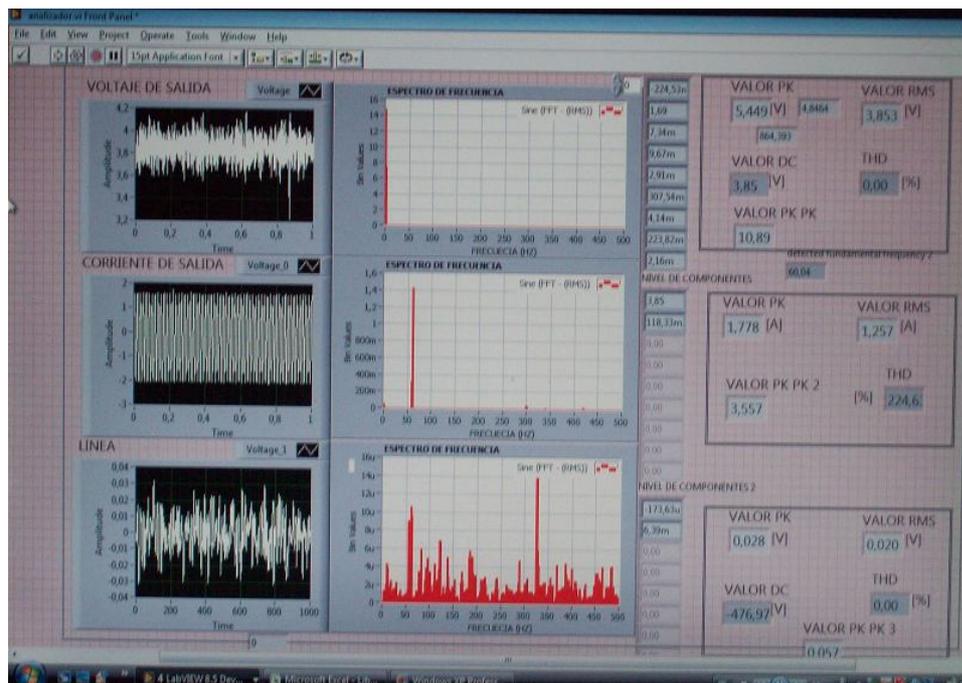


Figura 3.10 Análisis de las señales del convertor AC/DC de 24 pulsos controlado empleando la PC.

En la presente tabla se muestran todos los valores de las diferentes señales del convertidor de 24 pulsos controlado.

Tabla 3.1 Mediciones obtenidas en el convertidor de 24 pulsos.

VALORES TOMADOS EN EL CONVERTOR DE 24 PULSOS CONTROLADO			
PARÁMETROS	ANALIZADOR DE ARMÓNICOS	ANALIZADOR DE SEÑALES EN LA PC	ERROR (%)
AMPLITUD DE CORRIENTE PK	1,34	1,35	-0,74
CORRIENTE RMS(ARMS)	0,95	0,956	0,63
FACTOR DE POTENCIA	0,98	0,95	3,06
FRECUENCIA FUNDAMENTAL(Hz)	60	60	0
POTENCIA ACTIVA P (W)	52	49	5,76
POTENCIA APARENTE S (VA)	54	55	-1,85
POTENCIA REACTIVA Q (VAR)	0,96	0,96	0
THD CORRIENTE (%)	24,10	24,39	-1,20
VOLTAJE PICO DE LINEA (V)	80,3	80,7	-0,49
VOLTAJE RMS (VRMS)	57,7	58,1	-0,69
VOLTAJE ENTRE LINEAS (V)	30,5	30,2	0,98
VOLTAJE DE SALIDA (V)	120	120	0
THD VOLTAJE (%)	4,30	4,42	-2,79

3.2 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Las mediciones obtenidas en el analizador de armónicos existente en el laboratorio así como en el construido son muy similares lo que brinda una mayor seguridad al utilizar el equipo con un bajísimo porcentaje de error.

De las mediciones se notó que la corriente de línea tiende a ser senoidal con el aumento del número de pulsos.

El factor de potencia para estos convertidores se incrementa con respecto a los convertidores de menor número de pulsos.

En el convertidor de 24 pulsos la potencia activa aumenta, lo que nos permitiría aumentar la carga a este convertidor.

3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.

Una vez analizado el sistema se determinó el cumplimiento de los objetivos propuestos y se anota a continuación las siguientes limitaciones.

- Debido a que los microprocesadores presentan un número específico de salidas, esto dificultó una variación pequeña de los ángulos de disparo, para este caso un control discreto no menor a 4° .

3.4 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.

Una vez culminado con todas las pruebas técnicas realizadas al equipo este cumplió con todos los objetivos para los cuales fué construido.

Para la implementación del convertidor se utilizó los equipos existentes en el laboratorio.

En la siguiente tabla se presenta un listado de todos los materiales empleados en la construcción del conversor de 12 y 24 pulsos así como sus costos en el mercado (al mes de junio del 2009).

Tabla 3.6 Detalle de los costos de los componentes.

Item	Cantidad	Descripción	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
1	24	Resistencias 1,2 k ohmios	0,14	3,36
2	24	Resistencias 330 ohmios	0,14	3,36
3	24	Resistencias 180 ohmios	0,14	3,36
4	32	Resistencias 1k ohmios	0,14	4,48
5	12	Resistencias 10 k ohmios	0,14	1,68
6	12	Resistencias 180 k ohmios	0,14	1,68
7	30	Resistencias 39 ohms	0,14	4,2
8	12	Resistencias 26 k ohmios	0,14	1,68
9	12	Resistencias 5,6 k omios	0,14	1,68
10	12	N539	0,15	1,8
11	12	Detector cruce por cero blu 9, pc 817	0,7	8,4
12	30	Capacitores de alta potencia 10 nf	0,5	15
13	30	Capacitores de alta potencia 100 nf	0,5	15
14	30	SCR's BT151	1	30
15	30	Opto triacs MOC 3010	0,5	15
16	25	Diodos 1n4007	0,15	3,75
17	30	Leds tomate	0,1	3

18	5	Espadin para zócalo	0,15	0,75
19	50	Res general	0,05	2,5
20	30	Borneras 2p	0,25	7,5
21	9	Placas	20	180
22	1	Microcontrolador ATmega 164 p	30	30
23	1	Regulador de voltaje 7805	1	1
24	12	2n3904	0,5	6
25	1	Tip 127	1,5	1,5
26	1	Led rojo infrarojo	0,25	0,25
27	2	Microcontrolador ATmega 128at	20	40
28	1	Led gráfico	18	18
29	1	Teclado	5	5
30	2	Cable de bus de datos	1	2
31	1	Fuente de 12 voltios	9	9
32	1	Mica solida 60 x 60 cm.	50	50
33	35	Cable solido #18	0,25	8,75
34	50	Tornillos	0,05	2,5
35	150	Tuercas	0,02	3
36	1	Gaveta de tol	40	40
37	1	Barniz spray	4	4
38	1	Adhesivo plástico para el modulo	25	25
39	12	Porta fusibles	0,75	9
40	1	Switch	0,5	0,5
41	10	Estaño	0,5	5
42	5	Silicona	0.20	1.00

43	1	DAQ USB 6009 NI	409.75	409.75
				975.43

Suman un total de 575.43 dólares americanos sin tomar en cuenta el costo de la tarjeta DAQ USB 6009 NI.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del desarrollo del presente trabajo realizado, se ponen a consideración las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el proyecto al fin de aportar a futuros proyectos.

4.1 CONCLUSIONES.

- Se logró cumplir con el objetivo principal, que es el diseño y construyó de un conversor AC/DC controlado de 12 y 24 pulsos, así como un analizador de armónicos a través de la PC.
- Los módulos de las sondas de tensión y corriente, realizan el acondicionamiento de las señales del conversor, las cuales se ingresan a la DAQ para su análisis en la PC.
- El análisis de los armónicos de tensión y corriente, y los diferentes parámetros eléctricos se los realizó en el analizador diseñado y contrastado con el analizador físico del laboratorio.

- El analizador de espectros se diseñó e implementó en la parte de hardware utilizando las sondas de voltaje y corriente y en la parte de software se utilizó LABVIEW 8.5, lo que permite al usuario un mejor entendimiento y visualización de los conceptos teóricos.

- El empleo de bobinas allanadoras permite el balanceo de las cargas eléctricas de cada convertidor de 6 pulsos lo que permite un voltaje de salida estable, pero no permiten observar los pulsos de voltaje de salida del convertidor de 24 pulsos.

- Las corrientes de alimentación presentan componentes armónicos, en este caso del 5to y 7mo orden, debido a la operación misma del convertidor, a las tolerancias de los elementos y a la señal de la fuente de alimentación que no es puramente sinusoidal.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Antes de operar el equipo se debe leer cuidadosamente el manual de usuario y guías de laboratorio, para prevenir daños al mismo y al equipo.

- Para el funcionamiento correcto del convertidor, la secuencia de fase debe ser positiva.

- Las señales a monitorear deben tomarse a través de las sondas de tensión y de corriente disponibles en el laboratorio.

- La etapa de control debe conectarse a una fuente monofásica de 110V.

- Utilizar elementos y equipos en buen estado para la implementación de estos convertidores.

BIBLIOGRAFIA Y ENLACES

- MOHAN, Underlan, Robbins, "POWER ELECTRONICS CONVERTER, APPLICATIONS, AND DESIGN" , pag 9

- DE HANS Gumhalter, "SISTEMAS DE ALIMENTACION DE ENERGIA PARA LAS TELECOMUNICACIONES", Parte 1Principios básicos, Pags90-92

- DE HANS Gumhalter, "SISTEMAS DE ALIMENTACION DE ENERGIA PARA LAS TELECOMUNICACIONES", Parte 1 Principios básicos, Pags92-98
- DE HANS Gumhalter, "SISTEMAS DE ALIMENTACION DE ENERGIA PARA LAS TELECOMUNICACIONES", Parte 1 Principios básicos, Pags99-103
- http://woody.us.es/~leopoldo/Store/tsp_13.pdf (marzo 2009)
- <http://metis.umh.es/jacarrasco/docencia/ei/Tema7/Tema7.pdf> (marzo 2009)
- <http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor%20potencia.pdf>(marzo 2009)
- <http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf> (marzo 2009)
- http://es.wikipedia.org/wiki/Distorsi%C3%B3n_arm%C3%B3nica (julio 2009)
- <http://iaci.unq.edu.ar/Materias/Cont.Digital/Apuntes/ApuntePagina/02Introduccion.pdf> (marzo 2009)
- <http://www.monografias.com/trabajos22/manipulacion-datos/manipulacion-datos.shtml> (marzo 2009)
- http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos (marzo 2009)
- <http://apuntes.rincondelvago.com/motores-de-corriente-continua.html> (junio 2009)

ANEXOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

AC: Alternating Current. Corriente alterna.

Acoplamiento magnético: Influencia mutua entre 2 inductores o más que causa que aparezca un campo magnético en una bobina cuando circula corriente por otra.

Aislamiento galvánico: El aislamiento galvánico incorporado en el convertidor separa el circuito de entrada del circuito de salida, esto hace posible cambios de polaridad o la obtención de salidas flotantes.

Ángulo de fase: Es la diferencia de fase entre dos ondas senoidales, usualmente debido a que en el circuito existen capacitores (condensadores) o inductores (bobinas)

Amplificador Operacional: El nombre de *amplificador operacional* deriva del concepto de un amplificador DC (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación.

Armónicos: Se denominan armónicos a las ondas de tensión o de corriente cuyas frecuencias son varias veces mayor que la frecuencia fundamental de la red.

B

Bobinado: Cada uno de los lados de un transformador, realizado con muchas espiras arrolladas sobre un núcleo magnético. Estos bobinados se llaman primario y secundario, respectivamente.

C

Campo magnético: Distribución de la energía magnética en el espacio, creada por un imán o un flujo de corriente.

Configuración en delta: Método trifásico de conexión en que los devanados individuales se conectan de una forma que aparece esquemáticamente en la forma de la letra griega delta Δ .

Configuración en estrella: Método trifásico de conexión en el que los tres voltajes de fase se conectan para formar un punto neutro, mostrado esquemáticamente mediante la letra Y.

D

DC: Direct Current. Corriente Continua.

Densidad de flujo: Variable que describe el esfuerzo de un campo magnético. Medida en teslas, unidad que equivale a un weber por metro cuadrado.

Diodo de conmutación: Diodo situado entre bornes de la carga para llevar su corriente cuando se desconecta el semiconductor de potencia. Asiste en conmutación o desconexión, al interruptor de potencia.

E

Efecto pelicular: En corriente continua, la densidad de corriente es similar en todo el conductor, pero en corriente alterna se observa que hay una mayor densidad de corriente en la superficie que en el centro. Este fenómeno se conoce como efecto pelicular, efecto skin o efecto Kelvin.

EMC: Electromagnetic Compatibility. Compatibilidad Electromagnética.

F

F.C.E.M. Fuerza Contra-electromotriz: También llamada contravoltaje, es el voltaje generado por el devanado de armadura del motor en oposición a la fuente de voltaje aplicada, en otras palabras fuerza que tiene la misma dimensión física que la f.e.m. pero de signo contrario.

F.E.M. Fuerza electromotriz: Energía que el generador suministra para que las unidades de carga atraviesen todo el circuito. Su unidad es el voltio, es igual a un julio dividido por un C. La f.e.m. no se trata realmente de una fuerza, sino de una energía por unidad de carga; tampoco es una d.d.p. aunque también se mida en voltios, muy al contrario, la d.d.p. es la consecuencia de la f.e.m.

F.M.M. Fuerza Magnetomotriz: Es la causa capaz de establecer el flujo en un circuito magnético, formado, normalmente, por sustancias ferromagnéticas.

Factor de potencia: Es la relación que existe entre la potencia real dada por la fórmula $P = I^2 R$ y la potencia aparente dada por la fórmula $S = V I$.

Fase: Posición de una forma de onda con respecto a otra de la misma frecuencia, expresado en grados. 360° representa un ciclo completo.

Fasor: Vector giratorio. Herramienta útil para el análisis de circuitos de corriente alterna

Filtro: Circuito selectivo, que permite el paso de ciertas frecuencias, mientras bloquea las restantes.

Flujo magnético: Líneas que describen la orientación espacial del efecto magnético.

G

GAP: Entrehierro parte del circuito magnético de las máquinas eléctricas rotativas y de los electroimanes, que requiere la mayor proporción de la fuerza magnetomotriz; por ejemplo, el espacio que hay entre el rotor y el estator de un motor, o entre la armadura y el núcleo de un electroimán.

H

H: Símbolo de la intensidad de campo.

Hertzio: Unidad de frecuencia su símbolo es Hz. Equivale a un ciclo por segundo.

Henrio: Unidad de inducción o autoinducción; autoinducción de un circuito en el que la Variación de intensidad en 1 A/s crea una f.e.m. autoinducida de un voltio; su símbolo es H.

Histéresis: Valor máximo de la diferencia entre las medidas de un mismo valor en sentido creciente y decreciente de la variable. Se suele expresar en forma porcentual sobre el alcance del instrumento.

I

Intensidad: Su símbolo es I y su unidad de medida es el amperio; cantidad de energía que atraviesa la sección recta de un conductor en la unidad de tiempo. La I que pasa por un conductor es igual a la diferencia de potencial entre sus extremos, dividida por la resistencia.

Intensidad de campo coercitiva o fuerza coercitiva: La mínima intensidad de campo magnético inverso que hay que aplicar a un material para reducir la densidad de flujo magnético a cero.

L

Ley de Lenz: Nos dice que las fuerzas electromotrices o las corrientes inducidas serán de un sentido tal que se opongan a la variación del flujo magnético que las produjeron. Esta ley es una consecuencia del principio de conservación de la energía.

M

Motor de DC: Una máquina que produce energía mecánica cuando se alimenta con una corriente continua. Hay tres tipos principales: el motor de devanado serie, el motor de devanado en derivación y el motor de devanado compuesto.

N

NEUTRO (de una conexión estrella): Punto central donde los tres devanados de fase individuales se conectan.

P

Potencia: La velocidad a la que se realiza un trabajo o se convierte energía de una forma a otra.

Potencia Activa (P): Su unidad es el vatio (W) y representa la potencia realmente transformada en el receptor.

Potencia Aparente (S): Su unidad es el voltamperio (VA). En un circuito de AC el producto de los valores eficaces de la tensión y su corriente asociada.

Potencia Reactiva (Q): Su unidad es el voltamperio reactivo (VAR). Esta potencia en su mayoría es de carácter inductivo, por lo que para mejorar el factor de potencia bastará con poner en paralelo un condensador o batería de condensadores de valor adecuado que compense el efecto inductivo.

Primario de un transformador: Bobina primaria de un transformador que está conectada a la corriente alterna que se quiere transformar.

R

Rango: Conjunto de valores de la variable que puede medir el instrumento. Se especifica mediante el límite inferior y el superior.

Reactancia: Oposición que presenta un dispositivo almacenador de energía (capacitor–condensador o inductor – bobina) al flujo de la corriente. Se mide en Ohms.

Rectificador: Circuito que convierte la corriente Alterna (AC) en corriente continua (DC). Su finalidad es permitir el paso de la corriente alterna en un solo sentido. Consta de dos bornes de conexión, ánodo y cátodo con un cuerpo intermedio que presenta una baja resistencia al paso de la corriente cuando ésta circula desde el ánodo hacia el cátodo mientras que en sentido contrario presenta una resistencia muy grande y apenas pasa corriente.

Relación de transformación:

1. En un transformador de alimentación, la relación que hay entre la tensión en los terminales del devanado de menor tensión y la que existe entre los terminales del devanado de mayor tensión sin carga.
2. En un transformador de instrumento, la relación entre la magnitud medida (corriente o tensión) en el devanado primario y la corriente o tensión del devanado secundario.

Relación de vueltas: Cociente entre el número de espiras entre el primario y el secundario de un transformador. $N_p / N_s = V_p / V_s$.

Reluctancia: Es la resistencia que éste posee a verse influenciado por un campo magnético. Se define como la relación entre la fuerza magnetomotriz (*f.m.m.*) (S.I: Amperio vuelta) y el flujo magnético (S.I: Weber).

S

Secundario de un transformador: bobina secundaria de un transformador en la cual el campo magnético que la atraviesa (el mismo que en el primario) produce una C.A. de la misma frecuencia que la del primario pero distinta intensidad y tensión.

Semiconductor: material que solo admite el paso de la corriente eléctrica (electrones) en un sentido mientras que en el sentido contrario opone una gran resistencia.

Serie de Fourier: Una serie empleada en el análisis armónico. Si una función $g(x)$, finita y univaluada, es recurrente, o puede considerarse recurrente en sucesivos intervalos de 2π de la variable x , de manera que $g(x) = g(x+2m\pi)$, para todos los valores enteros de m , es posible representarla por una síntesis de ondas senoidales de periodo fundamental 2π y de varios órdenes armónicos enteros.

T

Tensión de transformador: Tensión del secundario de un transformador sin carga.

Tensión de fase: Tensión existente entre los terminales de un mismo arrollamiento o fase. También se denomina tensión simple.

Tensión de línea: Tensión existente entre dos hilos de la línea. También llamada tensión compuesta.

Tensión eficaz: Valor eficaz de una tensión alterna; equivale al producto de 0,707 por el valor máximo, en una corriente senoidal.

Tensión instantánea: Valor que adquiere la tensión en un instante dado.

Tensión máxima: Valor máximo de una tensión; suele aplicarse al valor de pico de una corriente alterna.

Tensión inversa de pico: Tensión inversa máxima que puede soportar un diodo rectificador sin que produzca disrupción ni hacerse conductor.

THD: distorsión armónica total que es precisamente, la cantidad de armónicos que el equipo introduce y que no estaban en la señal original.

V

VDE: las normas VDE constituyen uno de los conjuntos más completos y coherentes en el campo de la EMC (Campo Electromagnético).

W

Watio: Unidad de medida de la potencia con relación a la energía (Julio) y al tiempo (segundo). Indicada con la letra "W".

PROGRAMA ATMEL 128

```
$regfile = "m128def.DAT"  
$lib "glcdKS108.lib"  
$crystal = 8000000  
$baud = 1200  
Dim A As Byte , T100us As Word , Salir As Byte , Dato As Byte , Tecla As Byte ,  
Cnt1 As Byte , Cnt2 As Byte , Cnt3 As Byte , Cnt4 As Byte , Cnt5 As Byte , Cnt6 As  
Byte  
Dim E1 As Bit , E2 As Bit , E3 As Bit , E4 As Bit , E5 As Bit , E6 As Bit , Alfa1 As  
Byte , Alfa2 As Byte , Alfa3 As Byte , Alfa4 As Byte , Alfa44 As Byte , Alfa5 As Byte ,  
Alfa55 As Byte , Alfa6 As Byte , Alfa66 As Byte  
Ddrc.1 = 1 : Portc.1 = 1  
Config Graphlcd = 128 * 64sed , Dataport = Porta , Controlport = Portc , Ce = 6 ,  
Ce2 = 7 , Cd = 5 , Rd = 4 , Reset = 2 , Enable = 3  
Config Timer1 = Timer , Prescale = 1  
On Timer1 Tiempo  
Enable Timer1  
Config Int4 = Rising 'R1  
Config Int5 = Rising 'S1  
Config Int6 = Rising 'T1  
Config Int7 = Rising 'R2  
Config Int0 = Rising 'S2  
Config Int1 = Rising 'T2  
On Int7 Disparo_r2  
On Int0 Disparo_s2  
On Int1 Disparo_t2  
On Int4 Disparo_r1  
On Int5 Disparo_s1  
On Int6 Disparo_t1  
Enable Int4  
Enable Int5  
Enable Int6  
Enable Int7  
Enable Int0  
Enable Int1  
Disable Interrupts  
Opto1 Alias Portb.5  
Opto2 Alias Portb.4  
Opto3 Alias Portb.3  
Opto4 Alias Portb.2  
Opto5 Alias Portb.1  
Opto6 Alias Portb.0  
Opto11 Alias Portd.7  
Opto22 Alias Portd.6  
Opto33 Alias Portd.5  
Opto44 Alias Portd.4
```

```
Opto55 Alias Portd.3
Opto66 Alias Portd.2
SetFont Font8x8
Ddre.4 = 0 : Porte.4 = 1
Ddre.5 = 0 : Porte.5 = 1
Ddre.6 = 0 : Porte.6 = 1
Ddre.7 = 0 : Porte.7 = 1
Ddrd.0 = 0 : Portd.0 = 1
Ddrd.1 = 0 : Portd.1 = 1
```

```
Ddrb = 255
Ddrd = &B11111100
Portb = 255
Portd = 255
Ddrf = &B00001111
Portf = &B11111111
X1 Alias Portf.0
X2 Alias Portf.1
X3 Alias Portf.2
X4 Alias Portf.3
Y1 Alias Pinf.4
Y2 Alias Pinf.5
Y3 Alias Pinf.6
Y4 Alias Pinf.7
T100us = 64736
Timer1 = T100us
Alfa1 = 52
Alfa2 = 52
Alfa3 = 52
Alfa4 = 52
Alfa5 = 52
Alfa6 = 52
Portb = 0
```

```
' Reset Opto1 : Wait 1
' Reset Opto2 : Wait 1
' Reset Opto3 : Wait 1
' Reset Opto4 : Wait 1
' Reset Opto5 : Wait 1
' Reset Opto6 : Wait 1
Cls
Gosub Scr1
Wait 2
Portb = 255
```

```
Enable Interrupts
Do
```

```

Gosub Scr2
Salir = 0
Dato = 16
Do
  Gosub Teclado
  Select Case Dato
    Case 1:
      Dato = 16
      Gosub Scr3
      Do
        Lcdat 7 , 60 , Alfa1 ; " "
        Gosub Teclado
        If Dato = 12 Then
          Dato = 16
          If Alfa1 < 53 Then
            Incr Alfa1
            Incr Alfa2
            Incr Alfa3
            Incr Alfa4
            Incr Alfa5
            Incr Alfa6
          End If
        End If
        If Dato = 13 Then
          Dato = 16
          If Alfa1 > 1 Then
            Decr Alfa1
            Decr Alfa2
            Decr Alfa3
            Decr Alfa4
            Decr Alfa5
            Decr Alfa6
          End If
        End If
        If Dato = 10 Then Salir = 1
      Loop Until Salir = 1
    Case 2:
      Dato = 16
      Cls
      Do
        Gosub Scr3
        Gosub Teclado
        If Dato = 10 Then Salir = 1
      Loop Until Salir = 1
  End Select
Loop Until Salir = 1
Loop

```

```
Disparo_r1:  
  Waitus 10  
  If Pine.4 = 1 Then  
    E1 = 1  
    Set Opto1  
    Config Int4 = Falling  
  Else  
    E4 = 1  
    Set Opto4  
    Config Int4 = Rising  
  End If
```

```
Return
```

```
Disparo_s1:  
  If Pine.5 = 1 Then  
    E2 = 1  
    Set Opto2  
    Config Int5 = Falling  
  Else  
    E5 = 1  
    Set Opto5  
    Config Int5 = Rising  
  End If
```

```
Return
```

```
Disparo_t1:  
  If Pine.6 = 1 Then  
    E3 = 1  
    Set Opto3  
    Config Int6 = Falling  
  Else  
    E6 = 1  
    Set Opto6  
    Config Int6 = Rising  
  End If
```

```
Return
```

```
Disparo_r2:
```

```
Return
```

```
Disparo_s2:
```

```
Return
```

```
Disparo_t2:
```

```
Return
```

```
Tiempo:
```

```
  Timer1 = T100us
```

```
Alfa44 = Alfa4 + 25
```

```
Alfa55 = Alfa5 + 25
```

Alfa66 = Alfa6 + 25

```
If E1 = 1 Then Incr Cnt1
If E2 = 1 Then Incr Cnt2
If E3 = 1 Then Incr Cnt3
If E4 = 1 Then Incr Cnt4
If E5 = 1 Then Incr Cnt5
If E6 = 1 Then Incr Cnt6
If Alfa1 = 53 Then
  Set Opto1
  Set Opto2
  Set Opto3
  Set Opto4
  Set Opto5
  Set Opto6
Else
If Cnt1 = Alfa1 Then
  Cnt1 = 0
  E1 = 0
  Reset Opto1
End If
If Cnt2 = Alfa2 Then
  Cnt2 = 0
  E2 = 0
  Reset Opto2
End If
If Cnt3 = Alfa3 Then
  Cnt3 = 0
  E3 = 0
  Reset Opto3
End If
If Cnt4 = Alfa44 Then
  Cnt4 = 0
  E4 = 0
  Reset Opto4
End If
If Cnt5 = Alfa55 Then
  Cnt5 = 0
  E5 = 0
  Reset Opto5
End If
If Cnt6 = Alfa66 Then
  Cnt6 = 0
  E6 = 0
  Reset Opto6
End If
End If
```

Return

'****SUBROUTINA DE TECLADO*****'

Teclado:

```
Tecla = 16
X1 = 0
If Y1 = 0 Then Tecla = 15
If Y2 = 0 Then Tecla = 14
If Y3 = 0 Then Tecla = 13
If Y4 = 0 Then Tecla = 12
X1 = 1
X2 = 0
If Y1 = 0 Then Tecla = 11
If Y2 = 0 Then Tecla = 9
If Y3 = 0 Then Tecla = 6
If Y4 = 0 Then Tecla = 3
X2 = 1
X3 = 0
If Y1 = 0 Then Tecla = 0
If Y2 = 0 Then Tecla = 8
If Y3 = 0 Then Tecla = 5
If Y4 = 0 Then Tecla = 2
X3 = 1
X4 = 0
If Y1 = 0 Then Tecla = 10
If Y2 = 0 Then Tecla = 7
If Y3 = 0 Then Tecla = 4
If Y4 = 0 Then Tecla = 1
X4 = 1
If Tecla < 16 Then
  Dato = Tecla
  Waitms 200
End If
```

Return

'*****'

```
$include "font8x8.font"
Marg:
Showpic 0 , 0 , Margen : Return
Scr1:
Showpic 0 , 0 , _scr1 : Return
Scr2:
Showpic 0 , 0 , _scr2 : Return
Scr3:
Showpic 0 , 0 , _scr3 : Return
```

Margen:

```
$bgf "blanco.bgf"  
_scr1:  
$bgf "SCR1.bgf"  
_scr2:  
$bgf "SCR2.bgf"  
_scr3:  
$bgf "SCR3.bgf"
```

PROGRAMA ATMEL 164 PIC # 1

```
$regfile = "m164pdef.DAT"  
$crystal = 8000000  
$baud = 1200  
Dim A As Byte , Salir As Byte , Dato As Byte  
  
Do  
  
LoopP1  
$regfile = "m164pdef.DAT"  
$crystal = 8000000  
$baud = 1200  
Dim A As Byte , Salir As Byte , Dato As Byte  
Dim Id As Byte , Iniciar As Byte , Valor As Byte  
  
Id1 = "X"  
Id2 = "Y"  
Do  
    A = Inkey()  
    If A = Id1 Then Iniciar = 1  
    If A = Id2 Then Iniciar = 0  
    If A < 60 Then Valor = A  
Loop
```

PROGRAMA ATMEL 164 PIC # 2

```
$regfile = "m164pdef.DAT"  
$crystal = 8000000  
$baud = 1200  
Dim A As Byte , Salir As Byte , Dato As Byte  
  
Do  
  
Loop
```

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO – LATACUNGA

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA

PRÁCTICA No 1

A. TEMA: CONVERTOR AC/DC DE DOCE PULSOS CONFIGURACIÓN $\Delta d y_{11}$

B. OBJETIVOS:

1. Familiarizarse con el funcionamiento del convertor AC/DC de doce pulsos configuración $\Delta d y_{11}$.
2. Observar las formas de onda de voltajes y corrientes en distintos puntos del sistema de rectificación.
3. Analizar el contenido y orden de los armónicos presentes en la línea de alimentación de este convertor

C. TRABAJO PREPARATORIO:

1. ¿Cuál es el valor del voltaje teórico medio de salida para este tipo de convertor?
2. Dibuje la forma de onda de salida de voltaje del convertor AC/DC de doce pulsos configuración $\Delta d y_{11}$.
3. ¿Cuál es el tiempo de conducción de cada SCR's en este convertor?

D. FUNDAMENTO TEÓRICO:

Convertor AC/DC controlado de 12 pulsos

Descripción general.

El sistema de 12 pulsos se utiliza ya sea para amplificar voltaje o corriente en la carga esto se hace conectando dos rectificadores de 6 pulsos en serie o en paralelo respectivamente.

La corriente que el rectificador absorbe de la red es la misma, independiente de la configuración utilizada, por lo que una secuencia inmediata en el uso de un rectificador de 12 pulsos desde el punto de vista armónico es el menor nivel de distorsión que este causa en el Punto de Acoplamiento Común (PCC).

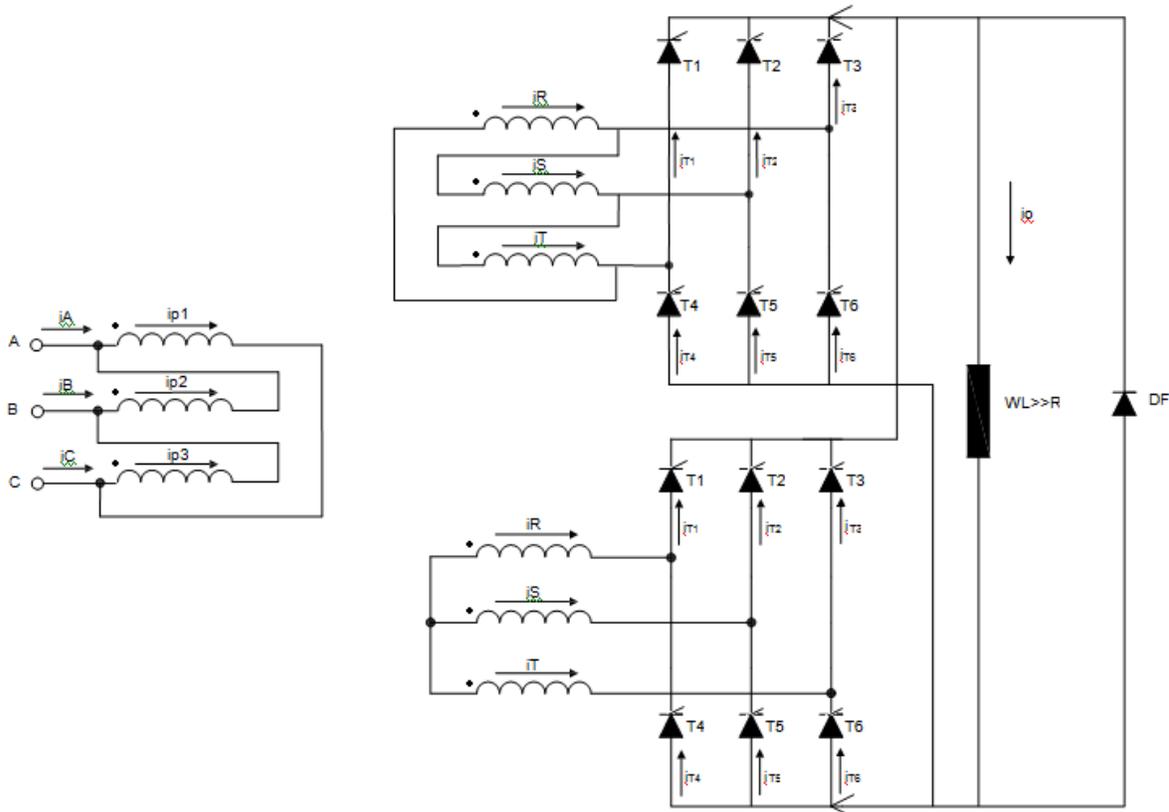


Figura 1.1. Conversor AC/DC controlado de 12 pulsos, asociación en paralelo

Las dos unidades son alimentadas mediante un transformador con dos secundarios (transformador desfasador) o a través de 2 transformadores.

La conexión de alimentación de los rectificadores debe ser: uno en “estrella” y el otro en “delta”, refiriéndose a los secundarios del transformador. Esto produce un desfase de 30° eléctricos entre los respectivos voltajes de alimentación de los rectificadores, consiguiendo de esta manera un voltaje de salida del rectificador (Barra DC) con menor nivel de fluctuación (rizado), además de una corriente de línea en el primario

del transformador de alimentación con una característica más sinusoidal (con menor distorsión de corriente), con respecto al convertor de 6 pulsos.

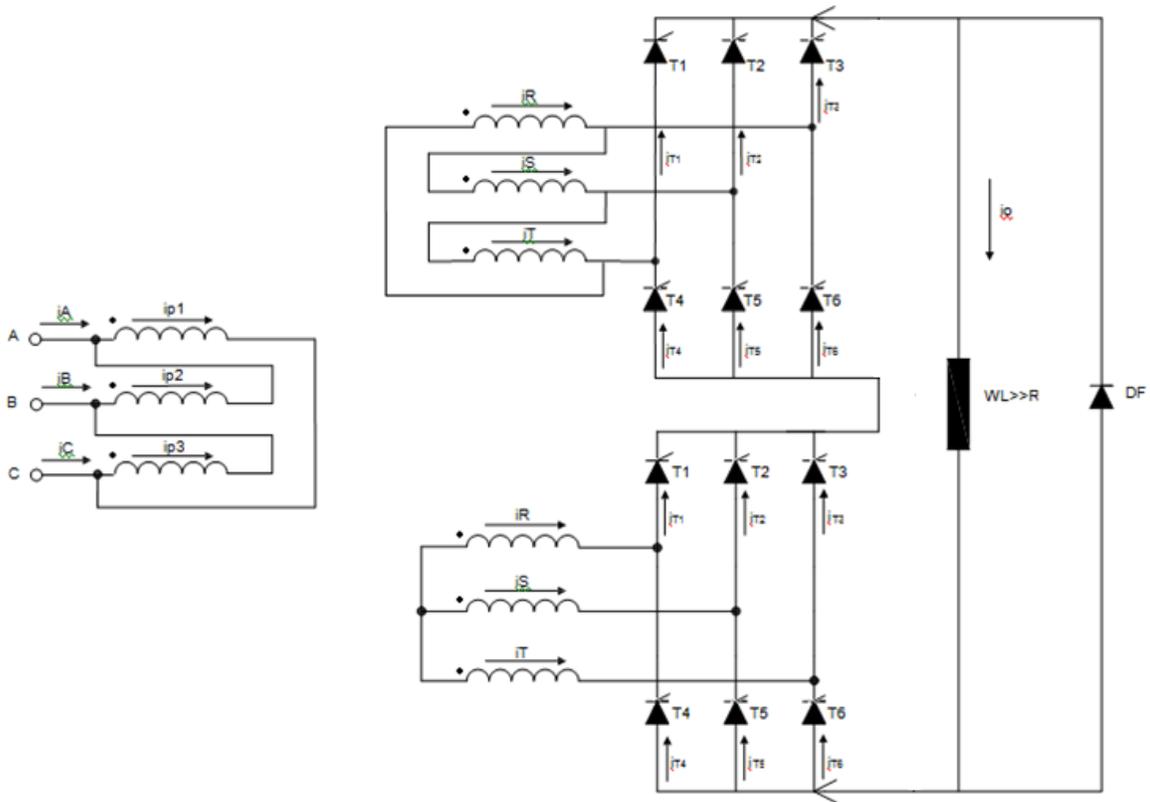


Figura 1.2. Convertor AC/DC no controlado de 12 pulsos, asociación en serie

Transformador desfasador

Permite desfasar una señal sinusoidal generando una salida de igual frecuencia que la original pero desfasada cierto ángulo comprendido entre 0 y 90 grados eléctricos.

Este transformador se conecta a la fuente de suministro trifásica (lado primario) y a través de la combinación vectorial de estas tres fases desarrolla el número de fases de salida requeridas.

Este desfase entre sus secundarios da como resultado que los voltajes y corrientes de salida de ambos secundarios tengan un desfase de 30° eléctricos para el caso de

un conversor de 12 pulsos, cumpliendo así con la ecuación que a continuación se presenta.

$$\lambda = \frac{2\pi}{p}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{12}$$

$$\lambda = 30^\circ$$

E. EQUIPO:

ITEM	DESCRIPCION	MODELO
1	PC CON LABVIEW 8.5	
2	TARJETA DAQ USB	6009
3	CONECTOR PARA TARJETA DAQ	
4	CONVERSOR AC/DC CONTROLADO DE 12 Y 24 PULSOS	
5	ELECTRODINAMOMETRO	8911-12
6	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DESFASADOR	
7	FUENTE DE ENERGIA	8821-22
8	ESTACION MÓVIL	8110
9	MOTOR / GENERADOR CC	8211-02
10	SONDAS DE TENSION	9051-12
11	SONDA DE INTENSIDAD	9050-12
12	VOLTIMETRO-AMPERIMETRO CD	8412-12
13	BOBINAS ALLANADORAS	8325-12
14	CARGA CAPACITIVA	8331-02
15	TERMINALES Y ACCESORIOS	

F. PROCEDIMIENTO:

1. Instale los módulos respectivos en el bastidor de la mesa respectiva.
2. Alimente al conversor AC/DC de 12 y 24 pulsos con 110v de CA convencional (no trifásica).

3. Establezca el circuito de la figura 1.3. Acople el electrodinamómetro al motor mediante la banda, el electrodinamómetro tiene que conectarse a 120 V AC y su perilla debe estar en 50. El Shunt del motor de DC debe conectarse a 120 V DC.
4. Instale el motor en la bancada respectiva.

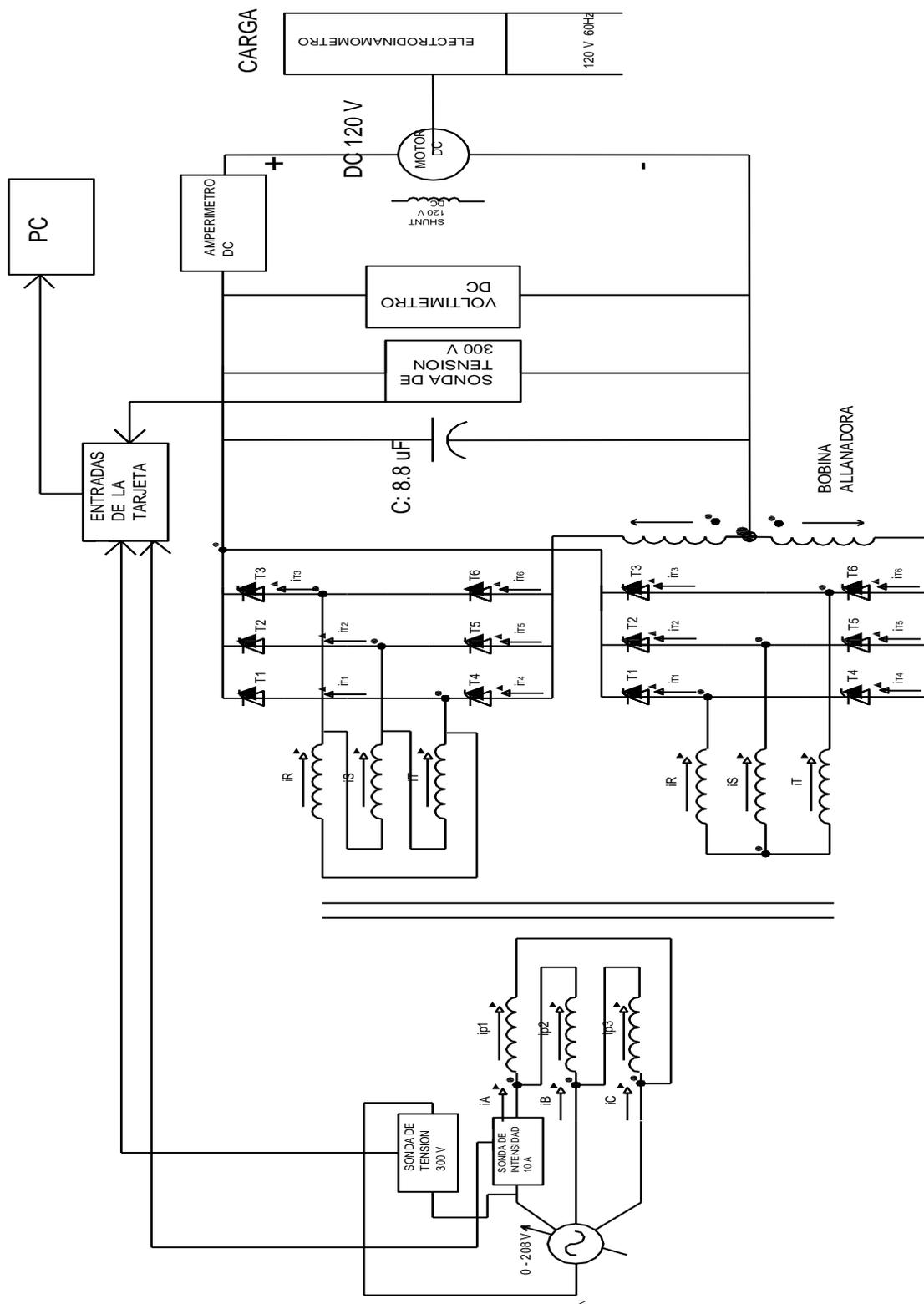


Figura 1.3

5. Realice los siguientes ajustes:

En la fuente de energía

Selector de voltaje: 4-N.

Aumente el valor del voltaje de línea hasta alcanzar un voltaje de corriente continua de 120 V.

6. Conecte una sonda de corriente para la corriente de línea, conecte una sonda de tensión para el voltaje de línea y otra sonda de tensión para el voltaje de salida del convertidor.
7. Conecte la tarjeta de adquisición a las sondas de tensión y corriente, empleando el conector respectivo y los cables de osciloscopio.
8. Alimente al convertidor AC/DC de 12 y 24 pulsos con 110V AC.
9. Accione el interruptor de encendido del convertidor de 12 y 24 pulsos y posterior la fuente de alimentación trifásica.
10. Opere al convertidor como se indica en el manual del usuario, para el control del ángulo de disparo (ver Anexo D).
11. Abra y corra el programa respectivo para observar los armónicos respectivos a este convertidor.
12. Observe las respectivas formas de onda y valores de voltaje, corriente y contenido armónico que produce este convertidor.
13. En la figura 1.4. Dibuje las formas de onda de las corrientes en los SCR's de los convertidores 1 y 2, además de las corrientes de entrada en cada uno de ellos.

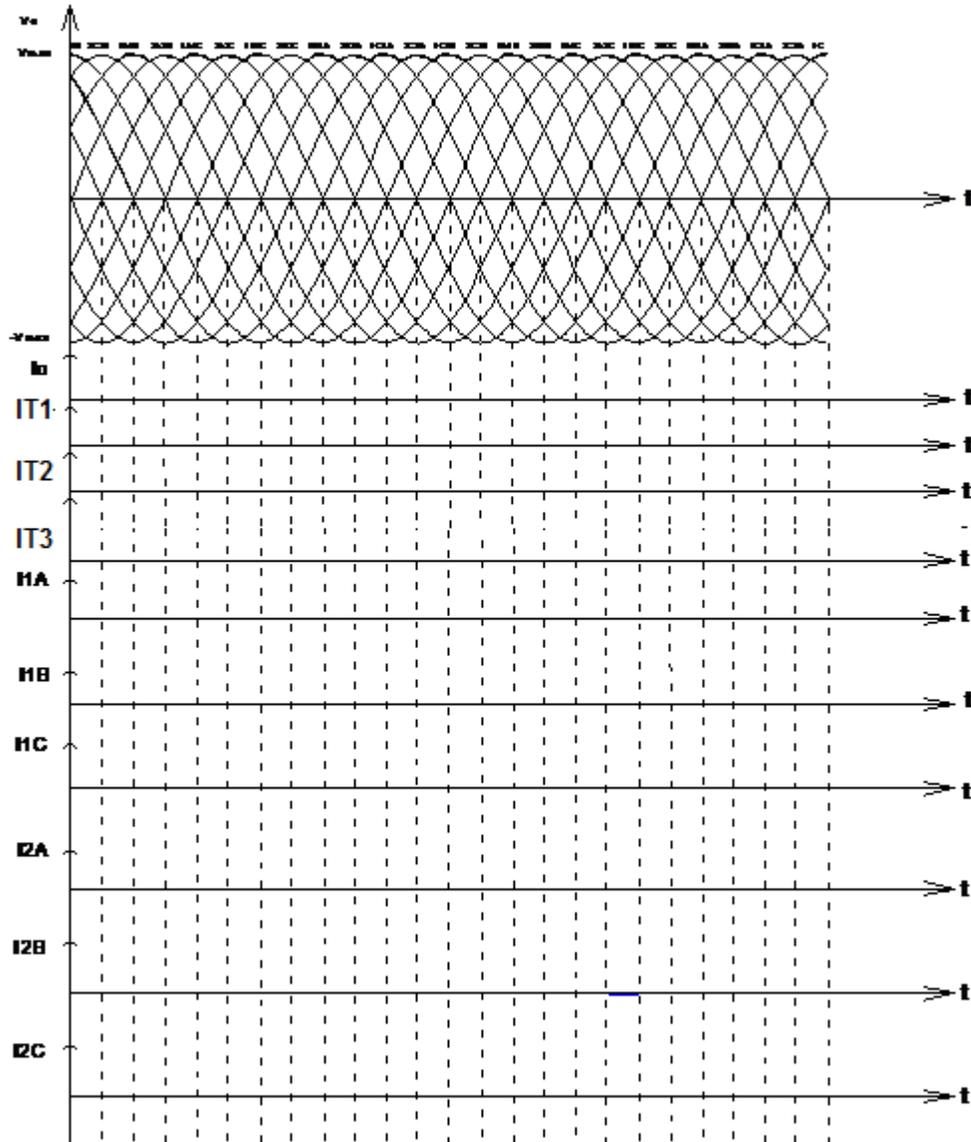


Figura 1.4

G. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

1. ¿Cuál es el voltaje promedio de salida de un conversor de 12 pulsos que opera con un voltaje de línea de 40 V?

2. De la forma de onda de corriente de línea determine cuales deberían ser los armónicos que deben estar presentes en el analizador de armónicos de la PC.
3. Con los datos de voltaje y la corriente en la carga, calcule la potencia entregada por el conversor de 12 pulsos.
1. Determine el ángulo de conducción de los SCR's para este conversor.

H. CUESTIONARIO:

1. ¿Cómo son las formas de onda de corriente a través del primario del transformador desfasador?
2. ¿Cuáles son los beneficios del conversor de doce pulsos sobre un conversor de seis pulsos?
3. ¿Cuál es el valor de la frecuencia fundamental del voltaje de salida en este conversor?

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

J. BIBLIOGRAFÍA:

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO – LATACUNGA

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA

PRÁCTICA No 2

A. TEMA: CONVERTOR AC/DC DE VEINTICUATRO PULSOS

B. OBJETIVOS:

1. Familiarizarse con el funcionamiento del convertor AC/DC de veinticuatro pulsos.
2. Observar las formas de onda de voltajes y corrientes en distintos puntos del sistema de rectificación.
3. Analizar el contenido y orden de los armónicos presentes en la línea de alimentación de este convertor.

C. TRABAJO PREPARATORIO:

4. ¿Cuál es el valor del voltaje teórico medio de salida para este tipo de convertor?
5. Dibuje la forma de onda de salida de voltaje del convertor AC/DC de veinticuatro pulsos.
6. ¿Cuál es el tiempo de conducción de cada SCR's en este convertor?

D. FUNDAMENTO TEÓRICO:

Convertor AC/DC controlado de 24 pulsos

Descripción general.

El sistema de 24 pulsos se utiliza ya sea para amplificar voltaje o corriente en la carga esto se hace conectando dos rectificadores de 12 pulsos en serie o en paralelo respectivamente, pero previamente los convertidores de 12 pulsos son conectados con dos rectificadores de 6 pulsos en serie o en paralelo de ahí su derivación para los pulsos requeridos.

La corriente que el rectificador absorbe de la red es la misma, independiente de la configuración utilizada, por lo que una consecuencia inmediata en el uso de un rectificador de 24 pulsos desde el punto de vista armónico es el menor nivel de distorsión que este causa en el Punto de Acoplamiento Común (PCC).

La disminución de armónicos en el sistema de los 24 pulsos nos ayuda de mejor manera que cualquiera de los sistemas ya antes mencionado, debido a que las corrientes se asemejan ya a un sistema de corriente directa, los mismos que son requeridos para un óptimo funcionamiento.

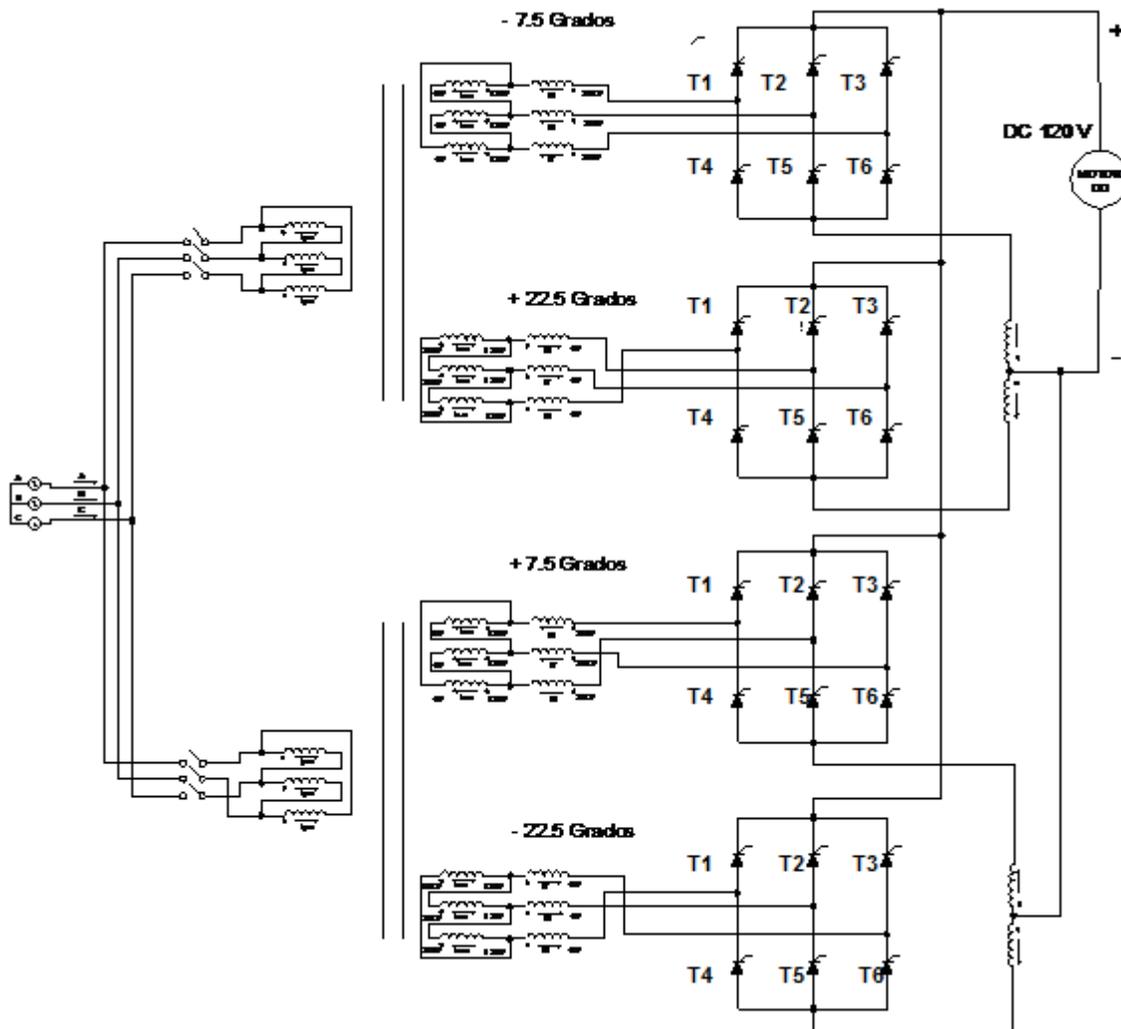


Figura 2.1. Conversor AC/DC controlado de 24 pulsos

E. EQUIPO:

ITEM	DESCRIPCION	MODELO
1	PC CON LABVIEW 8.5	
2	TARJETA DAQ USB	6009
3	CONECTOR PARA TARJETA DAQ	
4	TRANSFORMADOR TRIFASICO DEFASADOR	
5	FUENTE DE ENERGIA	8821-22
6	TRANSFORMADORES TRIFASICOS	8348-02
7	CONVERSOR AC/DC CONTROLADO DE 12 Y 24 PULSOS	
8	ESTACION MOVIL	8110
9	MOTOR / GENERADOR CC	8211-02
10	SONDAS DE TENSION	9051-12
11	SONDA DE INTENSIDAD	9050-12
12	VOLTIMETRO-AMPERIMETRO CD	8412-12
13	BOBINAS ALLANADORAS	8325-12
14	CARGA CAPACITIVA	8331-02
15	ELECTRODINAMOMETRO	8911-12
16	TERMINALES Y ACCESORIOS	

F. PROCEDIMIENTO:

1. Instale los módulos respectivos en el bastidor de la mesa respectiva.
2. Alimente al convertor AC/DC de 12 y 24 pulsos con 110v de CA convencional (no trifásica).
3. Instale el motor en la bancada respectiva.
4. Establezca el circuito de la figura 5.2. Acople el electrodinamómetro al motor mediante la banda, el electrodinamómetro tiene que conectarse a 120 V AC y su perilla debe estar en 50. El Shunt del motor de DC debe conectarse a 120 V DC.

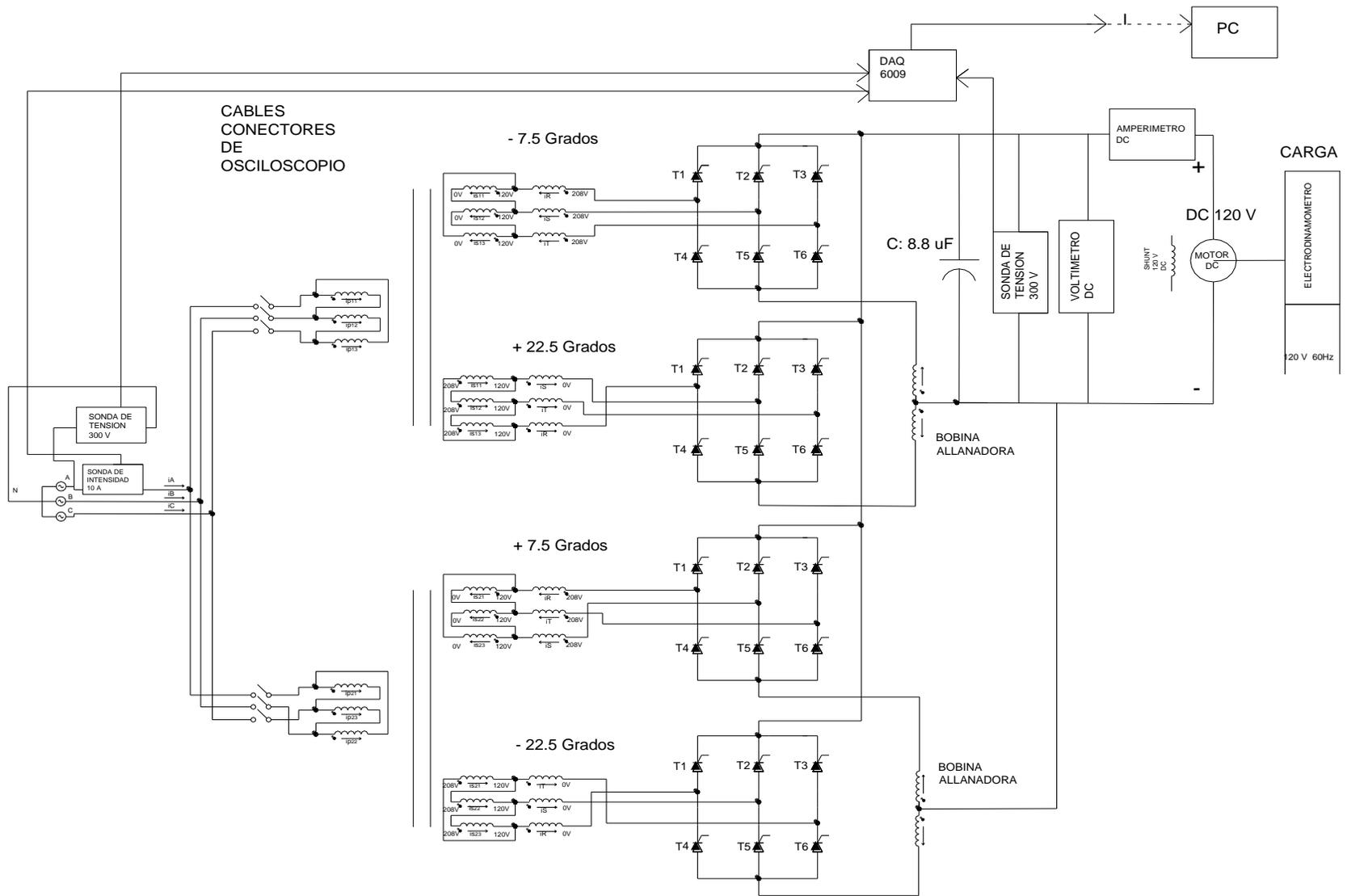


Figura 2.2 Conversor AC/DC de 24 pulsos.

5. Realice los siguientes ajustes:

En la fuente de energía

Selector de voltaje: 4-N.

Aumente el valor del voltaje de línea hasta alcanzar un voltaje de corriente continua de 120 V.

6. Conecte una sonda de corriente para la corriente de línea, conecte una sonda de tensión para el voltaje de línea y otra sonda de tensión para el voltaje de salida del convertidor.

7. Conecte la tarjeta de adquisición a las sondas de tensión y corriente, empleando el conector respectivo y los cables de osciloscopio.

8. Alimente al convertidor AC/DC de 12 y 24 pulsos con 110V AC.

9. Accione el interruptor de encendido del convertidor de 12 y 24 pulsos y posterior la fuente de alimentación trifásica.

10. Abra y corra el programa respectivo para observar los armónicos respectivos a este convertidor.

11. Opere al convertidor como se indica en el manual del usuario, para el control del ángulo de disparo (ver Anexo D).

12. Observe las respectivas formas de onda y valores de voltaje, corriente y contenido armónico que produce este convertidor.

G. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

1. ¿Cuál es el voltaje promedio de salida de un convertidor de 24 pulsos que opera con un voltaje de línea de 50 V?

2. De la forma de onda de corriente de línea determine cuales deberían ser los armónicos que deben estar presentes en el analizador de espectros de la PC.
3. Con los datos de voltaje y la corriente en la carga, calcule la potencia entregada por el convertidor de 24 pulsos.
4. Determine el ángulo de conducción de los SCR's para este convertidor.

H. CUESTIONARIO:

1. ¿Cómo son las formas de onda de corriente a través de las líneas de alimentación de la fuente trifásica?
2. ¿Cuáles son los beneficios del convertidor de veinticuatro pulsos sobre un convertidor de doce pulsos?
3. ¿Cuál es el valor de la frecuencia fundamental del voltaje de salida en este convertidor?

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

J. BIBLIOGRAFÍA:

MANUAL DEL USUARIO.

INGRESO AL SISTEMA.

- Una vez realizadas las conexiones indicadas en la guía de laboratorio, pulsar el botón de encendido, a continuación se visualizará las siguientes pantallas de presentación y mediante la pulsación de # se continuará a la pantalla de operación del sistema.



Pantalla No.1



Pantalla No.2

4.1 Ingreso al menú principal.

- Aparecerá el menú del conversor, se elige según la configuración que se desea trabajar.



Pantalla No.3

- Una vez seleccionado el tipo de conversor en la pantalla 3, se puede tomar el control del ángulo de disparo, este varía en pasos de 4 grados, va desde 0 a 180 grados.

Tabla No.2 Opciones del usuario

OPCION	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Conversor 12 pulsos	Ingreso para trabajar en este conversor.
2	Conversor 24 pulsos	Ingreso para trabajar en este conversor.

*	RETORNO	Retorna a la pantalla anterior.
#	INGRESA	Permite ingresar la selección que se desea.

4.2 Características de operación del conversor AC/DC controlado de 12 y 24 pulsos

- Opción 1:
Ingreso a la pantalla principal del conversor AC/DC controlado de 12 pulsos, visualización del ángulo de disparo (β).



Pantalla No.4

Tabla No.3 Opciones del usuario para el manejo del convertor

OPCION	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
A	INC DEL ÁNGULO	Incrementa el ángulo de disparo del convertor
B	DEC DEL ÁNGULO	Decrementa el ángulo de disparo del convertor
*	SALIDA	Permite desconectar la alimentación del convertor

- En la pantalla No 5 se presenta la opción B el cual corresponde al convertor AC/DC de 24 pulsos controlado



Pantalla No.5

Tabla No.4 Opciones del usuario para el manejo del convertor

OPCION	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
A	INC DEL ÁNGULO	Incrementa el ángulo de disparo del conversor
B	DEC DEL ÁNGULO	Decrementa el ángulo de disparo del conversor
*	SALIDA	Permite desconectar la alimentación del conversor