

UNIVERSIDAD DON BOSCO



**“ DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CORRECTOR
AUTOMATICO DE FACTOR DE POTENCIA CONTROLADO POR
UNA PC “**

**TRABAJO DE GRADUACION
PREPARADO PARA LA FACULTAD
DE ESTUDIOS TECNOLOGICOS**



PARA OPTAR AL GRADO DE:

TECNICO EN INGENIERIA ELECTRONICA

POR:

Carlos Eduardo Caballero Morales

MARZO - 2000

SOYAPANGO - EL SALVADOR - CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

PBRO. PEDRO JOSÉ GARCÍA CASTRO

DECANO DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS TECNOLÓGICOS

ING. RICARDO ANTONIO SILIÉZAR

ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACION

ING. ANSELMO VALDIZÓN

JURADO EXAMINADOR

ING. EDGARDO ZELEDÓN

TEC. GERBER OMAR PINEDA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE ESTUDIOS TECNOLÓGICOS

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CORRECTOR
AUTOMÁTICO DE FACTOR DE POTENCIA CONTROLADO POR
UNA PC"**



Ing. Edgardo Zeledón
JURADO



Tée. Gerber Pineda
JURADO



Ing. Anselmo Valdizón
ASESOR

DEDICATORIA

“ Dedico este trabajo de graduación a Dios Padre Todo Poderoso, a mi padre Carlos y a su esposa Susana, a mi madre Regina y a mis hermanos Gino, Karla y Rebeca que siempre me brindaron su incondicional apoyo para poder alcanzar esta meta.”

AGRADECIMIENTOS

“ Agradezco también a mis amigos de la universidad quienes con su constante apoyo me dieron las fuerzas para seguir adelante en la realización de este trabajo de graduación, especialmente a Mario Rodolfo y Otto Roberto por su directa participación, a mi primo Francisco E. Bermúdez, a mi asesor y a todo el personal docente de la universidad y de los talleres de eléctrica y electrónica.”

Carlos Eduardo Caballero Morales

INDICE

CONTENIDO	página
CAPITULO I	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.3.1 Alcances del sistema	4
1.3.2 Limitaciones del sistema	4
CAPITULO 2	6
2.1 GENERACION DE VOLTAJES TRIFASICOS	6
2.1.1 Conexiones Delta y Estrella	8
2.1.2 Circuito Estrella-Estrella balanceado	9
2.1.3 Circuito Estrella Delta	10
2.2 DEFINICIONES	12
2.2.1 Corrientes	12
2.2.2 Potencias	13
2.2.3 Factor de Potencia	15
2.3 CAUSAS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA	16
2.3.1 Clasificación de los aparatos receptores	16
2.3.2 Causas directas	17
2.4 PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA LA MEJORA FACTOR DE POTENCIA EN UNA INSTALACION	18
2.4.1 Procedimientos directos	18
2.4.2 Procedimientos indirectos	19
CAPITULO 3	22
3.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA	22
3.2 CIRCUITO DE MUESTREO DE VOLTAJE Y DE CORRIENTE	23
3.2.1 Muestreo de voltaje	23
3.2.2 Muestreo de la corriente	25
3.3 CIRCUITO COMPARADOR Y GENERADOR DE SEÑALES TTL	26
3.4 CIRCUITO DETECTOR DE DESFASE	29
3.5 CIRCUITO GENERADOR DE TREN DE PULSOS	30
3.5.1 Frecuencia de oscilación	30
3.5.2 Diseño del circuito	31
3.5.3 Cálculo y selección de los elementos	33
3.6 CIRCUITO SINCRONIZADOR DE SEÑALES	36
3.6.1 Principio de enmascaramiento	36
3.6.2 El biestable o flip-flop tipo D	38

3.6.3 Flip-Flop tipo D disparado por flanco positivo	39
3.7 CIRCUITO CONTADOR DE PULSOS	40
3.8 CIRCUITO CONVERTIDOR ANALOGO-DIGITAL	42
3.8.1 El ADC0804	42
3.8.2 Señal análoga de entrada	43
3.8.3 Generación de la señal de reloj interna del ADC0804	45
3.9 ACCESO A LA MEMORIA DE LA PC POR MEDIO DEL SLOT	46
3.10 LA INTERFAZ PERIFERICA PROGRAMABLE (PPI)	48
3.10.1 Introducción básica	48
3.10.2 Descripción básica	49
3.10.3 Programación de la PPI	51
3.11 DECODIFICADOR DE DIRECCIONES	53
3.12 INTERFAZ DE POTENCIA	55
3.12.1 Aislamiento óptico	55
3.13 BANCO DE CONDENSADORES	56
3.14 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	56
3.14.1 Principio de funcionamiento	56
3.14.2 Diagrama de flujo del programa	57
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXOS	59

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCION

El progreso de la civilización humana ha sido impulsado por la capacidad de la sociedad de controlar y distribuir la energía. La electricidad sirve como portadora de energía para el usuario. La energía presente en un combustible fósil, nuclear o cualquier otro recurso natural como el agua, el viento, etc... se convierte en potencia eléctrica para transportarla y distribuirla a los consumidores. Por medio de líneas de transmisión la potencia eléctrica se transmite y distribuye prácticamente a todas las residencias, industrias y empresas del país.

La potencia eléctrica puede transportarse fácilmente sin pérdidas considerables y durante los últimos años se han venido desarrollando mejores métodos para manejarla con seguridad. Así la eficiencia con la que se lleva a cabo dicha transferencia está directamente relacionada con el costo de la energía eléctrica.

El siguiente documento se refiere al tema del factor de potencia en las instalaciones industriales, los procedimientos para mejorarlo, las ventajas y consecuencias de utilizar un factor alto o bajo, así como la función del condensador como compensador del factor de potencia.

En las plantas de energía eléctrica modernas que alimentan zonas industriales, debido al uso cada vez mayor de equipo que produce cargas inductivas, la demanda de reactancias (expresadas en kilovar o KVAR) ha aumentado considerablemente. Algunas fuentes de este tipo de cargas son: motores de inducción, transformadores, soldadores y hornos de arco, rectificadores, lámparas fluorescentes y variedad de equipo electrónico. El sistema de suministro público tiene que alimentar tanto la potencia activa (útil) y reactiva (no útil) que necesitan este tipo de cargas inductivas, lo que obviamente representa una carga adicional a la capacidad de dicho sistema.

Así, el gasto por pérdidas en el sistema debido al flujo de reactancias (responsables de factores de potencia bajos) es un factor económico importante que no debe menospreciarse, ya que si los KVAR que necesitan estas cargas no se suministran por otros medios, el flujo reactivo de corriente en el sistema consume las capacidades térmicas y eléctricas del equipo. La corriente reactiva también origina pérdidas considerables en los generadores, transformadores y

conductores, los cuales se sobrecargan innecesariamente, por lo que las empresas deben de invertir aún más en ellos.

Las compañías de suministro eléctrico generalmente compensan las pérdidas en sus ingresos causados por un factor de potencia bajo (corriente reactiva elevada) en la planta del usuario haciendo un cargo adicional a la tarifa normal según lo reglamenta la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET). El mejoramiento del factor de potencia conduce a importantes ahorros en el costo de la energía y mejora la eficiencia de la planta. De ahí la enorme necesidad que afrontan día a día las empresas de energía de buscar alternativas y métodos que ayuden al mejoramiento del factor de potencia.

A través de este proyecto se desea introducir una solución práctica y efectiva a esta problemática por medio de un sistema que sea capaz de compensar las variaciones del factor de potencia de manera automática. Dicho sistema se presentará como un prototipo experimental y su funcionamiento así como sus principales partes se explicarán de manera general en el siguiente documento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general.

Contribuir con una solución práctica y económica respecto a las penalizaciones de las industrias del país cuando trabajan con bajos factores de potencia. La solución propuesta consiste en un prototipo experimental de un corrector automático de factor de potencia controlado por una PC.

1.2.2 Objetivos específicos.

- a) Corrección en general de factores de potencia bajos.
- b) Reducir las pérdidas que se generan en las empresas cuando operan con bajos factores de potencia.
- c) Demostrar la eficiencia que tienen los condensadores como una alternativa práctica y de bajo costo para el suministro de los reactivos necesarios.
- d) Demostrar la facilidad con la que se puede realizar el control por medio de una computadora personal.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.3.1 Alcances del sistema:

- a) El sistema elaborado es un prototipo experimental cuya función es la de corregir factores de potencia variables en una planta trifásica implementada en el laboratorio de eléctrica basándose en un motor de inducción de tipo jaula de ardilla operando con cargas variables simuladas por medio de freno magnético.
- b) Por ser un prototipo de naturaleza experimental y para efectos de demostración, este consta de un banco de capacitores de varias etapas de modo que para una demanda de reactivos específica, así será la cantidad de capacitores que conmutarán.
- c) La acción de corrección no sólo se da para cargas estáticas sino que a medida que ocurra un cambio en las condiciones de trabajo del motor, así es la acción de corrección del sistema.
- d) El sistema está equipado también por un monitoreo de las variables eléctricas de mayor importancia (Potencia Activa, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, corriente del motor y factor de potencia) por medio de una computadora.

1.3.2 Limitaciones del sistema:

- a) Por razones económicas las etapas del banco de capacitores están limitadas debido a que sólo se cuentan con capacitores de $1\mu\text{F}$, $2\mu\text{F}$, $3\mu\text{F}$ y $4\mu\text{F}$. Se construyeron tres etapas de condensadores cada una de un valor de $1.5\mu\text{F}$ ($0.5\mu\text{F}$ por fase).
- b) La corrección se realiza de manera discreta de modo que la conmutación de los capacitores se da cuando el valor del factor de potencia se encuentre entre rangos determinados especificados dentro del programa.

- c) La potencia que maneje la planta se limita a los valores máximos de corriente y de voltaje de los transformadores a disposición (del laboratorio de eléctrica)
- d) Debido a aspectos económicos y de tiempo, el motor se conectó en forma de estrella debido a que es en esta configuración que se puede tener acceso al neutro del sistema y se utilizan un menor número de medidores.
- e) El programa de control del sistema se efectuó en lenguaje QBASIC debido a que sólo se disponía de una computadora 386, por lo que no se pudo contar con herramientas de programación que permitieran darle una mejor presentación a la visualización de las variables de control.

Capítulo 2

Introducción

La generación y transmisión de potencia eléctrica son más eficientes en sistemas polifásicos que emplean combinaciones de 2,3 o más voltajes senoidales. Además los circuitos y las maquinas polifásicas poseen ciertas ventajas como una potencia constante de transmisión independiente del tiempo, en lugar de pulsante como en los sistemas monofásicos. También los motores trifásicos arrancan y funcionan mejor que los monofásicos. La forma más común de un sistema polifásico utiliza 3 voltajes balanceados de igual magnitud y desfasados en 120 grados eléctricos.

2.1 GENERACION DE VOLTAJES TRIFASICOS.

Un generador elemental de C.A. consta de un magneto giratorio y un devanado fijo. Las vueltas del devanado se distribuyen por la periferia de la maquina. El voltaje generado en cada espira del devanado esta ligeramente desfasado del devanado por el más próximo, debido a que la densidad máxima del flujo magnético la corta un instante antes o después. El voltaje producido en el primer devanado es V_{aa} .

Si el primer devanado se continuara alrededor de la maquina el voltaje generado en la ultima espira estaria desfasado 180° de la primera y se cancelarían sin ningún efecto útil. Por esta razón, un devanado se distribuye comúnmente en no más de un tercio de la periferia; las otras dos tercias partes se pueden ocupar con dos devanados mas usados para generar otros dos voltajes similares.

En la figura 2.1 se muestra una versión simplificada de 3 devanados entorno a la periferia de un tambor cilíndrico así como de las tres senoides generadas por los tres devanados respectivamente.

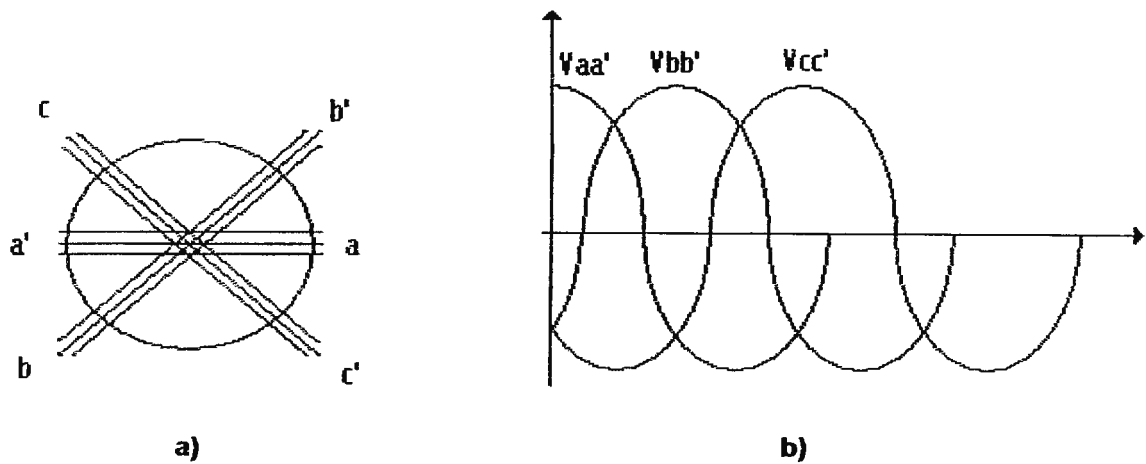


Figura 2.1 a) Generador de C.A. trifásico y b) Voltajes generados.

Los voltajes obtenidos se definen como:

$$V_{aa'} = \sqrt{2}V \cos \omega t$$

$$V_{bb'} = \sqrt{2}V \cos(\omega t - 120)$$

$$V_{cc'} = \sqrt{2}V \cos(\omega t + 120)$$

Las tres partes similares de un sistema trifásico se llaman fases. Como el voltaje en la fase aa' alcanza su máximo primero, seguido por la fase bb' y después de cc', se dice que la rotación de fase es abc.

Usando la notación fasorial se pueden escribir las ecuaciones como:

$$V_{aa'} = V \angle 0^\circ$$

$$V_{bb'} = V \angle -120^\circ$$

$$V_{cc'} = V \angle 120^\circ$$

Se dice que los tres voltajes están balanceados porque tienen idénticas amplitudes y frecuencias y están desfasados entre si exactamente 120° . Lo que se traduce como:

$$V_{aa'} + V_{bb'} + V_{cc'} = 0$$

Nota: En este proyecto para facilidad de análisis se consideraran voltajes y cargas balanceadas.

2.1.1 Conexiones Delta y Estrella.

Existen dos maneras de conectar un sistema de alimentación trifásico, Estas son en Estrella o en Delta como se muestra en la siguiente figura.

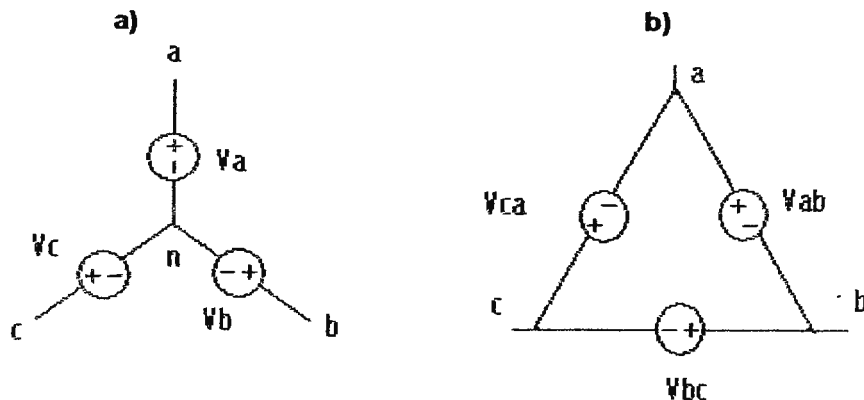


Figura 2.1.1.a) Conexion Estrella y b) Conexion Delta.

La terminal común de la conexión Estrella se llama neutro y se denota con n. En esta conexión se pueden o no disponer de esta terminal. Cuando las cargas están balanceadas (como en este proyecto), no existe corriente en el neutro por lo que a menudo se puede omitir dicha línea.

La conexión en Estrella toma las terminales a, b' y c' y las conecta entre si como neutro, por tanto se define el *voltaje de fase* como:

$$V_a' = V_a - V_n = V_a \angle 0^\circ = V_{fase} \angle 0^\circ$$

$$V_b' = V_b - V_n = V_b \angle -120^\circ = V_{fase} \angle -120^\circ$$

$$V_c' = V_c - V_n = V_c \angle 120^\circ = V_{fase} \angle 120^\circ$$

En la conexión Delta no se dispone del neutro por lo que se habla de *voltaje de línea*. Así se definen las siguientes ecuaciones:

$$V_{ab} = V_a - V_b = V_{fase} \angle 0^\circ - V_{fase} \angle -120^\circ = \sqrt{3} V_{fase} \angle 30^\circ$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = V_{fase} \angle -120^\circ - V_{fase} \angle 120^\circ = \sqrt{3} V_{fase} \angle -90^\circ$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = V_{fase} \angle 120^\circ - V_{fase} \angle 0^\circ = \sqrt{3} V_{fase} \angle -210^\circ$$

Las fuentes conectadas en delta se utilizan poco en la practica debido a que un ligero desbalance en la magnitud o la fase de los voltajes trifásicos no daría una suma igual a 0. El resultado sería una gran corriente circulando por las

bobinas del generador que calentaría y reduciría su eficiencia. Por lo tanto se centrara el estudio en alimentaciones tipo Estrella y no en Delta.

2.1.2 Circuito Y-Y balanceado.

En esta sección se examina la conexión Y-Y como aparece en la siguiente figura.

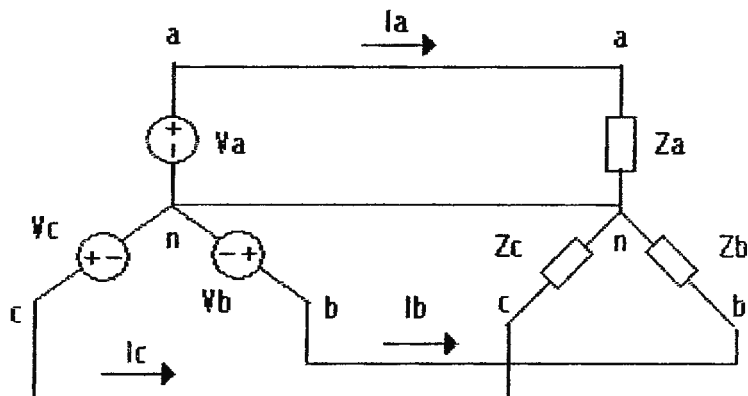


Figura 2.1.2 Alimentación con carga en Estrella

Cuando el sistema esta balanceado se tiene $Z_a = Z_b = Z_c = Z$

Las corrientes están definidas como:

$$I_a = \frac{V_{an}}{Z} = I_a \angle 0^\circ$$

$$I_b = \frac{V_{bn}}{Z} = I_b \angle -120^\circ$$

$$I_c = \frac{V_{cn}}{Z} = I_c \angle 120^\circ$$

por donde la corriente de neutro es:

$$I_n = I_a + I_b + I_c = 0$$

se obtienen los siguientes resultados:

	$V_a = Vfase \angle 0$
Voltajes de fase:	$V_b = Vfase \angle -120^\circ$
	$V_c = Vfase \angle 120^\circ$
	$V_{ab} = \sqrt{3} Vfase \angle 30^\circ$
Voltajes de línea:	$V_{bc} = \sqrt{3} Vfase \angle -90^\circ$
	$V_{ca} = \sqrt{3} Vfase \angle -210^\circ$
Corrientes:	$I_{fase} = I_{linea}$

2.1.3 Circuito Estrella Delta.

En esta sección se examina la conexión Estrella-Delta como se muestra en la siguiente figura.

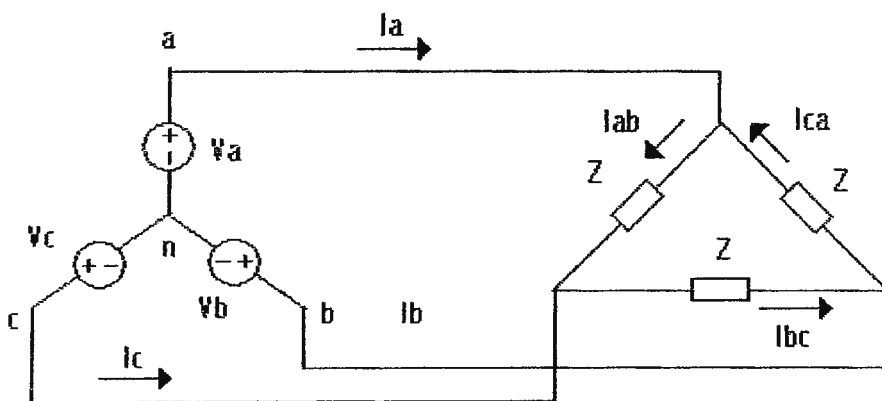


Figura 2.1.3 Alimentación en Estrella y carga en Delta.

Se observa que los voltajes de línea de la fuente son iguales a los voltajes de las impedancias en la carga. Las relaciones para las corrientes y voltajes son:

Voltajes: $V_{fase} = V_{linea}$

Corrientes de fase:

$$I_{ab} = \frac{V_{ab}}{Z} = I_{fase} \angle -\phi$$
$$I_{bc} = \frac{V_{bc}}{Z} = I_{fase} \angle -\phi - 120^\circ$$
$$I_{ca} = \frac{V_{ca}}{Z} = I_{fase} \angle -\phi + 120^\circ$$

Corrientes de línea:

$$I_a = \sqrt{3} I_{fase} \angle -\phi - 30^\circ$$
$$I_b = \sqrt{3} I_{fase} \angle -\phi - 150^\circ$$
$$I_c = \sqrt{3} I_{fase} \angle -\phi + 90^\circ$$

Con $Z = Z \angle \phi$

2.2 Definiciones.

2.2.1 Corrientes

a) Corriente eficaz (I):

Es la corriente que pasa por las líneas de alimentación y que mide el amperímetro.

b) Corriente activa (I_a):

También conocida como corriente variada, es la corriente que produce la potencia mecánica o térmica que se necesita en la instalación. Esta expresada como:

$$I_a = I \cos \theta$$

Esta corriente no se mide directamente por ningún aparato por lo que debe determinarse a partir de los indicadores de otros aparatos.

c) Corriente reactiva (I_r):

También llamada corriente de magnetización y sirve para producir los campos magnéticos de inducción de los diversos receptores de la instalación (motores, transformadores etc...). No produce potencia mecánica ni térmica y esta expresada por:

$$I_r = I \sen \theta$$

Esta corriente no se mide directamente por ningún aparato por lo que debe determinarse a partir de los indicadores de otros aparatos.

Las relaciones entre las corrientes pueden graficarse en un *triángulo de corrientes* como se muestra en la siguiente figura:

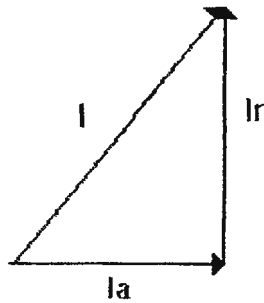


Figura 2.2.1 Triángulo de Corrientes

La relación matemática entre ellas esta dada por:

$$I^2 = I_a^2 + I_b^2$$

2.2.2 Potencias.

a) Potencia aparente (S).

Se expresa en voltamperes (VA) y se determina a partir de un amperímetro y un voltímetro. Esta dada por:

$$S = UI$$

Cuando se trata de una instalación de corriente alterna trifásica la potencia aparente se calcula de la siguiente manera:

$$S(3\varphi) = 3UI$$

b) Potencia Activa (P).

También llamada potencia efectiva o real expresada en vatios (W) y se mide directamente con un vatímetro. Solamente esta potencia se puede transformar en potencia mecánica o calorífica y por consiguiente es la que le interesa al usuario. Esta dada por la ecuación:

$$P = UI \cos \theta$$

Cuando se trata de una instalación de corriente alterna trifásica la potencia activa se calcula de la siguiente manera:

$$P(3\varphi) = 3I \cos \theta$$

c) Potencia Reactiva (Q)

También llamada potencia magnetizante expresada en voltamperes reactivos (VAR) resulta necesaria para el funcionamiento de ciertas maquinas y dispositivos eléctricos (motores, transformadores, bobinas etc...) pero no puede transformarse en potencia mecánica o calorífica útil. Esta dada por la ecuación:

$$Q = UI \sin \theta$$

Cuando se trata de una instalación de corriente alterna trifásica la potencia reactiva se calcula de la siguiente manera:

$$Q(3\varphi) = 3UI \sin \theta$$

Las potencias pueden graficarse en un triángulo de potencias como se muestra a continuación:

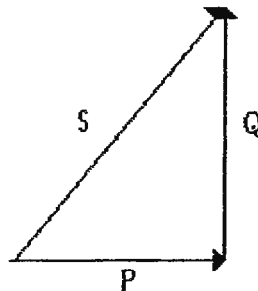


Figura 2.2.2 Triangulo de Potencias

Y están relacionadas por la ecuación:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

2.2.3 Factor de potencia.

a) Definición:

La expresión Factor de potencia se utiliza para designar la relación de ;a potencia de la cual se dispone realmente en una instalación (potencia activa) y la que hubiera podido disponerse si la tensión y la corriente de la instalación estuvieran idealmente en fase. Representa el factor de eficiencia con que se utiliza la capacidad instalada y con la cual se realiza la transferencia de energía eléctrica.

b) Traducción matemática:

De una forma más estricta se denomina factor de potencia a la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de la instalación. Esta dada por:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \theta$$

2.2.3.1 Factor de Potencia instantáneo.

En un instante dado en una instalación eléctrica que consta de motores, transformadores, lámparas, etc... se absorben una potencia activa y una potencia reactiva. Cada una de estas potencias es la suma aritmética de las potencias activas y reactivas absorbidas por cada uno de los distintos aparatos en funcionamiento de manera individual en ese instante.

Esto se traduce por medio de la ecuación:

$$\tan \theta(\text{inst}) = \frac{\sum Q}{\sum P}$$

2.2.3.2 Factor de Potencia medio.

Las potencias activas y reactivas de una instalación varían en cada instante de acuerdo a las necesidades del usuario y de las características de los receptores conectados a la red. Por consiguiente también varía el factor de potencia instantáneo. De esta manera haciendo uso de estos parámetros instantáneos durante un intervalo de tiempo t , se puede definir un factor de potencia medio que se traduce por medio de la ecuación:

$$\tan\theta(\text{medio}) = \frac{Q_{\text{medio}}}{P_{\text{medio}}}$$

Y si se multiplica el numerador y el denominador por el tiempo t se obtiene:

$$\tan\theta(\text{medio}) = \frac{Q_{\text{mediot}}}{P_{\text{mediot}}} = \frac{Wq}{Wp}$$

El numerador de esta fracción corresponde al número de Kilovars-hora (Kvar.h) registrados durante el tiempo t por el contador de energía reactiva y el denominador expresa el número de Kilovatios-hora (KW.h) registrados por el contador de energía activa.

Por esta razón las compañías suministradoras de energía eléctrica acostumbran a establecer para las diferentes instalaciones eléctricas un factor de potencia mensual de acuerdo con las indicaciones de los correspondientes contadores de energía. Esto se traduce mediante la siguiente ecuación:

$$\tan\theta(\text{mensual}) = \frac{KVar.h}{KW.h}$$

2.3 Causas por un bajo factor de potencia.

2.3.1 Clasificación de los aparatos receptores

En una instalación eléctrica de corriente alterna monofásica o trifásica los aparatos receptores se pueden dividir en dos grandes grupos que son:

a) Cargas óhmicas: En estos receptores las reactancias no son importantes por lo tanto no se utiliza potencia reactiva. Entre estos receptores se encuentran lámparas de incandescencia, hornos y estufas eléctricas de resistencia etc...

b) Cargas inductivas: En estos receptores las reactancias si son importantes y por consiguiente la potencia reactiva siempre se toma en cuenta en el cálculo del factor de potencia. Entre estos receptores se incluyen los motores eléctricos, transformadores, lámparas de descarga etc...

2.3.2 Causas directas

Las causas de un bajo factor de potencia en una instalación eléctrica dependen fundamentalmente de dos factores que son la construcción y la utilización de los aparatos receptores.

a) Causas debidas a la construcción de los aparatos receptores.

En estos casos los bajos factores de potencia bajos se deben a la presencia de componentes reactivos de potencia, debidos a la corriente de magnetización, que son necesarios para la excitación de los campos magnéticos de los aparatos receptores. Se examinarán estas causas en algunos de los aparatos receptores que más comúnmente se encuentran en las industrias.

- **Motores eléctricos:** En los motores existen corrientes magnetizantes reactivas para establecer los campos magnéticos giratorios fundamentales para su funcionamiento. Estas corrientes magnetizantes son esencialmente independientes de la carga del motor, lo que significa que a cargas pequeñas el motor trabaja con un factor de potencia bajo.

- **Transformadores:** Otro de los receptores que más se utilizan en una instalación eléctrica son los transformadores. En estos casos el consumo propio de energía reactiva es relativamente tanto mayor cuanto menor es la potencia nominal, debido sobretodo a la presencia de la corriente magnetizante de carácter reactivo y que es prácticamente independiente de la carga.

b) Causas debidas a su utilización:

Así como las causas de disminución del factor de potencia debidas a la construcción influían, sobre todo, en el factor de potencia instantáneo, las que se presentan a continuación se refieren en general al factor de potencia medio.

- **Motores eléctricos y transformadores:** Se ha visto que el factor de potencia aumenta sensiblemente con la carga. Por consiguiente las marchas en vacío o con pequeñas cargas parciales son los factores más importantes en una instalación que contribuyen a la disminución del factor de potencia medio.
- Otra causa de disminución del factor de potencia es la *sobretensión de alimentación* de los aparatos receptores. La aplicación de voltajes mayores a los niveles nominales de los aparatos reduce su eficiencia y su vida útil.

- Uso de motores mal dimensionados para una tarea específica.

2.4 Procedimientos generales para la mejora del factor de potencia en una instalación.

Los procedimientos que se utilizan para la mejora del factor de potencia se dividen en *directos* e *indirectos*.

2.4.1 Procedimientos directos.

Son los procedimientos que actúan directamente sobre las causas mismas de un bajo factor de potencia que procuran disminuir en lo posible el consumo innecesario de energía reactiva actuando sobre las cargas normales de la instalación.

Los procedimientos directos más empleados se describen a continuación:

- Correcta elección del equipo eléctrico cuando se realiza el proyecto de la instalación (potencias, velocidades, tipos y dimensiones de los receptores).
- Evitar las marchas en vacío o a cargas reducidas de los motores eléctricos instalando limitadores de marcha en vacío y dispositivos de enclavamiento eléctrico que paren el motor correspondiente cuando haya terminado su proceso de funcionamiento.
- Substituir los motores defectuosos o repararlos. Un entrehierro excesivo, provocado por desgaste de los cojinetes u otras causas, puede provocar un elevado consumo de potencia reactiva y por consiguiente que el motor marche con un bajo factor de potencia.
- Aumento de la utilización de los motores eléctricos, haciendo más racional el proceso tecnológico y el aprovechamiento óptimo del equipo eléctrico.
- Reducción de la tensión de alimentación de los motores no utilizados al máximo mediante uno de los procedimientos siguientes:
 - a) Variando las tomas de regulación del transformador de alimentación.
 - b) En el caso de cargas reducidas conectando en estrella los motores que normalmente funcionan en delta.
 - c) Utilizar arrollamientos seccionados en el estator, con el objeto de poderlos acoplar a diversos sistemas de conexionado.
- Sustitución de motores no utilizados al máximo, por máquinas de menor potencia.
- Dejar desconectados los motores fuera de las horas de trabajo.
- Reducir las marchas en vacío o con poca carga de los transformadores. Frecuentemente resulta ventajoso para las marchas

con poca carga, disponer un pequeño transformador que sea suficiente para asegurar, por si solo, el servicio necesario.

2.4.2 Procedimientos indirectos.

En muchos casos debido a las características de producción de la instalación industrial o de los procesos tecnológicos, resulta prácticamente imposible mejorar el factor de potencia mediante los procedimientos vistos en el párrafo anterior.

En estos casos se recurre a procedimientos indirectos, todos ellos caracterizados por utilizar elementos productores de energía reactiva, que compensan, total o parcialmente la energía reactiva consumida en la instalación eléctrica. De esta manera se reduce la energía reactiva solicitada en la red y se mantiene la necesaria para mantener los campos magnéticos presentes en toda la instalación eléctrica de corriente alterna, suministrando esta energía sobre el lugar de la instalación, mediante dispositivos denominados *compensadores de energía reactiva*.

Estos compensadores se dividen en dos grandes grupos que son:

- *Compensadores giratorios o síncronos*, que son *máquinas síncronas* giratorias con un régimen de funcionamiento especial.
- *Compensadores estáticos*, constituidos por baterías de *condensadores* conectadas adecuadamente.

En este documento solo se estudiarán los compensadores estáticos dado que es el método empleado para la corrección del factor de potencia en el proyecto.

2.4.2.1 Efectos de los condensadores en una instalación

Los compensadores estáticos de energía reactiva universalmente utilizados son los condensadores. En las instalaciones eléctricas, los condensadores pueden conectarse en serie o en paralelo con las cargas, siendo esta última la más utilizada, por lo que será la que se empleará en este proyecto.

Los efectos de los condensadores instalados en paralelo sobre la instalación son:

- Disminución de la corriente de carga.
- Aumento de la tensión de carga.
- Suministro de potencia reactiva.
- Reducción en el sistema de las pérdidas de potencia activa y de potencia reactiva a causa de la disminución de la corriente de carga.

- Aumento de la posibilidad de producción de energía activa por los generadores.
- Reducción de los gastos de instalación por KW instalado.

La potencia reactiva (capacitiva) que puede suministrar un condensador o un grupo de condensadores, es función de su capacidad, de la tensión y de la frecuencia; está dada por la ecuación:

$$\text{var} = 2\pi f C U^2$$

Condensadores para corriente alterna trifásica.

En las redes trifásicas los condensadores se pueden conectar en estrella o en delta tal y como lo muestra la siguiente figura.

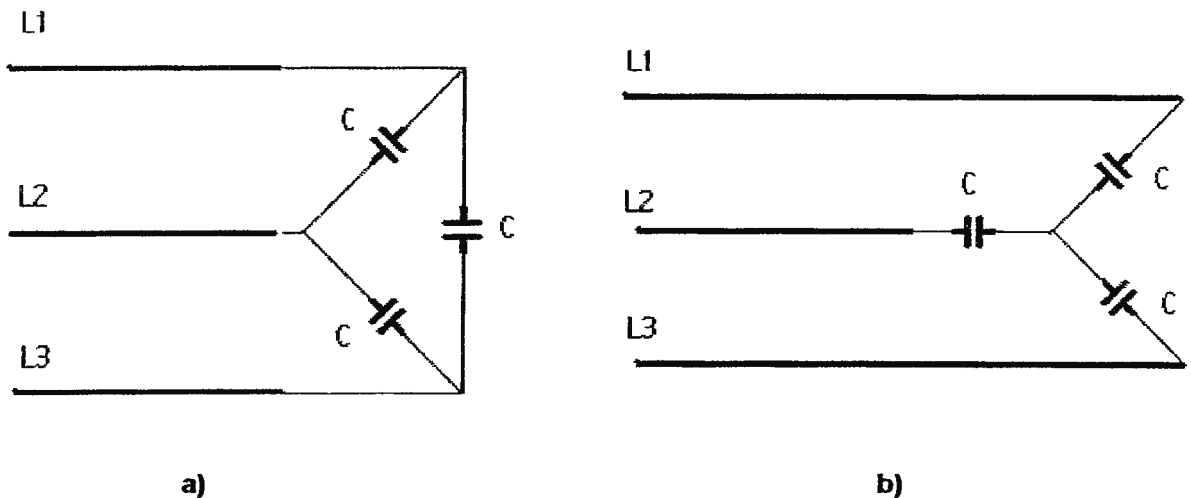


Figura 2.4.2.1 a) Condensadores en estrella b) Condensadores en delta.

Está demostrado que en los sistemas trifásicos la cantidad de reactivos que pueden ser proporcionados por cada una de las configuraciones está dada por:

$$\text{var}(\text{estrella}) = \frac{2}{3} \pi f C U^2$$

$$\text{var}(\text{delta}) = 2\pi f C U^2$$

con C_1 igual a la suma de las capacidades de las tres fases.

De estas ecuaciones se concluye que la configuración en delta permite proporcionar una potencia reactiva tres veces mayor que en la configuración estrella, por lo que esta será la que se empleará en el proyecto.

En este caso tomando valores de condensadores igual a $0.5\mu\text{f}$ y con una alimentación de línea a línea de 380V, la cantidad de reactivos a proporcionar por cada fase es de 30 vars.

2.4.2.2 Ventajas en el uso de condensadores.

- Las pérdidas o consumo de energía activa son proporcionalmente menores en un condensador que en un compensador síncrono.
- Para una misma potencia el condensador es más económico que un compensador síncrono. Esta ventaja es todavía mayor para potencias reducidas.
- La instalación y mantenimiento son más sencillos en el caso de condensadores y requieren solamente una mínima atención diaria por parte del personal encargado.
- En el caso de los condensadores, la unidad mínima de potencia puede ser tan pequeña como se quiera, lo cual no es económico en el caso de compensadores síncronos ya que en éstos, las unidades de pequeña potencia tienen un precio por KVA instalado mucho más elevado que en las unidades de gran potencia.
- Los condensadores tienen también la ventaja de la facilidad de ampliación de potencia, en caso necesario, por valores inferiores a la potencia instalada.
- Las averías, que casi siempre son parciales en las baterías de condensadores, resultan menos perjudiciales al sistema eléctrico que el fallo de un compensador síncrono, que supone la total desaparición de la potencia reactiva total instalada.

CAPITULO 3

3.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

En la siguiente figura se muestra el diagrama general del sistema que realiza la corrección automática del factor de potencia en un motor de inducción tipo jaula de ardilla. Básicamente el circuito realiza un muestreo de las señales de corriente y voltaje de la red del sistema y procesa dichas señales digitalmente para introducirlas a la computadora. Posteriormente se procesa la información y se visualizan las variables del sistema tales como: potencia aparente, activa y reactiva, factor de potencia y estado de las etapas de condensadores. Así, el usuario tiene la opción dentro del programa de fijar un factor de potencia y la computadora responde conectando las etapas de condensadores necesarias para mantener el factor de potencia medido cercano al factor de potencia deseado.

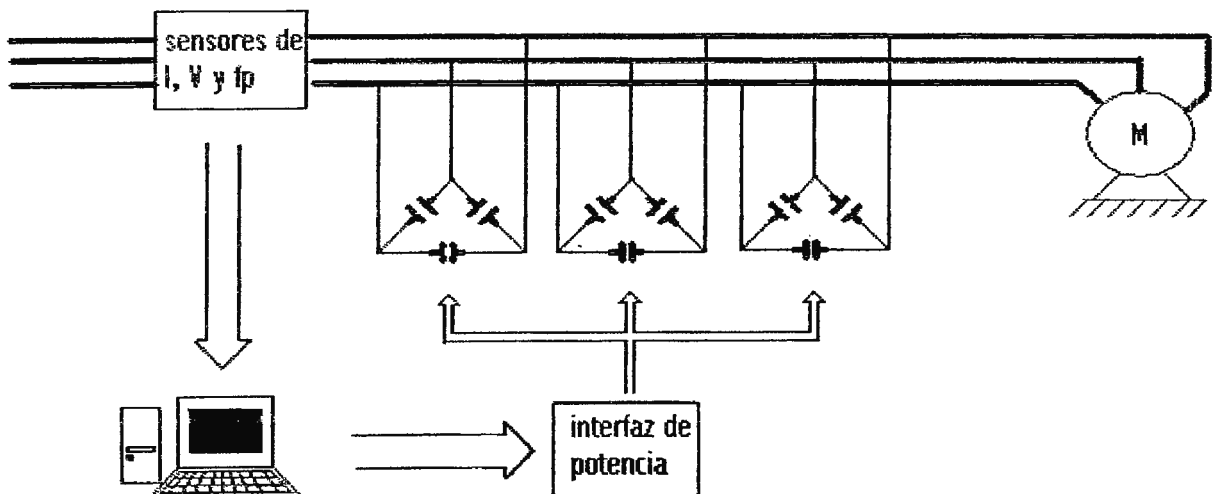


Figura 3.1 Diagrama general del sistema.

3.2 CIRCUITO DE MUESTREO DE VOLTAJE Y DE CORRIENTE

Para poder medir el desfase existente entre el voltaje y la corriente que alimentan a la carga trifásica es necesario en un principio obtener una muestra de ambas señales. Como todo el proceso a realizar será efectuado por dispositivos electrónicos es necesario reducir los niveles de voltaje y de corriente niveles por medio de Transformadores.

Como la carga se encuentra balanceada, la medición del desfase de las señales o del factor de potencia, se simplifica ya que el muestreo de las señales se hace en una sola de sus fases. Como se dispone de un neutro en el sistema las señales a muestrearse serán el voltaje de fase (L1-N) y la corriente de fase (o de línea) I_1 tal y como se muestra en la figura 3.2.

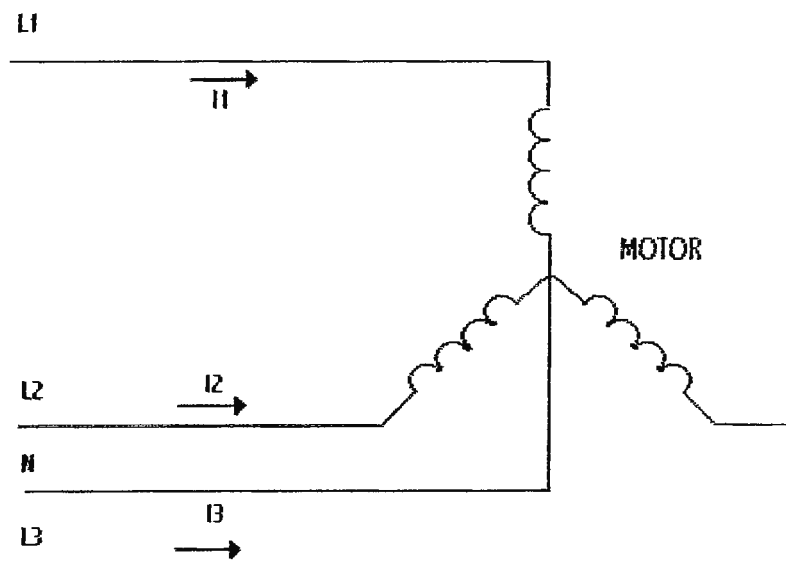


Figura 3.2 Voltaje y corriente del motor.

3.2.1 Muestreo de Voltaje.

El tipo de muestreo de voltaje dependerá de la forma en como la carga (en este caso un motor de inducción trifásico) este conectada, es decir en *estrella* o en *delta*. Para este proyecto el motor de inducción se conecto en *estrella* tal y como se mostró en la figura 3.2.

Como el proyecto esta basado en el funcionamiento de un prototipo, los niveles de tensión a manejar pueden ser reducidos por redes divisoras formadas por resistencias. Sin embargo el uso de transformadores de voltaje también es recomendable en caso de no disponer de resistencias de potencia. Las conexiones a realizar se muestran en la figura 3.2.1.1

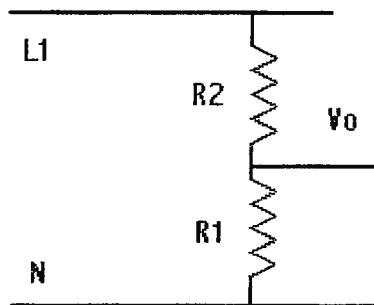
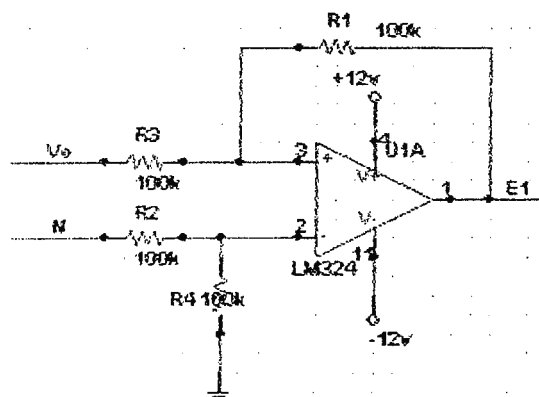


Figura 3.2.1.1 Reducción del voltaje en el sistema con resistencias.

Como la conexión es en estrella se dispone de un neutro en el sistema por lo que el voltaje obtenido estará referido a este punto. Sin embargo la salida de la red divisora no puede conectarse directamente con el circuito electrónico. El neutro del sistema no puede unirse con la tierra del circuito debido a las corrientes que circulan a través de este ya que pueden causar daños en los dispositivos.

Para poder procesar la señal de tensión se usan amplificadores operacionales para referir esta señal al tierra del circuito. Una configuración muy utilizada es la del *amplificador diferenciador de ganancia unitaria* el cual proporciona a su salida la diferencia de voltaje que hay entre sus terminales $V(+)$ y $V(-)$, donde $V(+)$ es el voltaje en el punto V_0 y $V(-)$ es el neutro del sistema.

La configuración a implementarse se muestra en la figura 3.2.1.2



Ahora E_1 es igual a la señal de voltaje de salida del transformador referida al tierra del circuito.

3.2.2 Muestreo de la Corriente.

Para poder medir la corriente que hay en la línea el principio de medición es casi el mismo que para el voltaje. En este caso se utiliza un transformador de corriente para reducir los niveles de corriente del sistema. Las conexiones a realizar se muestran en la siguiente figura.

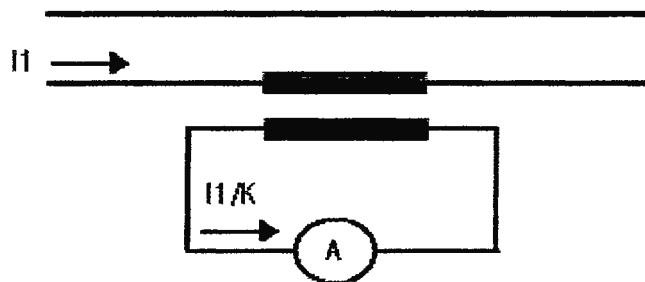


Figura 3.2.2.1 Conexiones del transformador de corriente.

Como los voltajes son las variables que por lo general se procesan dentro de los circuitos electrónicos la señal de corriente obtenida debe de ser convertida a voltaje haciéndola circular a través de una resistencia. Como la relación Voltaje-Corriente en una resistencia es lineal, lo que se hace es procesar indirectamente la señal de corriente manipulando una señal de voltaje proporcional a esta. El diagrama de conexiones se muestra en la siguiente figura.

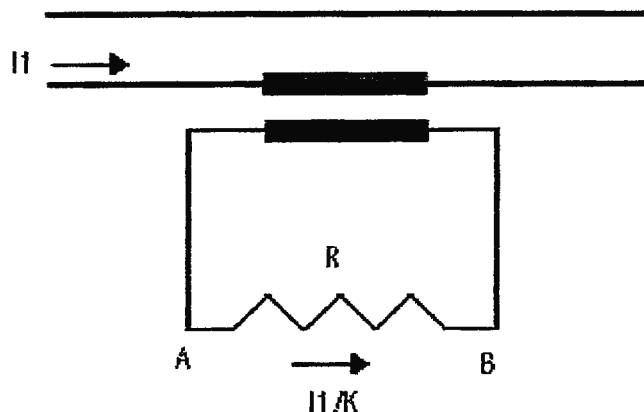


Figura 3.2.2.2 Conversión de corriente a voltaje a la salida del transformador.

Posteriormente para medir la señal de corriente se conectan las terminales A y B de la resistencia a un amplificador diferencial tal y como se vió en el apartado anterior y se sigue el mismo procedimiento. En este caso el circuito procesará la señal de voltaje en la resistencia R y más adelante por medio de software se recuperaran los niveles de corriente reales del sistema.

Las conexiones de a realizar se muestran en la siguiente figura.

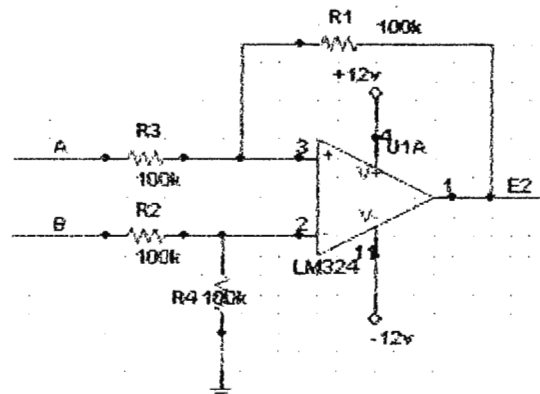


Figura 3.2.2.3 Amplificador diferenciador para la corriente.

3.3 CIRCUITO COMPARADOR Y GENERADOR DE SEÑALES TTL

Una vez obtenidas las señales de voltaje y de corriente provenientes de las líneas de alimentación, en niveles compatibles con los circuitos electrónicos, es necesario determinar el desfase existente entre estas señales para poder determinar el Factor de Potencia. Como el procesamiento de las señales será efectuado por dispositivos TTL, las señales deberán de convertirse inicialmente a dicho formato por medio de circuitos comparadores.

El comparador utilizado en el proyecto es un IC LM311 que es un comparador de precisión diseñado y optimizado para un alto rendimiento en aplicaciones como detector de niveles de voltaje.

El circuito a implementar se muestra la figura 3.3.1.

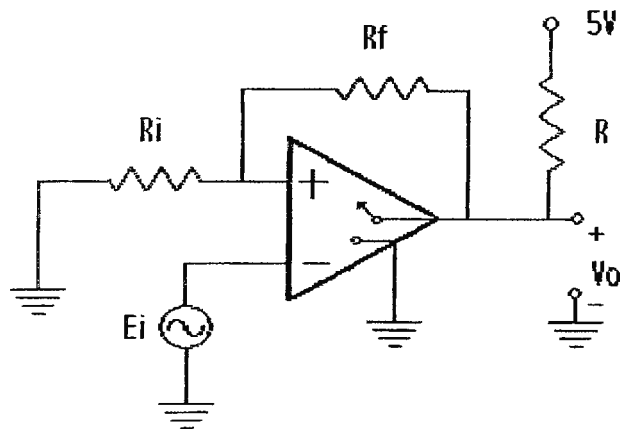


Figura 3.3.1 Estructura interna del comparador de voltaje IC LM311

El modelo del circuito muestra que su salida V_o se comporta como un interruptor conectado entre la terminal 7 y la 1. La terminal 7 puede conectarse a cualquier voltaje V_{++} con magnitudes de hasta +40v.

Cuando la entrada (+), terminal 2 es más positiva que la entrada (-), terminal 3, el interruptor interno equivalente de la salida del comparador está abierto. V_o se determina entonces por V_{++} que para este caso será de +5V.

Cuando la entrada (+), es menos positiva que la entrada (-), el interruptor equivalente de la salida del comparador se cierra y extiende la tierra de la terminal 1 hasta el terminal 7 de salida, por lo que V_o tomará el valor de 0V.

El propósito de R_f y de R_i es el de agregar cerca de 50mV de histéresis para minimizar los efectos de ruido, de modo que la terminal 2 esté en esencia a 0V.

Las formas de onda para las señales de voltaje y de corriente se muestran en la figura 3.3.2 y el circuito respectivo en la figura 3.3.3.

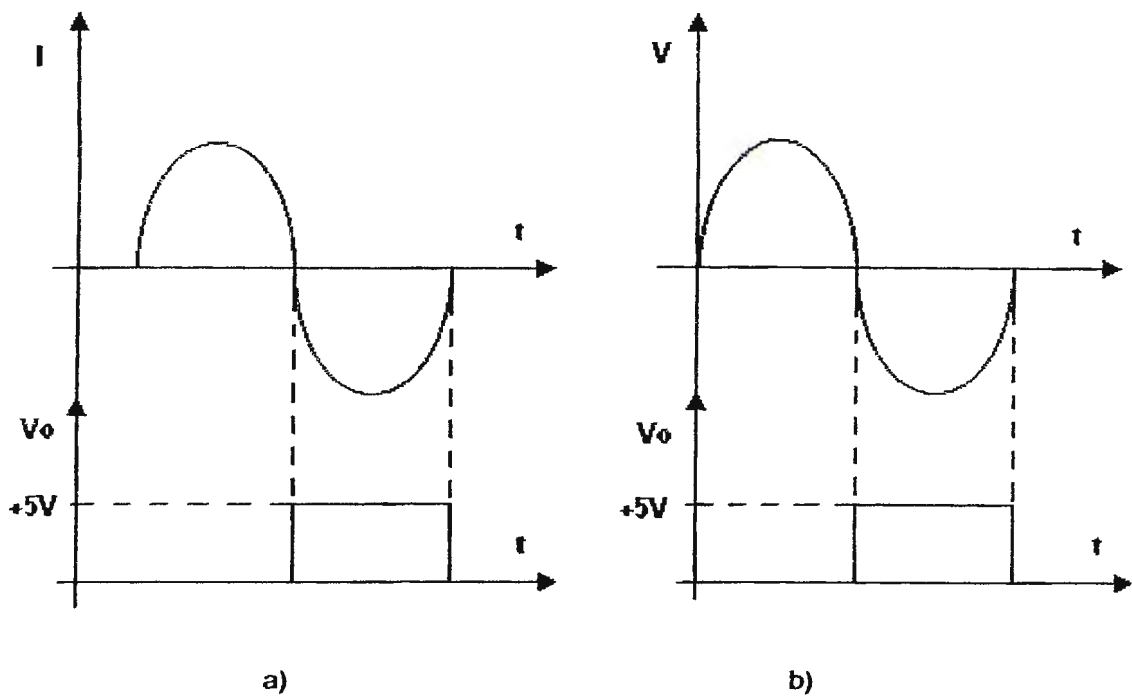


Figura 3.3.2 Formas de onda a la salida del comparador para: a) el voltaje y b) la corriente.

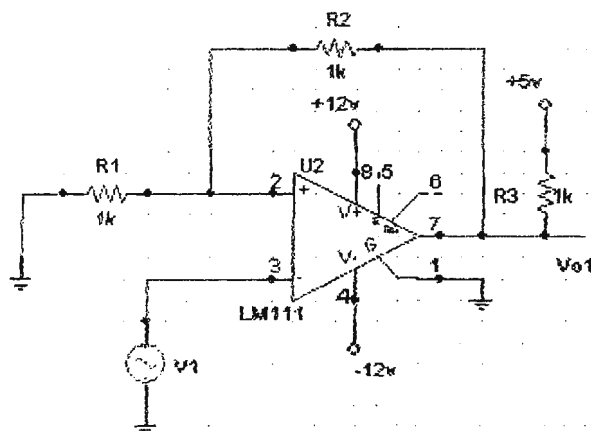


Figura 3.3.3 Circuito comparador para las señales de Voltaje y Corriente

Como puede observarse de los gráficos, V_{o1} se encuentra a 0V (interruptor cerrado) para los medios ciclos positivos de E_i . V_{o1} está a +5V (interruptor abierto) para los medios ciclos negativos de E_i . Este es el circuito común de interfaz; esto es, los voltajes pueden variar entre niveles de -15V y +15V; pero V_{o1} está restringido dentro del rango de 0V y +5V, los cuales son niveles típicos de las señales digitales. De modo que el LM311 puede usarse para convertir niveles de voltaje analógicos en niveles digitales.

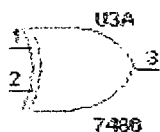
Nota: Como puede observarse del circuito comparador, la salida V_{o1} puede tomar solamente dos valores de voltaje (0 ó +5V) según la señal E_i se encuentre sobre o por debajo del nivel de referencia de 0V; por lo cual, por efectos de simplicidad en el circuito no interesan las magnitudes de dicha señal.

3.4 CIRCUITO DETECTOR DE DESFASE.

Con las señales de voltaje y de corriente convertidas a un formato TTL es posible determinar el desfase existente entre ambas señales por medio de una compuerta OR-EXCLUSIVA.

Una compuerta OR-EXCLUSIVA es una compuerta de dos entradas cuya salida es 1 lógico si exactamente una de sus entradas es 1. Dicho de otra forma, una compuerta XOR produce una salida de 1 lógico si sus entradas son diferentes.

En la figura 3.4.1 se muestra el diagrama de una compuerta lógica XOR y su tabla de verdad.



a)

X	Y	XOY
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

b)

Figura 3.4.1 Compuerta OR-EXCLUSIVA a) Diagrama lógico. b) Tabla de verdad.

Para poder medir el desfase de las señales se conectan las salidas de los comparadores a cada una de las entradas X y Y de la compuerta. Como resultado se obtiene un pulso TTL de ancho igual al desfase de las señales tal y como se muestra en la figura 3.4.2.

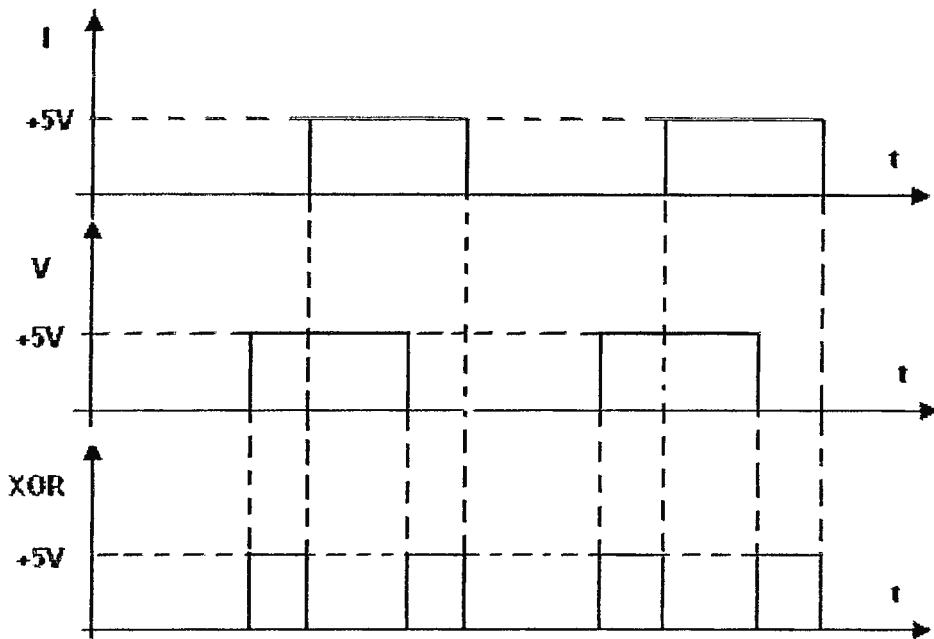


Figura 3.4.2 Medición del desfase entre Corriente y Voltaje con una XOR

3.5 CIRCUITO GENERADOR DE TREN DE PULSOS

3.5.1 Frecuencia de oscilación

Las señales muestreadas de las líneas de alimentación corresponden a señales de voltajes (o de corrientes) a una frecuencia igual a 60Hz las cuales se pueden expresar por medio de la siguiente función:

$$V = 120\text{sen}(120\pi t - \theta)$$

Como la señal es periódica se necesitan de 360° eléctricos o de 2π radianes para que describa un ciclo completo. Por lo tanto la señal a procesar está compuesta por 360° eléctricos a lo largo de todo su período T, el cual está definido como:

$$T = \frac{1}{F} = \frac{1}{60} = 16.6 \text{ mseg}$$

y donde cada ángulo eléctrico tiene una duración o ancho de pulso de:

$$T_o = \frac{16.6}{360} = 46.27 \text{ } \underline{\mu\text{seg}}$$

Por lo que la frecuencia de muestreo a utilizar para determinar el número de grados eléctricos del cual está compuesto el desfase, deberá de ser igual a:

$$F_{\text{muestreo}} = \frac{1}{T_o} = \frac{1}{46.27 \mu\text{seg}} = 21.608 \text{ KHz}$$

3.5.2 Diseño del circuito

Para lograr generar la señal cuadrada se utiliza un *Oscilador Controlado por Voltaje* o VCO el cual es un circuito que proporciona una señal oscilante cuadrada (típicamente en forma de onda cuadrada o triangular) cuya frecuencia puede ajustarse en un intervalo controlado por un voltaje de control DC.

Un ejemplo de un VCO es el CI566 (el cual es el que se utiliza en este proyecto) que contiene circuitos internos para generar señales en forma de onda tanto triangular como cuadrada y cuya frecuencia se ajusta mediante un resistor y un capacitor externos y después se varía por medio de un voltaje aplicado.

En la figura 3.5.2.1 muestra el diagrama de bloques interno del IC566.

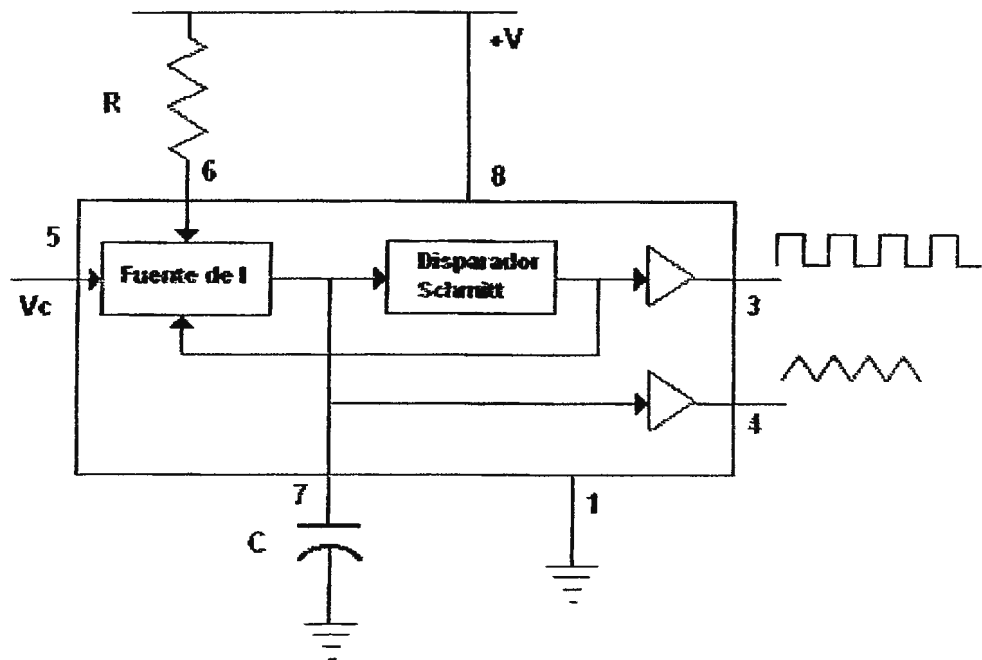


Figura 3.5.2.1 Diagrama interno del IC566

El oscilador puede programarse dentro de un intervalo de frecuencias de 10 a 1 mediante la selección adecuada de un resistor y un capacitor externo (R_1 y C_1) y después modularse dentro de un intervalo de frecuencias de 10 a 1 por medio de un voltaje de control V_C .

La frecuencia libre de oscilación o frecuencia central f_o está dada por:

$$f_o = \frac{2}{R_1 C_1} \left(\frac{V^+ - V_C}{V^+} \right)$$

con las siguientes restricciones prácticas de valores en los dispositivos:

1. R_1 debe encontrarse dentro del intervalo: $2K\Omega \leq R_1 \leq 20K\Omega$
2. V_C debe de estar en el intervalo: $\frac{3}{4}V^+ \leq V_C \leq V^+$
3. f_o debe de ser menor que 1Mhz.
4. V^+ debe de estar en el intervalo: $10V \leq V^+ \leq 24V$.

En la figura 3.5.2.2 se muestran las conexiones del IC566 para generar señales tanto cuadradas como triangulares a la frecuencia deseada fijada mediante R_1 , C_1 y V_1 .

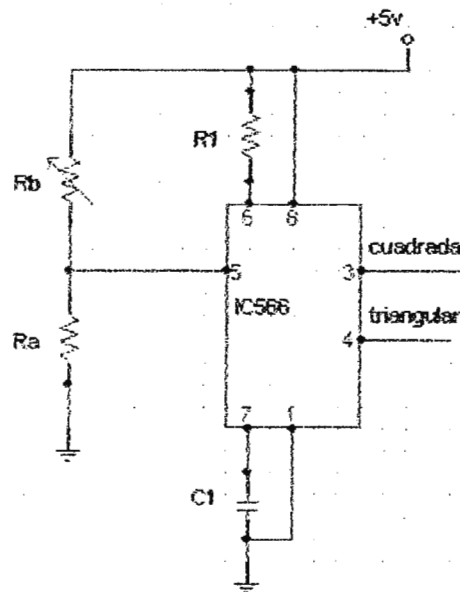


Figura 3.5.2.2 Conexiones del IC566 como generador de señales cuadradas y triangulares.

Donde V_C está fijado por la red divisora de tensión determinada por R_A y R_B así:

$$V_C = V^+ \left(\frac{R_A}{R_A + R_B} \right)$$

3.5.3 Cálculo y selección de los elementos

Para el diseño de los componentes del circuito se parte del hecho que la frecuencia de oscilación del VCO es de 26.1Khz.

Se tiene entonces según la ecuación de la frecuencia de oscilación libre:

$$f_o = 21.6KHz = \frac{2}{R_1 C_1} \left(\frac{V^+ - V_C}{V^+} \right)$$

Seleccionando adecuadamente ciertos elementos se tiene:

$$\text{Sean } C_1 = 0.01\mu\text{f}, V^+ = +12\text{V y } V_C = +10\text{V.}$$

De la ecuación anterior se despeja el valor de R_1 :

$$R_1 = 1.54\text{K}\Omega$$

Luego sabiendo que V_C es igual a +10V y asumiendo un valor de R_A igual a $1\text{K}\Omega$, se tiene:

$$V_C = 10 = 12 \left(\frac{R_A}{R_A + R_B} \right)$$

se despeja para R_B :

$$R_B = \frac{12}{10} R_A - R_A = R_A \left(\frac{12}{10} - 1 \right) = 1\text{K}\Omega * 0.2 = 200\Omega$$

La señal deseada se obtiene entonces en el pin 3 del IC566.

Sin embargo, puede observarse que la señal obtenida tiene un cierto nivel de offset (aproximadamente de 2 voltios) por lo cual se conecta a su salida un capacitor de $2.2\mu\text{f}$ para eliminar esta componente de DC y obtener así una señal alterna cuadrada como lo muestran las siguientes gráficas de la figura 3.5.3.1:

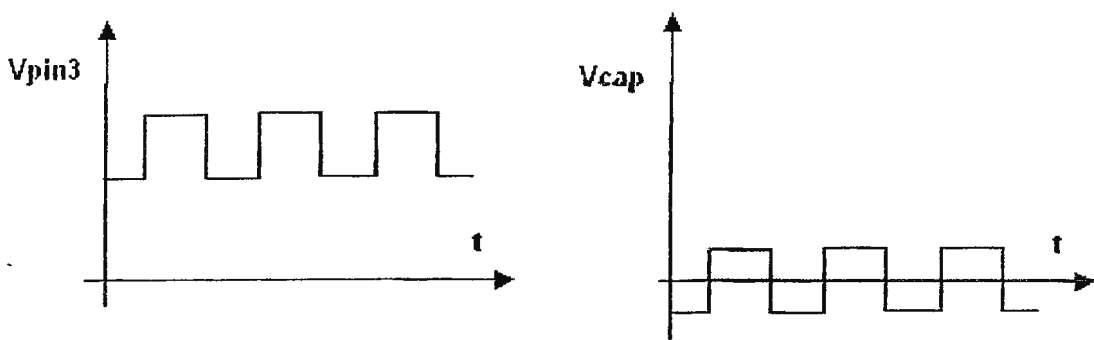


Figura 3.5.3.1 Señal a la salida del IC566. a) En el pin 3. b) Luego del capacitor en serie.

Nota: Obsérvese el uso de un potenciómetro en lugar de R_A con el objeto de tener un mejor ajuste para la frecuencia de oscilación del VCO.

Sin embargo, los niveles de voltaje de esta señal todavía no son los adecuados para ser procesados por los circuitos de las etapas siguientes compuestas por circuitos digitales. Es necesario convertir esta señal alterna a un formato TTL compatible con dichos elementos. Esto se logra por medio del circuito comparador de niveles de voltaje, el LM311, descrito en las secciones anteriores.

El diagrama del circuito que realice esta función se muestra a continuación en la siguiente figura.

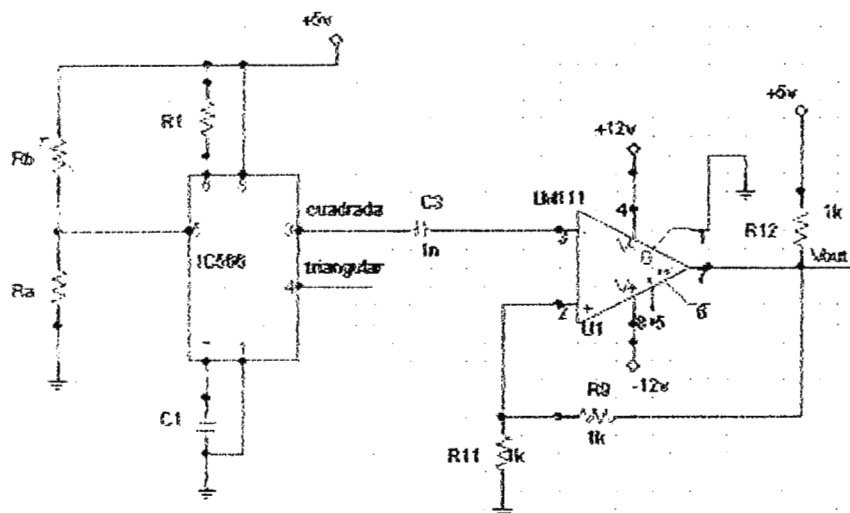


Figura 3.5.3.2 Circuito para la generación de una señal TTL a una frecuencia de oscilación de 21.6Khz.

Las señales obtenidas se muestran también en los siguientes gráficos.

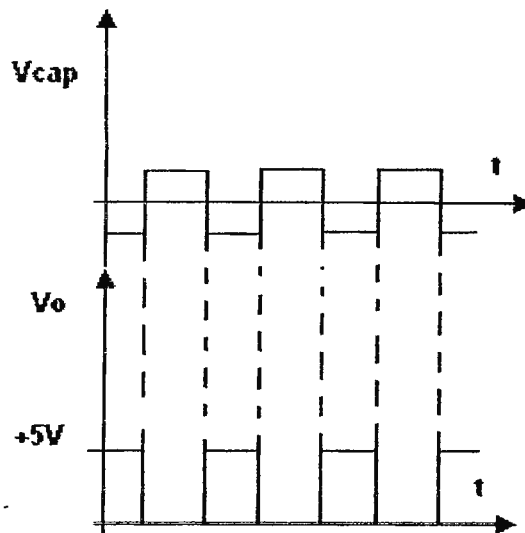


Figura 3.5.3.3 Señales generadas por el oscilador

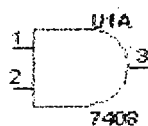
3.6 CIRCUITO SINCRONIZADOR DE SEÑALES.

3.6.1 Principio de Enmascaramiento.

Una vez obtenidas las señales TTL, tanto del oscilador como del circuito detector desfase, se medirá el desfase de las señales por medio de un "conteo" indirecto del número de pulsos (provenientes del oscilador, el cual representa el número de grados eléctricos de la señal alterna) que se dan a lo largo del ancho de pulso de la señal de desfase.

Este proceso se conoce también como enmascaramiento y se logra cuando ambas señales se conectan a las entradas de una compuerta AND.

El diagrama lógico y la tabla de verdad de una compuerta AND se muestran a continuación en la figura 3.6.1.1.



a)

X	Y	X Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

b)

Figura 3.6.1.1 Compuerta AND a) Diagrama lógico y b) Tabla de verdad.

Como puede observarse de la tabla de verdad, la salida de la compuerta estará en estado lógico ALTO sólo cuando sus entradas X y Y se encuentren en estado lógico ALTO, de lo contrario si las entradas son diferentes la salida siempre estará en estado lógico BAJO.

Este principio es el que se utiliza para cuantificar el número de grados eléctricos ó número de pulsos que se dan durante la ventana correspondiente al ancho de pulso de la señal de desfase.

Este proceso se muestra en la gráfica siguiente.

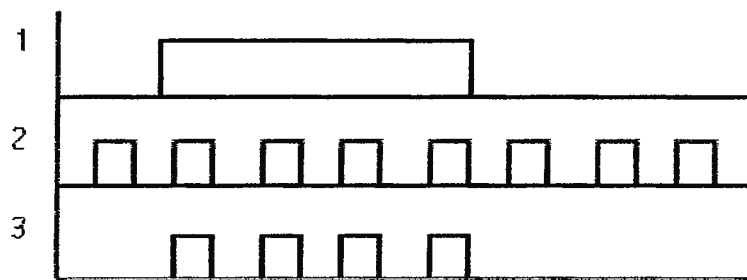


Figura 3.6.1.2 Proceso de enmascaramiento con una compuerta AND.

Cuando la entrada 1 (ventana de ancho de pulso de la señal de desfase) está en estado lógico ALTO, entonces la compuerta deja pasar el tren de pulsos del oscilador, entrada 2, que sería equivalente al número de grados eléctricos que separan las señales de voltaje y de corriente en el sistema. Cuando la entrada 1 pasa a un estado lógico BAJO, entonces la salida de la compuerta pasa a un estado lógico BAJO sin importar el estado de la entrada 2.

Sin embargo esta configuración no es del todo precisa ya que en los puntos extremos de la señal de desfase no siempre coincidirán con los extremos de los pulsos del oscilador. Este fenómeno se muestra en la siguiente gráfica y se conoce como no sincronismo entre señales.

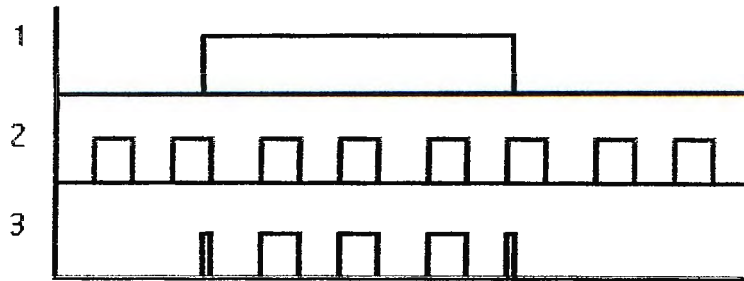


Figura 3.6.1.3 Efecto de no sincronismo entre la señal de desfase y del tren de pulsos.

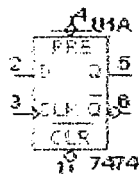
Como puede observarse de una manera más detallada, cuando se da el enmascaramiento entre señales se generan ciertas irregularidades en los pulsos de los extremos, ya que estos son más angostos que los otros y esto podría generar errores de precisión en las etapas siguientes.

Una manera de evitar estas peculiaridades y lograr el sincronismo de las señales es por medio de un arreglo de biestables o flip-flops tipo D el cual se detalla en la siguiente sección.

3.6.2 El biestable o Flip-Flop tipo D.

Este tipo de biestable es útil en aplicaciones de control que requieran del almacenamiento temporal de información.

En la siguiente figura se representa el circuito lógico y la tabla de verdad del flip-flop D 74LS74.



a)

C	D	Q	\bar{Q}
1	0	0	1
1	1	1	0
0	X	ultimo Q	ultimo \bar{Q}

b)

Figura 3.6.2.1 Flip-Flop D 74LS74 a) Circuito lógico b) Tabla de Verdad

Cuando la entrada C es ALTA, la salida Q sigue a la entrada D. Se dice que el biestable está "abierto" y deja pasar cualquier condición que tome su entrada D. Cuando la entrada C es BAJA, el biestable se "cierra", la salida Q retiene su último valor y no lo cambia aunque la entrada D cambie.

Una vez comprendido el funcionamiento del biestable D, es necesario ahora la sincronización de las señales del oscilador y la del desfase. Esto se logra por medio de una configuración de flip-flops llamada *Flip-Flop tipo D disparado por Flanco Positivo*, el cual se detalla a continuación.

3.6.3 Flip-Flop tipo D disparado por Flanco Positivo.

Este circuito combina un par de biestables D para crear un circuito que muestree sus entradas D y cambie sus salidas Q y \bar{Q} sólo con el borde de ascenso de una señal de reloj de control, CLK.

El circuito lógico y la tabla de verdad se muestran a continuación en la siguiente figura.

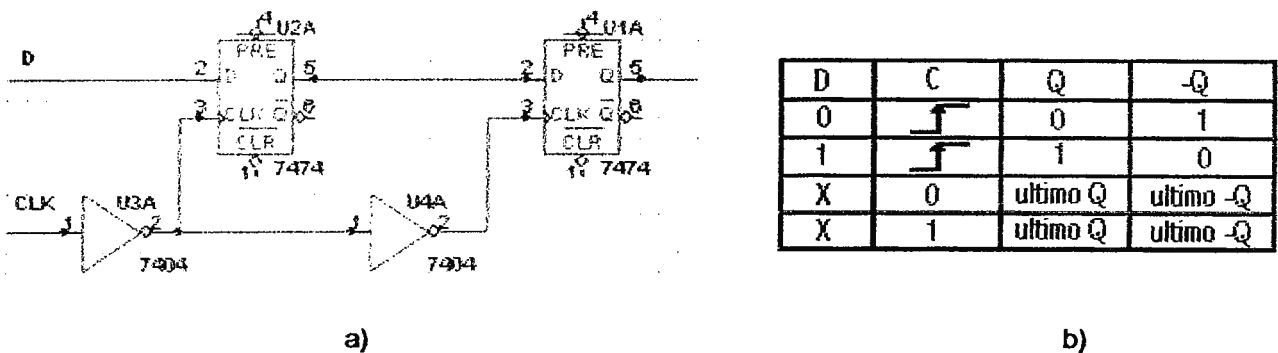


Figura 3.6.3.1 Flip-Flop tipo D disparado por Flanco Positivo a)Circuito Lógico y b) Tabla de Verdad.

Al primer biestable se le conoce como el *maestro* el cual está abierto y sigue la entrada D cuando CLK está en estado BAJO. Cuando CLK pasa a estado ALTO (en una transición positiva), el biestable maestro se cierra y su salida se transfiere al segundo biestable, conocido también como el *esclavo*. El biestable esclavo está abierto todo el tiempo que CLK esté ALTO, aunque cambie durante el resto del intervalo.

Así pues, si en la entrada D se conecta la señal proveniente del desfase y en la entrada de reloj la señal del oscilador logrando así obtener la sincronización de las señales tal y como lo muestra la siguiente gráfica:

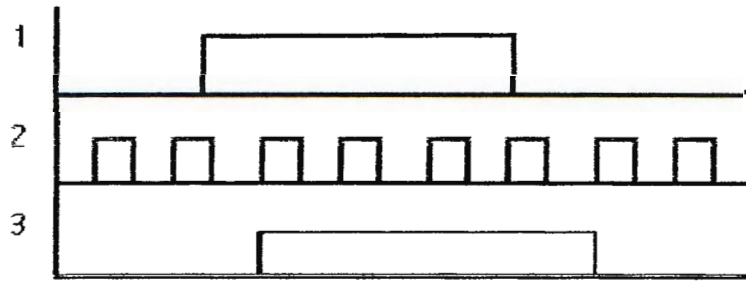


Figura 3.6.3.2 Sincronización de las señales del oscilador y del desfase.

Ahora ambas señales se encuentran sincronizadas, esto es, el pulso en alto para ambas señales se da al mismo tiempo y pueden ser usadas en el circuito de enmascaramiento explicado anteriormente.

El diagrama general del circuito sincronizador y de enmascaramiento se muestra a continuación.

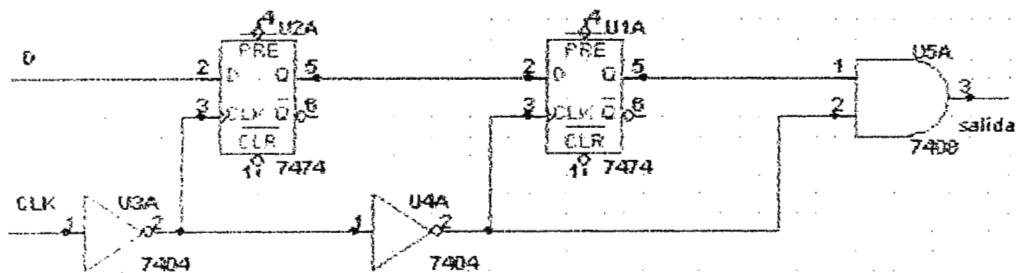


Figura 3.6.3.3 Circuito Sincronizador y de Enmascaramiento análogo-digital

3.7 CIRCUITO CONTADOR DE PULSOS

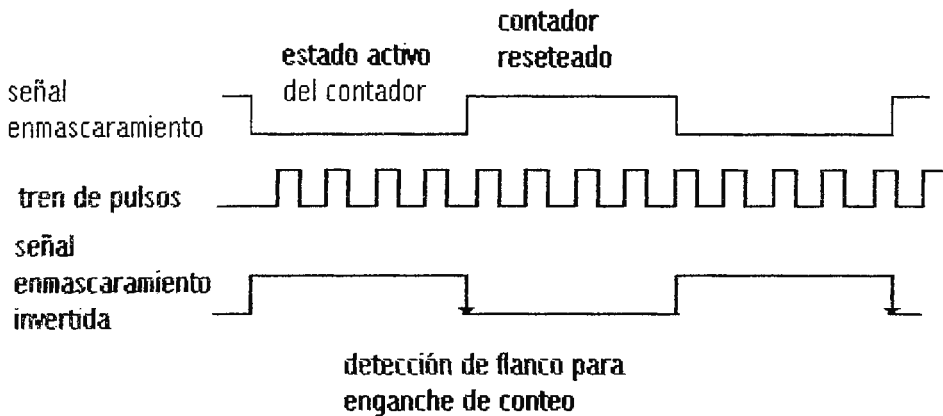
Para poder contar el número de pulsos (equivalentes a los grados eléctricos) que existen de desfase entre las señales de corriente y de voltaje se utiliza el contador binario dual 74LS393 de 4 bits conectado en cascada para poder realizar un conteo de 8bits.

El tren de pulsos llega a la entrada A que es el clock del contador, el cual está activado durante el período de enmascaramiento. Cuando se ha realizado la

cuenta máxima la señal de enmascaramiento pasa a un estado activo bajo y resetea el valor del contador para comenzar una nueva cuenta.

Para poder leer el valor de la cuenta, se utiliza el flip-flop D octal 74LS273 el cual utiliza la señal de enmascaramiento como señal de clock. Cada vez que ocurre un flanco positivo el flip-flop engancha el valor en sus entradas y este es leído posteriormente por el puerto B de la PPI.

Esta lógica se puede entender mejor con el diagrama de tiempo siguiente.



El circuito que efectúa esta secuencia se muestra a continuación.

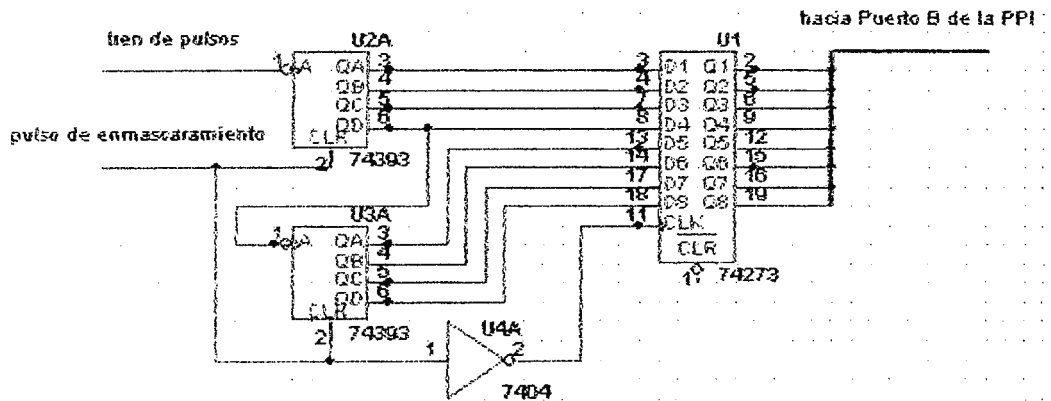


Figura 3.7.1 Circuito contador de pulsos

3.8 CIRCUITO CONVERTIDOR ANALOGO-DIGITAL

3.8.1 El ADC 0804

Tanto los convertidores Análogo-Digital (ADC) como los convertidores Digital-Análogo (DAC) se utilizan para conectar al microprocesador con el mundo analógico. Muchas operaciones de control dependen de parámetros externos que varíen de manera analógica tales como temperatura, presión y en este caso señales de voltaje y de corriente. Para ello el uso de un convertidor es una alternativa confiable y de alta precisión que permite la digitalización de señales análogas para su posterior procesamiento en la computadora.

El ADC0804 es un convertidor Análogo-Digital de 8 bits de tecnología CMOS de bajo costo el cual es compatible con una amplia gama de microprocesadores en aplicaciones que no requieran de una alta velocidad de respuesta. Este integrado requiere hasta 100 μ seg para la conversión de una entrada de voltaje análogo a una salida de código digital.

En la siguiente figura se muestra el diagrama del ADC0804.

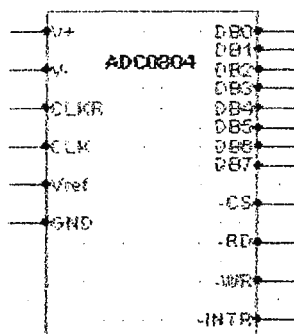


Figura 3.8.1.1 Diagrama del Convertidor Análogo-Digital ADC0804

Para comprender el funcionamiento interno del convertidor es necesario comprender su diagrama de tiempo, el cual se detalla a continuación en la siguiente figura.

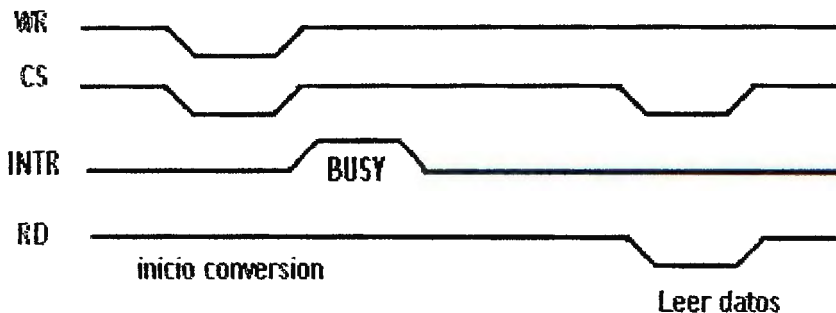


Figura 3.8.1.2 Diagrama de tiempo interno del ADC0804.

Para que el convertidor inicie su conversión, se pulsa la terminal WR (write o escritura) con la terminal CS (Chip select o selección de chip) conectada a tierra. Debido a que este convertidor requiere una cantidad considerable de tiempo para la conversión, una terminal etiquetada con INTR (interruption request o solicitud de interrupción) señala el fin de conversión. Como se puede ver, se pone a funcionar el convertidor con el pulso WR, se espera un tiempo de acceso de 1 a 8 veces el periodo del reloj del convertidor y luego la línea de INTR pasa a un estado ALTO llamado también estado BUSY (ocupado) en el cual se realiza la conversión. Pasado este tiempo de conversión, cuando INTR cambie a un estado BAJO, se pueden leer los datos en el puerto de salida del convertidor. Si se utiliza un retardo de tiempo que permita cuando menos 100 μ seg entonces no se necesita tomar la terminal INTR.

3.8.2 Señal análoga de entrada.

Antes de conectar el ADC0804 con la computadora, se verá en un principio como es que el convertidor procesa internamente las señales análogas del exterior.

Existen dos entradas análogas para el ADC0804 que son $V_{IN(+)}$ y $V_{IN(-)}$, pines 6 y 7 respectivamente. Estas entradas análogas están conectadas internamente con un amplificador operacional como se muestra en la siguiente figura.

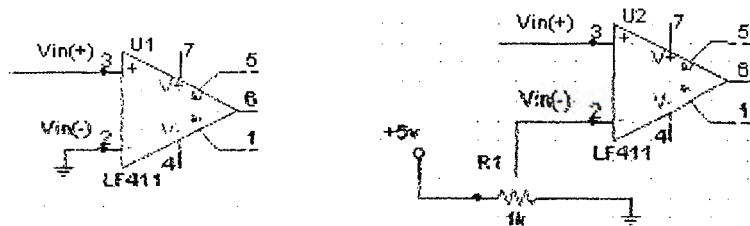


Figura 3.8.2.1 Entradas análogas del ADC0804.

Las entradas diferenciales se suman en el amplificador operacional para producir una señal interna al convertidor. En la primera forma se emplea una sola entrada que puede variar entre 0 y +5V. En la segunda forma un voltaje variable aplicado a la terminal $V_{IN(-)}$ a fin de poder ajustar una referencia diferente de 0 para $V_{IN(+)}$.

Sin embargo el voltaje a la entrada que se desea convertir es de tipo alterno, lo que representa un problema para el convertidor ya que no puede procesar voltajes negativos. Este deberá de variar entre 0 y +5V.

Para poder convertir este voltaje senoidal es necesario hacer un arreglo previo tal y como se muestra en la siguiente figura.

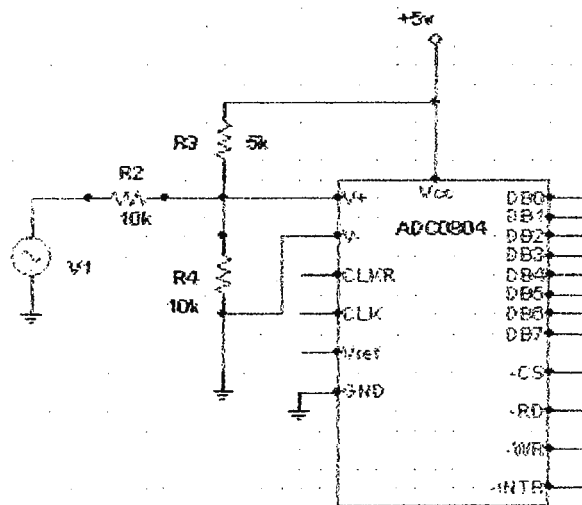


Figura 3.8.2.2 Circuito para la conversión de un voltaje senoidal a un formato digital.

Para entender el funcionamiento del circuito se hace un análisis nodal en la terminal $V_{IN(+)}$.

Para analizar este voltaje se redibuja el circuito como en la siguiente figura:

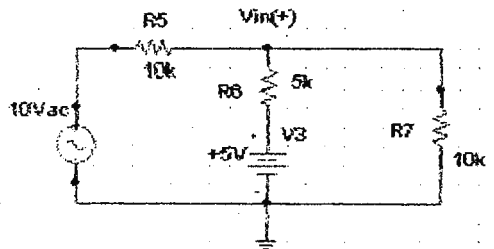


Figura 3.8.2.3 Circuito de entrada del convertidor.

Haciendo un análisis de nodos se tiene:

$$\frac{V_{IN}(+) - V_{IN}}{10K\Omega} - \frac{V_{IN}(+) - 5}{5K\Omega} + \frac{V_{IN}(+)}{10K\Omega} = 0$$

$$\frac{V_{IN}(+) + 2V_{IN}(+) + V_{IN}(+)}{10K\Omega} = \frac{V_{IN}}{10K\Omega} + \frac{10}{10K\Omega}$$

$$4V_{IN}(+) = V_{IN} + 10$$

$$V_{IN}(+) = \frac{V_{IN} + 10}{4}$$

Así, cuando:

$$V_{IN} = -10V, \quad V_{IN}(+) = 0V$$

$$V_{IN} = 0V, \quad V_{IN}(+) = +2.5V$$

$$V_{IN} = +10V, \quad V_{IN}(+) = +5V$$

Por lo que el arreglo permite realizar un cambio de escala adecuado para poder convertir señales alternas de $\pm 10V$.

3.8.3 Generación de la señal de reloj interna ADC0804.

El ADC0804 requiere de un reloj para funcionar. El reloj puede ser externo conectado con la terminal CLK_{IN} o se puede generar con un circuito RC. El intervalo permisible para las frecuencias de reloj está entre los 100 y los 1460Khz.

Si el reloj se genera con un circuito RC, se utilizan las terminales CLK_{IN} y CLK_R conectados con un circuito RC como se muestra en la siguiente figura.

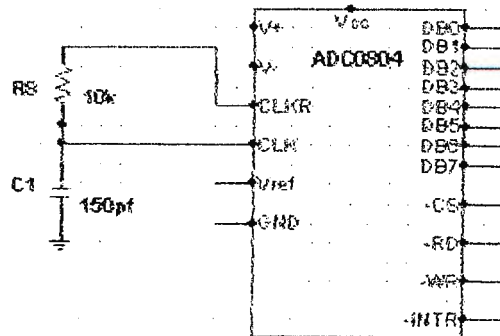


Figura 3.8.3.1 Generación del reloj para el ADC0804 por medio de una red RC.

Cuando se utiliza esta conexión, la frecuencia de reloj f_{CLK} se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$f_{CLK} = \frac{1}{1.1RC}$$

Seleccionando R igual a $10K\Omega$ y C igual a $150pf$ se determina la frecuencia de reloj de:

$$f_{CLK} = \frac{1}{1.1 * 10K\Omega * 150pf} = 606.06KHz$$

3.9 ACCESO A LA MEMEORIA DE LA PC POR MEDIO DEL SLOT.

En la computadora se tienen disponibles ranuras o "slots" de expansión que permiten construir circuitos que puedan ser direccionados por la PC, pues tienen acceso a todas las líneas del sistema del microprocesador.

Existen diferentes tipos de slots tales como el bus ISA de 8 bits, el bus ISA de 16 bits y el bus EISA también llamado microcanal.

A continuación se describen cada uno de los pines del slot ISA de 8 bits que es el que se emplea en este proyecto.

PIN	FUNCION	PIN	FUNCION	PIN	FUNCION	PIN	FUNCION
A1	I/OCHCK	A17	A14	B1	Tierra	B17	DACK 1
A2	D7	A18	A13	B2	Reset Drive	B18	DRQ 1
A3	D6	A19	A12	B3	+5 VCD	B19	Refresh
A4	D5	A20	A11	B4	IRQ 9	B20	CLK
A5	D4	A21	A10	B5	-5 VCD	B21	IRQ 7
A6	D3	A22	A9	B6	DRQ 2	B22	IRQ 6
A7	D2	A23	A8	B7	-12 VDC	B23	IRQ 5
A8	D1	A24	A7	B8	WS	B24	IRQ 4
A9	D0	A25	A6	B9	+12 VDC	B25	IRQ 3
A10	I/OCHRDY	A26	A5	B10	Tierra	B26	DACK 2
A11	AEN	A27	A4	B11	SMEMW	B27	T/C
A12	A19	A28	A3	B12	SMEMR	B28	BALE
A13	A18	A29	A2	B13	IOW	B29	+5 VDC
A14	A17	A30	A1	B14	IOR	B30	OSC
A15	A16	A31	A0	B15	DACK 3	B31	Tierra
A16	A15			B16	DRQ 3		

A continuación se detallan las funciones de cada uno de los pines del bus ISA de 8 bits.

A0-A19 (S): Representa el bus de direcciones de la PC y son usados para direccionar memoria y dispositivos de E/S dentro del sistema. Son 20 líneas de direccionamiento que permiten acceder hasta 1MB de memoria.

CLK(S): Es la señal de reloj del sistema. Debe usarse solo para efectos de sincronización.

RESET DRV(S): Inicializa la lógica del sistema al encender la PC o después de una falla de energía.

D0-D7(E/S): Son los 8 bits menos significativos del bus de datos del sistema. En transferencias de 8 bits son los únicos utilizados, los otros 8 bits se tienen en la parte complementaria del bus ISA de 16 bits.

BALE(S): Abreviatura de "Buffered Address Latch Enable". Esta señal proviene del controlador de bus 82288 y es utilizada para enclavar direcciones validas del microprocesador. Se utiliza como indicador de direcciones válidas del DMA¹ o del CPU.

I/O CH CK(E): Esta señal proporciona al sistema información de error de paridad en memoria o dispositivos en los canales de E/S. Es activa en BAJO.

I/O CH RDY(E): Cuando esta señal es **BAJA**, indica que el dispositivo periférico no está listo, permitiendo prolongar los ciclos de E/S. Es utilizada para manejar dispositivos periféricos lentos.

IRQ3-IRQ7(E): Son señales de solicitud de interrupción, IRQ7 es la de mayor prioridad e IRQ3 la de menor.

IOR(E/S): Esta señal le indica a un periférico que maneje sus datos a través del bus de datos. La señal es controlada por el microprocesador, el controlador DMA o similares, presentes en el canal de E/S. Es activa en **BAJO**.

SMEMR(S): Esta señal indica a los dispositivos de memoria que deben manejar los datos a través del bus de datos. Es controlada por el CPU o el controlador DMA. Es activa sólo para rangos menores a **1MB** de memoria.

DRQ1-DRQ(E): Son las señales de solicitud de transferencia por canales DMA. DRQ1 es la de mayor prioridad y DRQ3 es la de menor. Se mantiene en alto hasta que el correspondiente DACK se activa.

AEN(S): Cuando esta señal se activa (**ALTO**), el CPU cede el control sobre el bus de direcciones y bus de datos al controlador del DMA, permitiendo la transferencia de DMA.

REFRESH(E/S): Esta señal indica un ciclo de refrescamiento. Es activa en **BAJO** y puede controlarla el microprocesador en el canal de E/S.

T/C(S): Proporciona un pulso alto cuando es alcanzada la cuenta final por cualquier canal DMA.

OSC(S): Señal de reloj de 14,32 Mhz no sincronizada.

3.10 LA INTERFAZ PERIFERICA PROGRAMABLE (PPI)

3.10.1 Introducción básica

La interfaz periférica programable PPI8255 es un producto de INTEL para el control de entradas y salidas (E/S) en dispositivos computarizados con interfaces de muy bajo costo y de una gran variedad de aplicaciones.

La PPI tiene 24 terminales de E/S programables por grupos de 12 terminales que se utiliza en tres modos diferentes de funcionamiento. La PPI puede tener interfaz con cualquier dispositivo de E/S compatible con TTL para el microprocesador.

EL IC82C55A (versión CMOS) requiere introducir estados de espera si trabaja con un microprocesador que tenga un reloj de mas de 8Mhz. Debido a que los dispositivos de E/S son lentos por naturaleza, los estados de espera utilizados durante la transferencia de E/S no producen un efecto importante en la velocidad del sistema. El 8255 todavía tiene aplicación (compatible para la programación aunque no aparezca en un sistema como un 8255 discreto), incluso en los sistemas de computadoras mas recientes basados en un 80486. El 8255 se emplea para interfaz con teclado y con el puerto paralelo de la impresora en estas computadoras personales.

3.10.2 Descripción básica

3.10.2.1 Descripción de los pines

En la figura 3.10.2.1 se ilustra el diagrama básico de la PPI8255.

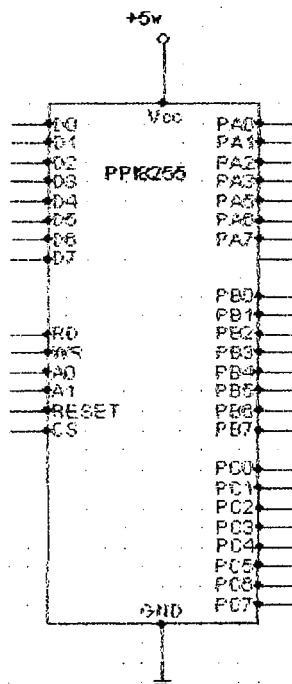


Figura 3.10.2.1 Diagrama de la PPI8255.

PINES E/S: Posee 24 pines para la entrada y salida de datos (E/S) agrupados en tres puertos: PUERTO A(PA₀-PA₇); PUERTO B(PB₀-PB₇) y PUERTO C(PC₀-PC₇).

V_{CC} y GND: Alimentación y tierra.

RESET: Se conecta al reset del sistema de una microcomputadora. Cuando el nivel lógico del reset es ALTO todos los registros vuelven a 0 y los pines de datos se colocan en alta impedancia.

BUS DE DATOS (D₀ –D₇): Bus bidireccional de tres estados.

SELECTOR DE CHIP(CS): Es el pin selector maestro de la PPI. Un nivel lógico BAJO en este pin selecciona a la PPI.

READ(RD): Cuando esta línea esta en estado BAJO el microprocesador esta recibiendo datos de la PPI.

WRITE(WR): Cuando esta línea es BAJA el microprocesador esta escribiendo datos en la PPI.

3.10.2.2 Descripción de los puertos de la PPI.

PUERTO A: Puede ser programado ya sea como entrada o como salida o como puerto bidireccional. Cuando se programa como bidireccional funciona como una extensión del bus de datos.

PUERTO B: Solamente puede ser programado como entrada o como salida, no bidireccional.

PUERTO C: Puede ser programado como un puerto para entrada o salida de 8bits.

Estos tres puertos pueden agruparse en dos grupos que son: GRUPO A y GRUPO B.

GRUPO A: Las conexiones de este grupo las forman las líneas del PUERTO A y la mitad superior de las líneas del PUERTO C.

GRUPO B: Las conexiones de este grupo las forman las líneas del PUERTO B y la mitad inferior de las líneas del PUERTO C.

3.10.2.3 Selección de los registros.

La selección de los registros de la PPI se logra por medio de las líneas A₀ y A₁ que seleccionaran un registro interno para programación u operación. En la figura 3.10.2.3 se muestra una tabla donde se dan las asignaciones de los puertos de E/S usadas para programación y acceso a sus puertos. A₀ y A₁ permiten seleccionar entre cada uno de los tres puertos o un registro de control.

Generalmente se conectan al bus de direcciones en las líneas AB_0 y AB_1 respectivamente de la computadora.

A1	A0	Puerto/Registro
0	0	Puerto A
0	1	Puerto B
1	0	Puerto C
1	1	Registro de Control

Figura 3.10.2.3 Tabla de asignación de los puertos de la PPI.

3.10.3 Programación de la PPI.

La programación de la PPI se logra accediendo al Registro de Control por medio de las líneas A_0 y A_1 . Escribiendo una palabra de control, como se ve en la figura 3.10.3.1 en este registro se prepara a la PPI en uno de sus tres modos posibles (de los cuales solo uno se explica en este documento).

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
----	----	----	----	----	----	----	----

D7: Bandera de fijación de modo. 1 activo.

D6-D5: selección de modo. 00 Modo 0
 01 Modo 1
 1X Modo 2

D4: Puerto A. 1 Entrada 0. Salida

D3: Puerto C (alto). 1 Entrada. 0 Salida.

D2: Selección de modo. 0 Modo 0. 1 Modo 1.

D1: Puerto B. 1 Entrada 0 Salida.

D0: Puerto C (bajo) 1 Entrada 0 Salida.

Figura 3.10.3.1 Registro de Control de la PPI.

Es fácil programar el IC8255 porque solo contiene 2 posibles comandos básicos, estos son el *comando A* y el *comando B*, seleccionados por el bit 7. El comando A programa la función de los grupos A y B, mientras que el comando B activa o desactiva los bits del puerto C, solo si el IC8255 se programa en el modo 1 o 2.

Las terminales del GRUPO B (PUERTO B y parte inferior del PUERTO C) se programan como terminales de entrada o de salida. El GRUPO B puede funcionar en el MODO 0 o en el MODO 1. El MODO 0 es el modo básico de E/S que permite programar a las terminales del GRUPO B como conexiones simples de E/S con "retención". El MODO 1 es el funcionamiento con señales de habilitación estroboscópica en algunos bits del GRUPO B cuando se transfieren datos por el PUERTO B y suministra señales de reconocimiento(handshake).

Las señales del GRUPO A (PUERTO A y parte superior del PUERTO C) también se programan como terminales de entrada o de salida. La diferencia es que el GRUPO A puede funcionar en los modos 0,1 y 2 y el funcionamiento en el MODO 2 es un funcionamiento bidireccional para el PUERTO A.

Si se pone un 0 en la posición 7 del byte de comando se selecciona el comando B. Este permite que cualquier bit del PUERTO C se active(1) o se desactive(0) si se hace funcionar a la PPI en el MODO 1 o en el MODO 2. De lo contrario, este byte de comando no se utiliza. A menudo se utiliza la función de activar o desactivar bits en sistemas de control para establecer o borrar un bit de control en el PUERTO C.

3.10.3.1 Funcionamiento en el MODO 0

Este funcionamiento permite que la PPI actúe como un registro de entrada o como dispositivo de salida con registro transparente, permitiendo al microprocesador leer o escribir datos de un puerto periférico. A continuación se detallan algunas de las funciones de la PPI en MODO 0.

1. El PUERTO A puede ser programado como entrada o como salida.
2. El PUERTO B puede ser programado como entrada o como salida.
3. Cada pin del PUERTO C puede ser programado como entrada o como salida.
4. Cuando el puerto es programado como salida, los datos son enganchados.
5. Los puertos de entrada no pueden enganchar datos.

El control del programa se realiza por medio de software, el cual se encargara de leer los datos de los puertos de la PPI. El PUERTO A estará destinado para accesar los datos del convertidor y el PUERTO B para la lectura del desfase de las señales. El PUERTO C será configurado como salida para la etapa de potencia.

3.11 DECODIFICADOR DE DIRECCIONES

Una vez entendido el funcionamiento de la PPI se verá la manera de como integrarlo con el resto del circuito. Para cualquier aplicación que requiera del manejo de datos por medio de una PC, los dispositivos periféricos (en este caso una PPI), deben de tener una dirección específica de memoria en la cual el procesamiento de la información será realizado. La decodificación de dirección es un proceso necesario debido a que cada operación interna que realice la PC necesita de una dirección específica de memoria y el usuario no puede hacer uso de una localidad de memoria que este destinada a una función propia de la PC.

El bus ISA de 8bits es el medio por el cual se introducirán los datos externos hacia la computadora en una dirección predeterminada por el usuario. Sin embargo este proceso no puede ser realizado aleatoriamente, deberá de utilizarse una determinada dirección de memoria que no sea compartida por ninguna otra función propia de la computadora ya que podría traer conflictos internos en la ejecución misma de las rutinas y programas.

En la computadora se cuenta con un "mapeo" de memoria del sistema para saber las direcciones a las cuales el usuario tiene derecho a acceder y cuales son las direcciones utilizadas por el sistema. De todas las direcciones de memoria existentes en la PC, desde la 0000 hasta la FFFF, no todas las aplicaciones están a disposición del usuario. Algunas de ellas están utilizadas por el disco duro, por temporizadores, por el controlador de interrupciones, etc...

Para este proyecto se utilizarán las localidades de memoria libres desde la 03E0 hasta la 03EF.

Para poder habilitar a la PPI se accederá entonces a una dirección de este segmento de memoria por medio del bus ISA de 8bits y cuando la dirección activada sea la que el usuario especificó, se mandará un pulso BAJO al pin CS y se activará la PPI.

El circuito que realice esta operación se muestra en la figura 3.11.1 donde a base de compuertas lógicas se decodifica la dirección que habilitará a la PPI.

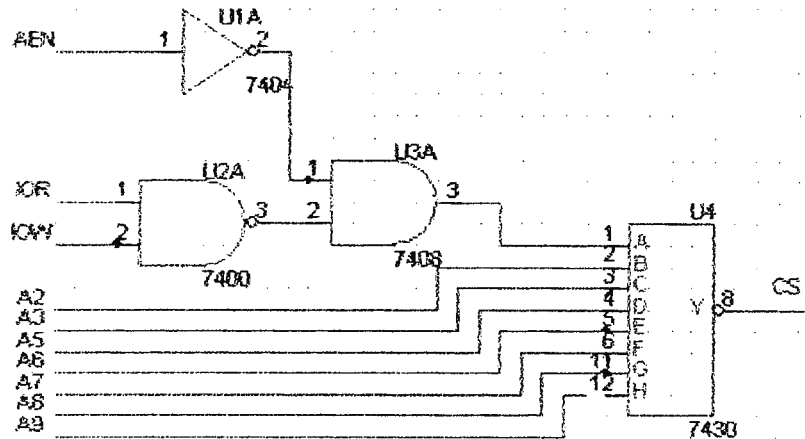


Figura 3.11.1 Circuito decodificador de direcciones.

Nótese que no se ha empleado la línea A_4 por lo que también el programa puede funcionar en las direcciones 3FC, 3FD, 3FE y 3FF.

Por medio de las líneas A_0 y A_1 se accesa también a cada uno de los registros de la PPI tal y como se ve en la siguiente tabla.

Dirección	Puerto/Registro
03EC	PUERTO A
03ED	PUERTO D
03EE	PUERTO C
03EF	Registro de Control

Figura 3.11.2 Direcciones de los Registros de la PPI.

3.12 INTERFAZ DE POTENCIA

Para el control de las etapas de los condensadores se utilizará el Puerto C de la PPI, el cual se accesa por medio de la dirección 03EE. La salida TTL de la PPI proporciona una corriente como máximo de 20mA para un estado lógico activo en cualquier bit del Puerto C. Por tanto cualquier conexión directa que se quiera realizar con la PPI y que requiera de una cantidad elevada de corriente podría incluso hasta dañar el integrado. En la mayoría de los casos en los que se necesita combinar circuitería TTL con sistemas de potencia es necesario el aislamiento óptico de ambas partes para la protección y el buen funcionamiento del circuito electrónico. En este proyecto se presenta el uso de interruptores ópticos como medio de aislamiento de la PPI.

3.12.1 Aislamiento óptico.

El circuito está basado en un interruptor óptico el cual se activa cuando el ánodo del emisor es excitado por un nivel de voltaje. Cuando esto ocurre, un haz luminoso excita la base del receptor y este se satura, cerrando así el circuito. Note que el receptor está alimentado por otra fuente de voltaje con su tierra completamente diferente que la tierra del transmisor. Esto se hace con el propósito de que no existan corrientes de retorno que afecten el funcionamiento del circuito. Posteriormente la salida del receptor está conectada a una etapa amplificadora por medio de un circuito Darlington capaz de soportar niveles mucho más altos de corriente. Los suficientes para conmutar los relays de estado sólido de la siguiente etapa.

El circuito a implementar se muestra en la siguiente figura.

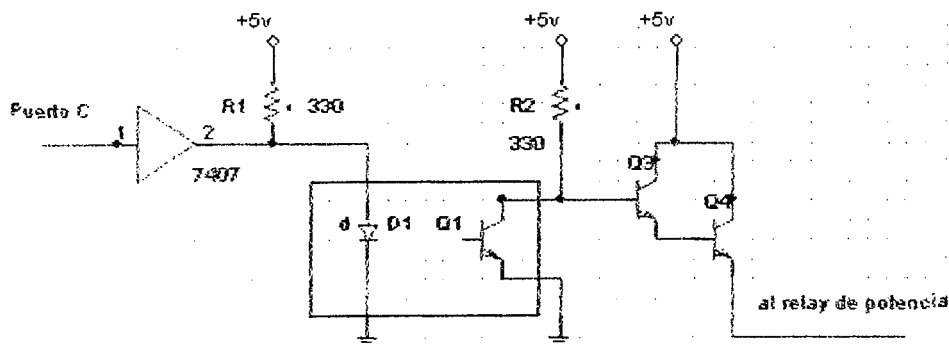


Figura 3.12.1 Aislamiento óptico.

3.13 BANCO DE CONDENSADORES

La salida de la interfaz de potencia va conectada a unos relays de estado sólido de 5Vdc. Cuando este nivel de voltaje es alcanzado las bobinas de potencia de los relays se energizan y cierran los contactos principales alimentados por la tensión de línea para alimentar posteriormente a los contactores principales. Este esquema se presenta en la siguiente figura.

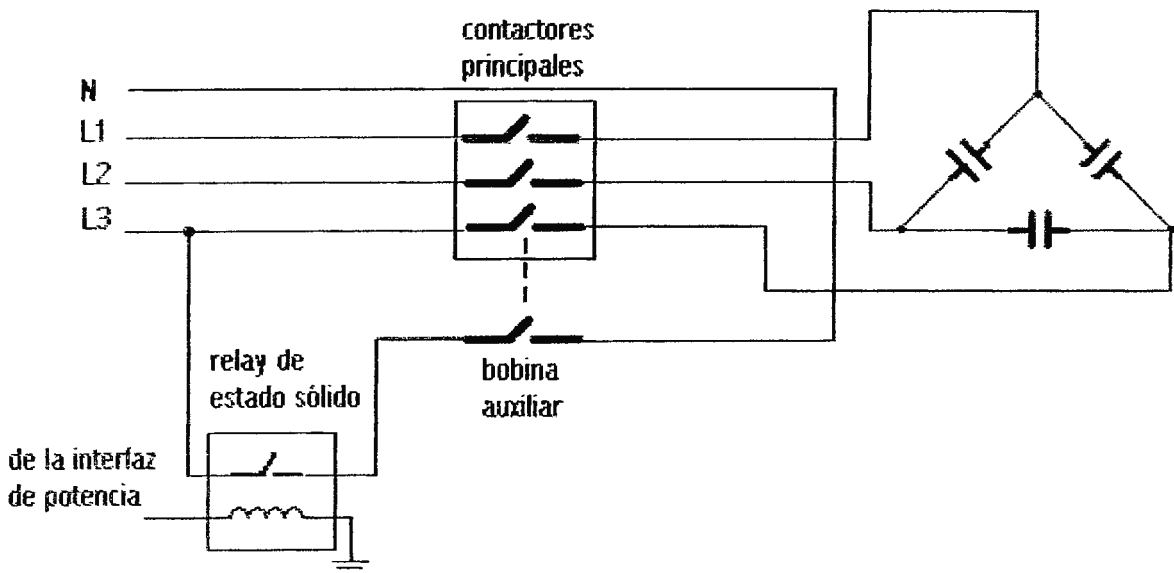


Figura 3.13 Banco de Condensadores

3.14 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

3.14.1 Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento está basado en un esquema clásico de un sistema de control realimentado tal y como se muestra en la siguiente figura.

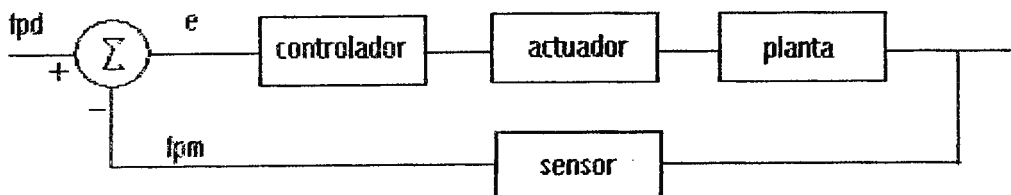


Figura 3.14.1 Flujograma del proceso.

La señal de error (e) se genera por medio de la diferencia entre el valor del factor de potencia deseado (f_{pd}) introducido por el usuario y el valor del factor de potencia medido (f_{pm}). La señal de error se procesa por medio del controlador, que en esta caso es un programa dentro de una computadora y en base a un algoritmo se envía una señal de control al actuador, formado por un banco de condensadores. Según como sea esta señal de control así serán el número de etapas de condensadores que se conectarán a la red del sistema. Con esto se logra llevar el factor de potencia de la planta, en este caso un motor de inducción, al factor de potencia deseado.

3.14.2 Diagrama de flujo del programa.

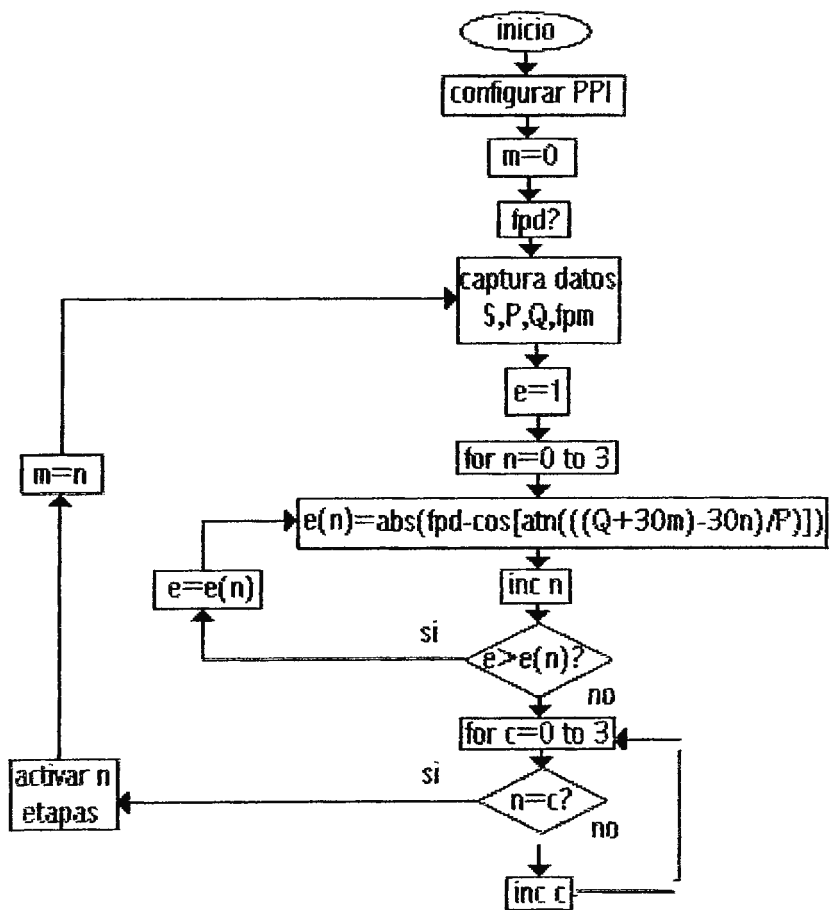
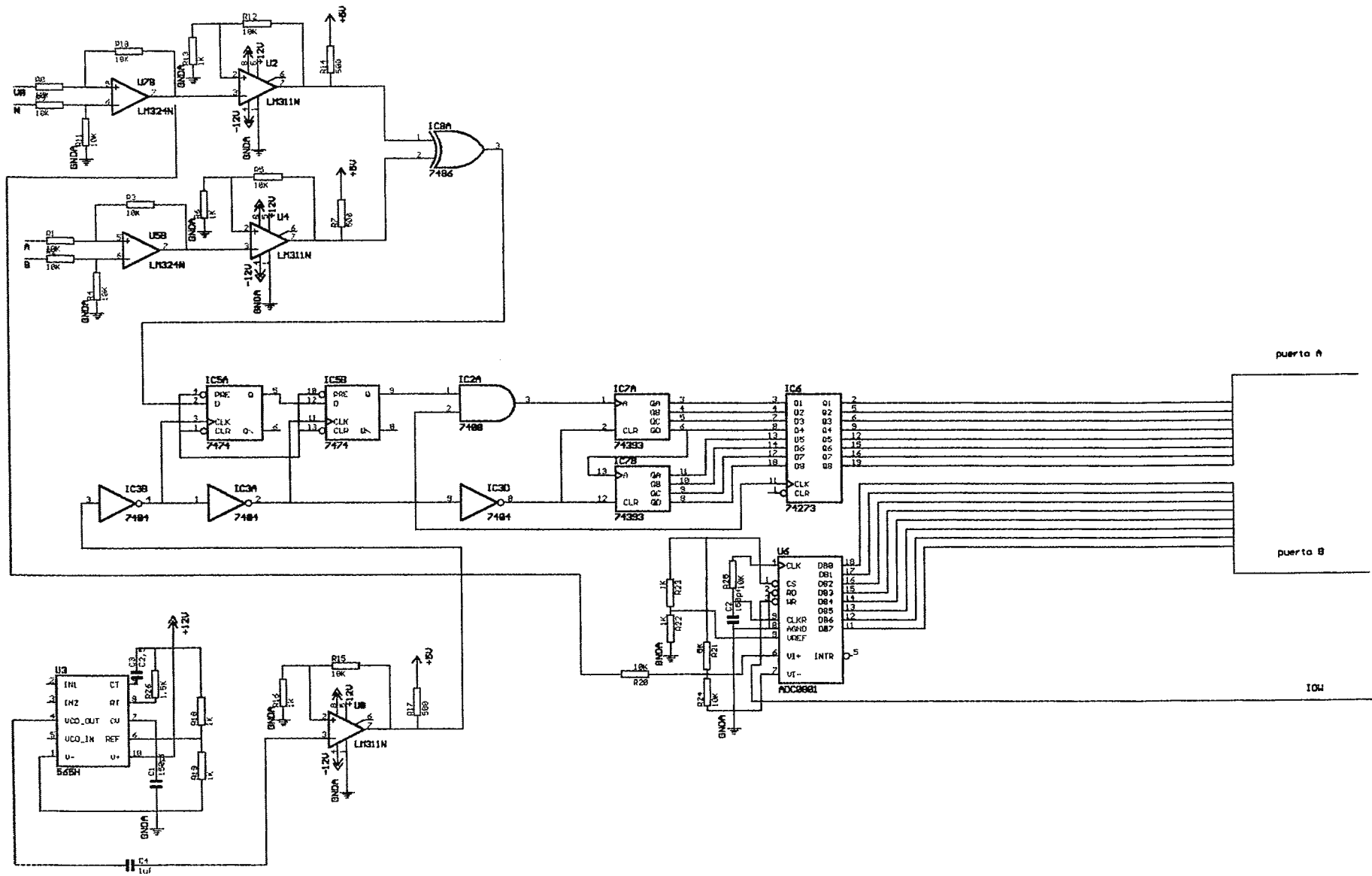


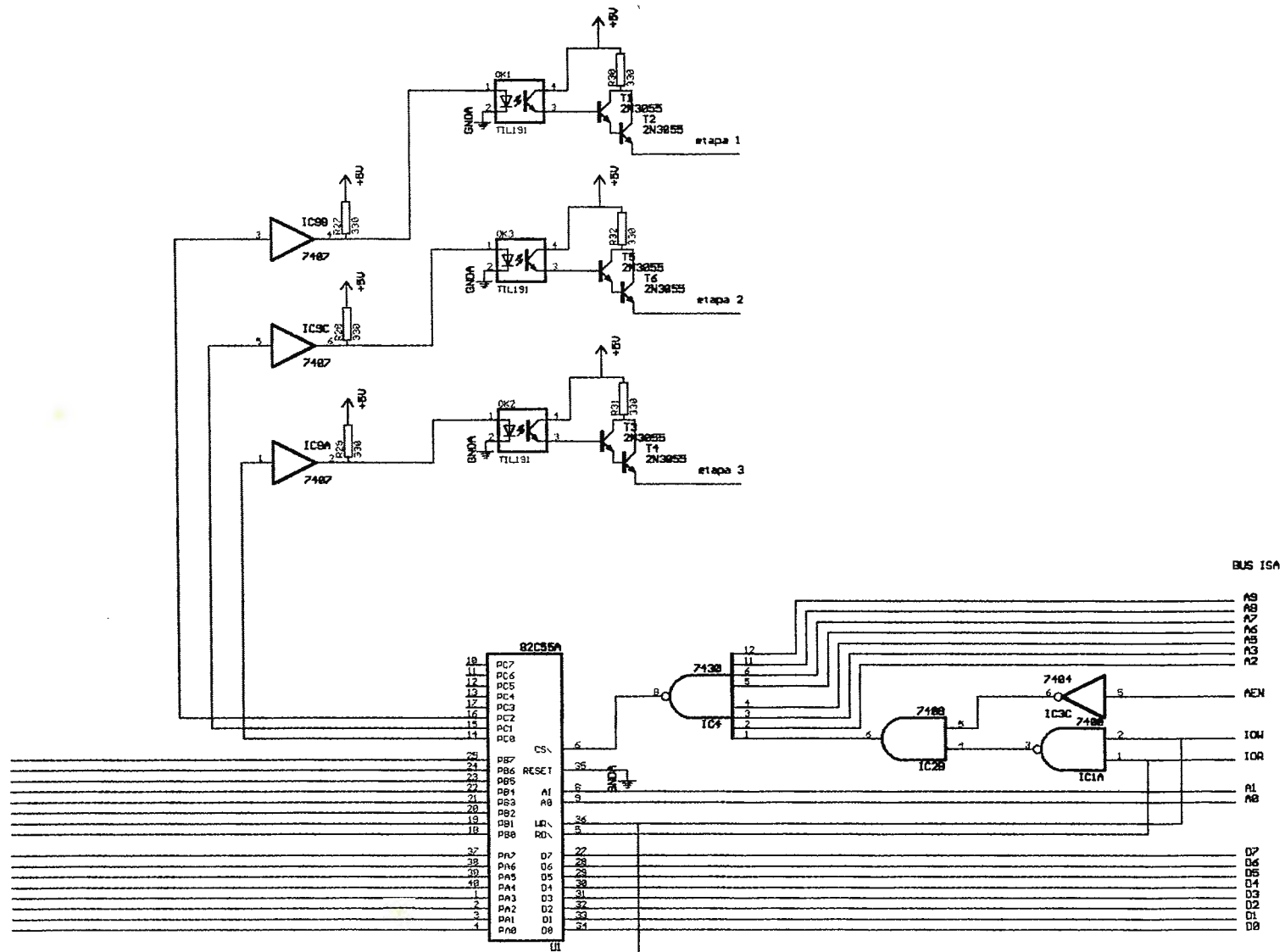
Figura 3.14.2 Diagrama de flujo del programa

BIBLIOGRAFIA

- 1. Circuitos Eléctricos. Introducción al análisis y diseño.**
Richard C. Dorf. 2ª Edición editorial Alfaomega 1990.
- 2. Los Microprocesadores de INTEL.**
Barry B. Brey 3ª Edición editorial Prentice Hall 1995.
- 3. Electrónica Teoría de Circuitos**
Boylestad/Nashelsky 5ª Edición editorial Prentice Hal 1994.
- 4. Master Replacement Guide**
ECG Semiconductors.
- 5. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales.**
Robert F. Coughlin/Frederick Driscoll 4ª Edición editorial Prentice Hall 1993.
- 6. El Factor de Potencia.**
José Ramírez Vázquez editorial CEAC 1985
- 7. Medidas Eléctricas. Enciclopedia CEAC de Electricidad.**
3ª Edición editorial CEAC 1989.
- 8. Diseño Digital Principios y Prácticas.**
John F. Wakerly editorial Prentice Hall 2ª Edición 1992.
- 9. National Data Acquisition Databook**
National Semiconductor.

ANEXOS





PROGRAMA PRINCIPAL

cond = 1

```
CLS
SCREEN 9
COLOR 14
LINE (50, 100)-(585, 150), , B
LINE (54, 104)-(581, 146), , B
LOCATE 5, 18: PRINT " Proyecto de Graduacion del Tecnologico";
LOCATE 6, 21: PRINT " Opcion: Control y Automatizacion ";
LOCATE 9, 10: PRINT "DISENO E IMPLEMENTACION DE UN CORRECTOR DE FACTOR D
TENENCIA "
LOCATE 10, 22: PRINT "AUTOMATICO CONTROLADO POR UNA PC "
LOCATE 15, 18: PRINT " Presentado por: Carlos Eduardo Caballero Morales"

LOCATE 16, 18: PRINT " Carnet # CM960077"
```

```
COLOR 7
LOCATE 25, 1: INPUT "iniciar demo (pulsar 1)"; n
```

```
IF n = 1 THEN
```

```
CLS
LOCATE 1, 10: INPUT "fpd"; FPD
```

```
FOR x = 1 TO 10
LOCATE 20, 10: PRINT " Iniciando Proceso "
FOR s = 1 TO 700
NEXT s
FOR y = 1 TO 50
LOCATE 20, 10: PRINT "
NEXT y
NEXT x
```

```
CLS
```

```
COLOR 7
LOCATE 20, 10: PRINT "ETAPA 1"
LOCATE 21, 10: PRINT "ETAPA 2"
LOCATE 22, 10: PRINT "ETAPA 3";
```

configuracion del sistema

```
OUT &H3EF, 146
CONST PI = 3.141592654#
m = 0
```

```
WHILE cond
```

```
rutina
COLOR 2
LOCATE 2, 10: PRINT "fpd:";
COLOR 14
LOCATE 2, 18: PRINT FPD;
```

rutina para la presentacion del factor de potencia medido

```
P = 0
FOR r = 1 TO 1000
Z = INP(&H3ED)
P = Z + P
```

```
NEXT r
FP = P / 1000
PRINT FP
FPM = COS(FP * (PI / 180))
```

```
COLOR 2
LOCATE 2, 40: PRINT "fp";
COLOR 14
LOCATE 2, 48: PRINT FPM;
```

```
IF COS(FP * (PI / 180)) < .6 THEN
COLOR 4
LINE (50, 230)-(580, 260), , B
LINE (52, 232)-(578, 258), , B
LOCATE 18, 10: PRINT "FACTOR DE
TENCIA FUERA DE RANGO!! PROCEDA A SU DESCONEXION!!"
END IF
```

rutina para el convertidor analogo-digital

```
c = 0
FOR x = 1 TO 1000
OUT &00, 0
s = INP(&H3EC)
vin = (s * (20 / 255)) - 10
IF vin > c THEN c = vin
NEXT x
IF c * 3.75 / 8.2 / 2 ^ (1 / 2) = 0 THEN
GOTO rutina
END IF
COLOR 2
LOCATE 4, 10: PRINT "I"
COLOR 14
LOCATE 4, 18: PRINT c * 3.75 / 8.2 / 2 ^ (1 / 2);
COLOR 2
LOCATE 4, 30: PRINT "[A]"
```

rutina para la maxima corriente del motor

```
IF c * 3.75 / 8.2 / 2 ^ (1 / 2) > 1.6 THEN
FOR k = 1 TO 2
LOCATE 18, 10: PRINT "HA SOBREPASADO LA CORRIENTE MAXIMA DEL SIS
A!!!!!"
SOUND 1000, 9.1
SOUND 500, 9.1
NEXT k
END IF
```

rutina de presentaci"n de las variables elctricas del sistema

```
VA = 311.13 * c * 3.75 / 8.2 / 2
COLOR 2
LOCATE 6, 10: PRINT "S(1m)"
COLOR 14
LOCATE 6, 18: PRINT VA;
COLOR 2
LOCATE 6, 30: PRINT "[VA]"
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 6, 40: PRINT "S(3m)"
```

```
COLOR 14
```

```
LOCATE 6, 48: PRINT 3 * VA;
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 6, 60: PRINT "[VA]"
```

```
w = 311.13 * c * 3.75 / 8.2 / 2 * COS(FP * (PI / 180))
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 8, 10: PRINT "P(1m)"
```

```
COLOR 14
```

```
LOCATE 8, 18: PRINT w;
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 8, 30: PRINT "[W]"
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 8, 40: PRINT "P(3m)"
```

```
COLOR 14
```

```
LOCATE 8, 48: PRINT 3 * w;
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 8, 60: PRINT "[W]"
```

```
var = 311.13 * c * 3.75 / 8.2 / 2 * SIN(FP * (PI / 180))
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 10, 10: PRINT "Q(1m)"
```

```
COLOR 14
```

```
LOCATE 10, 18: PRINT var;
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 10, 30: PRINT "[VAR]"
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 10, 40: PRINT "Q(3m)"
```

```
COLOR 14
```

```
LOCATE 10, 48: PRINT 3 * var;
```

```
COLOR 2
```

```
LOCATE 10, 60: PRINT "[VAR]"
```

```
rutina para el control de las etapas del sistema
```

```
e = 1
```

```
FOR n = 0 TO 3
```

```
fpc(n) = COS(ATN(((var + 30 * m) - (30 * n)) / w))
```

```
e(n) = ABS(FPD - fpc(n))
```

```
IF e > e(n) THEN
```

```
e = e(n)
```

```
etapa = n
```

```
END IF
```

SELECT CASE etapa

CASE 0

COLOR 7

LOCATE 20, 20: PRINT "OFF"
LOCATE 21, 20: PRINT "OFF"
LOCATE 22, 20: PRINT "OFF"
OUT &H3EE, 0
OUT &H3EE, 0

CASE 1

COLOR 1

LOCATE 20, 20: PRINT "ON "
COLOR 7
LOCATE 21, 20: PRINT "OFF"
LOCATE 22, 20: PRINT "OFF"

OUT &H3EE, 1
OUT &H3EE, 1

CASE 2

COLOR 1

LOCATE 20, 20: PRINT "ON "
LOCATE 21, 20: PRINT "ON "
COLOR 7
LOCATE 22, 20: PRINT "OFF"

OUT &H3EE, 3
OUT &H3EE, 3

CASE 3

COLOR 1

LOCATE 20, 20: PRINT "ON "
LOCATE 21, 20: PRINT "ON "
LOCATE 22, 20: PRINT "ON "

OUT &H3EE, 7
OUT &H3EE, 7

END SELECT
m = etapa
GOTO rutina

WEND

END IF