



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control del factor de potencia de un grupo de motores de corriente alterna

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico

Autores:

Willian Geovanny Rivera Gaona

Endel Augusto Pardo Loaiza

Director:

Eduardo Rodrigo Sempértegui Cañizares

Cuenca, Ecuador

2014

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro alcanzado a mis padres Rosa y Francisco, a mis hermanos Luis, Elvia, Nancy, Marcia, Pancho, Homero, Judith y a Xavier que siempre me apoyaron en las buenas y en las malas hasta salir adelante, gracias por estar todo este tiempo conmigo, además dedico este esfuerzo a mi esposa Sandra Janeth, por haberme dado el regalo más grande de mi vida mi pequeña Mara Sarai, porque ella ha sido, es, y será quien me da el aliento para alcanzar mis metas.

A mis amigos que siempre me han acompañado en las buenas y en las malas David B., José Miguel P., Endel P., Carlos R, Jorge T., Cristian C. Pedro V., gracias por contar con ustedes en este tiempo, y por tenerme paciencia.

WILIAN GEOVANY RIVERA GAONA

A Dios, Padre, por su amor, bendiciones y misericordia, quien es mi guía para conducirme por el camino de la verdad y la vida.

A mis padres, por todo su apoyo moral y económico que han hecho posible la culminación de mi carrera. A Jonathan Andrés y Paula Mercedes, que han sido mi apoyo en los momentos más difíciles, por lo que los llevaré siempre en mi corazón.

ENDEL AUGUSTO PARDO LOAIZA

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a toda nuestra familia por estar a nuestro lado, a los amigos y profesores, por haber ayudado con información personal como académica.

También expresamos nuestro agradecimiento, a nuestros profesores y amigos el Ing. Eduardo Sempértegui, Ing. Leonel Pérez y al Ing. Germán Zuñiga, por apoyarnos tanto en nuestra formación académica como personal, así como por la paciencia y dedicación de enseñarnos, ya que gracias a todos ellos ha sido posible este proyecto.

130114

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control del factor de potencia de un grupo de motores de corriente alterna

RESUMEN

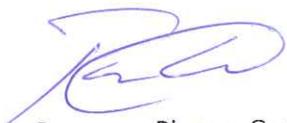
Con el costo de la energía eléctrica, es importante tener el correcto control de los parámetros de los sistemas eléctricos, como las potencias Activa, Reactiva, Aparente, y el factor de potencia, por lo que se diseñó un sistema de monitoreo y control para un banco de motores de corriente alterna, que por medio del micro controlador, son registrados y enviados los valores de medición a través de la comunicación RS232 hacia la PC, que mediante el sistema de simulación, se pretende ver las ventajas de la corrección del factor de potencia, con un banco automático de condensadores, así como el número de pasos, la secuencia de activación y sus características; se controlará el valor del factor de potencia de 0.92 requerido por las empresas distribuidoras de energía eléctrica, evitando sanciones por bajo factor de potencia, y a su vez el aumento de la eficiencia de la energía eléctrica, dentro y fuera de la industria.

Palabras claves; potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, banco de condensadores automático.


Ing. Eduardo Sempértugi
Director


Ing. Francisco Vásquez
Director de Escuela Ing. Electrónica


Endel Augusto Pardo Loaiza
Autor


Willian Geovanny Rievera Gaona
Autor

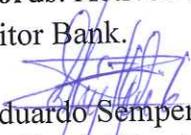


ABSTRACT

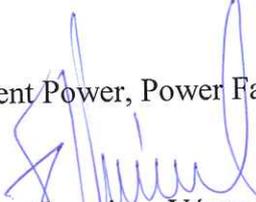
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A POWER FACTOR MONITORING AND CONTROL SYSTEM OF A GROUP OF ALTERNATING CURRENT MOTORS

Considering the cost of electricity, it is important to have proper control of parameters for electrical systems such as Active, Reactive, Apparent power, and Power factor. For this reason a monitoring and control system for an AC motors bank was designed. The measured values are registered by a micro controller and sent to the PC through the RS232 communication. By means of the simulation system it is intended to see the advantages of the power factor correction with an automatic capacitor bank, the number of steps, the activation sequence and its features. The power factor value of 0.92 required by electricity distribution companies will be controlled, avoiding penalties for low power factor, and in turn increasing the efficiency of electric power within and outside the industry.

Keywords: Active Power, Reactive Power, Apparent Power, Power Factor, Automatic Capacitor Bank.


Ing. Eduardo Sempertigui
Thesis Director

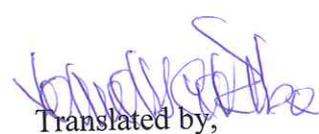

Endel Augusto Pardo Loiza
Author


Ing. Francisco Vásquez
Electronics Engineering School Director


Willian Geovanny Rivera Gaona
Author


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
ESCUELA
Ingeniería Electrónica


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
DPTO. IDIOMAS


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Conceptos generales	3
1.1.1. Micro controlador	3
1.1.2. Puerto o conector de comunicación RS232.....	5
1.1.3. Pantalla de Cristal Líquido LCD.....	9
1.1.4. Carga Eléctrica.	12
1.1.5. Factor de Potencia.....	17
1.1.6. Potencias	19
1.1.7. Capacitores.....	26
1.2. Bajo factor de potencia	31
1.2.1. Causas.....	31
1.2.2. Consecuencias o Efectos	31
1.3. Corrección del bajo factor de potencia.....	32

1.3.1.	Métodos de corrección del bajo factor de potencia	33
1.3.2.	Corrección del factor de potencia mediante capacitores	34
1.3.3.	Corrección del factor de potencia mediante motores síncronos.....	38

CAPITULO 2: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE

2.1.	Hardware	39
2.1.1.	Introducción	39
2.1.2.	Fuente de alimentación de tarjetas.....	40
2.1.3.	Reductor de voltaje.....	41
2.1.4.	Comparador de voltaje.....	49
2.1.5.	Sensor de corriente mediante el efecto Hall	52
2.1.6.	Comparador de corriente	55
2.1.7.	Micro controlador	57
2.1.8.	Comunicación RS232 y LCD	58
2.2.	Firmware	62
2.2.1.	Introducción	62
2.2.2.	Inicio	63
2.2.3.	Interrupciones	64
2.2.4.	Medición de voltaje y corriente	65
2.2.5.	Cálculo del factor de potencia.....	67
2.2.6.	Transmisión de datos.....	70
2.3.	Software.....	70
2.3.1.	Introducción	70
2.3.2.	Recepción de datos	71
2.3.3.	Cálculos de medición.....	74

CAPITULO 3: SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN

- 3.1. Introducción 78
- 3.2. Compensación de energía reactiva 78
 - 3.2.1. Calculo de potencia reactiva mediante fórmula 78
 - 3.2.2. Calculo de potencia reactiva mediante tabla 80
 - 3.2.3. Configuración de sensibilidad C/K 82
 - 3.2.4. Número de pasos y secuencias del banco de condensadores..... 83
- 3.3. Valores de pérdida y ganancia por el $\cos\phi$ 84
 - 3.3.1. Cargos por bajo factor de potencia..... 85
 - 3.3.2. Pérdidas por bajo factor de potencia. 86
 - 3.3.3. Compensación por aumentar el factor de potencia 89
 - 3.3.4. Eficiencia entre $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$ 91
- 3.4. Variables o datos de los valores registrados y calculados..... 96
 - 3.4.1. Calculo de los kVAr necesarios 97
 - 3.4.2. Banco de condensadores automático..... 97
 - 3.4.3. Para la simulación de la carga demandante 98
 - 3.4.4. Valores o variables del resultado del $\cos\phi_1$ y el $\cos\phi_2$ 98
 - 3.4.5. Valores de pérdidas y ganancias por el $\cos\phi$ 99
 - 3.4.6. Valores porcentuales de eficiencia entre el $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$ 99
- 3.5. Visualización de los valores registrados y calculados 100

CAPITULO 4: PRUEBAS FUNCIONALES

- 4.1. Medición de Señales..... 102
- 4.2. Comparación de Señales..... 104
- 4.3. Corrección del factor de potencia 107

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

5.1. Corrección del factor de potencia 112

5.1.1. Calculo de la potencia reactiva necesarios 112

5.1.2. Corrección del factor de potencia en las cargas 113

5.2. Beneficios de mejoramiento de energía reactiva 116

5.2.1. En los alimentadores 117

5.2.2. En el transformador 118

5.2.3. Económicamente 119

BIBLIOGRAFÍA 121

ANEXOS 123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema básico de un micro controlador	3
Figura 1. 2 Conector RS232 BD-9.....	5
Figura 1. 3 Posición de cada pin del conector RS232 (DB-9)	7
Figura 1. 4 LCD 20x40	10
Figura 1. 5 Distribución de partes internas de un LCD	10
Figura 1. 6 Comportamiento de cargas lineales y no lineales	11
Figura 1. 7 Comportamiento de cargas conectadas a la corriente alterna	12
Figura 1. 8 Diagrama fasorial de un circuito resistivo	13
Figura 1. 9 Onda de tensión y corriente de un circuito resistivo.....	14
Figura 1. 10 Diagrama fasorial de un circuito capacitivo	14
Figura 1. 11 Onda de tensión y corriente de un circuito capacitivo	15
Figura 1. 12 Diagrama fasorial de un circuito Inductivo	16
Figura 1. 13 Onda de tensión y corriente de un circuito Inductivo	16
Figura 1. 14 Ángulo desfasamiento entre la tensión y la corriente	17
Figura 1. 15 Diagrama fasorial de potencias	18
Figura 1. 16 Triangulo de Potencias de un Sistema Trifásico Equilibrado	24
Figura 1. 17 Triangulo de potencias de un sistema trifásico desequilibrado.....	25
Figura 1. 18 Estructura básica de un condensador	27
Figura 1. 19 Función eléctrica del condensador	27
Figura 1. 20 Estructura interna de un condensador de potencia.....	28
Figura 1. 21 Tipos de Condensadores.....	29
Figura 1. 22 Función de carga y descarga del condensador	30
Figura 1. 23 Triangulo de Potencias con el $\cos \phi$ mejorado.....	33
Figura 1. 24 Tipos de compensación de factor de potencia con capacitores	34
Figura 1. 25 Compensación individual en motores con capacitores.....	35
Figura 1. 26 Compensación individual en transformadores con capacitores	35
Figura 1. 27 Curva en V de un capacitor síncrono	38

Figura 2. 1 Diagrama de bloques general de hardware.	39
Figura 2. 2 Forma de obtención de valores a medir.....	40
Figura 2. 3 Esquema de una fuente de alimentación.....	41
Figura 2. 4 Diagrama de circuito para el reductor de voltaje.....	42
Figura 2. 5 Señal de voltaje eficaz de fase.....	42
Figura 2. 6 Señal de voltaje Pico de fase calculado.....	43
Figura 2. 7 Circuito de rectificación.....	43
Figura 2. 8 Señal de voltaje rectificadas.....	44
Figura 2. 9 Circuito de partidor de tensión.....	44
Figura 2. 10 Señal a la salida del partidor de tensión.....	45
Figura 2. 11 Amplificador operacional.....	46
Figura 2. 12 Amplificador operacional BUFFER.....	46
Figura 2. 13 Señal de voltaje a la salida del BUFFER.....	47
Figura 2. 14 Circuito de limitador de voltaje.....	48
Figura 2. 15 Configuración de los circuitos reductores de voltaje en el μ/c	49
Figura 2. 16 Comparador de voltaje.....	50
Figura 2. 17 Circuito del comparador de voltaje.....	50
Figura 2. 18 Señal del comparador de voltaje.....	51
Figura 2. 19 Configuración de los circuitos comparadores de voltaje en el μ/c	52
Figura 2. 20 Efecto Hall.....	53
Figura 2. 21 Tarjeta del sensor de corriente ACS714.....	53
Figura 2. 22 Configuración del sensor de Corriente ACS714.....	54
Figura 2. 23 Señal del sensor de corriente.....	54
Figura 2. 24 Configuración de los circuitos de los sensores de corriente en el μ/c	55
Figura 2. 25 Circuito del comparador de corriente.....	55
Figura 2. 26 Señal del comparador de voltaje.....	56
Figura 2. 27 Configuración de los circuitos comparadores de corriente en el μ/c	56
Figura 2. 28 Esquema del μC PIC18F452.....	57
Figura 2. 29 Circuito integrado MAX 232.....	58
Figura 2. 30 Esquema de comunicación RS232.....	59
Figura 2. 31 LCD matricial de 20 x 4.....	59
Figura 2. 32 Configuración matricial de un LCD de 20 x 4.....	60
Figura 2. 33 Esquema de conexión del LCD.....	61

Figura 2. 34 Circuito de control de funcionamiento.....	62
Figura 2. 35 Diagrama de flujo principal, de inicio hasta el bucle y las interrupciones .	63
Figura 2. 36 Diagrama de flujos de interrupciones.....	64
Figura 2. 37 Diagrama de inicialización de convertidor analógico digital del U/C	65
Figura 2. 38 Diagrama de bloques para la obtención de los valores picos	66
Figura 2. 39 Numero de muestras para obtener los valores picos.....	66
Figura 2. 40 Representación fasorial de una oscilación sinusoidal.....	67
Figura 2. 41 Respuesta a la representación fasorial de una oscilación sinusoidal	68
Figura 2. 42 Calculo del $\cos\emptyset$ mediante el cruce por cero	69
Figura 2. 43 Diagrama de inicialización del USART para recep/trans de datos.....	70
Figura 2. 44 Estructura de un While Loop.....	71
Figura 2. 45 Configuración del puerto Serial.....	72
Figura 2. 46 Función VISA Read.....	73
Figura 2. 47 Configuración para la Identificación de la trama de datos	73
Figura 2. 48 Interpretación de la Trama de Datos.....	75
Figura 2. 49 Programación grafica para el cálculo del ángulo \emptyset	76
Figura 2. 50 Programación gráfica para el cálculo de potencias con el $\cos\emptyset_1$	76
Figura 3. 1 Triangulo de potencias a ser calculado	79
Figura 3. 2 Programa en LabVIEW para el cálculo de los condensadores	80
Figura 3. 3 Nomograma para la determinación de compensación de potencia.....	80
Figura 3. 4 Programa en LabVIEW para el cargo de facturación por un $\cos\emptyset$ bajo.....	86
Figura 3. 5 Programa en LabVIEW para el porcentaje de aprovechamiento del transformador.....	92
Figura 3. 6 Programa en LabVIEW para la eficiencia en voltaje, corriente y potencia de los alimentadores	95
Figura 3. 7 Programa en LabVIEW para el porcentaje de eficiencia de los alimentadores	96
Figura 3. 8 Visualización de diferencia entre $\cos\emptyset_1$ y $\cos\emptyset_2$ total.....	100
Figura 3. 9 Visualización de valores de eficiencia en los alimentadores	101
Figura 3. 10 Visualización de variables de ingreso y salida para cálculos adicionales	101
Figura 4. 1 Medición de voltaje y corriente con carga de 0,746kW	103
Figura 4. 2 Medición de voltaje, corriente y $\cos\emptyset$ con carga de 10kW	103

Figura 4. 3 Medición de voltaje, corriente y $\cos\phi$ con carga de 18.95kW	104
Figura 4. 4 Comparación de voltaje y corriente con una carga de 0,kW.....	105
Figura 4. 5 Comparación de voltaje y corriente con carga de 10kW	106
Figura 4. 6 Comparación de voltaje y corriente con carga de 18,95kW.....	106
Figura 4. 7 Corrección del $\cos\phi$ para una carga de 10kW	107
Figura 4. 8 Valores del banco automático de condensadores para una carga de 10kW al mejorar el $\cos\phi$	108
Figura 4. 9 Corrección del $\cos\phi$ para una carga de 18.95kW	110
Figura 4. 10 Valores del banco automático de condensadores para una carga de 18.95kW al mejorar el $\cos\phi_1$	111
Figura 5. 1 Cálculo del valor de los condensadores Q_c necesarios	112
Figura 5. 2 Parámetros del banco automático de condensadores para una carga de 10kW con un T-P(kVAR)=2.5.....	113
Figura 5. 3 Parámetros del banco automático de condensadores para una carga de 18.95kW con un T-P(kVAR)=2.5	115
Figura 5. 4 Parámetros del banco automático de condensadores para una carga de 10kW con un T-P(kVAR)=2	116
Figura 5. 5 Eficiencia en los alimentadores para $P=18.95kW$	117
Figura 5. 6 Eficiencia en los alimentadores para $P=10kW$	118
Figura 5. 7 Eficiencia en el transformador.....	119
Figura 5. 8 Porcentaje de penalización por bajo $\cos\phi$	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Niveles de Voltaje RS232.....	78
Tabla 1.2 Configuración de cada pin DB-25 y DB-9.....	80
Tabla 3.1 Coeficiente K para Cálculo de Energía reactiva.....	82
Tabla 3.2 Tabla del número de pasos y secuencias	84
Tabla 4.1 Cuadro de cargas aproximadas del taller	114
Tabla 5.1 Cuadro aproximado de trabajo, de las cargas aproximadas del taller	123

Willian Geovanny Rivera Gaona
Endel Augusto Pardo Laiza
Trabajo de Graduación
Eduardo Rodrigo Sempértegui Cañizares
Enero de 2014

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN GRUPO DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

INTRODUCCIÓN

Con el costo de la energía eléctrica, en la industria se hace cada vez más importante tener el control correcto de los parámetros de los sistemas eléctricos, como el factor de potencia exigido por las empresas proveedoras de energía eléctrica, que es lo más cercano a uno.

En las industrias las maquinarias poseen motores eléctricos para su funcionamiento, una parte de la energía de los motores se transforma en energía mecánica que se transforma en trabajo, denominada energía activa, mientras que la energía usada por el motor para su propio funcionamiento, se llama energía reactiva, por lo que el factor de potencia es inferior a uno, ocasionando elevados consumos de energía reactiva con respecto a la energía activa, teniendo un mayor consumo de corriente, variaciones de voltaje, pérdidas en conductores, pérdidas en estaciones de transformación, incrementando la capacidad requerida de transformación, generación y líneas de distribución, produciéndose el incremento de la facturación eléctrica por bajo factor de potencia.

Con la implementación de un sistema de monitoreo y control para un banco de motores de corriente alterna, permitirá un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica mediante el control de las potencias activa, reactiva y aparente, evitando los excesivos consumos de energía, que mediante un banco de condensadores automático, instalados correctamente con la capacidad adecuada, compensaran la

energía reactiva necesaria al banco de motores, elevando el factor de potencia al valor exigido por la empresas proveedoras de energía eléctrica.

Mediante el micro controlador se registrará los valores necesarios para la medición del factor de potencia del banco de motores, mediante comunicación RS232 desde el micro controlador hacia la PC, la misma que mediante el software LabVIEW simulará un banco de condensadores automáticos trifásico, controlando el número de pasos, la secuencia de activación y demás características, de tal forma que el factor de potencia supere a 0.92 exigido por las empresas distribuidoras de energía eléctrica, evitando penalizaciones por bajo factor de potencia, incrementando la eficiencia de la red eléctrica dentro y fuera de la industria.

CAPITULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Conceptos generales

1.1.1. Micro controlador

Es un circuito integrado programable capaz de asumir, en principio, cualquier función digital. Un "micro controlador" (uC) incorpora las características de un microprocesador más dispositivos periféricos adicionales, tales como puertos de entrada/salida, memoria, temporizadores, convertidores analógicos digitales, entre otros.

Esquemáticamente, un uC en su forma básica, se divide en: Memoria de datos, Memoria de programas, Unidad de Control, Unidad Lógica Aritmética y Buses (figura 1.1).

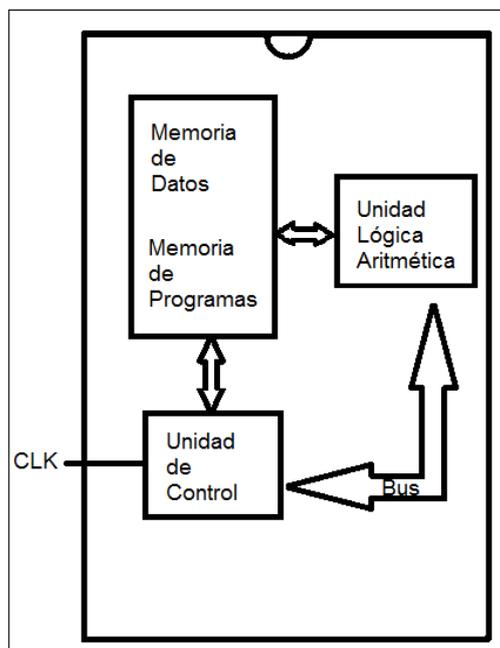


Figura 1.1 Esquema básico de un micro controlador

La Memoria de Datos, es un pequeño espacio de memoria donde se almacenan los registros que ocupan las demás partes del uC necesarios para su funcionamiento. Los uC suelen poseer dos tipos de memorias de datos: la memoria volátil (por ejemplo memoria RAM) cuyos datos permanecen cuando el sistema está funcionando, si se corta la alimentación al uC los datos en este tipo de memoria se pierden; y la memoria permanente (EEPROM) donde los registros permanecen aunque el uC no esté alimentado.

Un registro es un número en binario, o visto de otro modo, un conjunto de bits de un tamaño dado; este tamaño denominado "tamaño de palabra" determina la capacidad de las operaciones matemáticas y lógicas del uC; los tamaños de palabra más comunes son 8, 12, 14, 16, 32 y 64 bits; los registros son de "Propósito Específico" cuando son indispensables para el correcto funcionamiento del uC o de "Propósito General" cuando son usados solamente por algún firmware específico.

La Memoria de Programas es siempre permanente, y es el espacio de memoria destinado a guardar las instrucciones que el uC debe ejecutar mientras esté funcionando. La Unidad de Control se encarga de la decodificación y ejecución de las instrucciones, manejo de periféricos, acceso y manipulación de los registros, etc. La Unidad de Control coordina todas las actividades dentro del uC, incluyendo la propia unidad, todo el flujo de datos a través de los buses y los procesos que realice la unidad lógica aritmética

Por último, la Unidad Lógica Aritmética (ULA) realiza todas las operaciones matemáticas y booleanas entre los registros, un uC se basa totalmente en estas operaciones, a partir de esta unidad se crean un sin fin de aplicaciones específicas, sin contar con el hecho de la natural evolución de los micro controladores, que a la fecha integran una variedad de módulos especializados en ciertos procesos electrónicos.

1.1.2. Puerto o conector de comunicación RS232

El puerto de comunicación RS232 consiste en un conector tipo DB-25 (25 pines), aunque es normal encontrar la versión de DB-9 (9 pines) figura 1.2 , es una interfaz para el intercambio de una serie de datos binarios entre un Equipo Terminal de Datos (DTE) y un Equipo de Comunicación de Datos (DCE). Las características eléctricas incluyen parámetros tales como niveles de voltaje e impedancia del cable, la sección mecánica describe los pines y la descripción funcional define las funciones de las señales eléctricas que se usan.

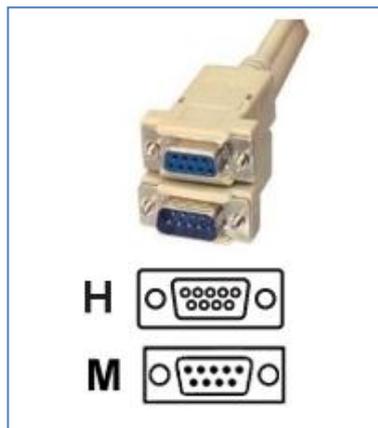


Figura 2. 2 Conector RS232 BD-9

(Fuente: <http://www.bricogeek.com>)

1.1.2.1. Características Eléctricas

Los niveles de voltaje descritos en el estándar son los siguientes:

Señales de datos	"0"	"1"	
Emisor (necesario)	de 5 a 15	de -5 a -15	Voltios
Receptor (esperado)	de 3 a 25	de -3 a -25	Voltios
Señales de control	"Off"	"On"	
Emisor (necesario)	de -5 a -15	de 5 a 15	Voltios
Receptor (esperado)	de -3 a -25	de 3 a 25	Voltios

Tabla 1.1 Niveles de Voltaje RS232

Puede verse que los voltajes del emisor y el receptor son diferentes, esta definición de los niveles de voltaje compensa las pérdidas de voltaje a través del cable, debido a que las señales son atenuadas y distorsionadas a lo largo del cable, efecto debido en gran parte a la capacidad del cable. En el estándar la capacidad máxima es de 2500 pf (pico Faradios), la capacidad de un metro de cable es normalmente de 130 pf, por lo tanto, la longitud máxima del cable está limitada a unos 17 metros. Sin embargo, esta es una longitud nominal definida en el estándar y es posible llegar hasta los 30 metros con cables de baja capacidad o utilizando velocidades de transmisión bajas y mecanismos de corrección.

1.1.2.2. Características Mecánicas

En el estándar no se hace referencia al tipo de conector que debe usarse. Sin embargo los conectores más comunes son el DB-25 (25 pines) y el DB-9 (9 pines). El conector hembra debe estar asociado con el DCE y el macho con el DTE. Diagrama de los conectores DB-25 y DB-9. En la siguiente tabla 1.2 puede verse la señal asociada a cada pin.

DB9 Pin	Abreviación	DTE-DCE	Nombre Formal
1	CD/DCD	<--	(Data) Carrier Detect (Detección de señal recibida)
2	RD	<--	Received Data (Recepción de datos)
3	TD	-->	Transmit Data (Transmisión de datos)
4	DTR	-->	Data Terminal Ready (Terminal de datos listo)
5	SG		Signal Ground (Señal de tierra)
6	DSR	<--	Data Set Ready (Establecimiento de datos listos)
7	RTS	-->	Request To Send (Solicitud de envío)
8	CTS	<--	Clear To Send (Cancelación de envío)
9	RI	<--	Ring Indicator (Indicador de llamada)

Tabla 2.2 Configuración de cada pin del conector DB-9 (RS232)

En la figura 1.3 se puede apreciar la posición de cada pin en el conector DB-9 (RS232).

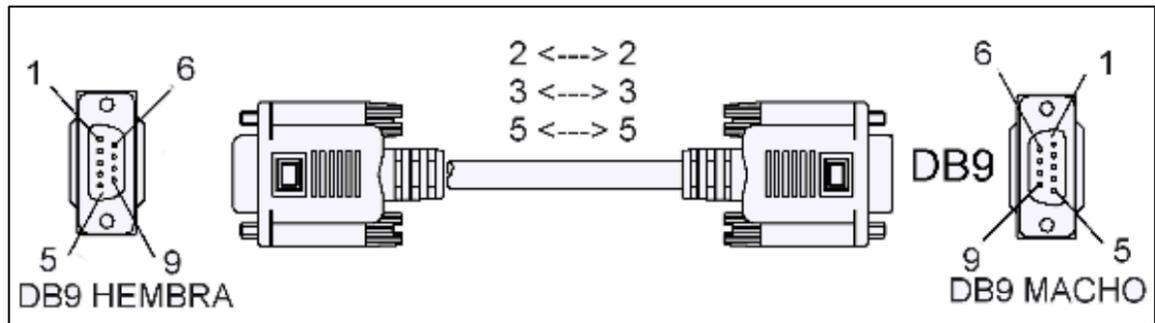


Figura 3. 3 Posición de cada pin del conector RS232 (DB-9)

(Fuente: <http://www.bricogeek.com>)

CD: Detección de la señal recibida, este pin informa que la información de transmisión es recibida tanto en el conector DB-9 macho, como en el conector DB-9 hembra.

RD: Recepción de datos, esta señal es usada para transmitir datos del DCE al DTE. El terminal empieza a transmitir cuando un 1 lógico está presente en las siguientes líneas: RST, DTR, DSR, DCD.

TD: Transmisión de datos, esta señal es usada para transmitir datos del DTE al DCE. Se mantiene con un 1 lógico cuando no hay nada que transmitir, en principio, los datos no se pueden transmitir si alguno de los terminales RTS, CTS, DSR ó DTR está desactivado.

DTR: Cuando está activa le indica al DCE que el DTE está listo para recibir datos. Esta señal debe estar activa antes de que el DCE pueda activar la señal DSR indicando que está conectado al enlace de comunicación, cuando la línea pasa a estar desactivada, el DCE finaliza la comunicación.

SG: Esta señal es la tierra usada como punto de referencia para todas las señales recibidas o transmitidas, es muy importante y debe de estar presente en toda comunicación.

DSR: Dispositivo preparado, señal del DCE que indica que el dispositivo está en modo de transmisión de datos.

RTS: Petición de envío, señal del DTE al DCE, notifica al DCE que el DTE dispone de datos para enviar, esto se emplea en líneas semi-dúplex para controlar la

dirección de transmisión, con una transición de 1 a 0 avisa al DCE que tome las medidas necesarias para prepararse para la transmisión.

CTS: Preparado para transmitir, señal del DCE al DTE indicando que puede transmitirle datos.

RI: En esta línea el DCE avisa al DTE que se ha recibido una llamada, esta señal esta en Off hasta que el DCE recibe una señal de llamada.

1.1.2.3. Transmisión y Comunicación

- **La velocidad de transmisión:** Como el número de datos expresada en bits (estados de la señal) por segundo o baudios, limitada por el ancho de banda, potencia de señal y ruido en el conductor de señal, examinando o muestreando continuamente la línea para detectar la presencia o ausencia de los niveles de señal ya predefinidos.
- **Transmisión asíncrona:** Son aquellas en que los bits que constituyen el código de un carácter se emiten con la ayuda de impulsos suplementarios que permiten mantener en sincronismo los dos extremos.
- **Transmisión síncrona:** Donde los caracteres se transmiten consecutivamente, no existiendo ni bit de inicio ni bit de parada entre los caracteres, estando dividida la corriente de caracteres en bloques, enviándose una secuencia de sincronización al inicio de cada bloque.
- **Comunicación serie:** Cuando se transmite información a través de una línea, es necesario utilizar un sistema de codificación, que permita saber dónde comienza y donde termina cada bit en la señal recibida, para efectuar el muestreo de la misma en el centro del intervalo de cada símbolo, que se transmite por definición bit a bit, pero la misma tiene sentido en palabras o bytes, donde es necesario conocer el inicio y fin de una cadena de caracteres por parte del receptor, para detectar algún error en la comunicación de un mensaje.

- **Comunicación simplex:** En ella, usa una dirección y una línea de comunicación, un transmisor y un receptor, no ambos, este sistema consiste en que es necesario sólo un enlace, la desventaja radica en que el extremo receptor no tiene ninguna forma de avisar al extremo transmisor sobre su estado y sobre la calidad de la información que se recibe, esta es la razón por lo que generalmente no se utiliza.
- **Semi dúplex (half dúplex):** La comunicación se establece a través de una sola línea, pero en ambos sentidos, en un momento el transmisor enviará información y en el otro recibirá, por lo que no se puede transferir información en ambos sentidos de forma simultánea, esto permite la transmisión desde el extremo receptor de la información, sobre el estado de dicho receptor y sobre la calidad de la información recibida, por lo que permite así la realización de procedimientos de detección y corrección de errores.
- **Totalmente dúplex (full dúplex):** Se utilizan dos líneas (una transmisora y otra receptora) y se transfiere información en ambos sentidos, permitiendo transmitir y recibir información de manera simultánea.

1.1.3. Pantalla de cristal líquido LCD

La pantalla de cristal líquido LCD, es un monitor analógico de baja potencia, con una pantalla delgada y plana, formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora, que usa moléculas de cristal de cuarzo para producir texto e imágenes en la pantalla. Estas moléculas de cristal se alinean en una dirección específica cuando una pequeña corriente fluye a través de ellas. En otras palabras, se polarizan. Cuando esto sucede, las moléculas obstruyen el paso de la luz en una pantalla polarizada, esto a su vez, es lo que produce las áreas oscuras entre la pantalla, lo que nosotros identificamos en forma de letras, símbolos o retratos (figura 1.4).

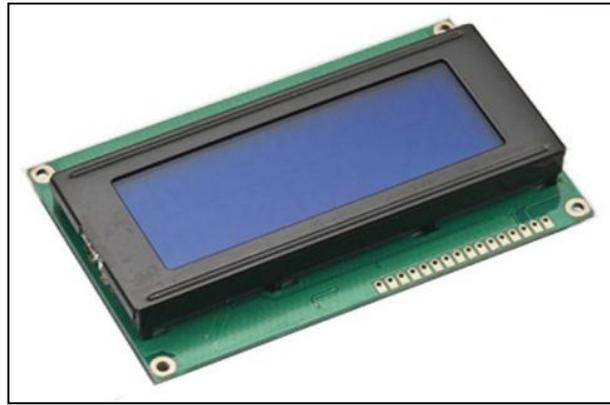


Figura 4. 4 LCD 20x40

(Fuente: <http://www.bricogeek.com>)

En la figura 1.5 se muestra las partes internas de un LCD.

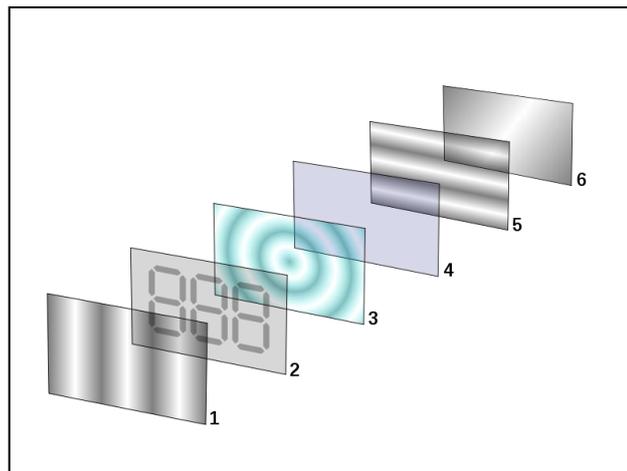


Figura 5. 5 Distribución de partes internas de un LCD

(Fuente: <http://www.bricogeek.com>)

- 1-Película de filtro vertical para polarizar la luz que entra.
- 2-Sustrato de vidrio con electrodos de Oxido de Indio (ITO). Las formas de estos electrodos determinará las formas oscuras que aparecen cuando la pantalla LCD está encendida. Crestas verticales están grabados en la superficie de modo que los cristales líquidos están en línea con la luz polarizada.
- 3-Trenzado neumático de cristales líquidos

- 4-Sustrato de vidrio con película de electrodo común (ITO), con los cantos horizontales para alinearse con el filtro horizontal.
- 5-Película de filtro horizontal para bloquear / permitir el paso de la luz.
- 6-Superficie reflectante para enviar la luz de nuevo al espectador.

1.1.4. Cargas Eléctricas

Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, en general existen dos tipos de cargas dentro de los sistemas eléctricos: cargas lineales y no lineales. Una carga es lineal cuando la tensión aplicada a sus extremos y la corriente que pasan por ella están estrechamente relacionadas como se puede observar en la figura 1.6a. Por el contrario, se dice que una carga es no lineal cuando la relación tensión/corriente no es constante lo cual se representa en la figura 1.6b

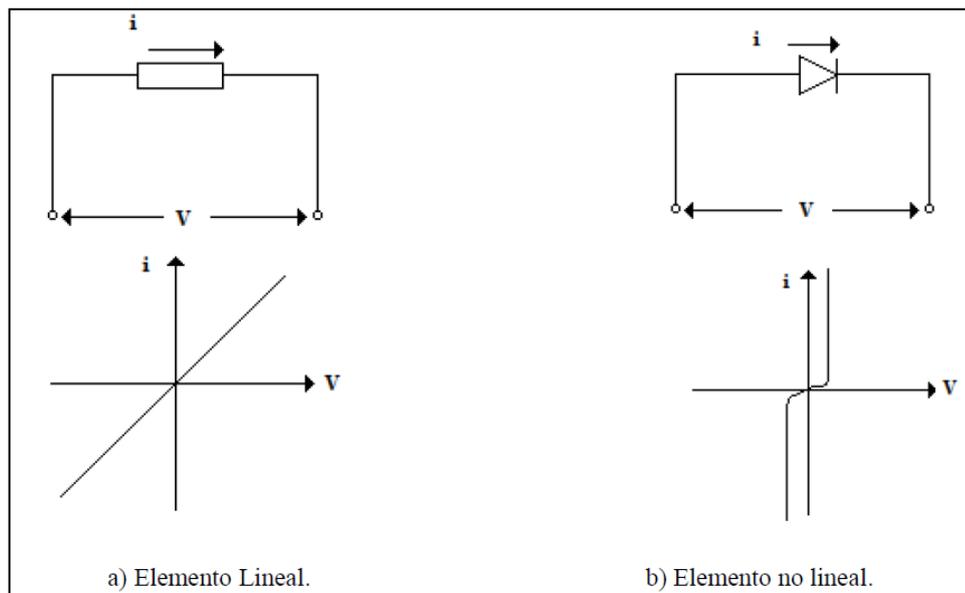


Figura 6. 6 Comportamiento de cargas lineales y no lineales

(Fuente: Libro Caracterización de la Carga en Sistemas Eléctricos de Distribución 2003)

En la figura 1.7, se observa que las cargas no lineales conectadas a la red de corriente alterna absorben corrientes que no son sinusoidales.

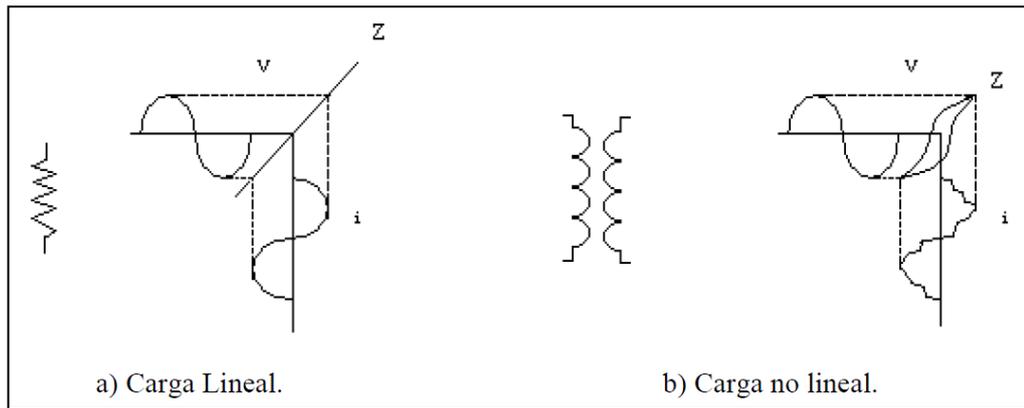


Figura 7.7 Comportamiento de cargas conectadas a la corriente alterna

(Fuente: Libro Caracterización de la Carga en Sistemas Eléctricos de Distribución 2003)

A continuación se citan algunas cargas típicas no lineales:

- Equipos electrónicos, en general monofásicos, que internamente trabajan con corriente continua (ordenadores, impresora, autómatas programables, etc.).
- Instalaciones de iluminación con lámparas de descarga.
- Transformadores, reactancias con núcleos de hierro, etc., cuya curva de magnetización es no lineal.

En términos generales pueden distinguirse tres tipos de cargas eléctricas al conectar un equipo a una red, por la cual, circula corriente eléctrica expresada en amperes (A) y tensión expresado en volts (V).

1.1.4.1. Tipos de Carga

- **Cargas resistivas.**

Tales cargas son referidas como si tuvieran una resistencia eléctrica designada con la letra R y expresada en Ohm (Ω). Las cargas resistivas pueden encontrarse en equipos como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el factor de potencia toma el valor de 1.0.

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con la tensión y es función inmediata de la tensión. Por lo tanto, si la tensión y la corriente están en fase, tenemos que:

$$I = \frac{V}{R}$$

En donde:

I = Corriente eléctrica (A).

V = Tensión eléctrica (V).

R = Resistencia eléctrica (Ω).

En la Figura 1.8, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas resistivas.

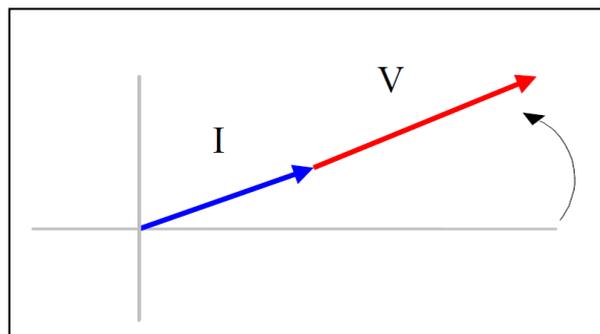


Figura 8. 8 Diagrama fasorial de un circuito resistivo

La resistencia eléctrica absorbe potencia en Watts igual a:

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

En donde:

P = Potencia activa (W).

Las cargas de tipo resistivo que se encuentran más comúnmente en los sistemas eléctricos ya sea residencial, industrial o comercial son los siguientes:

- Hornos eléctricos.
- Calefactores.
- Planchas.
- Alumbrado incandescente.

En la figura 1.9, se muestran las ondas sinusoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase que existe entre ellas, la cual es igual a cero, es decir, se encuentran en fase.

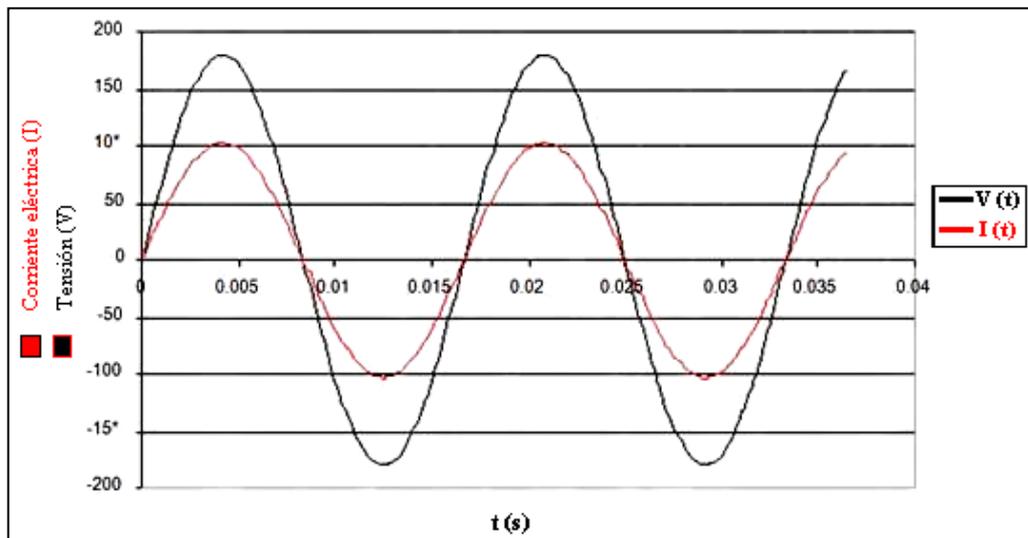


Figura 9. 9 Onda de tensión y corriente de un circuito resistivo
(Fuente: Libro Principios de Electricidad y Electrónica tomo II)

- **Cargas capacitivas**

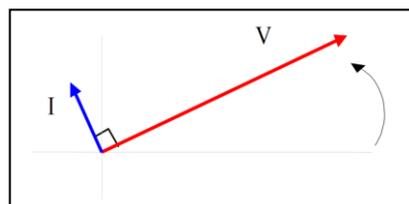


Figura 10. 10 Diagrama fasorial de un circuito capacitivo

Las cargas capacitivas se presentan en los capacitores y se caracterizan porque la corriente se haya adelantada respecto de la tensión 90° . En la Figura 1.10, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas capacitivas.

Las cargas de tipo capacitivo son:

- Bancos de capacitores.
- Motores síncronos.

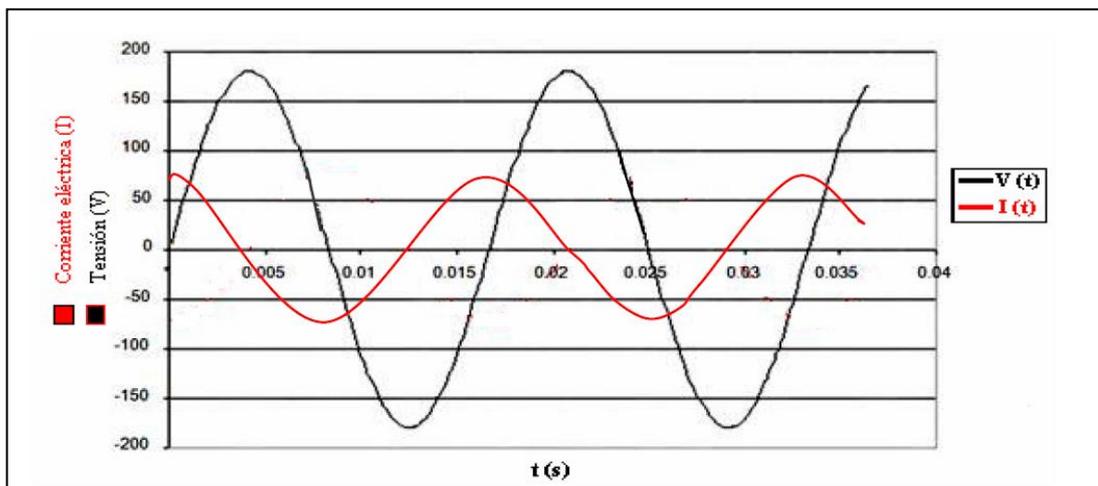


Figura 11. 11 Onda de tensión y corriente de un circuito capacitivo

(Fuente: Libro Principios de Electricidad y Electrónica tomo II)

En un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía aún si hay corriente circulando. Las cargas capacitivas generan potencia reactiva expresada en volta amperios reactivos (VAR). En la figura 1.11, se muestran las ondas sinusoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo, para este caso la corriente se adelanta 90° con respecto a la tensión.

- **Cargas inductivas.**

Las cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde haya bobinados involucrados, por ejemplo en los equipos del tipo electromecánicos como los motores, balastos, transformadores, entre otros; además de consumir potencia

activa, requieren potencia reactiva para su propio funcionamiento, por lo cual trabajan con un factor de potencia menor a 1.0. Considerándose por lo tanto que las cargas inductivas, sean el origen del bajo factor de potencia (menores a 0.9). En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con la tensión, ya que va atrasada 90° con respecto a la tensión. En la Figura 1.12, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas inductivas.

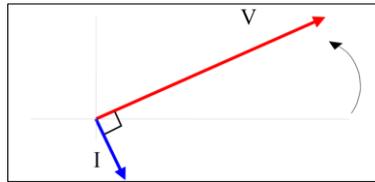


Figura 12. 12 Diagrama fasorial de un circuito Inductivo

Algunos equipos de cargas del tipo inductivo son los siguientes:

- Transformadores.
- Motores de inducción.
- Accesorios de lámparas de descarga
- Máquinas soldadoras.

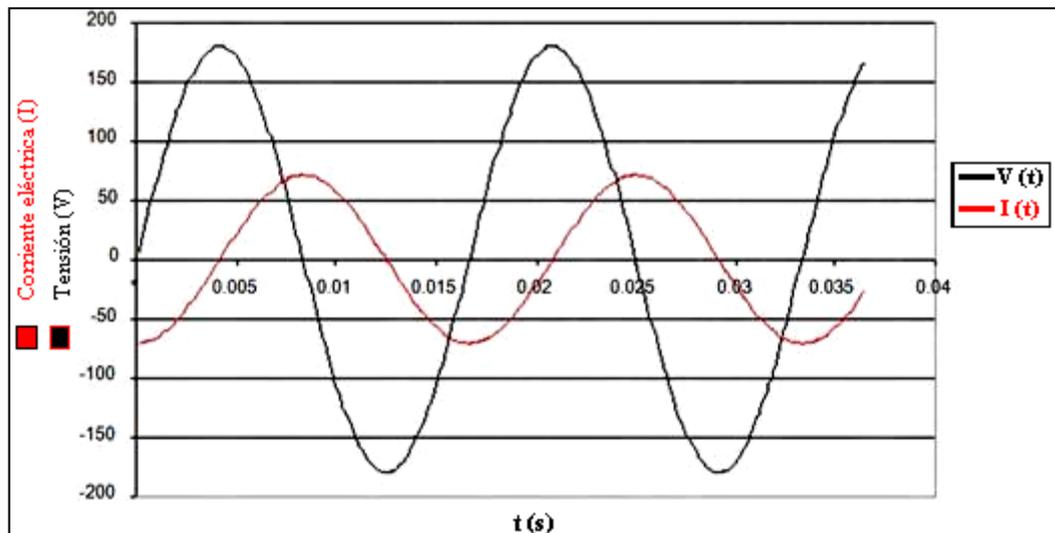


Figura 13. 13 Onda de tensión y corriente de un circuito Inductivo

(Fuente: Libro Principios de Electricidad y Electrónica tomo II)

En la figura 1.13, se muestran las ondas sinusoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfaseamiento de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

- **Cargas combinadas.**

En la práctica una carga no está constituida solamente por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas con frecuencia coexisten en los circuitos eléctricos. Sin embargo para el caso de una industria la carga más predominante es la carga inductiva, de ahí que sea el factor por el cual se realiza este trabajo. Las diversas cargas son usualmente abastecidas directamente de la red principal de suministro eléctrico, sin embargo el suministro de potencia reactiva puede ser suministrado por equipos conectados en un punto de la red eléctrica, normalmente se utiliza para ello los bancos de capacitores que son fuentes suministradoras de potencia reactiva.

1.1.5. Factor de potencia

El factor de potencia, o “ $\cos\phi$ ” es una característica de la carga, es decir del dispositivo conectado a la fuente o red de corriente alterna, que es el coseno del ángulo del desfase entre la tensión y la corriente (figura 1.14), como las bobinas (cargas Inductivas) producen un retraso de la corriente respecto de la tensión, a esto se le denomina un $\cos\phi$ en retraso, mientras los condensadores (cargas capacitivas) producen un adelantamiento de la corriente respecto de la tensión, a esto se le denomina en $\cos\phi$ en adelanto.

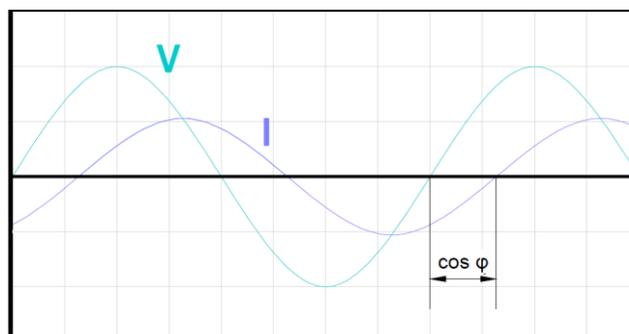


Figura 14. 14 Ángulo desfaseamiento entre la tensión y la corriente

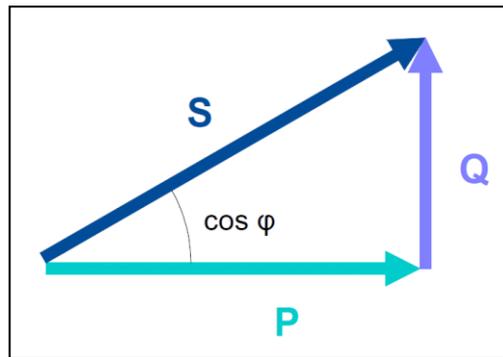


Figura 15. 15 Diagrama fasorial de potencias

También podemos decir que el factor de potencia es la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (kW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio amperios (kVA). También es término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, por lo tanto, un valor ideal del factor de potencia es uno, 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 (figura 1.15).

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{P(\text{kW})}{S(\text{kVA})} = \cos\emptyset$$

P = potencia activa (W)

S = potencia aparente (VA)

Q = potencia reactiva (kVAR)

$\cos\emptyset$ = factor de potencia

En la industria, las mayorías de cargas son de carácter reactivo, a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, generadores, transformadores, etc. Entonces este carácter reactivo obliga a que, junto al consumo de potencia activa (kW), se sume el de una potencia llamada reactiva (kVAR), esto se debe al mismo funcionamiento de estas cargas con la red, por lo

que el desfasaje, y en particular las cargas inductivas, la corriente está en atraso respecto a la tensión aplicada, y este desfasaje se podrá medir directamente en grados, en radianes, mediante el seno del ángulo, tangente del ángulo, o mediante el coseno del ángulo, por lo que cualquiera de éstos parámetros, podría aceptarse para la medición de un desfasamiento y el cálculo de las potencias.

1.1.6. Potencias

1.1.6.1. Potencia activa monofásica

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo, esta potencia es por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos, por lo que cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se designa con la letra P y se mide en vatios (W). De acuerdo con la ley de Ohm $P = VI \cos \phi$,

($V=IR$) y el triángulo de impedancias se tiene:

$$P_{\phi} = VI \cos \phi = IZI \cos \phi = I^2R$$

Dónde:

P: potencia activa en Watt (W)

V: voltaje en voltios (V)

I: Corriente en Amperes (A)

Z: Impedancia de la línea en ohmios (Ω)

$$R = Z \cos \phi$$

Resultado que indica que la potencia activa es debido a los elementos resistivos.

1.1.6.2. Potencia activa en sistemas trifásicos equilibrados

Es la suma de las potencias activas de los sistemas monofásicos que lo componen, y al ser este sistema equilibrado, la potencia activa será el triple de la de una fase.

$$P_{3\phi} = 3V_{\phi}I_{\phi} \cos \phi$$

Dónde:

I_{ϕ} : Corriente de cada una de las fases en amperes (A)

V_{ϕ} : Voltaje de cada una de las fases en voltios (V)

P: Potencia activa en Watt (W)

$\cos\phi$: Factor de potencia del sistema

La potencia activa en función de los valores de tensiones y corrientes de línea:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi$$

Dónde:

V_L : Voltaje de línea a línea en voltios (V)

I_L : Corriente de línea en amperios (A)

P: Potencia activa en Watt (W)

$\cos\phi$: Factor de potencia del sistema

1.1.6.3. Potencia activa en sistemas trifásicos desequilibrados

En este sistema, es la suma de las potencias activas de los sistemas monofásicos que lo componen, y al ser este sistema desequilibrado, la potencia activa será la suma de cada una de las fases.

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{X_1}{R_1} = \tan^{-1} \frac{Q_1}{P_1}$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \frac{X_2}{R_2} = \tan^{-1} \frac{Q_2}{P_2}$$

$$\phi_3 = \tan^{-1} \frac{X_3}{R_3} = \tan^{-1} \frac{Q_3}{P_3}$$

$$P = V_1 I_1 \cos \phi_1 + V_2 I_2 \cos \phi_2 + V_3 I_3 \cos \phi_3$$

1.1.6.4. Potencia reactiva monofásica

Esta potencia no tiene el carácter de consumo y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil, se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

$$Q = VI \sin \phi = IZI \sin \phi = I^2 X$$

Donde:

Q: Potencia reactiva en voltamperios reactivos (VAR)

V: Voltaje en voltios (V)

I: Corriente en amperes (A)

X: Reactancia de la línea en ohmios (Ω)

1.1.6.5. Potencia reactiva en sistemas trifásicos equilibrados

Es la suma de las potencias reactivas de los sistemas monofásicos que lo componen, y al ser este sistema equilibrado, la potencia activa será el triple de la de una fase

$$Q = 3V_f I_f \sin \phi$$

Donde:

I_f : Corriente de cada una de las fases en amperes (A)

V_f : Voltaje de cada una de las fases en voltios (V)

Q: Potencia reactiva en voltamperios reactivos (VAR)

$\sin \phi$: Factor de potencia reactivo

La potencia reactiva en función de los valores de tensiones y corrientes de línea:

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi$$

Dónde:

V_L : Voltaje de línea a línea en voltios (V)

I_L : Corriente de línea en amperes (A)

$\text{sen}\phi$: Factor de potencia reactivo

1.1.6.6. Potencia reactiva en sistemas trifásicos desequilibrados

En este sistema, es la suma de las potencias reactivas de los sistemas monofásicos que lo componen, y al ser este sistema desequilibrado, la potencia activa será la suma de cada una de las fases.

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{X_1}{R_1} = \tan^{-1} \frac{Q_1}{P_1}$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \frac{X_2}{R_2} = \tan^{-1} \frac{Q_2}{P_2}$$

$$\phi_3 = \tan^{-1} \frac{X_3}{R_3} = \tan^{-1} \frac{Q_3}{P_3}$$

$$Q = V_1 I_1 \text{sen } \phi_1 + V_2 I_2 \text{sen } \phi_2 + V_3 I_3 \text{sen } \phi_3$$

1.1.6.7. Potencia aparente monofásica

Todas las cargas son diseñados para soportar ciertos valores de voltaje y corriente, por lo que la potencia aparente es la resultante de la tensión aplicada a la carga y el consumo de la corriente que éste demanda, y esta potencia es lo que limita la capacidad de transformadores, líneas de alimentación y demás elementos de los circuitos eléctricos. Se designa con la letra S y se mide en volta amperios (VA)

$$S = V_f I_f$$

1.1.6.8. Potencia aparente en sistemas trifásicos equilibrados

Es la suma de las potencias aparentes de los sistemas monofásicos que lo componen, y al ser este sistema equilibrado, la potencia activa será el triple de la de una fase

$$S = 3V_{\phi}I_{\phi}$$

También se puede expresar de la siguiente forma

$$|S| = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{(3V_{\phi}I_{\phi} \cos \phi)^2 + (3V_{\phi}I_{\phi} \sin \phi)^2}$$

Que es la suma vectorial entre la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q)

Dónde:

I_{ϕ} : es la corriente de cada una de las fases en amperes (A)

V_{ϕ} : Voltaje de cada una de las fases en voltios (V)

S: Potencia aparente en voltamperios (VA)

La potencia aparente en función de los valores de tensiones y corrientes de líneas:

$$S = \sqrt{3} V_L I_L$$

Dónde:

V_L : Voltaje de línea a línea en voltios (V)

I_L : Corriente de línea a línea en amperes (A)

Además, la mejor forma de ver y comprender, qué es el factor de potencia ($\cos \phi$), es mediante representación gráfica de un triángulo de potencias, obteniendo así la relación, como se muestra en la figura 1.16.

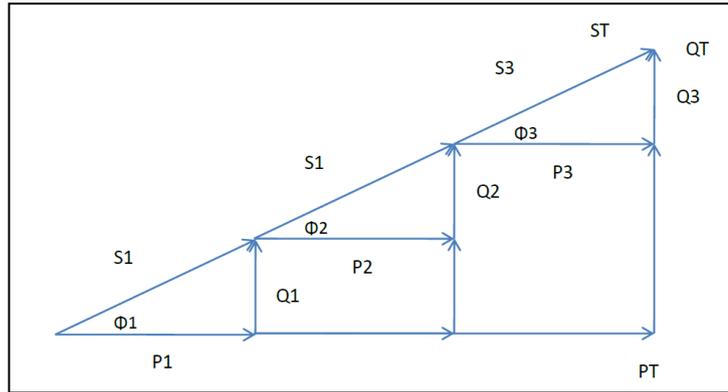


Figura 16. 16 Triángulo de Potencias de un Sistema Trifásico Equilibrado

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$P_1 = P_2 = P_3; \quad P_T = 3P_\phi$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3; \quad Q_T = 3Q_\phi$$

$$|S_1| = |S_2| = |S_3| = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = 3\sqrt{P^2 + Q^2} = 3S_\phi$$

Dónde:

Potencia activa (P)

Potencia reactiva (Q)

Potencia aparente (S) (total)

1.1.6.9. Potencia aparente en sistemas trifásicos desequilibrados

Como se calculó las potencias anteriores de cada línea, se puede representar estos valores mediante el triángulo de la figura 1.17, obteniendo

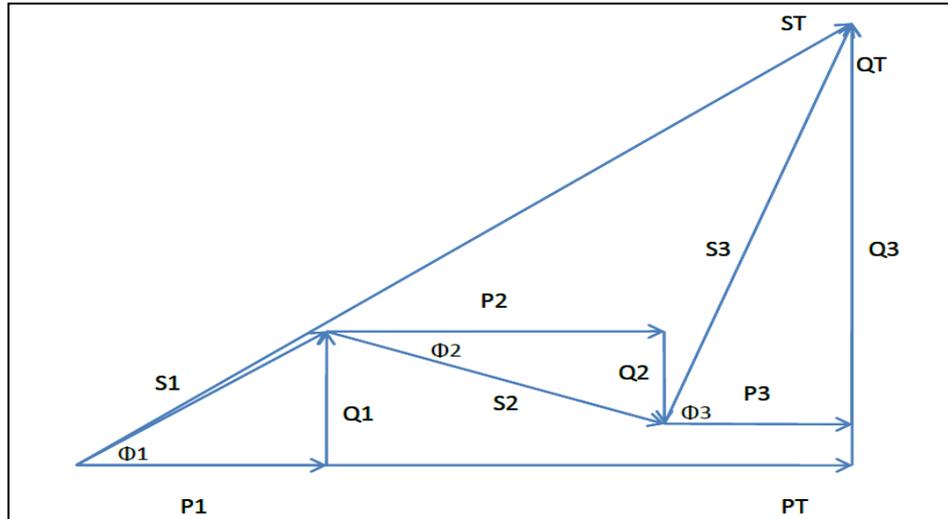


Figura 17. 17 Triángulo de potencias de un sistema trifásico desequilibrado

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \phi_1 : P_2 = V_2 I_2 \cos \phi_2 : P_3 = V_3 I_3 \cos \phi_3$$

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin \phi_1 : Q_2 = V_2 I_2 \sin \phi_2 : Q_3 = V_3 I_3 \sin \phi_3$$

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} : S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} : S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2}$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Por lo que mediante funciones trigonométricas se obtiene.

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

$$\phi_T = \tan^{-1} \frac{Q_T}{P_T}$$

$$\phi_T \neq \phi_1 \neq \phi_2 \neq \phi_3$$

Dónde:

ϕ_1 : Factor de potencia de la fase 1

ϕ_2 : Factor de potencia de la fase 2

ϕ_3 : Factor de potencia de la fase 3

ϕ_T : Factor de potencia total

Potencia activa en cada una de las fases (P1, P2, P3) en watt (W)

Potencia reactiva en cada una de las fases (Q1, Q2, Q3) en voltamperios reactivos (VAR)

Potencia aparente en cada una de las fases (S1, S2, S3) en voltamperios (VA)

P_T : Potencia activa total en vatios (W)

Q_T : Potencia reactiva total en voltamperios reactivos (VAR)

S_T : Potencia aparente total en voltamperios (VA)

1.1.7. Capacitores

El capacitor o condensador, es un componente eléctrico cuya función es la de almacenar carga eléctrica, y su aplicación en la industria es importante ya que ayuda a corregir el factor de potencia.

El capacitor es un componente eléctrico que consta de dos terminales, estructurado por dos placas conductoras que se encuentran distanciadas por un material aislante (no conductor), la carga eléctrica se acumula en las placas (figura 1.18), y entre la separación de las placas se llena con un material dieléctrico, por lo que el valor de la capacitancia es proporcional a la constante dieléctrica y al área superficial del material dieléctrico e inversamente proporcional a su espesor; la capacitancia puede definirse como:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad Ec. 1 - 1$$

Dónde:

ϵ = constante dieléctrica

A = área de las placas

d= espacio entre las placas

Entonces constante dieléctrica (ϵ), es una propiedad que determina la energía almacenada por unidad de volumen y por unidad de diferencia de voltaje a través de un capacitor).

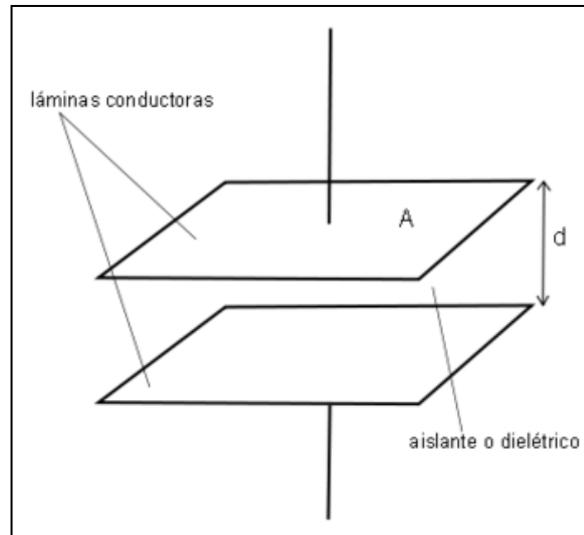


Figura 18. 18 Estructura básica de un condensador

Como se observa en la figura 1.19, el condensador está cargado cuando se iguala la tensión U_c entre las placas del condensador y la tensión de alimentación U_{ca} , por lo que el movimiento de electrones entre las placas o armaduras del condensador es la corriente eléctrica capacitiva I_c que fluye por las líneas y suministra energía eléctrica al condensador, provocando la aparición de un campo eléctrico entre las placas del condensador. Si se interrumpe I_c la energía queda almacenada en el campo eléctrico, esto es, en el condensador.

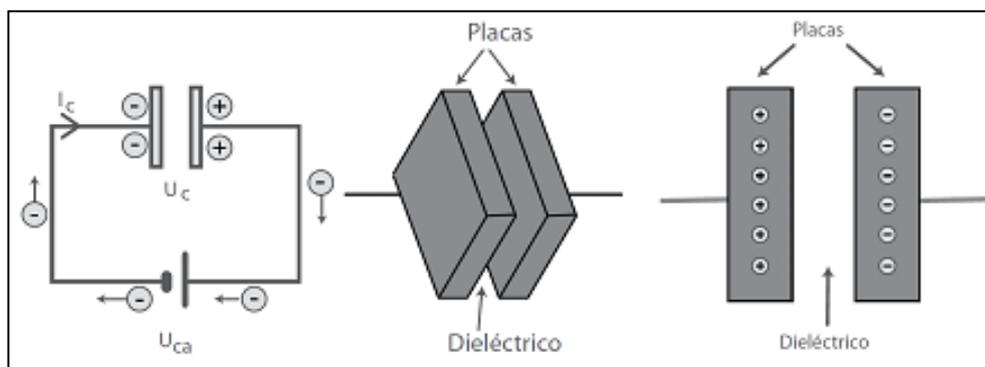


Figura 19. 19 Función eléctrica del condensador

(Fuente: <http://www.rtrenergia.es/es/>)

Resumiendo un capacitor puede definirse como un componente eléctrico de dos terminales, cuyo propósito esencial es introducir una carga acumulada a la diferencia que existe de voltaje entre dos placas conductoras o alambres, en un circuito eléctrico

1.1.7.1. Estructura

El material constructivo del elemento capacitivo depende de su aplicación. Los condensadores cilíndricos, son construidos con film de propileno metalizado con diferentes metales (Al, Zn) auto regenerable de bajas pérdidas y diferentes espesores de film de propileno en función de la tensión de utilización. Actuando la metalización como elemento conductor de la corriente y el propileno como dieléctrico.

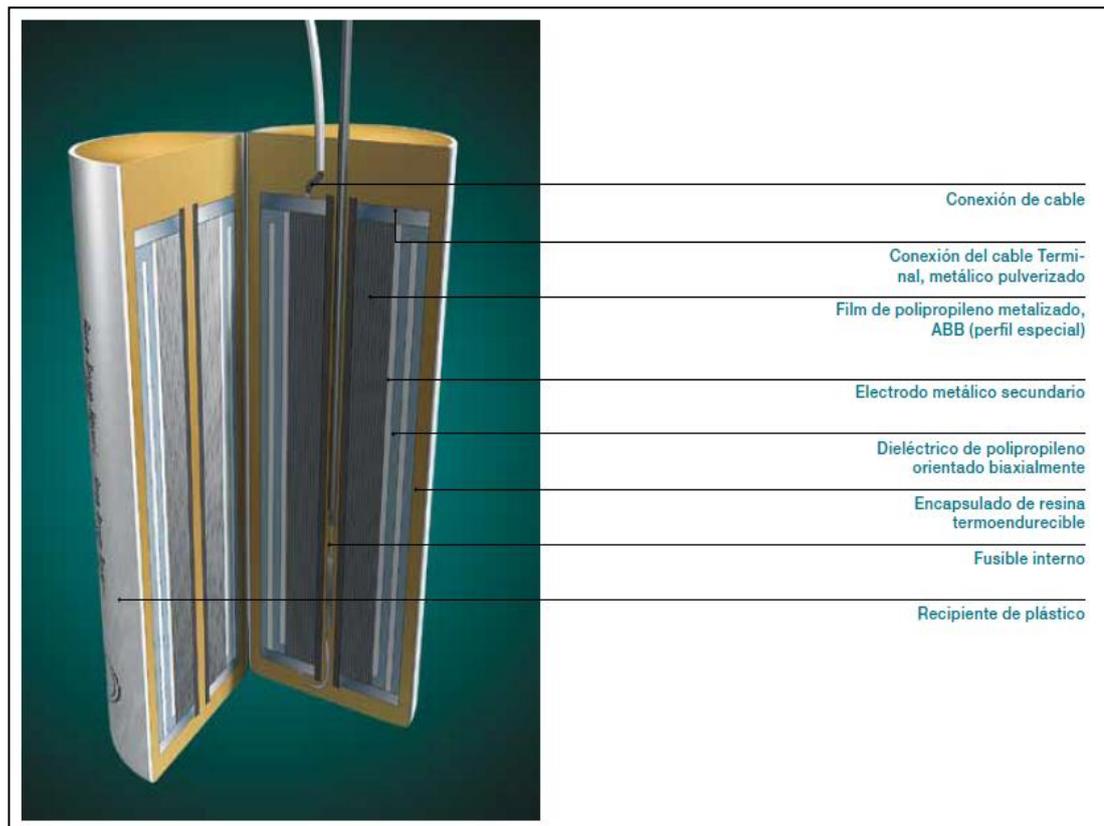


Figura 20. 20 Estructura interna de un condensador de potencia

(Fuente: Asea Brown Boveri, S.A. | Condensadores B.T. 3)

Los elementos capacitivos son introducidos, después de un meticuloso proceso de fabricación y control de calidad, en botes de aluminio o material plástico y posteriormente encapsulados con resinas de poliuretano no tóxica y ecológica especialmente diseñados y fabricados por la División Química de RTR Energía S.L. para su utilización en diferentes tipos de condensadores y equipos eléctricos que requieran ser encapsulados (figura 1.20)

1.1.7.2. Tipos de condensadores

- Condensadores de MICA, utilizados como condensadores de alta frecuencia telecomunicación (figura 1.21 a).
- Condensadores CERÁMICOS, se usan en aplicaciones de telecomunicación cuando la ausencia de espacio sea considerable (figura 1.21 b).
- Condensadores ELECTROLÍTICOS, son utilizados principalmente para rectificar tensiones continuas (figura 1.21 c).
- Condensadores VARIABLES, son aquellos que permiten modificar su capacidad en función de las necesidades (figura 1.21 d).

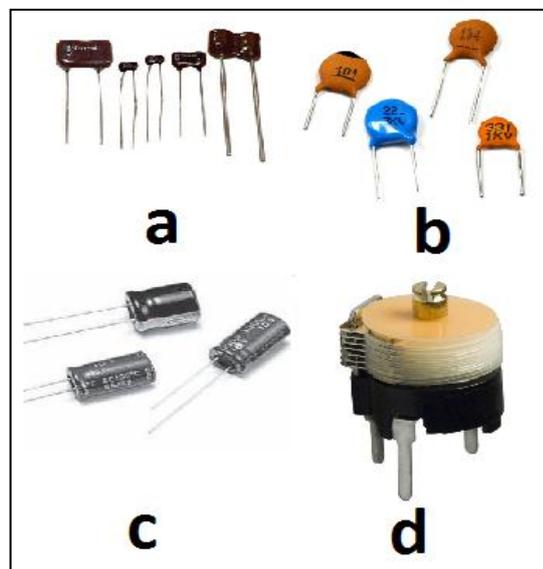


Figura 21. 21 Tipos de Condensadores

(Fuente: <http://diyaudio.es>)

1.1.7.3. Carga y descarga del condensador

Carga:

Esto se refiere a los coulombios, que es la cantidad de electricidad que almacena el condensador (Q), que es el número de electrones que se desplazan durante el proceso de carga al estar conectado a la red eléctrica.

$$Q = I \cdot t$$

I = Amperios (A)

t = Segundos (s)

Descarga

Cuando el condensador está cargado, esto se mantiene incluso cuando se desconecta de la energía eléctrica, por la fuerza de atracción entre las placas debido a la diferencia de polaridad entre ellas, por esta razón los condensadores deben estar dotados entre sus terminales de una resistencia de descarga de seguridad, para evitar la descarga del condensador al ser manipulado.

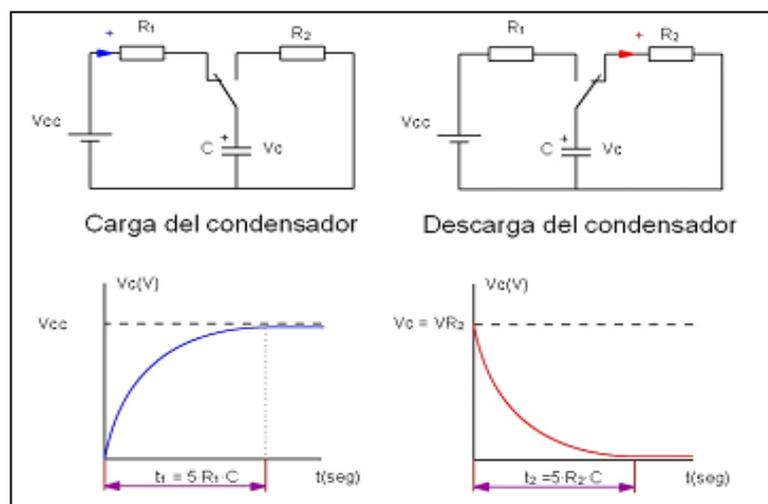


Figura 22. 22 Función de carga y descarga del condensador

(Fuente: <http://www.portaleso.com>)

1.2. Bajo factor de potencia

1.2.1. Causas

La mayoría de los equipos eléctricos utilizan potencia activa o real que es el trabajo, y utilizan también la potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, un alto consumo de energía reactiva, puede producirse como consecuencia principalmente de la potencia reactiva asociada con componentes que almacenan energía y la liberan de nuevo a la línea durante cada ciclo de corriente alterna, por lo que la potencia reactiva, que es requerida por cargas inductivas, aumenta la cantidad de potencia aparente ($S=VA$) en el sistema de distribución, y el aumento de la potencia reactiva y aparente se refleja en el aumento del ángulo entre los dos, entonces el bajo factor de potencia, es causado por la corriente de magnetización de los aparatos conectados a la red de suministro, que se debe principalmente a los motores de inducción y a cargas inductivas, tales como:

- Motores asincrónicos
- Transformadores
- Máquinas de soldar
- Aparatos inductivos de calentamiento:
- Hornos Industriales
- Alumbrado fluorescente
- Sub- utilización de la capacidad instalada, dando como resultado una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria, provocando un desbalance en la red, al conectar equipos adicionales de diferentes tensiones, al sistema trifásico.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria, produce un desbalance en la red, por fugas de corriente

1.2.2. Consecuencias o efectos

Cuando una potencia es constante, la cantidad de corriente de la red se incrementa en la medida que el factor de potencia disminuya, esto significa que a bajos factores de potencia, los transformadores, cables de distribución, contactores y circuitos de

protección, pueden llegar a sobrecargarse, y tener pérdidas en sus propiedades, por lo que, al querer producir un trabajo, las cargas requieren de un cierto consumo de energía, y cuando este consumo, es en su mayoría energía reactiva, el valor del ángulo ϕ se incrementa y disminuye el factor de potencia, por lo que resulta dañino y caro mantener un bajo factor de potencia, teniendo como consecuencias:

- Al Consumidor:
 - Aumento de la intensidad de corriente
 - Pérdidas en los conductores
 - Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores
 - Aumento de la sección transversal de los conductores necesarios para transmitir la misma potencia.
 - Aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.
- A la empresa distribuidora de energía:
 - Mayor inversión en los equipos de generación, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
 - Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores.
 - Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje
 - Disminución de las capacidades entregadas por la generación.
 - Aumento de la sección transversal de los conductores necesarios para transmitir la misma potencia.
 - Incremento de la potencia aparente.

1.3. Corrección para el bajo factor de potencia

En la industria cuyas instalaciones eléctricas están compuestas principalmente por motores, esto tiende a un factor de potencia bajo, por esta razón resulta necesario compensar la carga inductiva, además de realizar modificaciones a los motores para que operen en condiciones de carga adecuadas, y mejorar su factor de carga y de la instalación total.

La demanda de potencia reactiva se puede reducir con la colocación de Volta Amperios Reactivos (KVA's) necesarios, de forma paralela a las cargas, que dependiendo de la potencia reactiva necesaria y de la carga reactiva de los condensadores, se puede llegar a anular de forma total o parcialmente la potencia reactiva inductiva que existe en la red, por lo que a este proceso se le denomina compensación de energía reactiva, para que el factor de potencia sea el mínimo exigido por las empresas distribuidoras de energía eléctrica (figura 1.23).

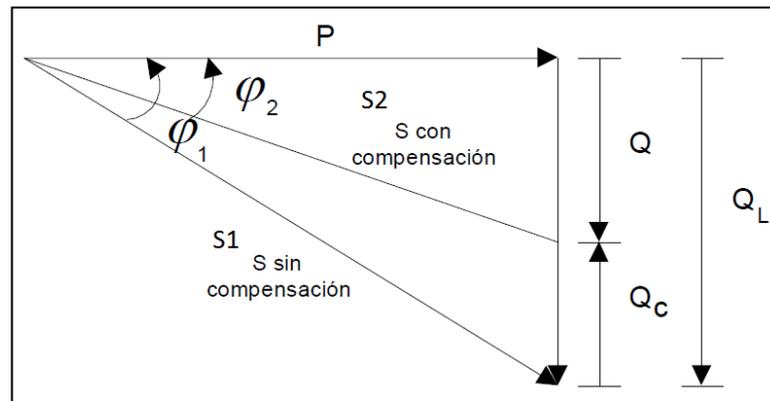


Figura 23. 23 Triángulo de Potencias con el $\cos \phi$ mejorado

Q_L : es la demanda de reactivos y S_1 la potencia aparente correspondiente.

Q_C : es el suministro de reactivos del capacitor de compensación

Como la compensación de energía reactiva, no afecta el consumo de potencia activa, por lo que P permanece constante, y como efecto del empleo de los condensadores, el valor del ángulo ϕ_1 se reduce a ϕ_2 , además que la potencia aparente S_1 también disminuye, tomando el valor de S_2 , por lo que al disminuir el valor del ángulo ϕ se incrementa el factor de potencia.

1.3.1. Métodos de corrección para el bajo factor de potencia

Para una mejor corrección del factor de potencia se tiene que tener en cuenta.

- La cantidad de potencia reactiva necesaria o mínima demandada por la carga.
- La selección del tipo de compensación.
- La ubicación óptima de la compensación

1.3.2. Corrección del factor de potencia mediante capacitores

Los bancos de capacitores se pueden instalar en diferentes puntos de la red en que estén conectados la carga, pero hay que tener en cuenta antes de instalar dichos bancos de condensadores, algunos aspectos como: el tipo de carga a corregir, el número de cargas a corregir, las horas de usos de la carga y sobre todo la cantidad de energía reactiva a necesaria para corregir el factor de potencia, por los que los más empleados son:

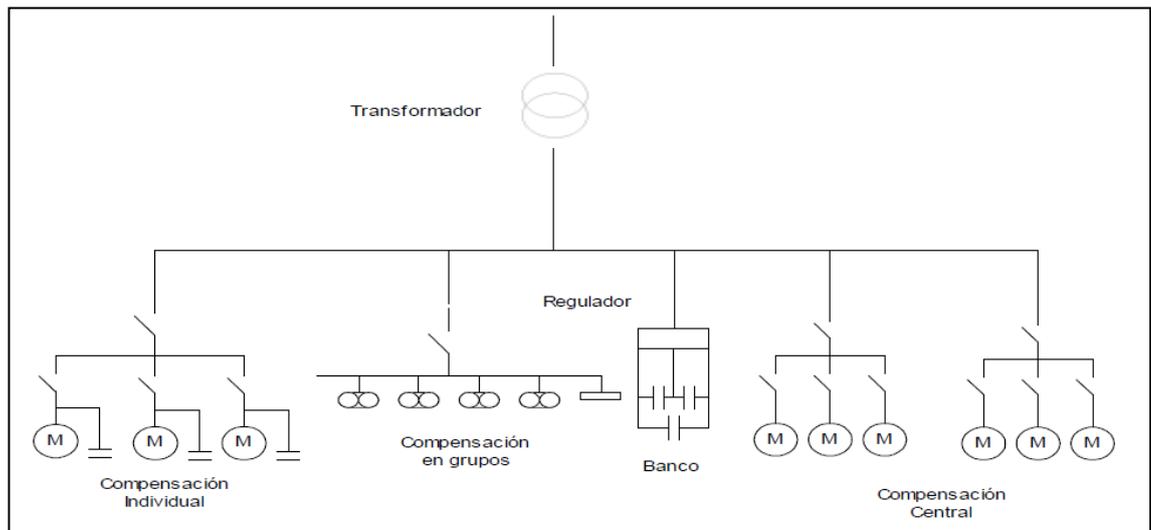


Figura 24. 24 Tipos de compensación de factor de potencia con capacitores

- Compensación individual motores.
- Compensación por grupo de carga.
- Compensación centralizada.

1.2.2.1. Compensación Individual

Se refiere a que a cada consumidor de carga inductiva, se le asigna un capacitor o un grupo de capacitores, para que suministre la potencia reactiva necesaria para su compensación, este método se emplea más en cargas de uso continuo y especialmente en cargas que requieran valores de energía reactiva muy altos.

- **Compensación individual en motores eléctricos**

Es el tipo de compensación más efectivo, ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, pero hay que tomar en cuenta de no tener una sobre compensación inductiva en la carga (figura 1.25).

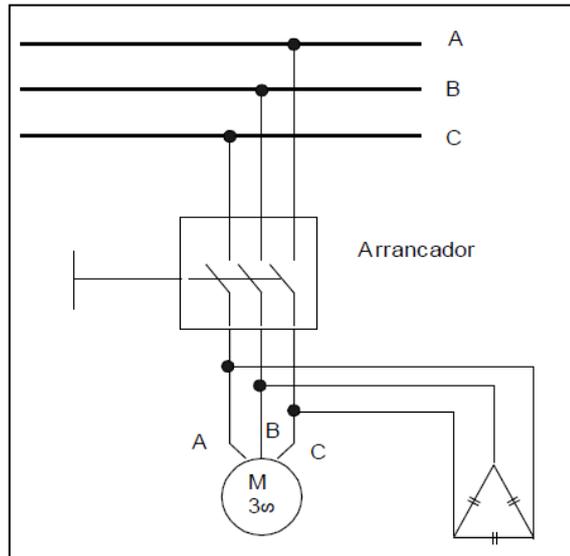
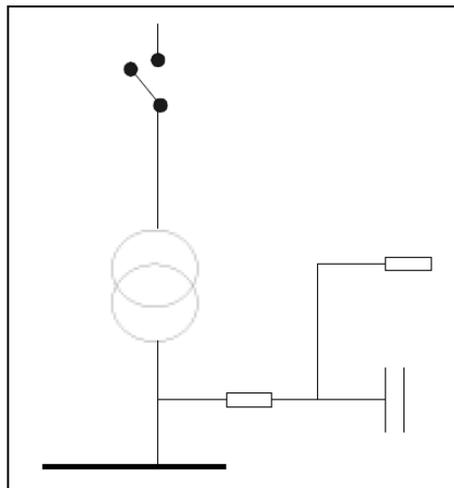


Figura 25. 25 Compensación individual en motores con capacitores

- **Compensación individual en transformadores de distribución.**



- **Figura 26. 26 Compensación individual en transformadores con capacitores**

Otro método para la corrección del factor de potencia es compensar la potencia reactiva en los transformadores de distribución, calculando la potencia reactiva absorbida por el transformador en vacío, que puede ser en el orden del 5 al 10% de la potencia nominal del mismo, pero hay que recordar que dependiendo de las normas técnicas para instalaciones eléctricas, y evitar problemas de resonancia y sobre tensión en vacío, la potencia del banco de condensadores no debe exceder el 10% de la potencia nominal del transformador (figura1.26).

1.2.2.2. Compensación en grupo

Tiene mayor aplicación cuando se necesita compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando estas se conectan simultáneamente y la demandan potencia reactiva es constante, o cuando se tiene algunos grupos de cargas situados en puntos distintos, por lo que se tiene algunas ventajas:

- Conformación de grupos de cargas de diferente potencia, pero con tiempo de operación similar, para que la compensación realice un banco de condensadores común.
- Se reducen gastos de inversión en bancos de capacitores.

1.2.2.3. Compensación centralizada

Brinda una solución generalizada para la corrección del bajo factor de potencia, la potencia total del banco de condensadores se instala en la acometida cerca de los tableros de distribución de la energía, los cuales con diversos tipos de equipos, diferentes potencias y tiempos de operación, brindando las siguientes ventajas.

- Fácil supervisión y control del banco de condensadores
- Potencia reactiva inyectada al sistema solo la requerida
- Mejor utilización de la capacidad del banco

Este tipo de compensación puede tener un mejor aprovechamiento al corregir el factor de potencia de las cargas, al ser controlados por un banco automático de condensador.

Banco automático de capacitores

Consta de un conjunto de capacitores, de carga diferente y también idénticos, según la demanda de la energía reactiva a inyectarse en la red eléctrica, además pueden ser agrupados indistintamente para obtener el valor del factor de potencia requerido, según las variaciones de carga diferente. El controlador del factor de potencia se encarga de detectar las diferentes necesidades de potencia reactiva del sistema y conecta los grupos de condensadores, en el menor tiempo posible y con el menor número de operaciones necesarios, para obtener el factor de potencia requerido, estos grupos también se utilizan en forma alternada para que no existan un desgaste de ellos.

Por ejemplo: un banco automático de 50 kVAR se puede formar con 5 grupos del mismo tamaño, 10 kVAR cada uno, el cual se le denomina como cargas de 1:1:1:1:1(10:10:10:10:10 kVAR), esto quiere decir que son múltiplos de valor base del condensador, que en este caso es de 10kVAR, ahora también puede variar dependiendo de la carga demandante en ese momento como por ejemplo 1:2:2 (10:20:20 kVAR) o también 1:1:30 (10:10:30 kVAR).

También, en un banco de condensadores automático, se encuentra el controlador de sensibilidad c/k, esto quiere decir que introduce el número de grupos de condensadores de acuerdo a la carga reactiva y al valor del factor de potencia demandante en ese momento, el cual se ajusta a las necesidades de cada empresa. Es decir que al tener un grupo de condensadores de 1:1:1:1:1(10:10:10:10:10 kVAR), se puede ajustar la sensibilidad a un $\geq 60\%$, de el o los grupos de condensadores, esto significa que cuando se tenga una carga demandante de 7 kVAR entrara a actuar el grupo 1 de 10kVAR, o cuando se tenga una carga demandante de 36 kVAR actuaran los grupos 1:1:1:1 de 10kVAR cada uno, dando un total de 40Kvar

1.3.3. Corrección del factor de potencia mediante motores síncronos

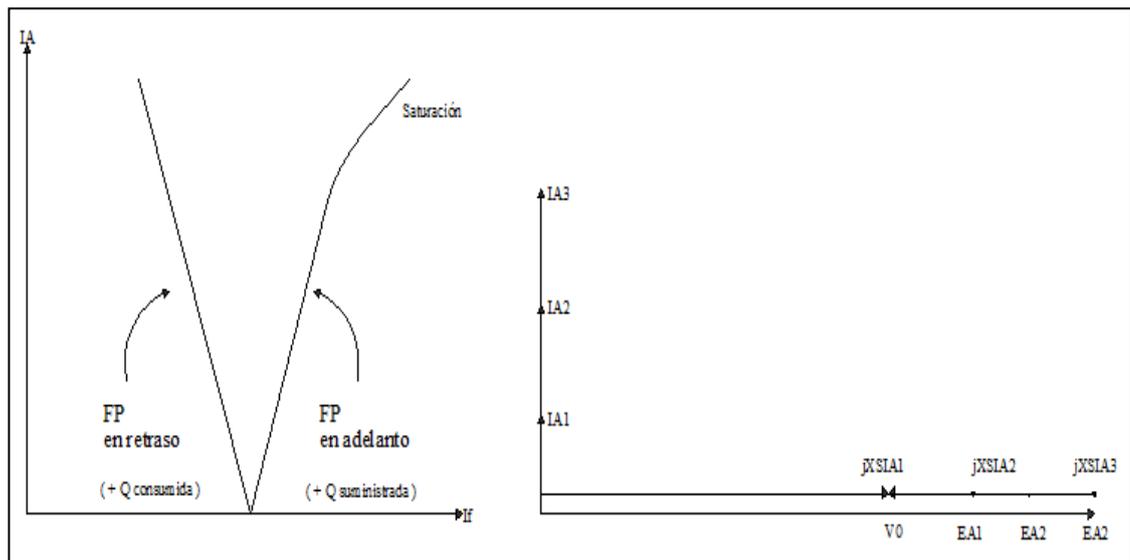


Figura 27. 27 Curva en V de un capacitor síncrono

(Fuente: www.ib.cnea.gov.ar)

Los motores síncronos pueden también actuar como generadores de voltios amperios reactivos (VAR), por lo que es común la práctica de conectar un motor síncrono a la línea, su capacidad para generar VAR es función de su excitación y de la carga conectada, cuando operan de forma sobrecitados (operación normal) suplen sus requerimientos de VAR y pueden además entregar VAR a la red, por lo que en este caso son utilizados como compensadores de bajo factor de potencia, ya que la potencia real suministrada a la máquina es cero (excepto por las pérdidas), con un factor de potencia unitario la corriente es nula, y al incrementar la corriente de excitatriz, la corriente en la línea aumenta de manera lineal hasta que pueda llegar al punto de saturación (figura 1.27)

Por lo tanto como el motor está en vacío, entonces el $\cos\phi$ es igual a cero y la corriente de carga esta adelantada con respecto a la tensión de línea, y como el motor es una carga con un factor de potencia variable, porque al hacer que el motor síncrono trabaje en régimen capacitivo, se disminuye el valor de la corriente de línea y del factor de potencia, esto hace que disminuyan las pérdidas, y se mejore la eficiencia de operación del sistema.

CAPITULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE Y HARDWARE

2.1. Hardware

2.1.1. Introducción

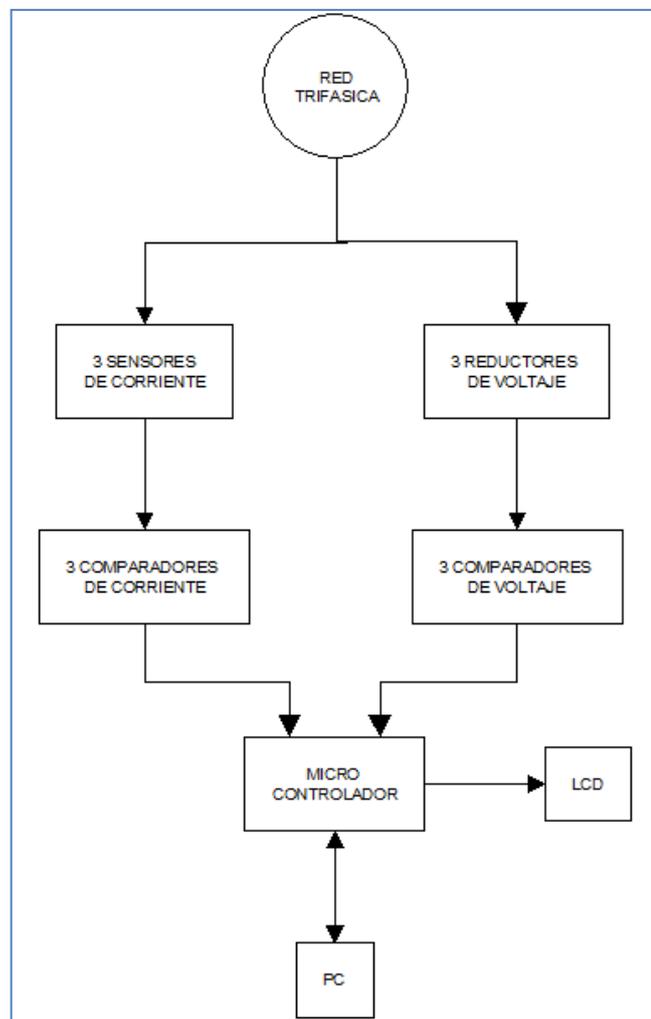


Figura 2. 1 Diagrama de bloques general de hardware.

El hardware de nuestro sistema de monitoreo y control del factor de potencia, está compuesto por los circuitos que se observan en el esquema de la figura 2.1,

además incluye los circuitos de alimentación de voltaje para las tarjetas de medición, tanto de corriente continua como de corriente alterna.

Estando básicamente compuesto nuestro hardware de:

- Fuente de alimentación de tarjetas
- Circuito de sensor de corriente, una por cada fase
- Circuito de comparador de corriente, una por cada fase
- Circuito de reductor de voltaje, una por cada fase
- Circuito de comparador de voltaje, una por cada fase
- Circuito de micro controlador
- Comunicación RS232
- PC
- Tarjeta LCD

Tomando las medidas necesarias como se muestra en la figura 2.2

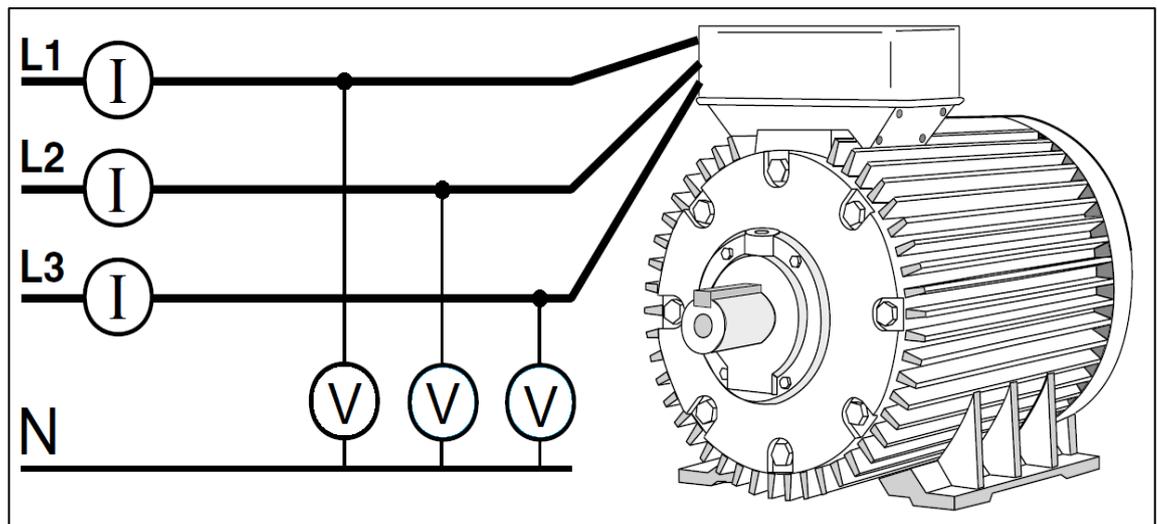


Figura 2. 2 Forma de obtención de valores a medir

2.1.2. Fuente de alimentación de tarjetas

Para la alimentación de tensión de los circuitos, se pretende tener una fuente de alimentación necesaria para dichos circuitos, convirtiendo la tensión de la red alterna, en una o varias tensiones de voltaje continuo, que alimentaran los

distintos circuitos del sistema electrónico que la componen, en la figura 2.3 se muestra el esquema básico de una fuente de alimentación.

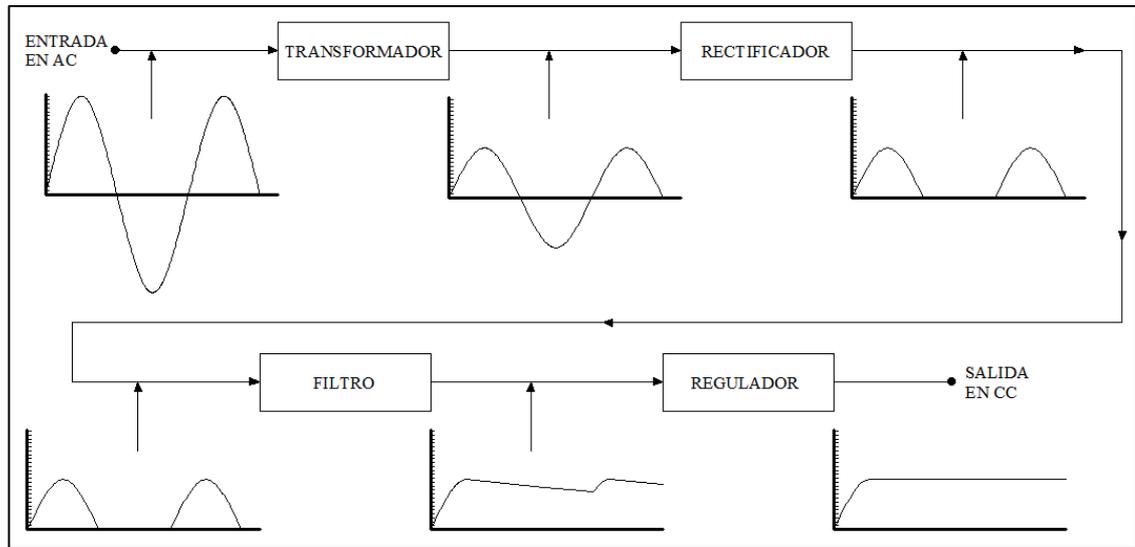


Figura 2. 3 Esquema de una fuente de alimentación

Funcionamiento:

- El transformador, proporciona una tensión alterna sinusoidal, que aumenta o disminuye la amplitud de dicha tensión alterna manteniendo la frecuencia.
- El rectificador, rectifica a media onda la señal alterna de entrada, proporcionando una señal pulsante, compuesta de una señal continua y rizada.
- El filtro proporciona una señal continua, reduciendo el rizado de la tensión, aislando la componente alterna de la continua asegurando un comportamiento lineal.
- El regulador, mantiene una tensión continua estable en la carga.

2.1.3. Reductor de voltaje

Esta etapa del hardware, se ha calculado los componentes para alcanzar un voltaje rectificado con un valor máximo de 5Vca, el cual tiene las siguientes etapas de cálculo y diseño de este circuito (figura 2.4).

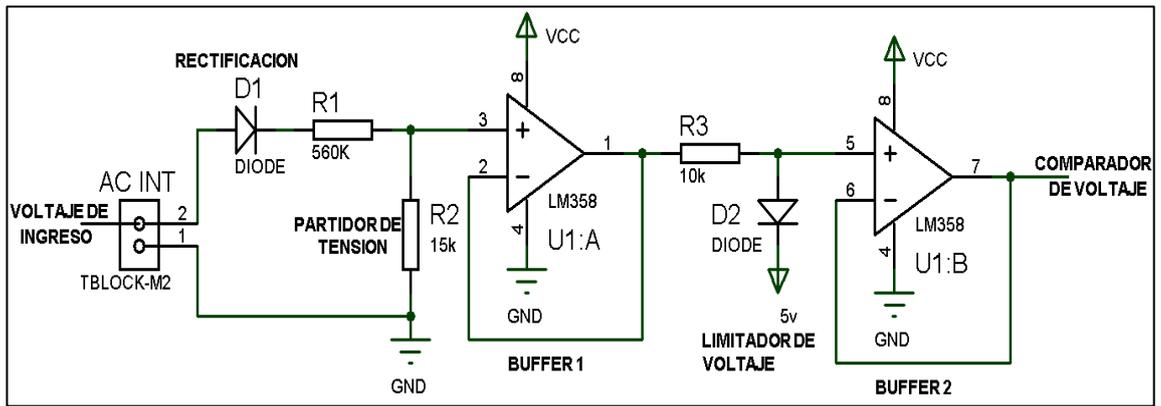


Figura 2. 4 Diagrama de circuito para el reductor de voltaje

- **Rectificación de voltaje**

Con el valor del voltaje eficaz (V_{eff}) medido en la red eléctrica (figura 2.5), se calcula el valor pico de fase (figura 2.6)

$$V_{eff} = 127V$$

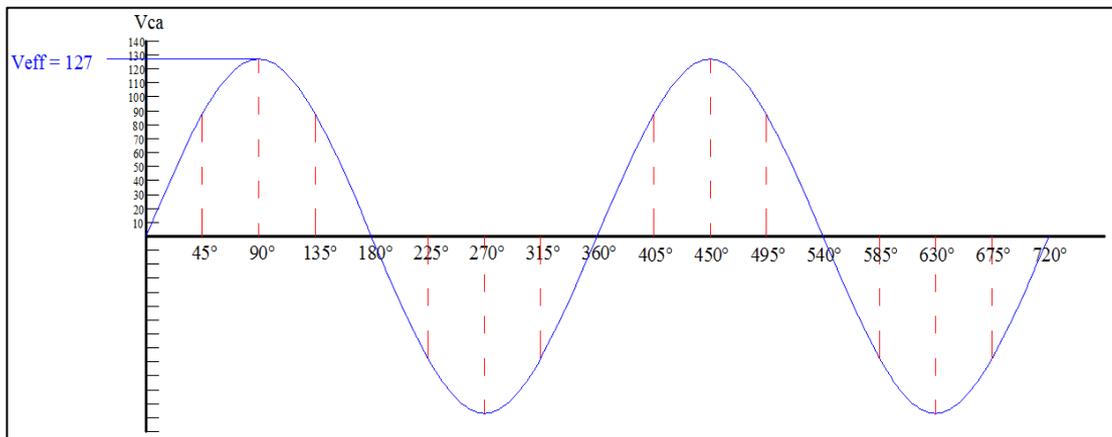


Figura 2. 5 Señal de voltaje eficaz de fase

Mediante la siguiente ecuación de obtiene que (figura 2.6)

$$V_p = V_{eff}\sqrt{2} \quad V_p = 179.605 Vca$$

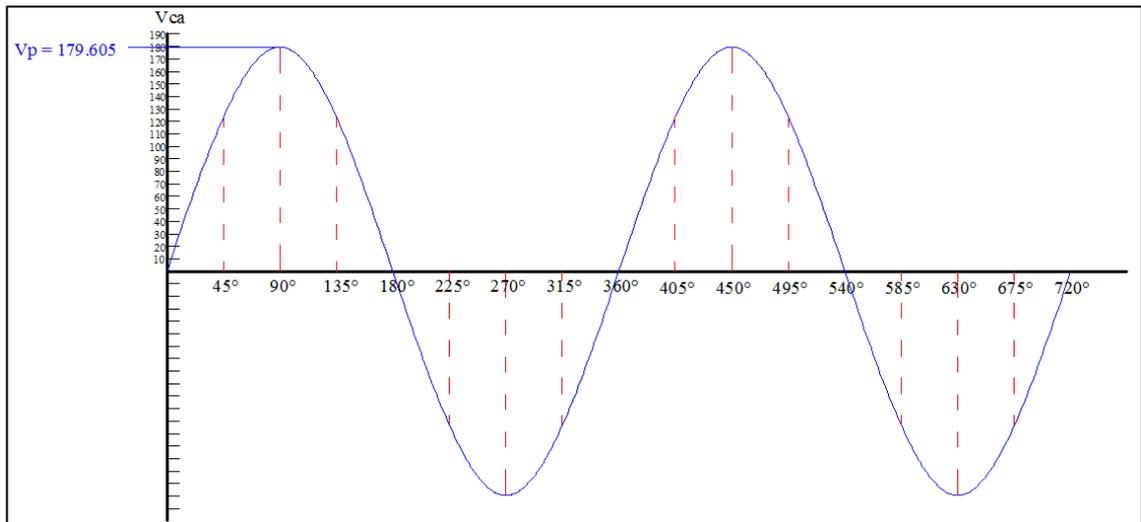


Figura 2. 6 Señal de voltaje Pico de fase calculado

En el circuito de la figura 2.7 tenemos que.

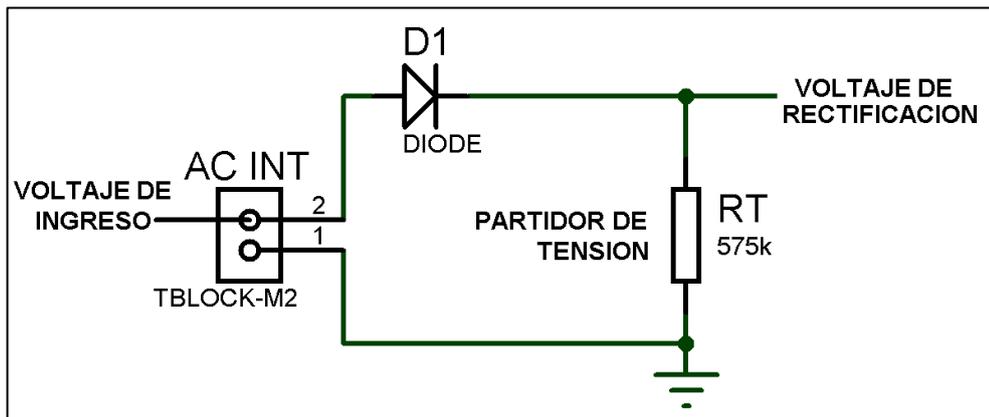


Figura 2. 7 Circuito de rectificación

$$V_1 = V_D + V_{REC}$$

Como

$$V_{REC} = I_D R_T$$

Entonces

$$V_1 = V_D + I_D R_T$$

V_D Voltaje de diodo

I_D Corriente de diodo

V_{REC} Voltaje de rectificación

Por lo que, en el análisis anterior, se obtiene la forma de onda como se muestra en la figura 2.8.

$$I_D = \frac{V_1 - V_D}{R_T} = \frac{179.605 V - 0.7 V}{575000 \Omega} = .000311 A$$

$$V_{REC} = 0.000311 A \times 575000 \Omega = 178.905 V_p$$

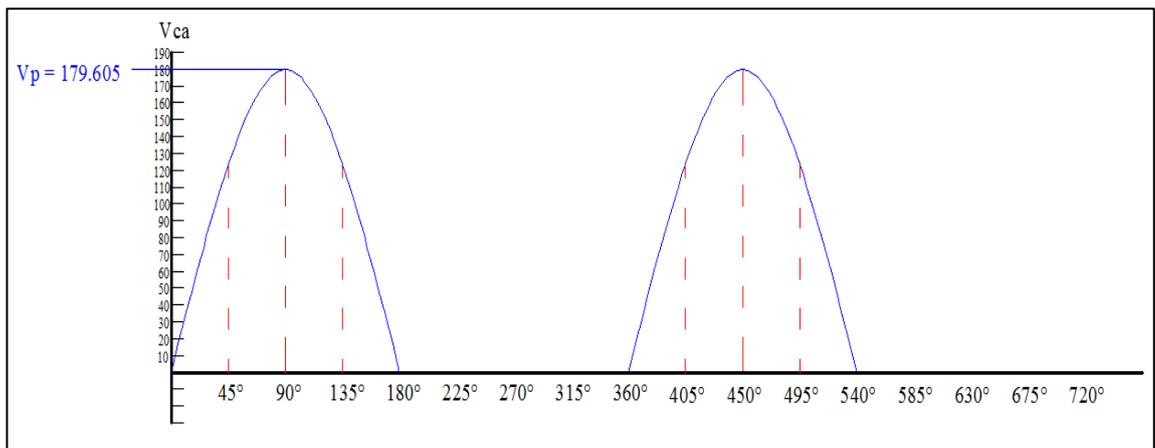


Figura 2. 8 Señal de voltaje rectificada

- **Partidor de tensión**

Esta etapa del circuito (figura 2.9), se calcula la salida de dicho partidor con una tensión máxima de 5Vp.

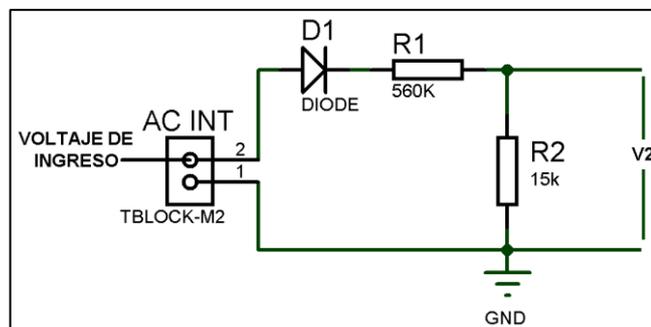


Figura 2. 9 Circuito de partidor de tensión

Como

$$I = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \quad \text{y} \quad V_2 = IR_2$$

Entonces

$$V_2 = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Por lo que el voltaje de salida es

$$V_2 = 179.605V \frac{15000\Omega}{575000\Omega} = 4.667 \text{ Vpca}$$

Obteniendo una relación de resistencia de 0.0260

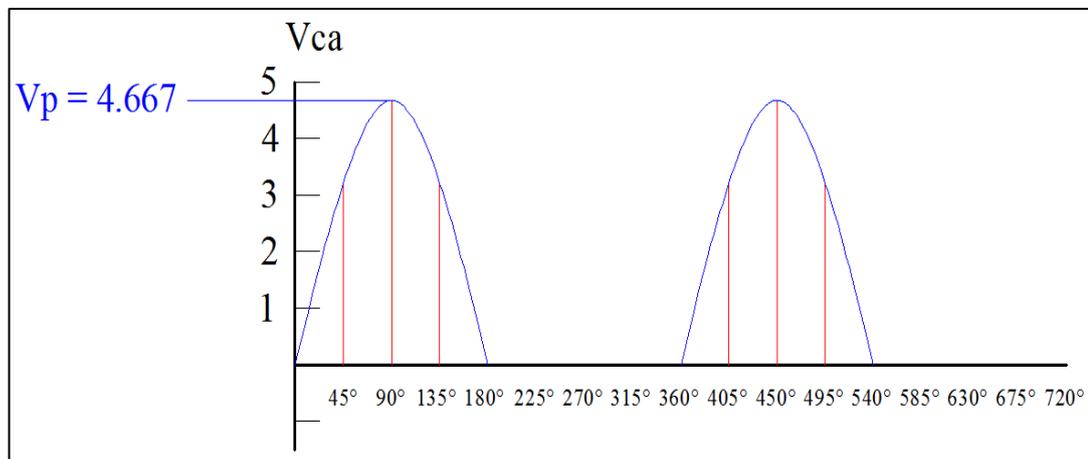


Figura 2. 10 Señal a la salida del partidor de tensión

- **Buffers**

El buffer, en este sentido, es un amplificador operacional (A.O) que funciona como seguidor de tensión, permitiendo compensar las pérdidas de corriente a través del voltaje de su fuente de alimentación, por lo que la impedancia de entrada del A.O. es muy elevada, dando por aproximación que $Z_i \cong \infty$. Por otra parte, al verificarse lo supuesto anteriormente que $Z_i \cong \infty$, entonces la intensidad de circulación a través de las entradas diferenciales puede considerarse despreciable, por lo tanto $I_i \cong 0$ (figura 2.11).

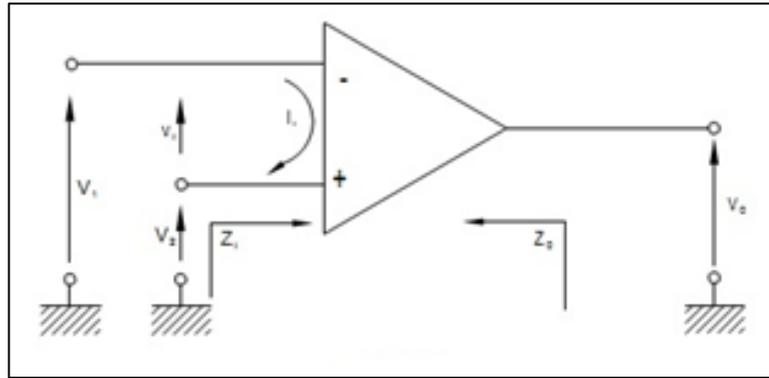


Figura 2. 11 Amplificador operacional

Por lo que puede tener la expresión $V_i = I_i Z_i$, teniendo en cuenta las relaciones de aproximación establecidas, resulta que, en definitiva podemos considerar $V_i \cong 0$, entonces en el seguidor de tensión del circuito (figura 2.12), observamos que la señal de entrada se aplica directamente a la entrada no inversora del amplificador operacional, por lo que constata, asimismo, la ausencia de resistencia en la realimentación, sin embargo, la señal de salida se realimenta hacia la entrada inversora, demostrando que la tensión de salida es igual a la tensión de entrada no inversora, de ahí el nombre de seguidor de tensión o seguidor de ganancia unidad.

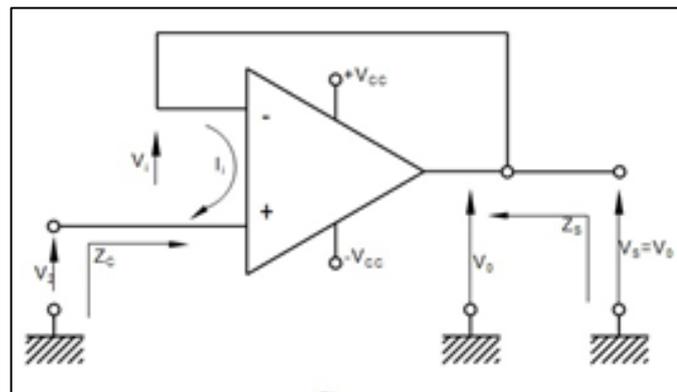


Figura 2. 12 Amplificador operacional BUFFER

Según lo expuesto anteriormente:

$$V_i \cong 0I_i \cdot 0Z_i \cong 0$$

(Z_i del A.O. sin realimentar) y observando el circuito de la figura 2.12, Podemos establecer:

$$V_0 = V_1$$

Siendo:

$$V_1 = V_2 + V_i$$

Para el valor de V_i considerado $V_1 = V_2$ para $V_i = 0$,

Luego, en definitiva, se demuestra que el seguidor de tensión proporciona una señal de salida igual a la entrada:

$$V_0 = V_2$$

En principio, puede aparecer que la utilidad del circuito de seguidor de tensión, tiene como ganancia uno, que es mínima o tal vez inexistente y no proporcionaría ganancia a la salida, pero su interés radica en la transferencia de impedancias que se lleva a cabo, esto quiere decir que, extrae la señal del circuito anterior presentando una impedancia de entrada muy elevada y que le ceda al circuito de carga con impedancia de salida prácticamente nula (figura 2.13).

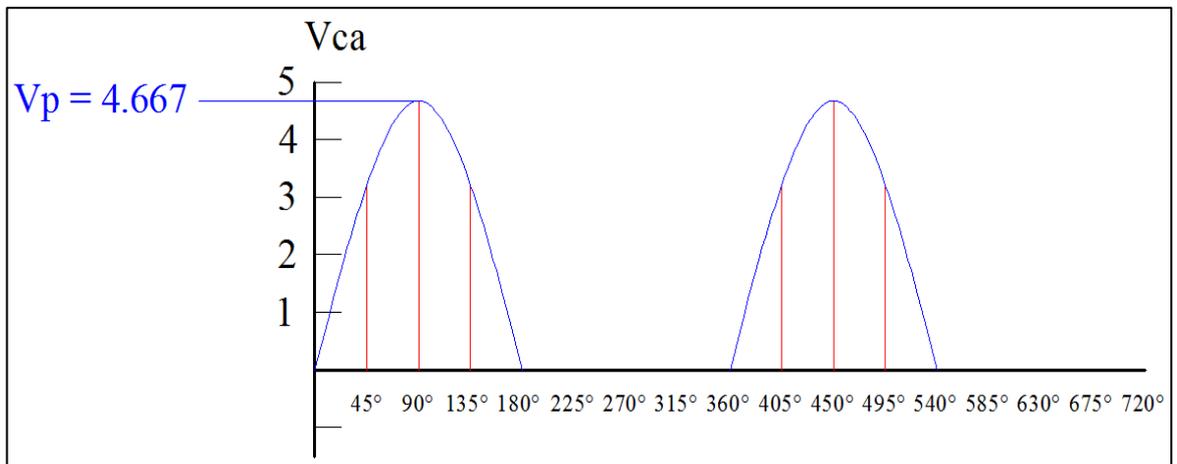


Figura 2. 13 Señal de voltaje a la salida del BUFFER

- **Limitador de voltaje**

Recibe este nombre, debido a que su función es limitar un voltaje igual a V_r como máximo.

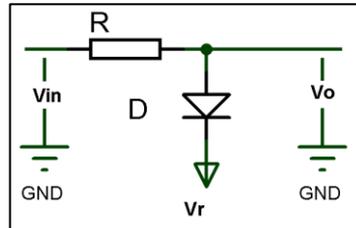


Figura 2. 14 Circuito de limitador de voltaje

En el circuito de la figura 2.14, el diodo está conectado en polaridad inversa en serie al voltaje de referencia (V_r), como el diodo está polarizado inversamente, durante el periodo de tiempo en el cual el voltaje de ingreso (V_{in}) es menor que V_r , es decir la resistencia del diodo es muy grande y por consiguiente el voltaje de salida V_o es igual a V_{in} , ahora cuando en el instante en que $V_i > V_r$ (realmente es $V_i > V_r + V_{\gamma}$ V_{γ} =*voltaje del diodo*), el diodo queda polarizado de forma directa con una resistencia prácticamente nula, y la tensión de salida V_o será igual al voltaje de referencia V_r ($V_o = V_r + V_{\gamma}$), por lo que el comportamiento sería de la siguiente manera:

- $V_{in} > V_r$, el diodo conduce, y el voltaje salida será $V_o = V_r$.

Ahora si

- $V_{in} < V_r$ el voltaje de salida será $V_o = V_{in}$ por lo que el diodo se polariza de forma directa.

En la figura 2.15 nos muestra la conexión de las tres etapas de reductores de voltaje hacia el micro controlador

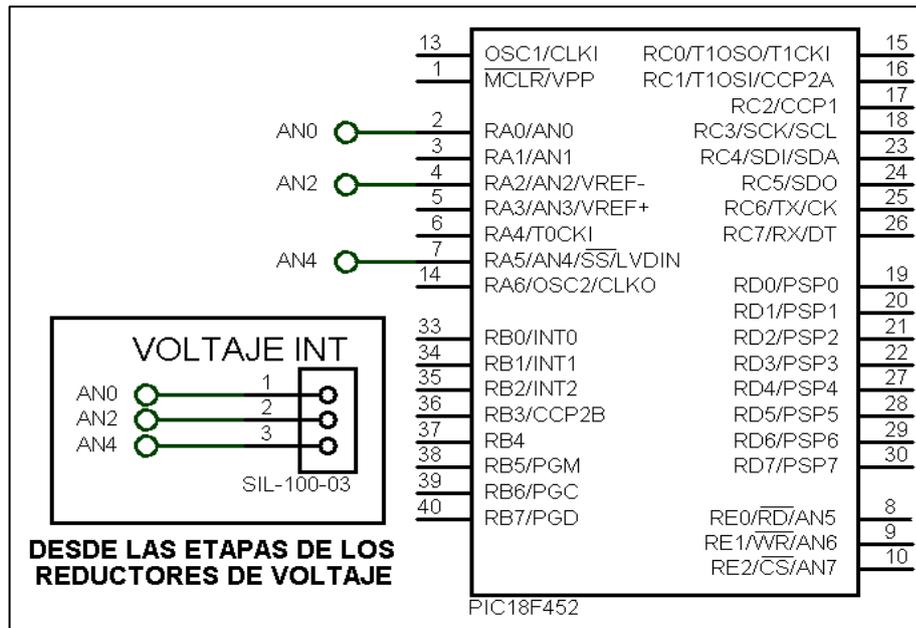


Figura 2. 15 Configuración de los circuitos reductores de voltaje en el u/c

2.1.4. Comparador de Voltaje

El circuito en esta etapa se diseñó para que pudiera realizar el cálculo del ángulo de desfase entre el voltaje y corriente, por lo cual esta señal entra al micro controlador para que pueda ser detectado el cruce por cero, por tanto los amplificadores operacionales pueden ser utilizados para comparar dos señales y determinar cuál de ellas es mayor, una pequeña diferencia entre una señal y la otra provoca que a la salida del amplificador tenga un voltaje máximo ya sea positivo (+Sat) o negativo (-Sat), esto debido a que se trabaja en lazo abierto (sin retroalimentación), por lo que existe una ganancia máxima (figura 2.16). La ganancia real de un amplificador operacional es de 200,000 o más, y el voltaje de salida es igual a:

$$V_{sal} = AOL (V1-V2)$$

Dónde:

V_{sal} = tensión de salida

AOL = ganancia de amplificador operacional en lazo abierto (200,000 o más)

$V1$ y $V2$ = tensiones de entrada

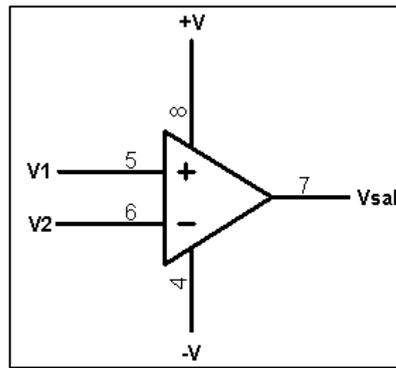


Figura 2. 16 Comparador de voltaje

Ahora vamos a alimentar el circuito de la figura 2.16, el amplificador operacional U2B (figura 2.17), con tensión simple de +5V y a poner unas resistencias para poder variar la tensión de referencia (Vref): Como la corriente que entra al operacional es 0, entonces el Vref vendrá dada por.

$$V_{ref} = 5 \left(\frac{R5}{R5 + R4} \right) = 2.5$$

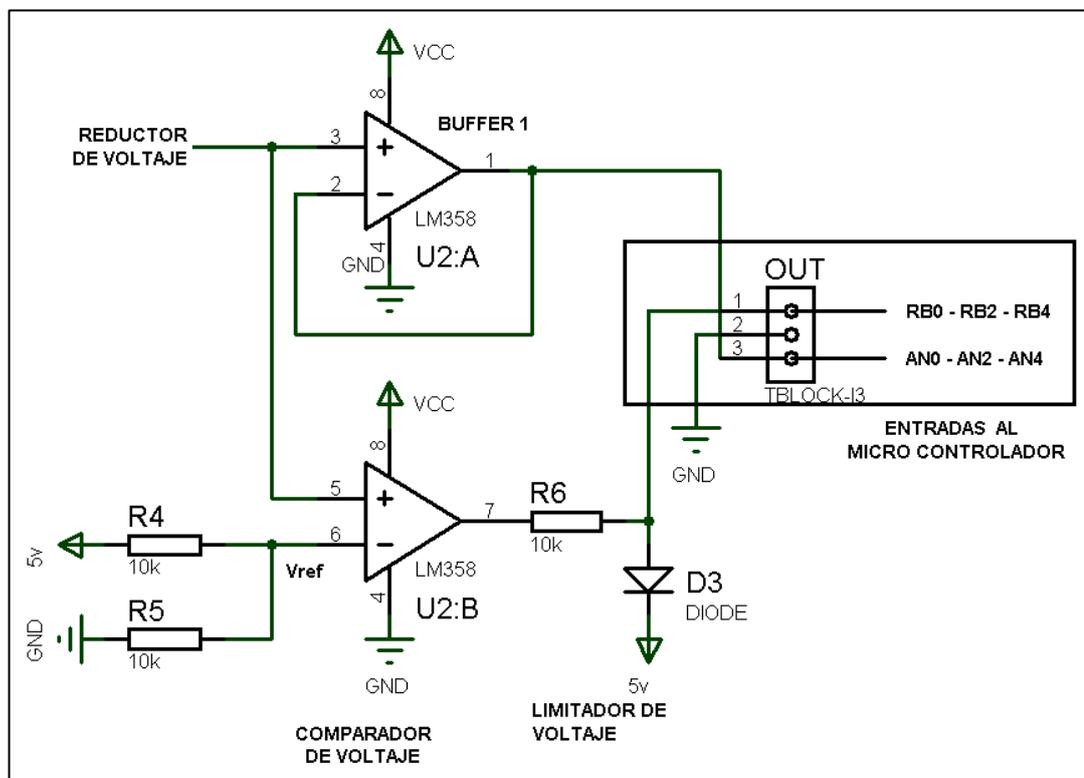


Figura 2. 17 Circuito del comparador de voltaje

A continuación se configurará el circuito comparador no inversor, por lo que el voltaje que se tendrá como referencia (que puede ser negativo o positivo) debe estar conectado a la entrada inversora del amplificador operacional, y la señal a comparar en la entrada no inversora, como se muestra en la figura 2.17 en el amplificador operacional U2B.

Si el voltaje a comparar (pin 5) es mayor que el de referencia (pin 6 V_{ref}) (figura 2.18 a), a la salida se tendrá un voltaje de saturación positivo ($+V_{sat}$) (figura 2.18b). Si el voltaje a comparar (pin 5) es menor que el de referencia (pin 6 V_{ref}) (figura 2.18 a), a la salida se tendrá un voltaje de saturación negativo ($-V_{sat}$) (figura 2.18b).

Como se muestra en nuestro circuito el voltaje de $+V_{sat}$ es de 12V y el voltaje de $-V_{sat}$ es GND (0), entonces el voltaje de salida tendrá una señal como se muestra en la figura 2.18b.

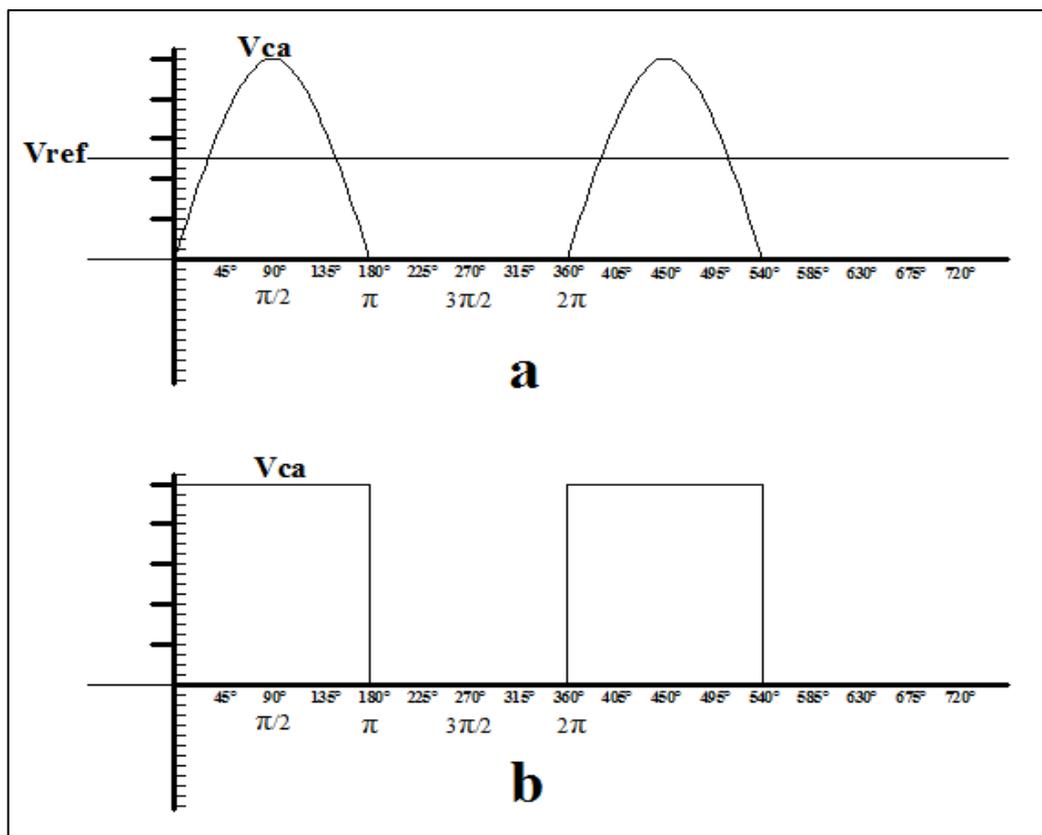


Figura 2. 18 Señal del comparador de voltaje

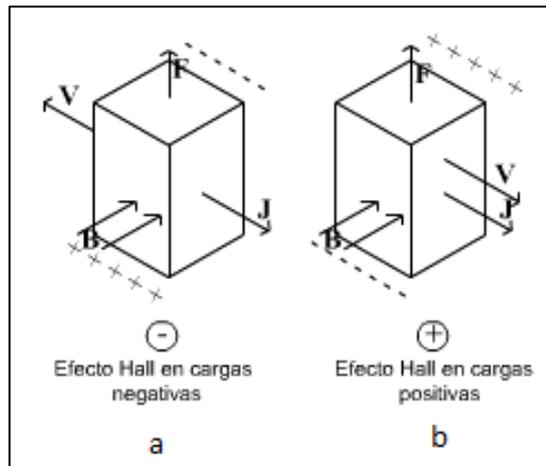


Figura 2. 20 Efecto Hall

Este sensor de corriente ACS714 con efecto Hall, consta de un camino de conducción de cobre, y cuando se aplica tensión esto genera un campo magnético que es detectado por el circuito integrado de efecto Hall y convertida en una tensión proporcional a la entrada, con una tensión de salida de 0 a 5Vca, (figura 2.21).



Figura 2. 21 Tarjeta del sensor de corriente ACS714

(Fuente: <http://www.electronicamagnabit.com>)

Observando la figura 2.22 se define del fabricante las siguientes características.

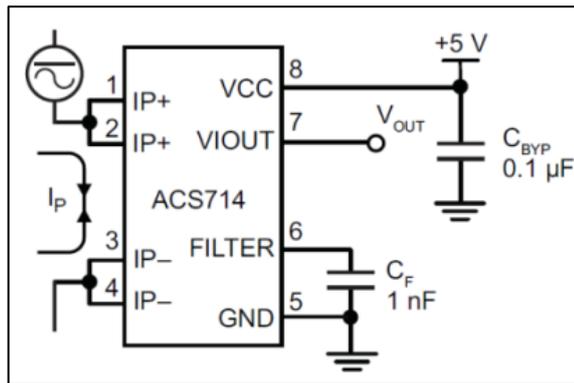


Figura 2. 22 Configuración del sensor de Corriente ACS714

(Fuente: <http://www.allegromicro.com>)

- Bajo nivel de ruido analógico en la ruta de señal
- Ancho de banda del dispositivo se ajusta mediante el punto de filtro
- 5 ms tiempo de subida de la producción en respuesta al paso de corriente de entrada
- 80 kHz de ancho de banda
- Error de salida total 1,5% típica, en $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$
- 1,2 m Ω conductor resistencia interna
- 2,1 kV RMS mínima tensión de aislamiento de los pines 1-4 a los pines 5-8
- 5,0 V, la operación de alimentación única
- 66 a 185 mV/A sensibilidad de salida
- Tensión de salida proporcional a la corriente AC o DC
- Salida extremadamente estable la tensión de offset
- Casi cero histéresis magnética
- Temperatura de funcionamiento, de $-40\text{ }^\circ\text{C}$ a $85\text{ }^\circ\text{C}$

Por lo que la señal de salida se muestra en la figura 2.23

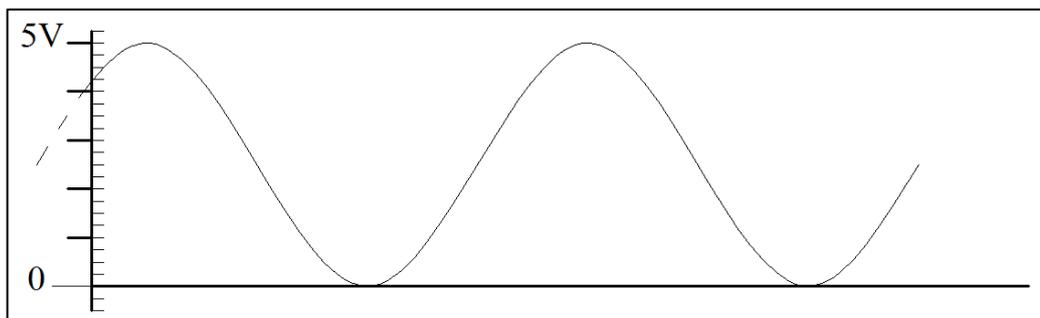


Figura 2. 23 Señal del sensor de corriente

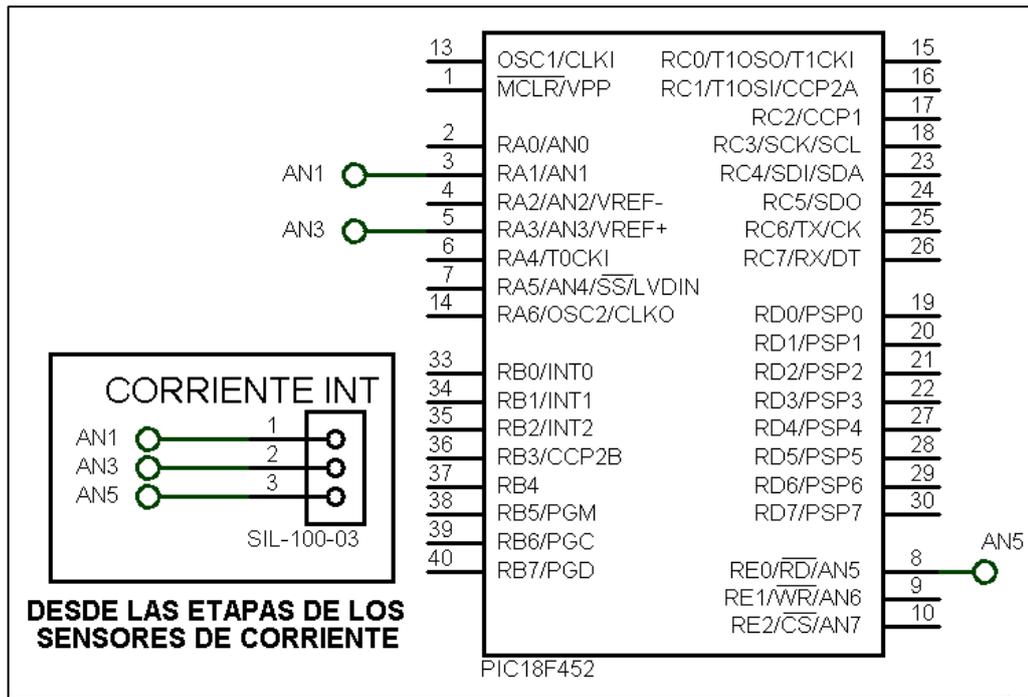


Figura 2. 24 Configuración de los circuitos de los sensores de corriente en el *u/c*

2.1.6. Comparador de Corriente

Esta etapa tiene como función de garantizar que los valores de voltajes o señales de los sensores de corriente, sean los correctos antes de ingresar al micro controlador, teniendo así, que en esta etapa los circuitos se diseñaron para realizar el cálculo del ángulo de desfase entre el voltaje y corriente mediante el cruce por cero en el micro controlador.

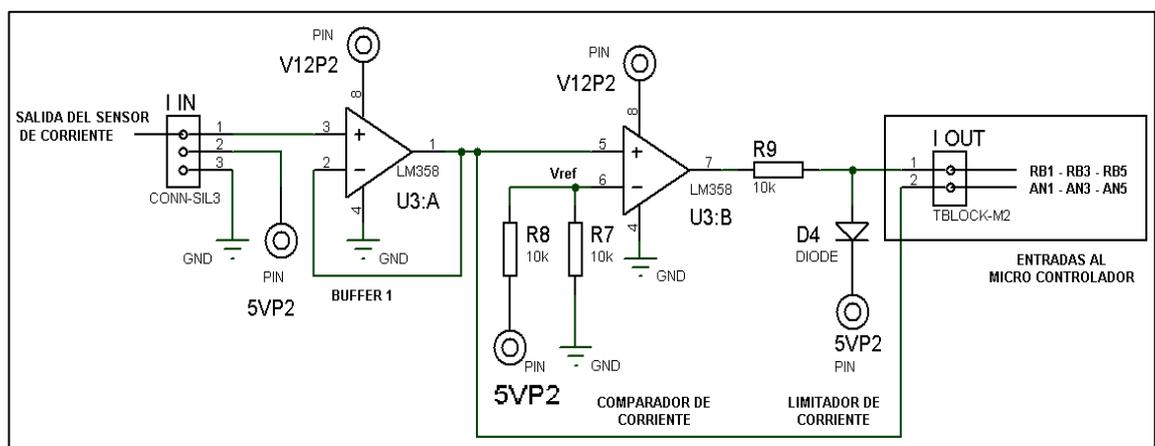


Figura 2. 25 Circuito del comparador de corriente

Como se explicó anteriormente en el inciso 2.1.4 de este capítulo, la comparación de señales tiene el mismo principio, excepto que la señal de entrada es diferente como se muestra en la figura 2.26a y nos da una señal como se muestra en la figura 2.26b

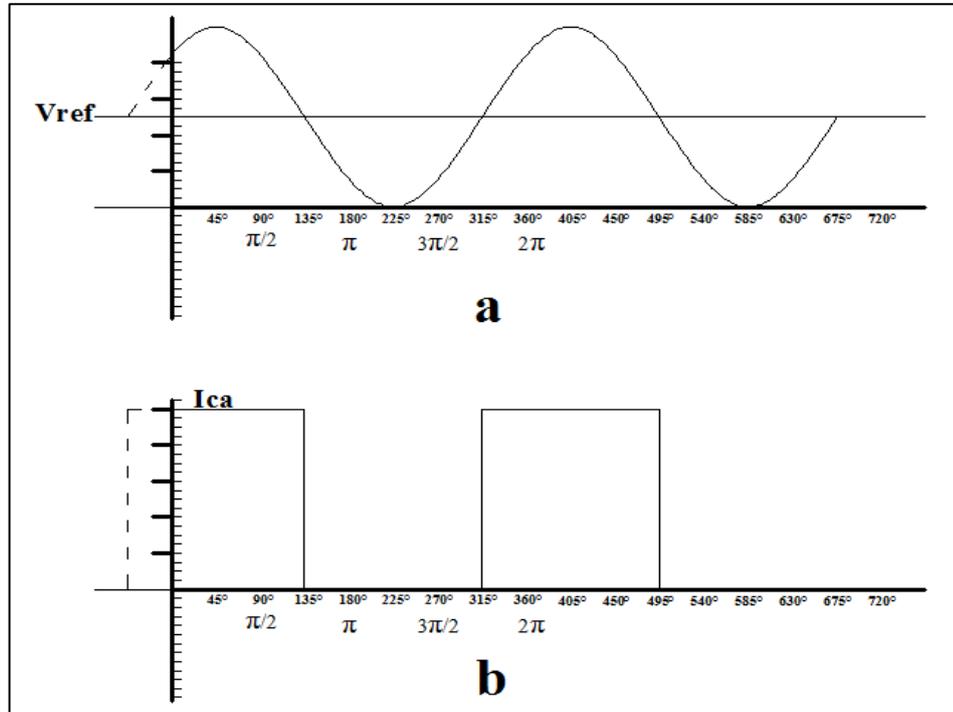


Figura 2. 26 Señal del comparador de voltaje

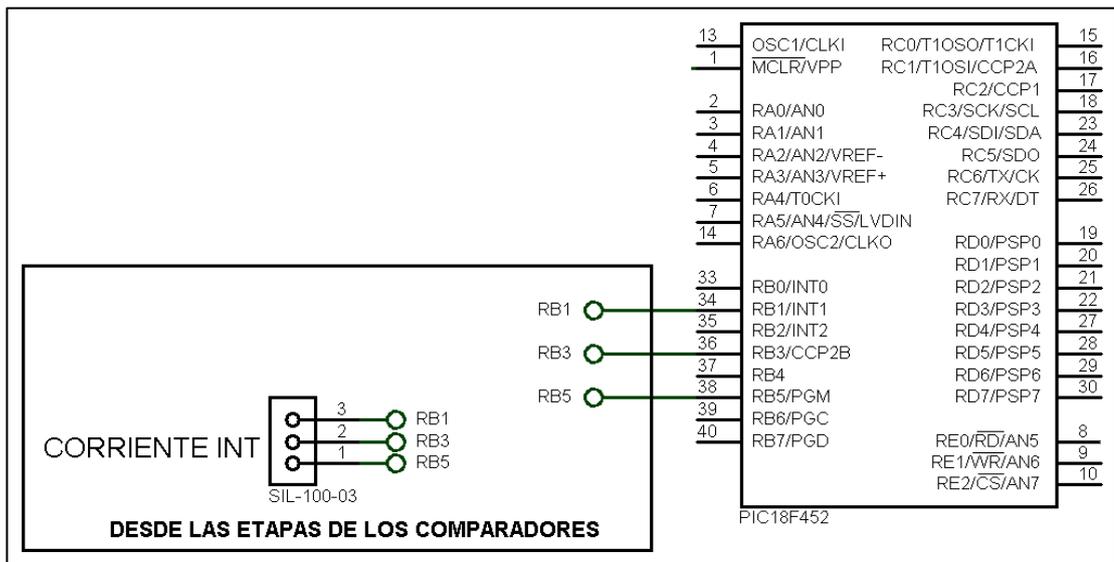


Figura 2. 27 Configuración de los circuitos comparadores de corriente en el u/c

2.1.7. Micro controlador

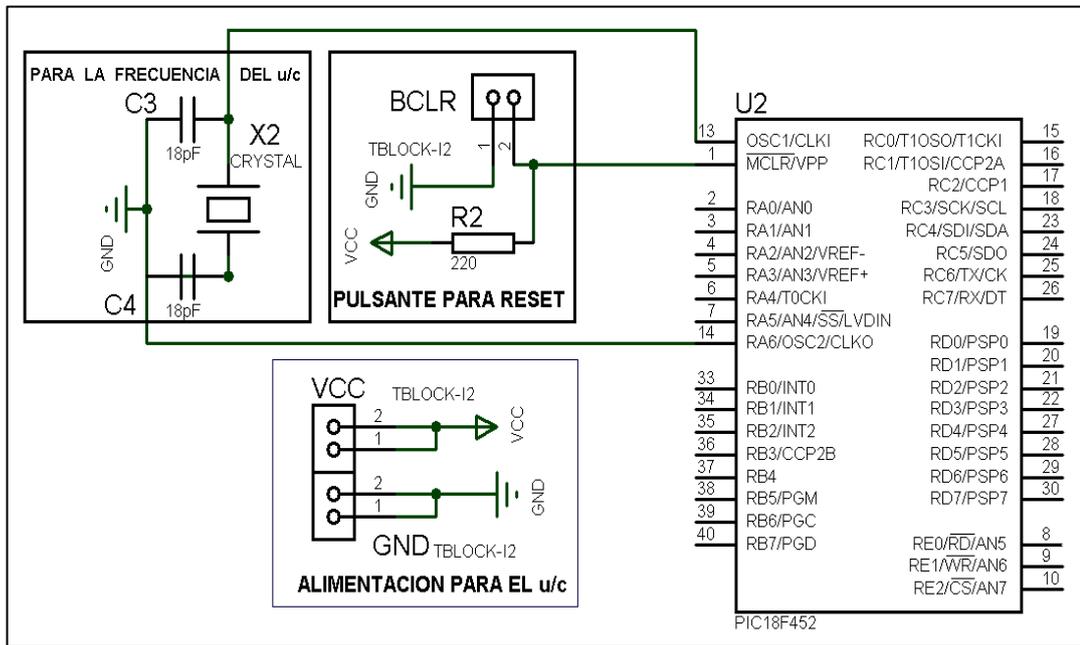


Figura 2. 28 Esquema del uC PIC18F452

El control de los valores de corriente, voltaje y potencias se realiza mediante un micro controlador, y el circuito elemental del uC consiste en su alimentación y un oscilador conectados a los pines correspondientes, en la figura 2.28 se observa el circuito esquemático que se aplicó en el sistema de monitoreo y control de factor de potencia.

Los valores de VCC y GND son 5V y 0V respectivamente y el pin del uC llamado MCLR (pin 1) tiene la facultad de reiniciar el firmware si se lo conecta a GND. MCLR debe conectarse a VCC por medio de una resistencia de PULL UP (R2 figura 2.28) y a un pulsante normalmente abierto (BCLR) conectado a GND.

2.1.8. Comunicación RS232 y LCD

- Comunicación RS232

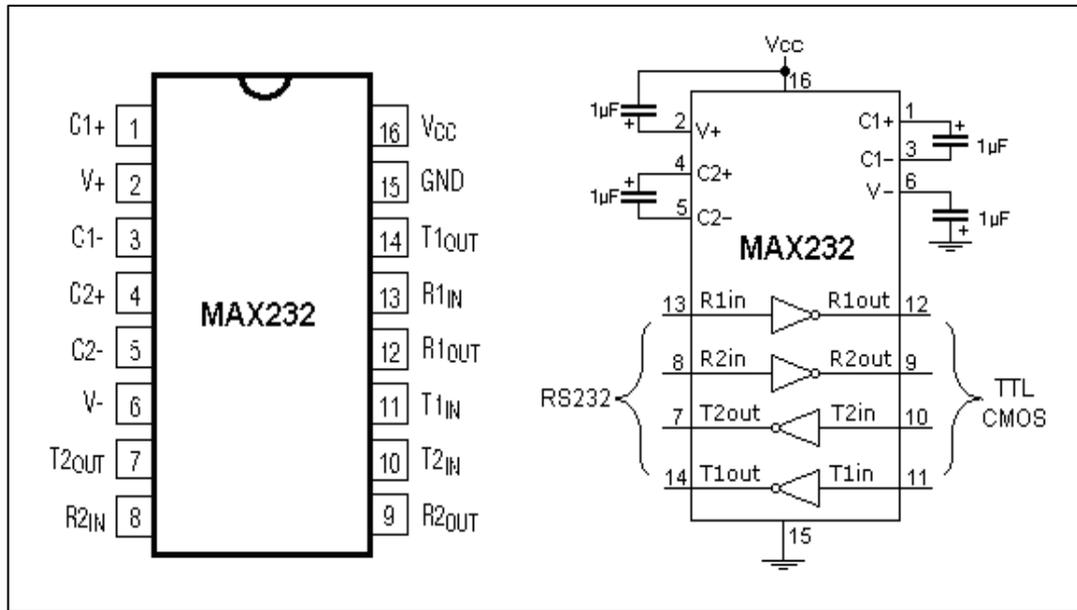


Figura 2. 29 Circuito integrado MAX 232

El interfaz del sistema de comunicación entre el micro controlador y la pc, se realiza mediante el puerto RS232. La configuración del puerto RS232 (figura 2.29) se la hace mediante la conexión de un circuito integrado MAX232, que posee dos convertidores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL convirtiendo las señales de un puerto RS232 a señales compatibles con los niveles TTL (lógica transistor a transistor) de circuitos lógicos, por lo que el circuito integrado MAX232 sirve como interfaz de transmisión y recepción para las señales RX, TX, CTS y RTS. TX es la señal de transmisión de datos, RX es la de recepción, RTS y CTS se utilizan para establecer el protocolo para el envío y recepción de los datos.

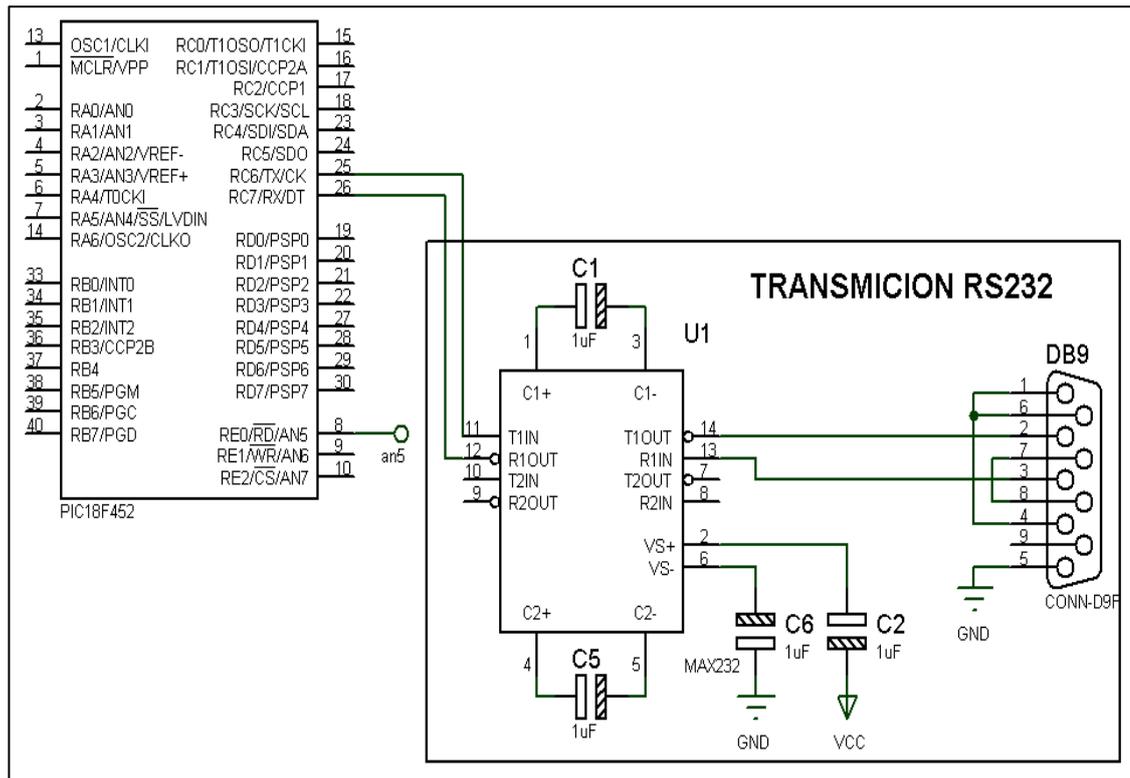


Figura 2. 30 Esquema de comunicación RS232

- Pantalla de cristal líquido - LCD

El interface del sistema con el usuario se realiza mediante dos pulsantes y una pantalla de cristal líquido - LCD matricial de 20x4.

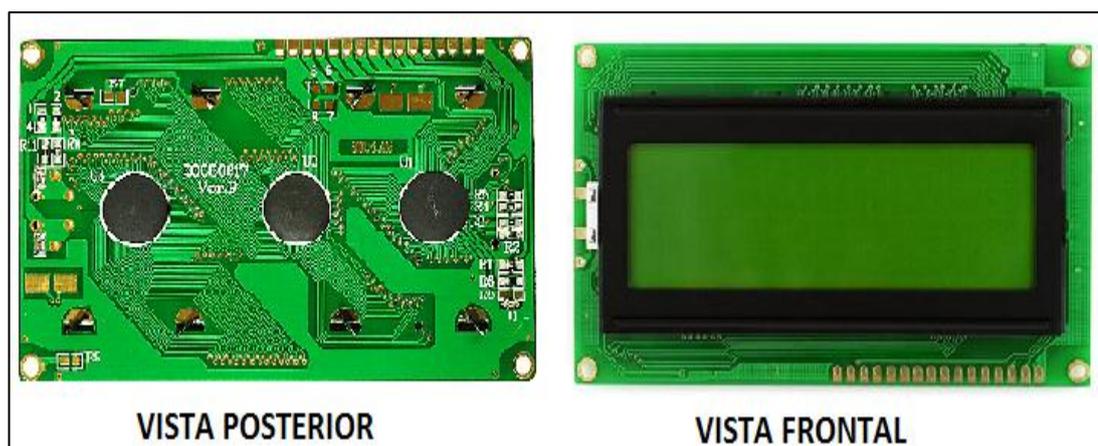


Figura 2. 31 LCD matricial de 20 x 4.

(Fuente: <http://www.bricogeek.com>)

Una pantalla de cristal líquido o **LCD** está formada por arreglo de pixeles, que al ser polarizados absorben la luz en vez de reflejarla, haciendo aparecer en la pantalla un punto oscuro, además la pantalla LCD tiene una matriz de 20x4, 4 filas de 20 caracteres (figura 2.32), cada carácter es de 5x8 pixeles con los que se puede simbolizar cualquier figura alfanumérica.

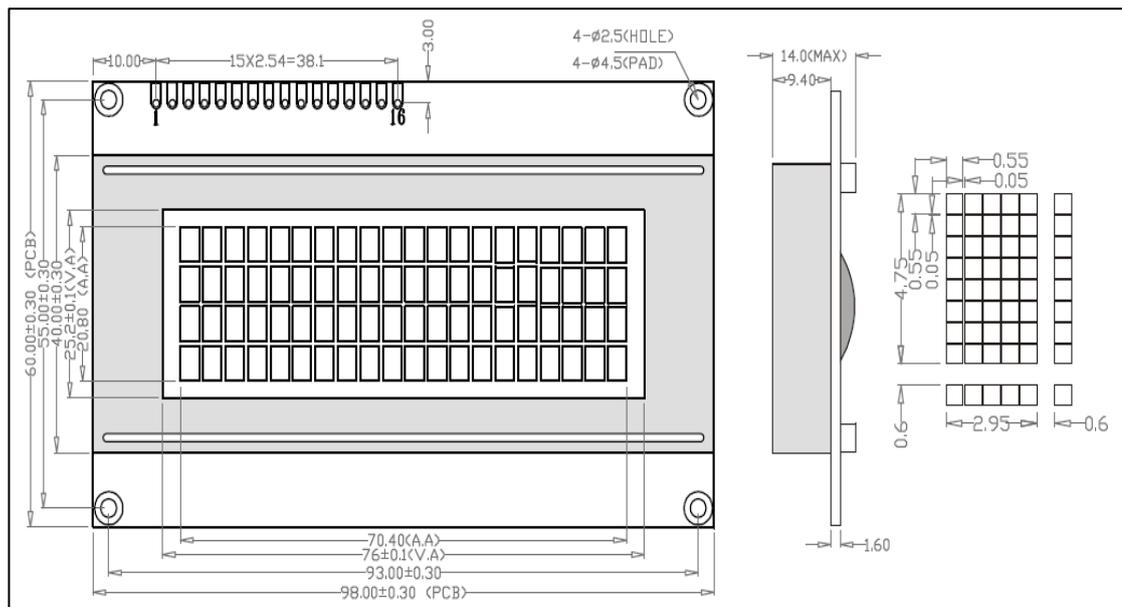


Figura 2. 32 Configuración matricial de un LCD de 20 x 4.

(Fuente: <http://www.bricogeek.com>)

El control del LCD se lo realiza mediante tres líneas llamadas RS, R/W y ENABLE, un puerto paralelo de 8 líneas de datos; la conexión de la pantalla LCD al uC se la hace de la siguiente manera: las señales de RS, RW, y ENABLE se controla por el PORTC<0:4> del micro controlador respectivamente, y los datos por el PORTD<0:7> del micro controlador. En la figura 2.6, se ve el esquema de conexión con el uC y el control de intensidad de iluminación de la pantalla.

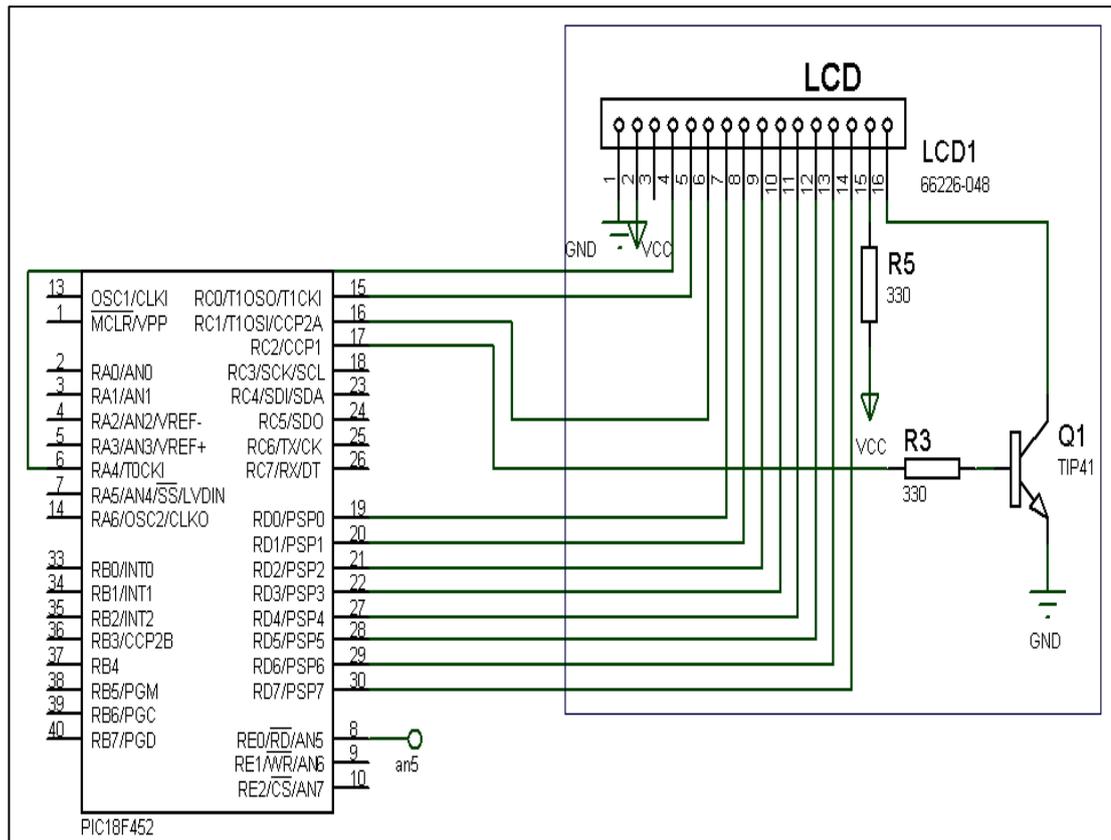


Figura 2. 33 Esquema de conexión del LCD

Los pulsantes de la configuración del LCD están conectados al PORTB<0:2> del micro controlador

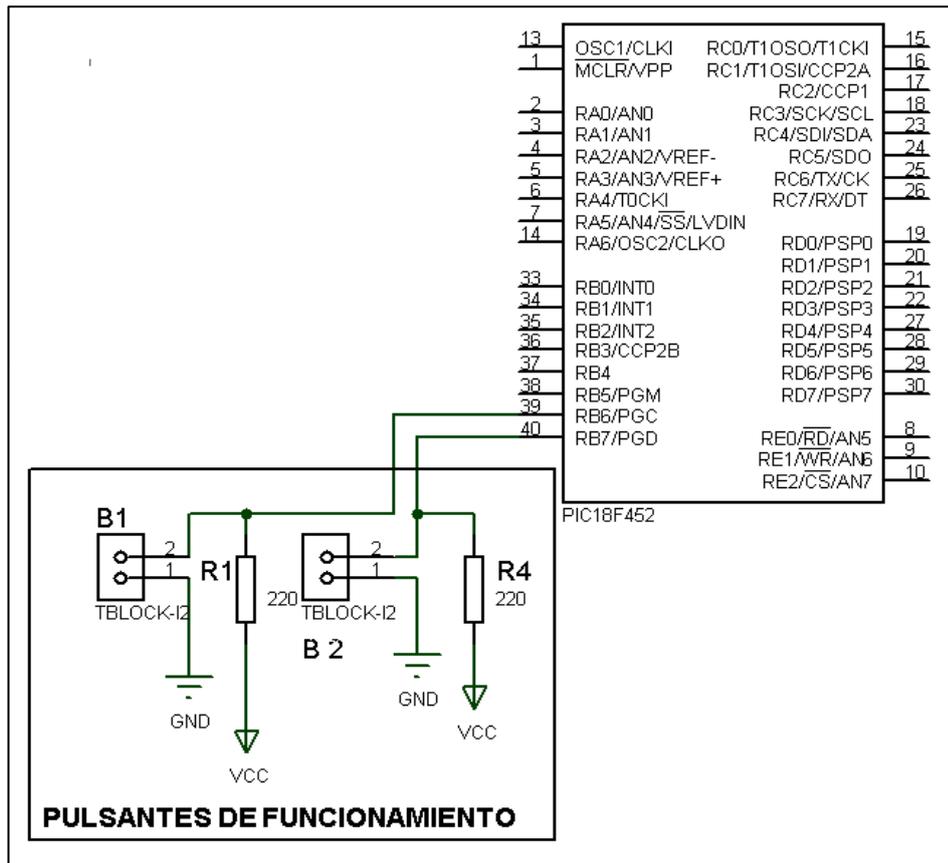


Figura 2. 34 Circuito de control de funcionamiento.

2.2. Firmware

2.2.1. Introducción

El firmware para el uC PIC18F452, encargado del registro y control de las señales de las tensiones y demás, fue realizado en lenguaje ensamblador, en el entorno de desarrollo integrado "MPLAB IDE" proporcionado por "Microchip Technology Inc." para sus productos.

El uC ejecutará la lectura de los valores necesarios para calcular el, factor de potencia ($\cos \phi$), potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y potencia aparente (S) del total de la carga eléctrica, también los valores de voltaje y corriente de cada fase, además controla una pantalla LCD de 20x4 y los pulsantes de menú de configuración y el uC trabaja mediante interrupciones producidas por los

temporizadores TMR0 y TMR2, varios puertos de entrada y salida que sirven para la visualización, manejo de pulsante y control del LCD.

2.2.2. Inicio

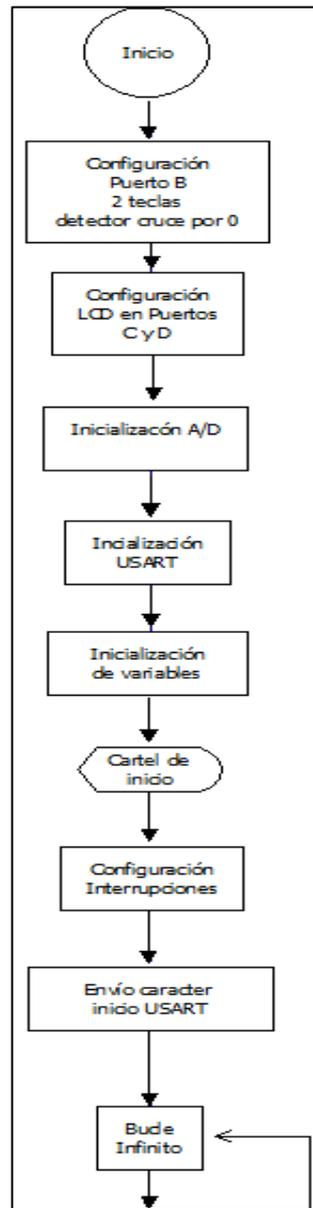


Figura 2. 35 Diagrama de flujo principal, de inicio hasta el bucle y las interrupciones

Al encender el uC, los siguientes módulos y puertos son configurados:

- PORTB<0:2> entrada digitales para el pulsante, que proporcionan el cambio de pantalla, para la visualización de los diferentes valores de mediciones

- PORTB<2:7> configuración como entradas digitales para el detector del cruce por cero.
- PORTC<0:3> configuración del LCD (R/W y E)
- PORTD<0:7> configuración del LCD (datos a mostrarse)

2.2.3. Interrupciones

Es una de las características de los micro controladores, de las más importantes que constituye la capacidad de sincronizar la ejecución de programas con acontecimientos externos; es decir, cuando se produce una interrupción, el micro automáticamente deja lo que está haciendo, va a la dirección del programa y ejecuta lo que encuentre a partir de allí hasta encontrarse con la instrucción que le hará abandonar la interrupción y volver al lugar donde se encontraba antes de producirse dicha interrupción.

Interrupción TMR0

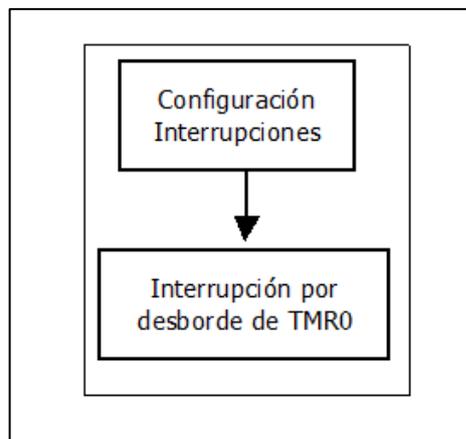


Figura 2. 36 Diagrama de flujos de interrupciones

Las acciones que realiza el uC son siempre iniciadas por el operador, por lo que en cada interrupción por desborde de TMR0 se escanea el pulsante de dos posiciones que brinda la oportunidad de escoger cartel 1, o cartel 2 en el LCD.

2.2.4. Medición de voltaje y corriente

Inicialización del A/D, con frecuencia de muestreo de 2Mhz, este valor se deriva de la división de la frecuencia del oscilador 16Mhz (externo), para 8Mhz según data sheet del PIC18F452

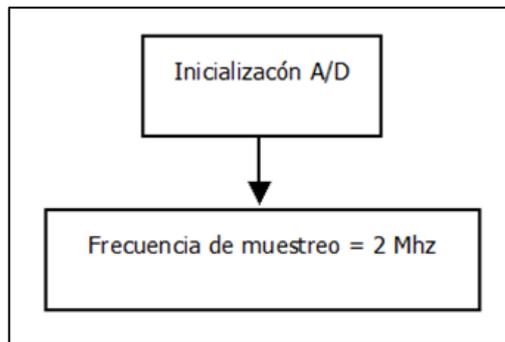


Figura 2. 37 Diagrama de inicialización de convertidor analógico digital del U/C

- AN0 configuración VR
- AN1 configuración IR
- AN2 configuración VS
- AN3 configuración IS
- AN4 configuración VT
- AN5 configuración IT

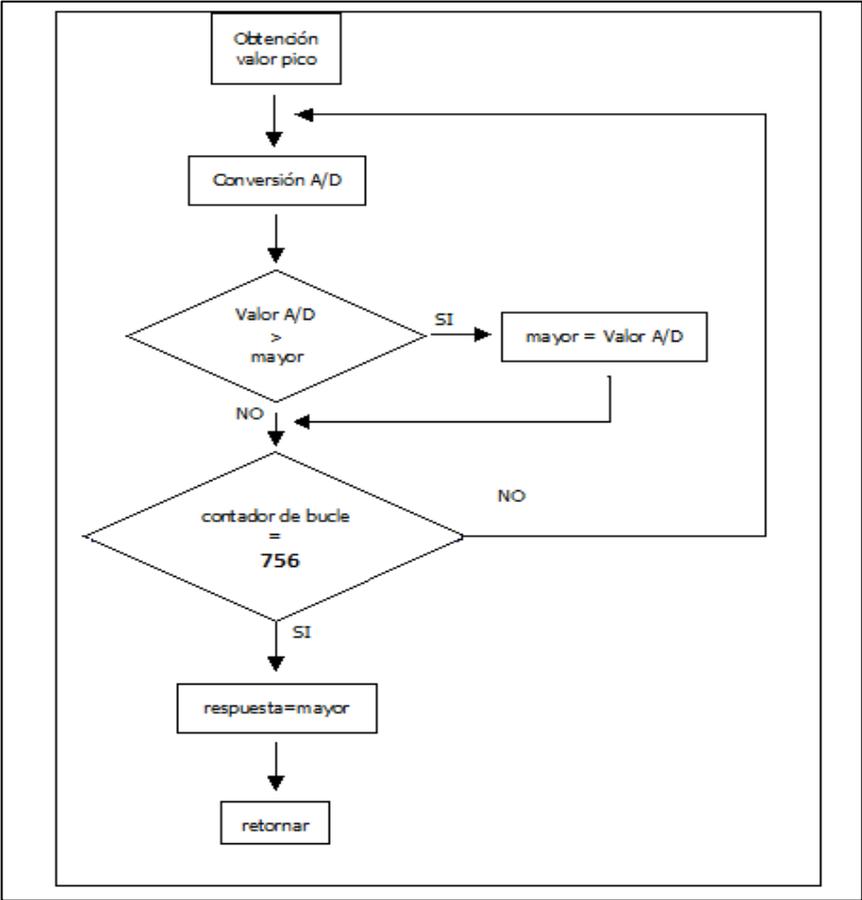


Figura 2. 38 Diagrama de bloques para la obtención de los valores picos

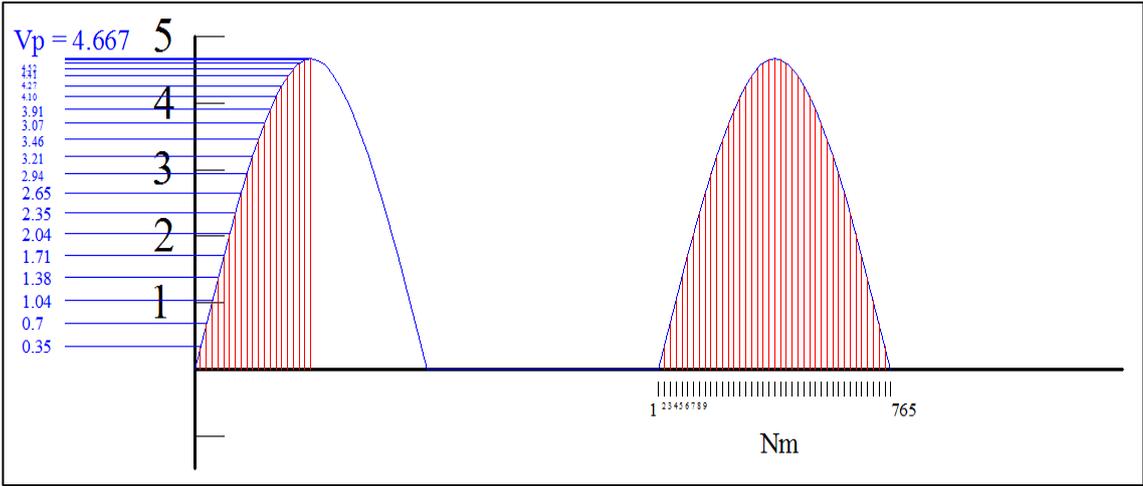


Figura 2. 39 Numero de muestras para obtener los valores picos

En la figura 2.39 se explica cómo se calcula el valor del voltaje o corriente. Tomando N_m (número de muestras) hasta 765 muestras y se calcula haciendo

comparación con el valor anterior y así entre todas las muestras se visualiza el valor más alto de la muestra

2.2.5. Cálculo del Factor de potencia

Para el cálculo del factor de potencia, primero se calcula el factor de potencia de las tres líneas R, S, T, y con los datos obtenidos se realiza los cálculos como explicó en el inciso 1.1.6.9, y así encontrar el valor del factor de potencia de una red eléctrica trifásica de un sistema desequilibrado.

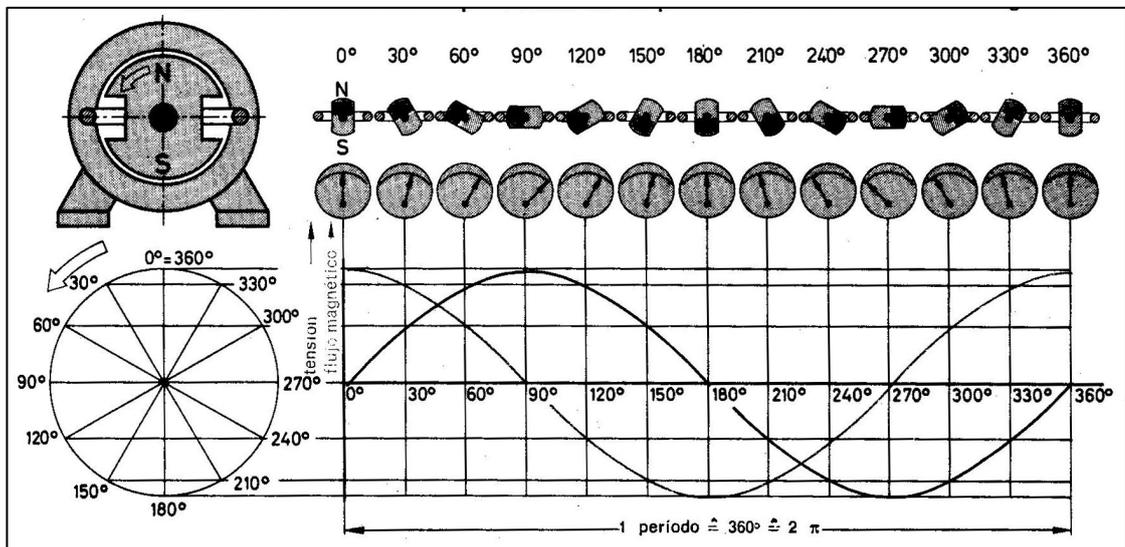


Figura 2. 40 Representación fasorial de una oscilación sinusoidal

(Fuente. generadores.ull.es)

Como (w) la velocidad angular al desplazamiento del (ϕ) ángulo en el (t) tiempo por lo que

$$w = \frac{\phi}{t} \Rightarrow \phi = w \cdot t$$

w = velocidad angular

ϕ = ángulo que se desplaza de acuerdo a la velocidad angular

t = tiempo de desplazamiento

Por lo que en la representación fasorial de voltaje y corriente como muestra la figura 2.41

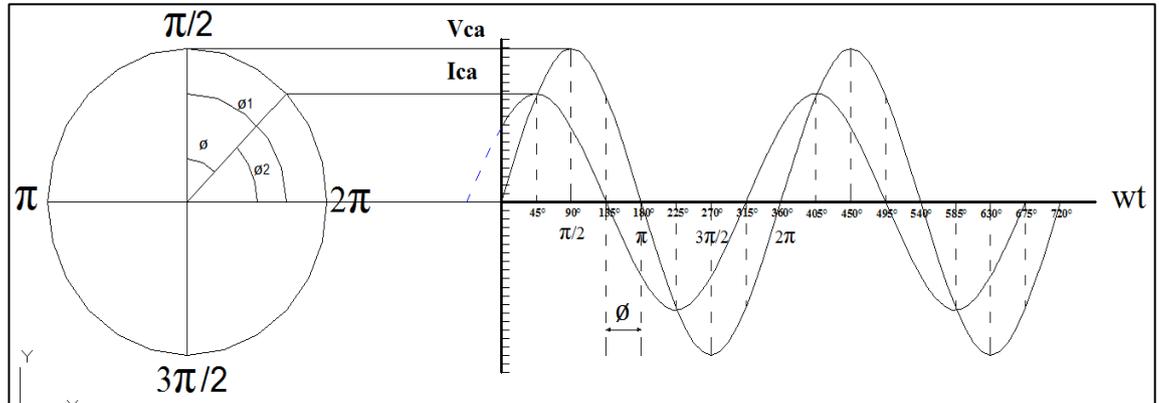


Figura 2. 41 Respuesta a la representación fasorial de una oscilación sinusoidal

Por lo que

$$\phi = \phi_1 - \phi_2$$

$$\phi = w \cdot t_1 - w \cdot t_2$$

$$\phi = w(t_1 - t_2)$$

$$\phi = w \cdot \Delta t$$

Donde

$$w = 2\pi f$$

$$\Delta t = \#C_M$$

Entonces tenemos que el ángulo ϕ

$$\phi = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot (\#C_M)$$

Donde

f = frecuencia de la sinusoidal

$\#C_M$ = número de ciclos de máquina

Ahora

$$1\text{rad} = 57,2960^{\circ} \approx 57,30^{\circ}$$

$$2\pi.\text{rad} = 2(3,14)$$

$$2\pi(57,3^{\circ}) = 6,28 (57,3^{\circ}) = 359,84^{\circ} \approx 360^{\circ}$$

$$\text{de radianes} \Rightarrow \left(\frac{180^{\circ}}{\pi}\right)(\text{grados})$$

$$\text{de grados} \Rightarrow \left(\frac{\pi}{180^{\circ}}\right)(\text{radianes})$$

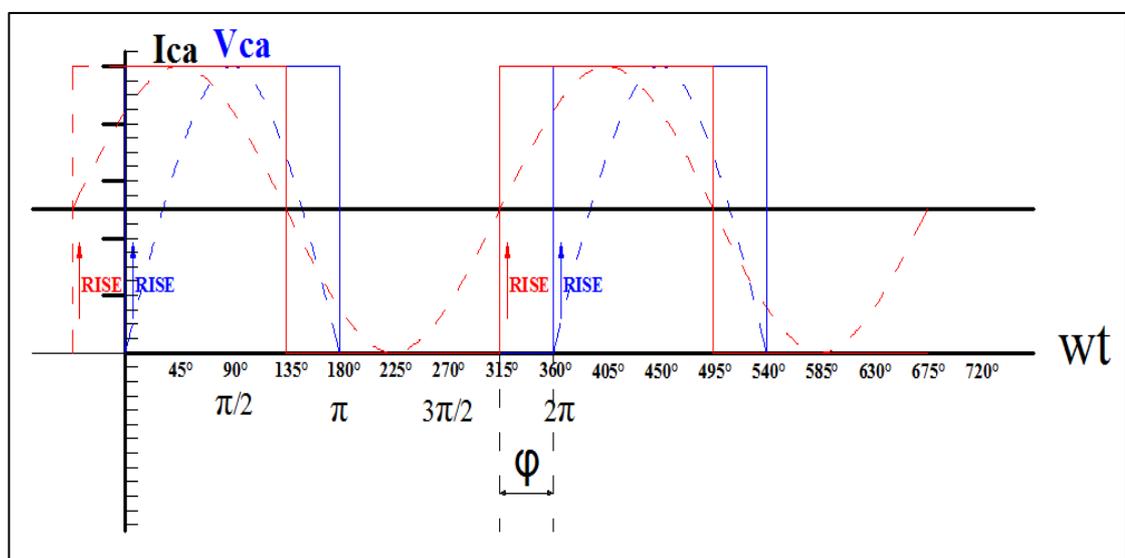


Figura 2. 42 Calculo del $\cos\phi$ mediante el cruce por cero

- **Cálculo de factor de potencia para cada línea (R, S, T).**

Con el siguiente algoritmo

Tiempo = número de ciclos de máquina (#CM)

#CM = determinación de los cruces por cero que la onda tenga

CM=0,25us

$$\phi = 2.\pi.f.(\text{tiempo})$$

2.2.6. Transmisión de datos

Inicialización del Usart: Configuración de 9600 baudios para la comunicación, recepción a 8 bits de modo asíncrono a High Speed.

1.1. PORTC6: Trasmisión de Datos

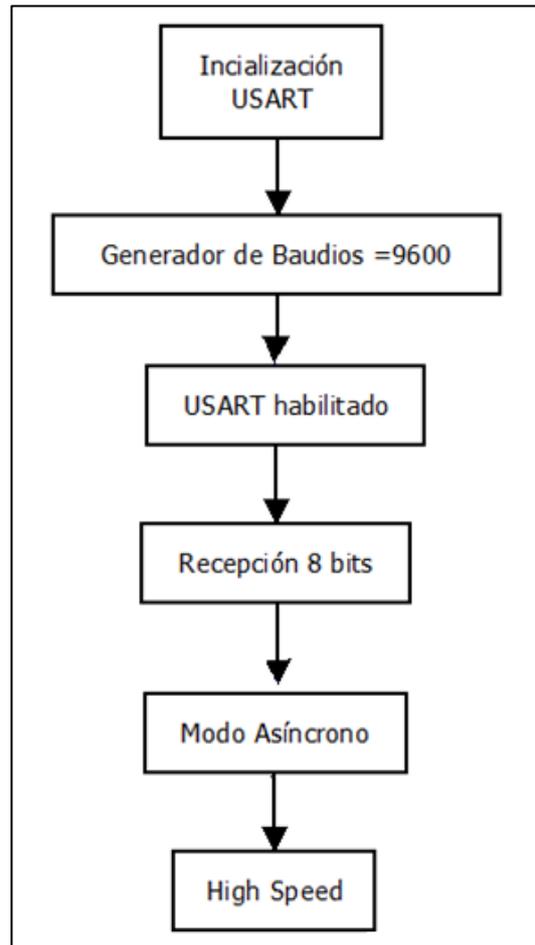


Figura 2. 43 Diagrama de inicialización del USART para recep/trans de datos

2.3. Software

2.3.1. Introducción

LabVIEW (“Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench”) es un lenguaje de programación G (lenguaje gráfico) con funciones gráficas integradas en el que nos permite programar sistemas complejos y facilitándonos la programación al tener funciones rápidas y sencillas para el diseño, que contienen funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones que se requiera, además, LabVIEW nos

ofrece la posibilidad de conectar con otras aplicaciones y compartir datos del programa, que podrá ejecutarse cuando se tenga disponibles todos los datos que le sirven como entradas.

2.3.2. Recepción de datos

La comunicación entre, el micro controlador y la PC, se realizó mediante el puerto RS233, mediante el lenguaje de programación G, con la siguiente configuración.

- While loop.

Como se ve en la figura 2.44 un bucle while es un estado de flujo de control, que se utiliza para ejecutar un bloque de código con sub-diagrama varias veces, hasta que se cumpla una condición booleana (condición a la que se quiere llegar), que ejecuta el código dentro del sub-diagrama, y luego se evalúa la terminal condicional.

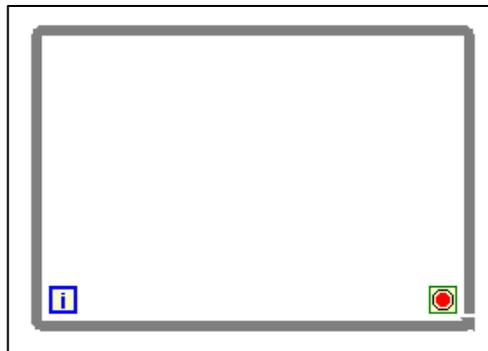


Figura 2. 44 Estructura de un While Loop

- Configuración del puerto serial

Para realizar la configuración del puerto serial, se realiza mediante las siguientes condiciones como se muestra en la figura 2.45, en la función VISA Configure Serial Port VI, manteniendo en concordancia con la trama de datos recibidos desde el micro controlador.

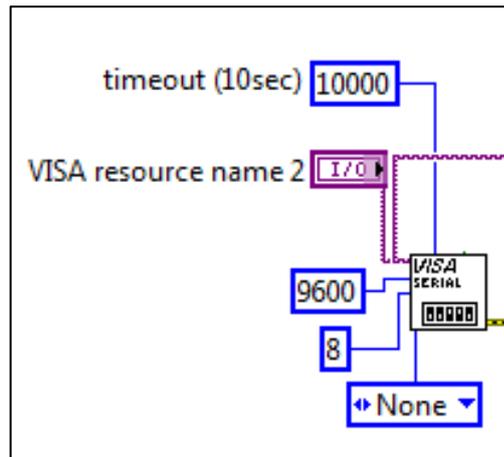


Figura 2. 45 Configuración del puerto Serial

Timeout, es el tiempo de lectura y escritura, está en milisegundos

Visa resource name 2, nombre del recurso del hardware, el cual está configurado, es decir el nombre del COM el cual está el puerto RS232 en la PC.

Velocidad de transmisión 9600 baudios

El número de bits de datos, en la parte de trama entrante, que contienen la información, 8 bits.

Configuración de paridad, None que no tienen ningún bit de paridad (dígito binario)

Error out, que contiene información de error, que proporciona el error estándar de la funcionalidad.

- **Lectura de la trama de datos**

Para poder interpretar o realizar las funciones en los sub-diagramas, se tiene que configurar la función VISA Read, como se muestra en la figura 2.46.

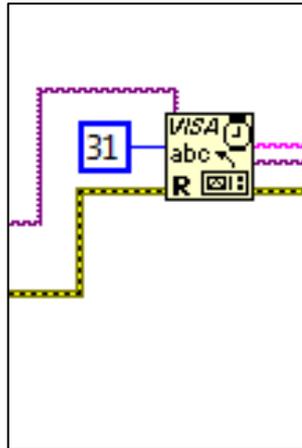


Figura 2. 46 Función VISA Read

Línea morada:

 Visa resource name, es el nombre del recurso del hardware con el cual está configurado, es decir el nombre (COM) del puerto RS232 está en la PC.

 El número de datos a leer en la comunicación.

 Error out, que contiene información de error, que proporciona el error estándar de la funcionalidad.

- **Identificación de la trama de datos**

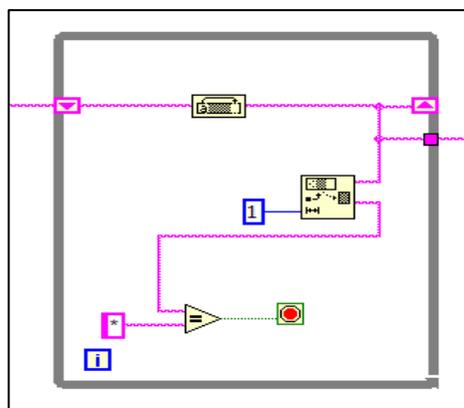


Figura 2. 47 Configuración para la Identificación de la trama de datos

Como se muestra en la figura 2.47, mediante un sub While Loop se realiza la configuración para la identificación de la trama de datos recibidos.

 Coloca el primer carácter de la cadena en la última posición del primer carácter pasado, desplazando a los otros datos hacia adelante una posición. Por ejemplo, la cadena se convierte en BCDA abcd.  Devuelve la sub cadena () de la cadena de entrada (), empezando por el número y la longitud de desplazamiento de caracteres que contiene, sacando 1 () carácter a la vez de la trama de datos. De la cadena de entrada se identifica el asterisco (*), una vez comprobado () el asterisco (), esto voltea la trama de datos, y se finaliza el lazo () a través del stop.

2.3.3. Cálculos de Medición

- Interpretación de la trama de datos

En la figura 2.48, ingresa la trama de datos 123456789....., el cual para la ubicación y orden de lectura, envían a la función de String Subset (), que según el valor del **offset** () el cual debe ser un valor numérico, indicara la posición inicial que uno quiere, en la trama de datos, hasta el número de datos **length** (), el cual también debe ser numérico, que se necesite para el análisis. Devolviendo la sub cadena (), hacia la función que convierte una cadena decimal a una función numérica (), que empezando en el desplazamiento (**offset**) hasta el valor de length, convierte los caracteres numéricos en cadena, a un entero decimal y lo devuelve en número, enviando hacia un indicador ()

Este procedimiento se repite hasta realizar toda la trama de datos recibidos, para identificar los valores de voltaje en cada fase. Ahora en el caso para los valores de corriente una vez que la trama de datos se enviaron, a String Subset () y se les dio los valores de orden en **offset** () y **length** () estos se envían a un

Fract/Exp String To Number Function () que Interpreta los caracteres del 0 al 9, y el punto decimal en cadena que comienza en el desplazamiento como un número de punto de formato exponencial, o fraccionada, y lo devuelve en número, ahora para visualizar el punto decimal del sistema hay que definir el separador decimal. Si es TRUE (por defecto), el separador decimal utiliza el separador decimal localizado. Si es falso () , el separador decimal es un punto, enviando al indicador () .

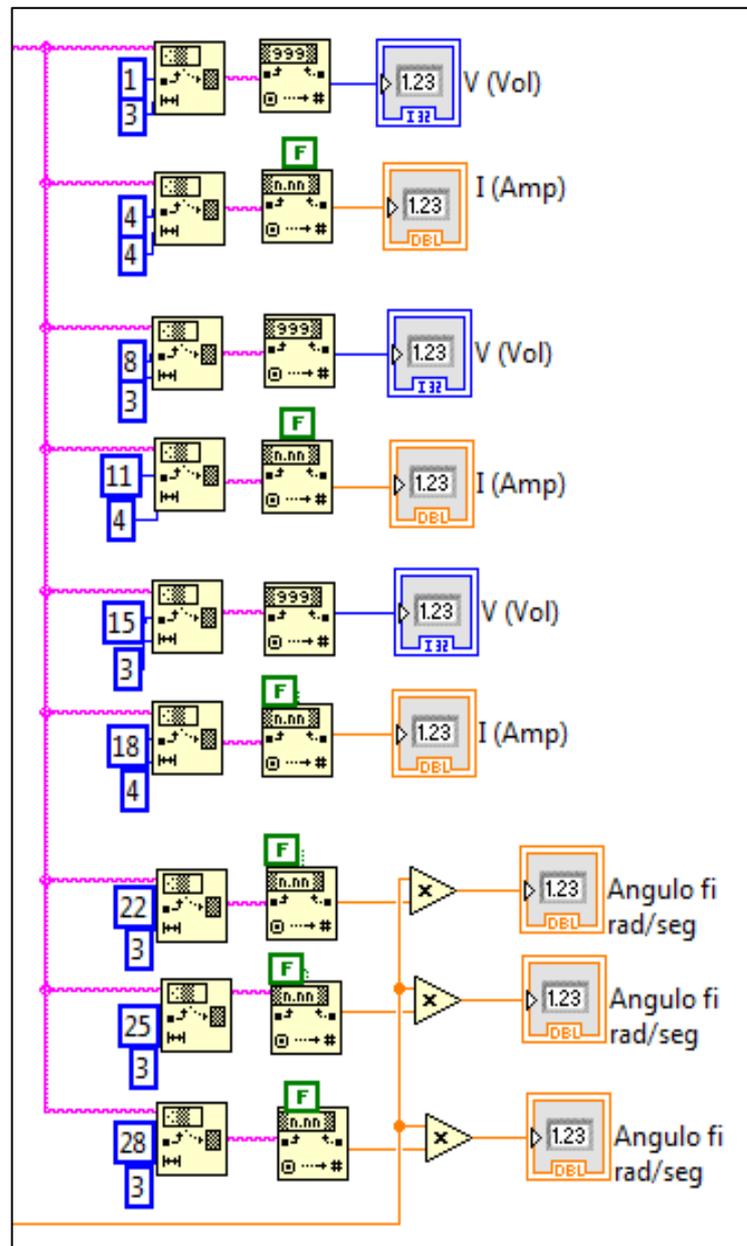


Figura 2. 48 Interpretación de la Trama de Datos

Para realizar la lectura de los valores del ángulo de desfase entre voltaje y corriente, se realiza el mismo proceso anterior para la lectura de las corrientes, pero antes de la visualización este valor, que es el número de ciclos de máquina (#) entre el desfase de voltaje y corriente, se tendrá que multiplicar por la siguiente función

$\phi = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot (\#C_M)$, como se muestra en la siguiente figura 2.49 de la programación

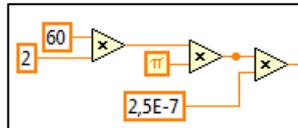


Figura 2.49 Programación gráfica para el cálculo del ángulo ϕ

- **Calculo de los valores obtenidos de la trama de datos**

Una vez obtenidos y ordenados los valores necesarios se realiza la programación gráfica como se muestra en la figura 2.5

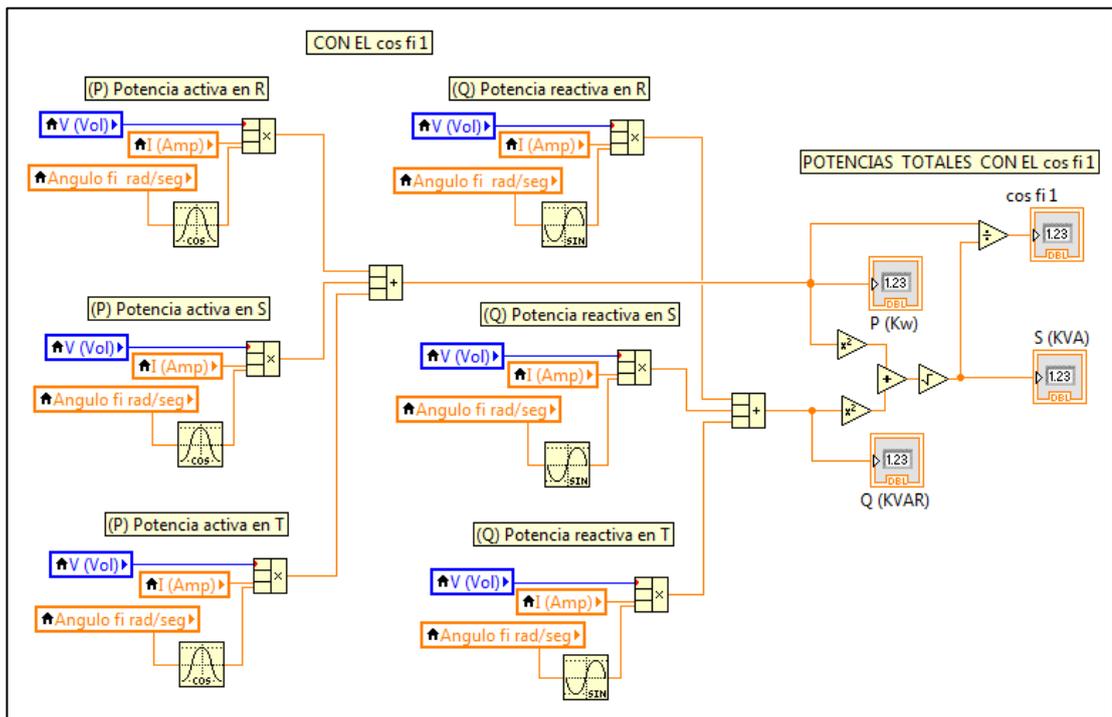


Figura 2.50 Programación gráfica para el cálculo de potencias con el $\cos\phi_1$

Para una mejor optimización y ordenamiento de la programación, se crean variables locales de los indicadores, que muestran los valores de corriente, voltaje y desfaseamiento, de cada línea, el cual con estos valores y variables se pueden realizar los cálculos deseados, con el $\cos \phi$.

CAPITULO 3

SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN

3.1. Introducción

Para este proyecto se ha propuesto usar la PC para la parte del banco de condensadores automático por simulación mediante LabVIEW, ya que en taller el cual se ha realizado las pruebas y cálculos de carga, por el momento no podrán financiar el costo total del equipo de control del $\cos\phi$, protecciones, contactores y los condensadores trifásicos. Además, en esta programación, se crearon algunos SubVI (subbloques de programación), para poder optimizar su funcionamiento y manejo de los bloques de programación para los cálculos requeridos.

3.2. Compensación de energía reactiva

La falta de potencia reactiva debe ser generada en algún lugar, por lo que se tiene que instalar capacitores, los mismos no consumen potencia activa y producen energía reactiva localmente, compensando así la potencia reactiva necesaria para el grupo de cargas antes mencionadas, pudiendo ser de forma individual o en grupos.

El valor de potencia reactiva necesaria, para ser transmitida a este grupo de cargas, al valor del factor de potencia deseado, puede calcularse mediante los siguientes algunos métodos.

3.2.1. Cálculo de potencia reactiva mediante fórmula

El cálculo de potencia reactiva por formula se obtiene mediante los valores actuales del $\cos\phi_1$ y los deseados del $\cos\phi_2$, como se muestra mediante la figura3.1

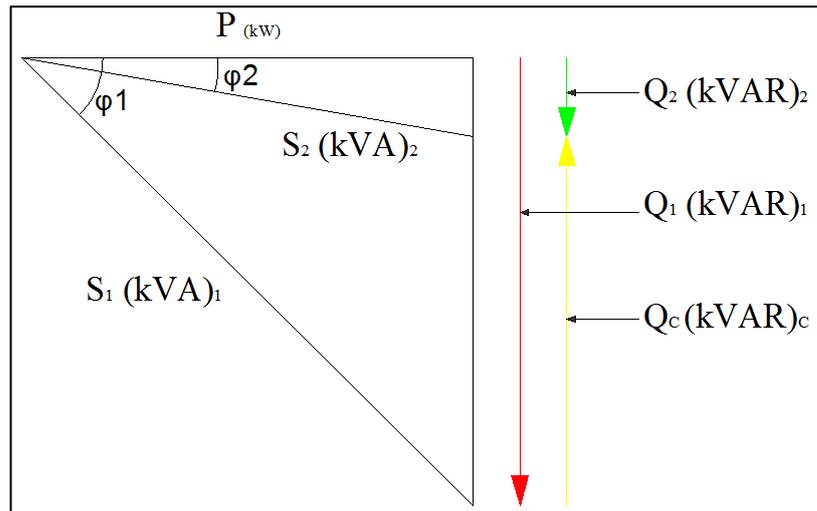


Figura 3. 1 Triangulo de potencias a ser calculado

$$\cos \phi_1 = \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \phi_2 = \frac{P}{S_2}$$

$$\tan \phi_1 = \frac{Q_1}{P}$$

$$\tan \phi_2 = \frac{Q_2}{P}$$

$$Q_1 = P \tan \phi_1$$

$$Q_2 = P \tan \phi_2$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P \tan \phi_1 - P \tan \phi_2$$

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

$$Q_c = P \tan(\sin^{-1} \frac{P}{S_1}) - P \tan(\sin^{-1} \frac{P}{S_2})$$

$$Q_c = P\{ \tan[\cos^{-1}(\cos \phi_1)] - \tan[\cos^{-1}(\cos \phi_2)] \}$$

Q_c = Potencia reactiva del banco de condensadores (kVAR)

P = Potencia demandada (kW)

$\cos \phi_1$ = Factor de potencia inicial o actual

$\cos \phi_2$ = Factor de potencia final o a mejorar

En la figura 3.2 se muestra el esquema de programación G en LabVIEW mediante un SubVI, para el cálculo del Q_c (potencia reactiva de los condensadores).

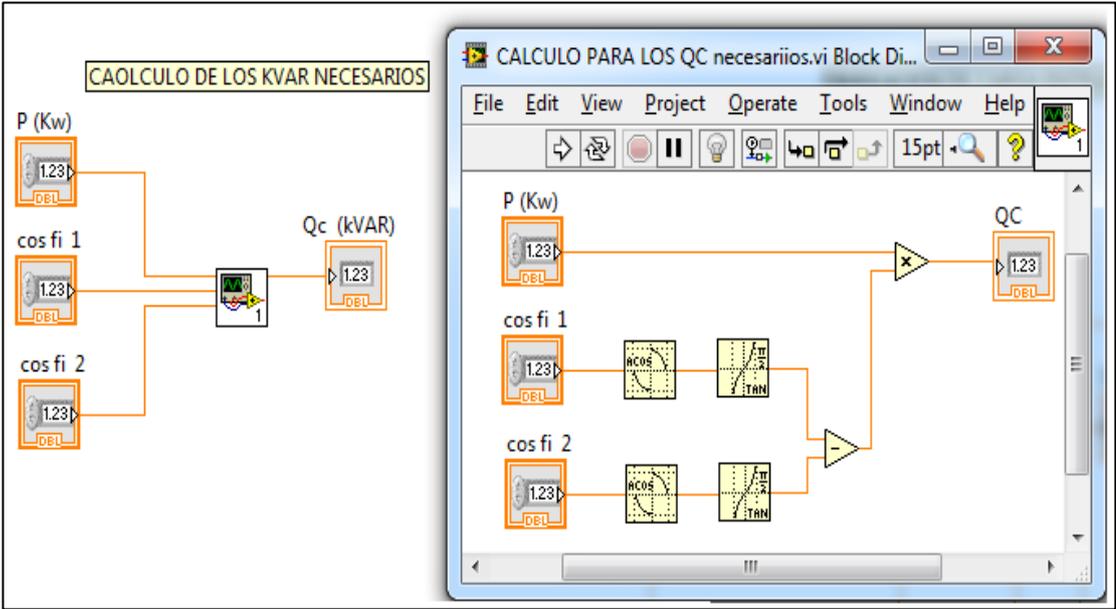


Figura 3. 2 Programa en LabVIEW para el cálculo de los condensadores

3.2.2. Cálculo de potencia reactiva mediante tabla

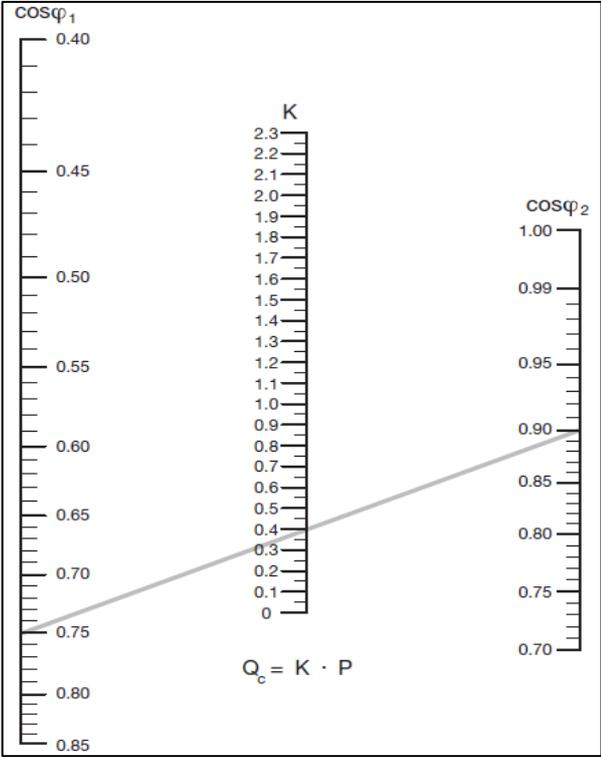


Figura 3. 3 Nomograma para la determinación de compensación de potencia

(Fuente: www.abb.es/bajatension)

El factor K también puede determinarse por medio del nomograma que aparece a en la figura 3.3

Tal y como puede verse en la figura 3.3, se traza un segmento de línea recta del valor del $\cos\phi$ inicial al final. De la intersección de la línea con la escala graduada central se obtiene el factor K que, multiplicado por la potencia activa P de la carga, determina la potencia reactiva necesaria Q_C . Ahora para realizar el cálculo de la potencia reactiva por tabla es necesario conocer los siguientes aspectos:

- La potencia activa consumida en kW
- El factor de potencia inicial
- El factor de potencia deseado

Para ello se debe hacer uso de la tabla 3.1, en función de la relación del $\cos\phi_1$ (factor de potencia actual) y del $\cos\phi_2$ (factor de potencia a mejorar), que da la relación de la constante K a multiplicar por la potencia activa, para encontrar la potencia del banco de capacitores a instalar.

Una vez que se encontró este valor se calcula la potencia reactiva necesaria.

$$Q_C = K.P$$

Posteriormente se selecciona la potencia del banco de capacitores con el valor más próximo de la potencia calculada

TAN Φ O COS Φ ANTES DE LA COMPENSACIÓN (VALOR EXISTENTE)		TAN Φ O COS Φ DESEADO (COMPENSADO)													
Tan Φ		0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0	
	Cos Φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1	
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265	
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233	
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200	
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169	
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138	
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108	
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079	
1,05	0,69	0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049	
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,796	0,811	0,878	1,020	
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992	
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963	
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936	
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909	
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882	
0,86	0,76	0,105	0,225	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855	
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829	
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803	
0,78	0,79	0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776	
0,75	0,80		0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750	
0,72	0,81		0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724	
0,70	0,82		0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698	
0,67	0,83		0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672	
0,65	0,84		0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645	
0,62	0,85		0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,411	0,478	0,620	
0,59	0,86			0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593	
0,57	0,87			0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567	
0,54	0,88			0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538	
0,51	0,89			0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512	
0,48	0,90				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484	

Tabla 3.1 Coeficiente K para cálculo de energía reactiva

(Fuente: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/factor.pdf>)

3.2.3. Configuración de sensibilidad C/K

Este dato no se puede programar desde fábrica ya que son únicos de cada instalación. El ajuste del parámetro C/K (sensibilidad) el cual presenta un valor de 0.1 a 1, decide la entrada y salida de los distintos escalones de potencia en función del $\cos\phi$ deseado por la instalación, el $\cos\phi$ que existe en cada momento, y la intensidad del primer escalón.

La entrada del regulador se efectúa siempre a través de un TI (transformador de intensidad de corriente) de relación X/5, se debe saber cuál va a ser la intensidad reactiva que va a introducir en la instalación, y esta intensidad debe estar referida al secundario del TI, por lo que la siguiente ecuación muestra la configuración del C/K.

$$C/K = \frac{Q_1 / (\sqrt{3} \cdot V)}{R_{TI}}$$

Dónde:

C/K = sensibilidad

Q_1 = potencia reactiva del primer escalón (Var)

V = tensión (fase-fase)

R_{TI} = relación TI (X/5). (X= la corriente del secundario del transformador que está conectado la planta o las cargas)

Esto significa, que los condensadores o los pasos se conecten, de acuerdo cuando sea mayor o igual al valor programado en C/K, que es el porcentaje de la carga reactiva requerida en ese momento, actuando conjuntamente con el valor del $\cos\phi$ deseado, para la activación de los demás pasos, esto asegurará que cuando se presente una demanda de carga mínima no se produzca una sobrecompensación.

Además con el ajuste del parámetro C/K permitirá el accionamiento de los pasos siguientes, una vez accionado el primer paso, si el controlador de factor de potencia detecta un $\cos\phi$ medio, accionará el siguiente paso y se tendrá una potencia reactiva de necesaria, de igual manera cuando el controlador de factor de potencia detecte un valor de $\cos\phi$ mínimo accionará el siguiente paso, suministrando la potencia reactiva necesaria.

3.2.4. Número de pasos y secuencias del banco de condensadores

Este valor, está determinado por la demandada Potencia (kW) total requerida, además de la demanda de Potencia (kW) diaria o de hora de operación de cada

carga, establecido el número de pasos con sus secuencias, como se puede mostrar en la siguiente tabla.

NUMERO DE PASOS	NUMERO DE ETAPAS	TAMAÑO DE PASO (kVAr)	SECUENCIA DE CONMUTACIÓN	1 ETAP A kVAr	2 ETAP A kVAr	3 ETAP A kVAr	4 ETAP A kVAr	5 ETAP A kVAr	TOTAL kVAr
1	1	50	1	50					50
3	2	25	1:1	25	25				50
6	3	10	1:2:2	10	20	20			50
16	4	10	1:1:1:2	10	10	10	20		50
16	4	5	1:2:3:5	5	10	15	20		50
20	5	2,5	1:2:3:6:8	2,5	5	7,5	15	20	50

Tabla 4.2 Tabla del número de pasos y secuencias

La tabla 3.2 tiene algunas opciones de configuración, y para poder seleccionar alguna de estas opciones, se debe tener en cuenta que:

- **Tamaño de paso (kVAr)**, depende de cuánto más exacto se desea compensar la energía reactiva, y de la demanda de Potencia (kW) que trabaja en ese instante
- **Número de etapas**, específicamente depende de la demanda de Potencia (kW) que trabaja, es decir que dependiendo del funcionamiento del taller, algunas máquinas trabajaran ciertos días a ciertas horas, por lo que hay que tener en cuenta la carga reactiva necesaria a compensar.
- **Número de pasos**, se refiere al número de combinaciones que existe entre las etapas, para poder compensar la energía reactiva, es decir este número de pasos también tiene el propósito de gastar los condensadores de manera uniforme haciendo rotar el número de etapas.

3.3. Valores de pérdida y ganancia por el $\cos\phi$

Debido al factor de potencia bajo, las consecuencias, no solo es el cargo por bajo factor de potencia, sino que además, hay pérdidas como: eficiencia de los transformadores, pérdidas de potencia, etc. También al mejorar el factor de

potencia, se puede ver la diferencia, disminuye la corriente, mejora la caídas de voltaje, vida útil de los equipos y sobre todo un menor pago de energía, por lo que, esto sí representa un ahorro económico considerable para las empresas.

3.3.1. Cargos por bajo factor de potencia

El cargo o penalización por bajo factor de potencia está regida por el CONELEC, que mediante el Pliego Tarifario para Empresas Eléctricas menciona que: Para aquellos consumidores de la Categoría General, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92, el distribuidor aplicará lo establecido en el Art. 27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas: "Cargos por bajo factor de potencia". Y la penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicado por el siguiente factor:

$$(\%)Bfp = \left(\frac{0.92}{fpr} \right) - 1$$

$$PBfp = (Fmc) + (\%Bfp)(Fmc)$$

Bfp = Factor de penalización por bajo factor de potencia

fpr = Factor de potencia registrado

PBfp = Penalización por bajo factor de potencia

Fmc = Facturación mensual correspondiente

Por lo tanto la (*PBfp*) Penalización por bajo factor de potencia es el la suma de la (*Fmc*) Facturación mensual correspondiente más el porcentaje del (*Bfp*) Factor de penalización por bajo factor de potencia de la Facturación mensual correspondiente en la figura 3.4 se muestra el esquema de programación G en LabVIEW mediante SubVI, para el cálculo del porcentaje de recargo adicional a la facturación mensual, por el bajo factor de potencia.

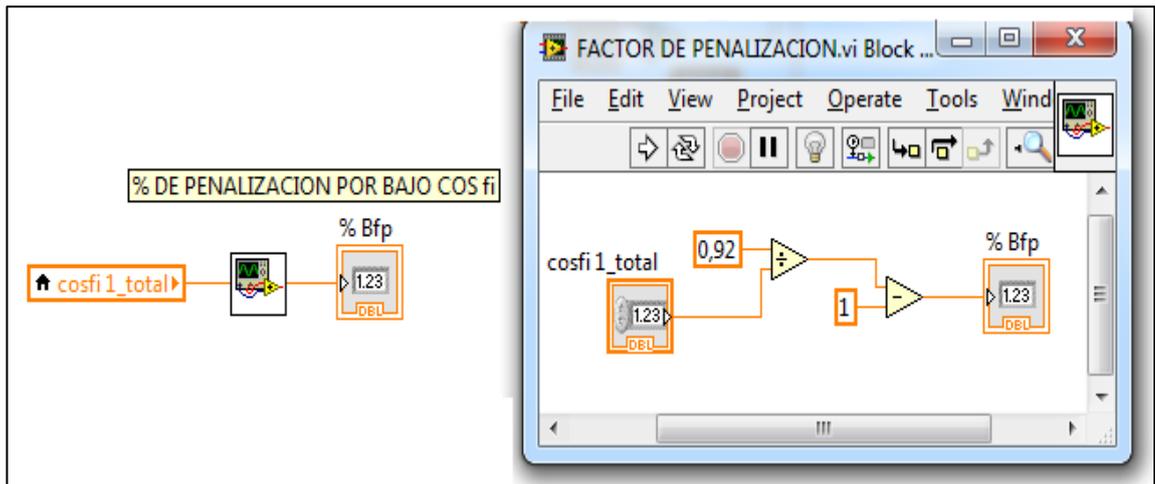


Figura 3. 4 Programa en LabVIEW para el cargo de facturación por un cosφ bajo

3.3.2. Pérdidas por bajo factor de potencia.

Como se describió anteriormente en el capítulo 1, sobre las consecuencias de tener un bajo factor de potencia, ahora en este capítulo lo describiremos un poco más a detalle:

- Potencia aparente del transformador

Estas pérdidas significan que de la capacidad total del transformador se está consumiendo demasiada energía, con poca carga

$$KVA_{TRA \cos \phi_1} = \frac{K_{CA}(KW)}{\cos \phi_1}$$

$KVA_{TRA \cos \phi_1}$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia inicial o bajo (1)

K_{CA} = carga total a corregir el factor de potencia

$\cos \phi_1$ = es el factor de potencia bajo (1), es decir al que se quiere mejorar

- Corriente en los alimentadores (cables)

$$I_{1 \cos \phi_{1.1}} = \frac{P_1(W)}{V_1 \cdot \cos \phi_{1.1}}$$

$$I_{2 \cos \phi_{1.2}} = \frac{P_2(W)}{V_2 \cdot \cos \phi_{1.2}}$$

$$I_3 \cos \phi_{1.3} = \frac{P_3(W)}{V_3 \cdot \cos \phi_{1.3}}$$

Dónde:

$I_{1 \cos \phi_{1.1}}$ = corriente del conductor uno con el $\cos \phi_1$ del conductor uno

$I_{2 \cos \phi_{1.2}}$ = corriente del conductor dos con el $\cos \phi_1$ del conductor dos

$I_{3 \cos \phi_{1.3}}$ = corriente del conductor tres con el $\cos \phi_1$ del conductor tres

$\cos \phi_{1.1}$ = factor de potencia inicial o bajo (1) del conductor uno

$\cos \phi_{1.2}$ = factor de potencia inicial o bajo (1) del conductor dos

$\cos \phi_{1.3}$ = factor de potencia inicial o bajo (1) del conductor tres

- Tensión en los alimentadores (cables)

Como se mencionó antes, el cálculo de la corriente se realiza mediante el $\cos \phi_1$, es decir que todos los valores del cálculo de caída de tensión dependen del $\cos \phi_1$ inicial o al que se quiere mejorar.

Por ley de ohm tenemos

$$V = I \cdot R$$

Y

$$R = \rho \cdot L$$

Donde;

V = voltaje que hay en ese conductor (V)

I = corriente que circula por ese conductor (A)

R = la resistencia de ese conductor con cierta longitud (Ω o $K\Omega$)

ρ = resistencia eléctrica específica de cada conductor (Ω/m o Ω/Km)

L = longitud del conductor (m o Km)

Entonces tenemos que

$$V_{1\cos\theta_{1.1}} = I_{1\cos\theta_{1.1}} \cdot R_1$$

$$V_{2\cos\theta_{1.2}} = I_{2\cos\theta_{1.2}} \cdot R_2$$

$$V_{3\cos\theta_{1.3}} = I_{3\cos\theta_{1.3}} \cdot R_3$$

$V_{1\cos\theta_{1.1}}$ = voltaje del conductor uno con el $\cos\theta_1$ del conductor uno

$V_{2\cos\theta_{1.2}}$ = voltaje del conductor dos con el $\cos\theta_1$ del conductor dos

$V_{3\cos\theta_{1.3}}$ = voltaje del conductor tres con el $\cos\theta_1$ del conductor tres

R_1 = la resistencia del conductor uno con cierta longitud

R_2 = la resistencia del conductor dos con cierta longitud

R_3 = la resistencia del conductor tres con cierta longitud

- Potencia en los alimentadores (cables)

Como en los cálculos anteriores tenemos los valores de V y I, entonces el cálculo de potencia de los alimentadores o cables es:

$$P_{A1\cos\theta_{1.1}} = V_{1\cos\theta_{1.1}} I_{1\cos\theta_{1.1}}$$

$$P_{A2\cos\theta_{1.2}} = V_{2\cos\theta_{1.2}} I_{2\cos\theta_{1.2}}$$

$$P_{A3\cos\theta_{1.3}} = V_{3\cos\theta_{1.3}} I_{3\cos\theta_{1.3}}$$

Dónde:

$P_{A1\cos\theta_{1.1}}$ = potencia del conductor uno con el $\cos\theta_1$ del conductor uno

$P_{A2\cos\theta_{1.2}}$ = potencia del conductor dos con el $\cos\theta_1$ del conductor dos

$P_{A3\cos\theta_{1.3}}$ = potencia del conductor tres con el $\cos\theta_1$ del conductor tres

Por lo que estos valores están directamente relacionados del $\cos\theta_1$ inicial o al que se quiere mejorar.

3.3.3. Compensación por aumentar el factor de potencia

También al mejorar el factor de potencia en un sistema eléctrico, los beneficios son considerables, lo cual representa ahorro económico para los consumidores de energía eléctrica, en lo cual se puede ver en:

- Potencia aparente del transformador

Estas pérdidas significan que de la capacidad total del transformador se está consumiendo demasiada energía, con poca carga

$$KVA_{\text{TRA} \cos \phi_2} = \frac{K_{CA}(KW)}{\cos \phi_2}$$

$KVA_{\text{TRA} \cos \phi_2}$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia final o mejorado (2)

K_{CA} = carga total a corregir el factor de potencia

$\cos \phi_2$ = es el factor de potencia final (2), es decir al que se quiere llegar

- Corriente en los alimentadores (cables)

$$I_{1 \cos \phi_{2.1}} = \frac{P_1(W)}{V_1 \cdot \cos \phi_{2.1}}$$

$$I_{2 \cos \phi_{2.2}} = \frac{P_2(W)}{V_2 \cdot \cos \phi_{2.2}}$$

$$I_{3 \cos \phi_{2.3}} = \frac{P_3(W)}{V_3 \cdot \cos \phi_{2.3}}$$

Dónde:

$I_{1 \cos \phi_{2.1}}$ = corriente del conductor uno con el $\cos \phi_2$ del conductor uno

$I_{2 \cos \phi_{2.2}}$ = corriente del conductor dos con el $\cos \phi_2$ del conductor dos

$I_{3 \cos \phi_{2.3}}$ = corriente del conductor tres con el $\cos \phi_2$ del conductor tres

$\cos \phi_{2.1}$ = factor de potencia final o mejorado (2) del conductor uno

$\cos\phi_{2.2}$ = factor de potencia final o mejorado (2) del conductor dos

$\cos\phi_{2.3}$ = factor de potencia final o mejorado (2) del conductor tres

- Tensión en los alimentadores (cables)

Como se mencionó antes, el cálculo de la corriente se realiza mediante el $\cos\phi_2$, es decir que todos los valores del cálculo de caída de tensión dependen del $\cos\phi_2$ final o mejorado. Por ley de ohm tenemos

$$V = I \cdot R$$

Y

$$R = \rho \cdot L$$

Donde;

V = voltaje que hay en ese conductor (V)

I = corriente que circula por ese conductor (A)

R = la resistencia de ese conductor con cierta longitud (Ω o $k\Omega$)

ρ = resistencia eléctrica específica de cada conductor (Ω/m o Ω/Km)

L = longitud del conductor (m o Km)

Entonces tenemos que

$$V_{1\cos\phi_{2.1}} = I_{1\cos\phi_{2.1}} \cdot R_1$$

$$V_{2\cos\phi_{2.2}} = I_{2\cos\phi_{2.2}} \cdot R_2$$

$$V_{3\cos\phi_{2.3}} = I_{3\cos\phi_{2.3}} \cdot R_3$$

$V_{1\cos\phi_{2.1}}$ = voltaje del conductor uno con el $\cos\phi_2$ del conductor uno

$V_{2\cos\phi_{2.2}}$ = voltaje del conductor dos con el $\cos\phi_2$ del conductor dos

$V_{3\cos\phi_{2.3}}$ = voltaje del conductor tres con el $\cos\phi_2$ del conductor tres

R_1 = la resistencia del conductor uno con cierta longitud

R_2 = la resistencia del conductor dos con cierta longitud

R_2 = la resistencia del conductor tres con cierta longitud

- **Potencia en los alimentadores (cables)**

$$P_{A1\cos\phi_{2.1}} = V_{1\cos\phi_{2.1}} I_{1\cos\phi_{2.1}}$$

$$P_{A2\cos\phi_{2.2}} = V_{2\cos\phi_{2.2}} I_{2\cos\phi_{2.2}}$$

$$P_{A3\cos\phi_{2.3}} = V_{3\cos\phi_{2.3}} I_{3\cos\phi_{2.3}}$$

Dónde:

$P_{A1\cos\phi_{2.1}}$ = potencia del conductor uno con el $\cos\phi_2$ del conductor uno

$P_{A2\cos\phi_{2.2}}$ = potencia del conductor dos con el $\cos\phi_2$ del conductor dos

$P_{A3\cos\phi_{2.3}}$ = potencia del conductor tres con el $\cos\phi_2$ del conductor tres

Por lo que estos valores están directamente relacionados del $\cos\phi_1$ inicial o al que se quiere mejorar.

3.3.4. Eficiencia entre $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$

A continuación podemos observar, los porcentajes de eficiencia entre el valor del $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$ por lo que se demuestra la mejora y ahorro económico en:

- **Potencia aparente del transformador**

Esta relación, nos demuestra que de la capacidad total del transformador, con el $\cos\phi_2$ podemos tener con la misma carga un consumo menos de dicho transformador, es decir con el mismo transformador y con el $\cos\phi$ mejorado podemos aumentar la carga para dicho transformador.

$$\%kVA_{TRA} = \left(\frac{kVA_{TRA\cos\phi_1} - kVA_{TRA\cos\phi_2}}{kVA_{TRA\cos\phi_2}} \right) 100$$

$\%kVA_{TRA}$ = porcentaje de aprovechamiento de la potencia aparente del transformador

$kVA_{TR\cos\phi 1}$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia inicial o bajo (1)

$kVA_{TR\cos\phi 2}$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia final o mejorado (2)

En la figura 3.5 se muestra el esquema de programación G en LabVIEW mediante SubVI, para el cálculo del porcentaje de aprovechamiento del transformador entre el $\cos\phi$ bajo y el $\cos\phi$ requerido.

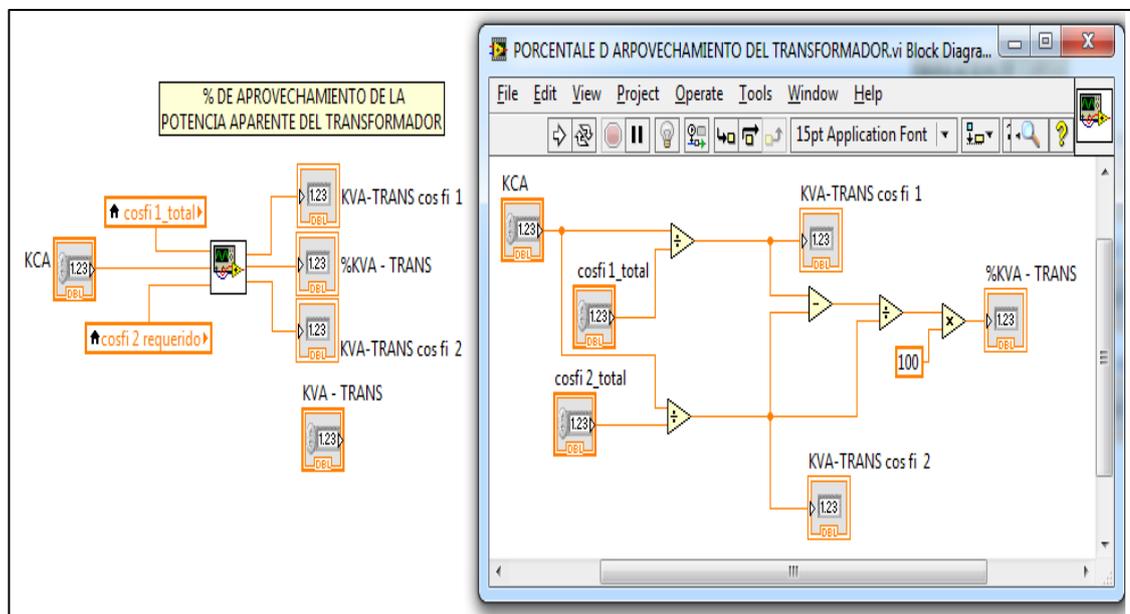


Figura 3. 5 Programa en LabVIEW para el porcentaje de aprovechamiento del transformador

- **Corriente en los alimentadores (cables)**

$$\%I_1 = \left(\frac{I_1 \cos\phi_{1.1} - I_1 \cos\phi_{2.1}}{I_1 \cos\phi_{2.1}} \right) 100$$

$$\%I_2 = \left(\frac{I_2 \cos\phi_{1.2} - I_2 \cos\phi_{2.2}}{I_2 \cos\phi_{2.2}} \right) 100$$

$$\%I_3 = \left(\frac{I_3 \cos\phi_{1.3} - I_3 \cos\phi_{2.3}}{I_3 \cos\phi_{2.3}} \right) 100$$

$\%I_1$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable uno

$\%I_2$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable dos

$\%I_3$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable tres

$I_{1\cos\theta_{1.1}}$ = corriente del conductor uno con el $\cos\theta_1$ del conductor uno

$I_{2\cos\theta_{1.2}}$ = corriente del conductor dos con el $\cos\theta_1$ del conductor dos

$I_{3\cos\theta_{1.3}}$ = corriente del conductor tres con el $\cos\theta_1$ del conductor tres

$I_{1\cos\theta_{2.1}}$ = corriente del conductor uno con el $\cos\theta_2$ del conductor uno

$I_{2\cos\theta_{2.2}}$ = corriente del conductor dos con el $\cos\theta_2$ del conductor dos

$I_{3\cos\theta_{2.3}}$ = corriente del conductor tres con el $\cos\theta_2$ del conductor tres

- Tensión en los alimentadores (cables)

$$\%V_1 = \left(\frac{V_{1\cos\theta_{1.1}} - V_{1\cos\theta_{2.1}}}{V_{1\cos\theta_{2.1}}} \right) 100$$

$$\%V_2 = \left(\frac{V_{2\cos\theta_{1.2}} - V_{2\cos\theta_{2.2}}}{V_{2\cos\theta_{2.2}}} \right) 100$$

$$\%V_3 = \left(\frac{V_{3\cos\theta_{1.3}} - V_{3\cos\theta_{2.3}}}{V_{3\cos\theta_{2.3}}} \right) 100$$

$\%V_1$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable uno

$\%V_2$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable dos

$\%V_3$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable tres

$V_{1\cos\theta_{1.1}}$ = voltaje del conductor uno con el $\cos\theta_1$ del conductor uno

$V_{2\cos\theta_{1.2}}$ = voltaje del conductor dos con el $\cos\theta_1$ del conductor dos

$V_{3\cos\theta_{1.3}}$ = voltaje del conductor tres con el $\cos\theta_1$ del conductor tres

$V_{1\cos\theta_{2.1}}$ = voltaje del conductor uno con el $\cos\theta_2$ del conductor uno

$V_{2\cos\theta_{2.2}}$ = voltaje del conductor dos con el $\cos\theta_2$ del conductor dos

$V_{3\cos\theta_{2.3}}$ = voltaje del conductor tres con el $\cos\theta_2$ del conductor tres

- **Potencia en los alimentadores (cables)**

$$\%P_{A1} = \left(\frac{P_{A1\cos\theta_{1.1}} - P_{A1\cos\theta_{2.1}}}{P_{A1\cos\theta_{2.1}}} \right) 100$$

$$\%P_{A2} = \left(\frac{P_{A2\cos\theta_{1.2}} - P_{A2\cos\theta_{2.2}}}{P_{A2\cos\theta_{2.2}}} \right) 100$$

$$\%P_{A3} = \left(\frac{P_{A3\cos\theta_{1.3}} - P_{A3\cos\theta_{2.3}}}{P_{A3\cos\theta_{2.3}}} \right) 100$$

$\%P_1$ = porcentaje de la disminución de potencia en los alimentadores o cable uno

$\%P_2$ = porcentaje de la disminución de potencia en los alimentadores o cable dos

$\%P_3$ = porcentaje de la disminución de potencia en los alimentadores o cable tres

$P_{1\cos\theta_{1.1}}$ = potencia del conductor uno con el $\cos\theta_1$ del conductor uno

$P_{2\cos\theta_{1.2}}$ = potencia del conductor dos con el $\cos\theta_1$ del conductor dos

$P_{3\cos\theta_{1.3}}$ = potencia del conductor tres con el $\cos\theta_1$ del conductor tres

$P_{1\cos\theta_{2.1}}$ = potencia del conductor uno con el $\cos\theta_2$ del conductor uno

$P_{2\cos\theta_{2.2}}$ = potencia del conductor dos con el $\cos\theta_2$ del conductor dos

$P_{3\cos\theta_{2.3}}$ = potencia del conductor tres con el $\cos\theta_2$ del conductor tres

En la figura 3.6 se muestra el esquema de programación G en LabVIEW, mediante SubVI's, para el cálculo de las eficiencia en voltaje, corriente y potencia de los alimentadores.

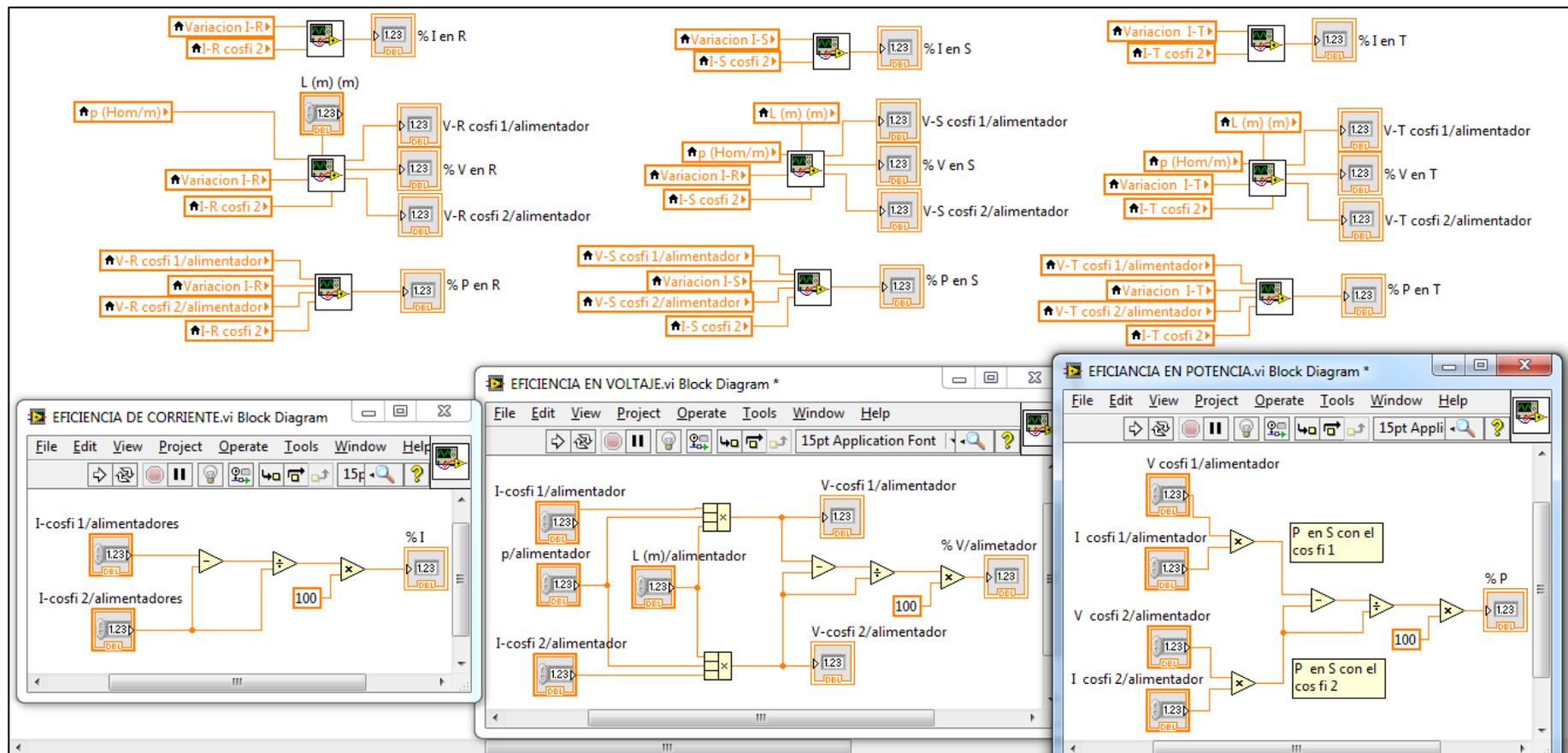


Figura 3. 6 Programa en LabVIEW para la eficiencia en voltaje, corriente y potencia de los alimentadores

Dando como resultado de todas las ecuaciones de los incisos 3.3.2 y 3.3.3, los porcentaje de relación entre el valor del $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$. También podemos llegar a la conclusión de las pérdidas en los conductores o cables en su forma general que $\%RP_A$ es la relación de pérdidas en los alimentadores o cables. En la figura 3.7 se muestra el esquema de programación G en LabVIEW, mediante SubVI's, para el cálculo de la relación de pérdidas en los alimentadores.

$$\%RP_A = \left[1 - \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right)^2 \right] 100$$

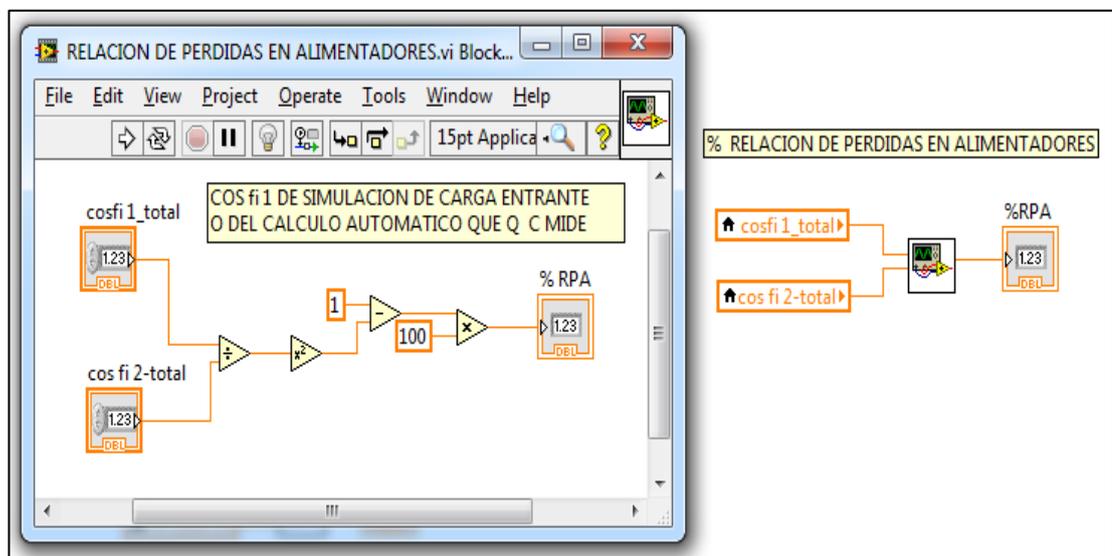


Figura 3. 7 Programa en LabVIEW para el porcentaje de eficiencia de los alimentadores

3.4. Variables o datos de los valores registrados y calculados

En el programa de LabVIEW tenemos la propuesta del ingreso, registro y visualización de variables para los cálculos de: penalización por bajo factor de potencia, simulación del banco de condensadores automático, variables de entrada en los datos necesarios para los cálculos automáticos, porcentaje de reducción de pérdidas de algunos factores, y todo lo expuesto anteriormente en los incisos 3.2 y 3.3

3.4.1. Calculo de los kVAR necesarios

Variables de entrada o ingreso de datos

- P = Potencia demandada total(kW)
- $\text{Cos}\phi_1$ = Factor de potencia inicial o actual, (este valor puede ser ingreso de dos formas, manual o automáticamente que es el valor medido directamente por el equipo o el que se está simulando)
- $\text{Cos}\phi_2$ = Factor de potencia final o a mejorar

Variables de salida o resultados

- Q_C = Potencia reactiva del banco de condensadores (kVAR),

3.4.2. Banco de condensadores automático

Variables de entrada o ingreso de datos

- $\text{cos}\phi_1$ = Factor de potencia final o a mejorar
- C/K = Configuración de sensibilidad
- $T_{C/R.C}$ = Tiempo de conexión y reconexión de los condensadores (seg)
- N_{PA} = Numero de pasos
- N_{SEC} = Numero de secuencias
- $T_{C.\#P}$ = Tiempo de conexión de los pasos que se conectan del banco automático de condensadores (h= horas)

Variables de salida o resultados

- TP_{QCBA} = Tamaño del paso, de la potencia reactiva del banco de condensadores que están activados (kVAR), estos son los kVAR de los grupos de condensadores del banco automático que están conectados, por lo que también este valor depende del facto C/K y del factor de potencia a mejorar.
- N_E = Numero de etapas conectadas del banco de condensadores automático
- N_P = Numero de paso que está en ese momento conectado el banco automático de condensadores.

- $\cos\phi_2$ = Factor de potencia final o a mejorar, el este valor depende de las variable de ingreso, que se verán reflejadas con las demás variables de salida.

3.4.3. Para la simulación de la carga demandante

Variables de entrada o ingreso de datos

- P = Potencia demandada total (kW)
- $\cos\phi_1$ = Es el factor de potencia inicial que es inferior a 0.92, cuando la carga esta en operación.
- P/trb = Potencia de la carga de trabajo, estos son los valores registrados de cada una de las maquinas del taller ya sea por placa o por medición.
- $t_{P/trb}$ = El tiempo en que la carga debe estar trabajando (h = horas),
- V = Voltaje de ingreso (por cada fase)
- I = Corriente de (por cada fase)

3.4.4. Valores o variables del resultado del $\cos\phi_1$ y el $\cos\phi_2$

Variables de salida o resultados con el $\cos\phi_1$, que es el factor de potencia bajo o inicial, con el $\cos\phi_2$, que es el factor de potencia mejorado o final

- V = Voltaje de cada fase
- I = Corriente de cada fase
- P = Potencia activa de cada fase
- Q = Potencia reactiva de cada fase
- S = Potencia aparente de cada fase
- $\cos\phi_1$ = Factor de potencia inicial o al que se quiere mejorar de cada fase
- $\cos\phi_2$ = Factor de potencia mejorado o final de cada fase
- P_T = Potencia activa total
- Q_T = Potencia reactiva total
- S_T = Potencia aparente total
- $\cos\phi_{1T}$ = Factor de potencia inicial o al que se quiere mejorar total
- $\cos\phi_{2T}$ = Factor de potencia mejorado o final total

3.4.5. Valores de pérdidas y ganancias por el $\cos\phi$

Valores o variables de ingreso

- K_{CA} = carga total a corregir el factor de potencia
- $KVA_{TRANS.}$ = Valor o carga del transformador conectado
- L (m) = Longitud de los conductor por cada fase
- ρ = Resistencia de conductor (Ω/m) por cada fase

Variables de salida o resultados

- $kVA_{TRA\cos\phi_1}$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia inicial o bajo (1)
- $kVA_{TRA\cos\phi_2}$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia final o mejorado (2)
- $I_{\cos\phi_1}$ = corriente del alimentador o conductor con él $\cos\phi_1$, por cada fase
- $V_{\cos\phi_1}$ = tensión del alimentador o conductor con él $\cos\phi_1$, por cada fase
- $P_{\cos\phi_1}$ = potencia del alimentador o conductor con él $\cos\phi_1$, por cada fase
- $I_{\cos\phi_2}$ = corriente del alimentador o conductor con él $\cos\phi_2$, por cada fase
- $V_{\cos\phi_2}$ = tensión del alimentador o conductor con él $\cos\phi_2$, por cada fase
- $P_{\cos\phi_2}$ = potencia del alimentador o conductor con él $\cos\phi_2$, por cada fase

3.4.6. Valores porcentuales de eficiencia entre el $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$

Variables de salida o resultados

- %Bfp = porcentaje del factor de penalización por bajo factor de potencia
- % kVA_{TRA} = porcentaje de aprovechamiento de la potencia aparente del transformador

- $%I_1$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable uno
- $%I_2$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable dos
- $%I_3$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable tres
- $%V_1$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable uno
- $%V_2$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable dos
- $%V_3$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable tres
- $%P_1$ = porcentaje de la disminución de potencia en el alimentador o cable uno
- $%P_2$ = porcentaje de la disminución de potencia en el alimentador o cable dos
- $%P_3$ = porcentaje de la disminución de potencia en el alimentador o cable tres
- $%RP_A$ = relación de pérdidas en los alimentadores o cables

3.5. Visualización de los valores registrados y calculados

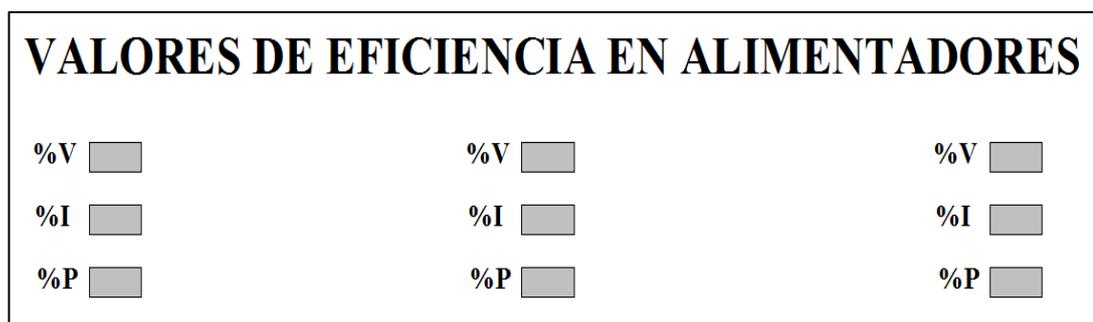


Figura 3. 8 Visualización de valores de eficiencia en los alimentadores

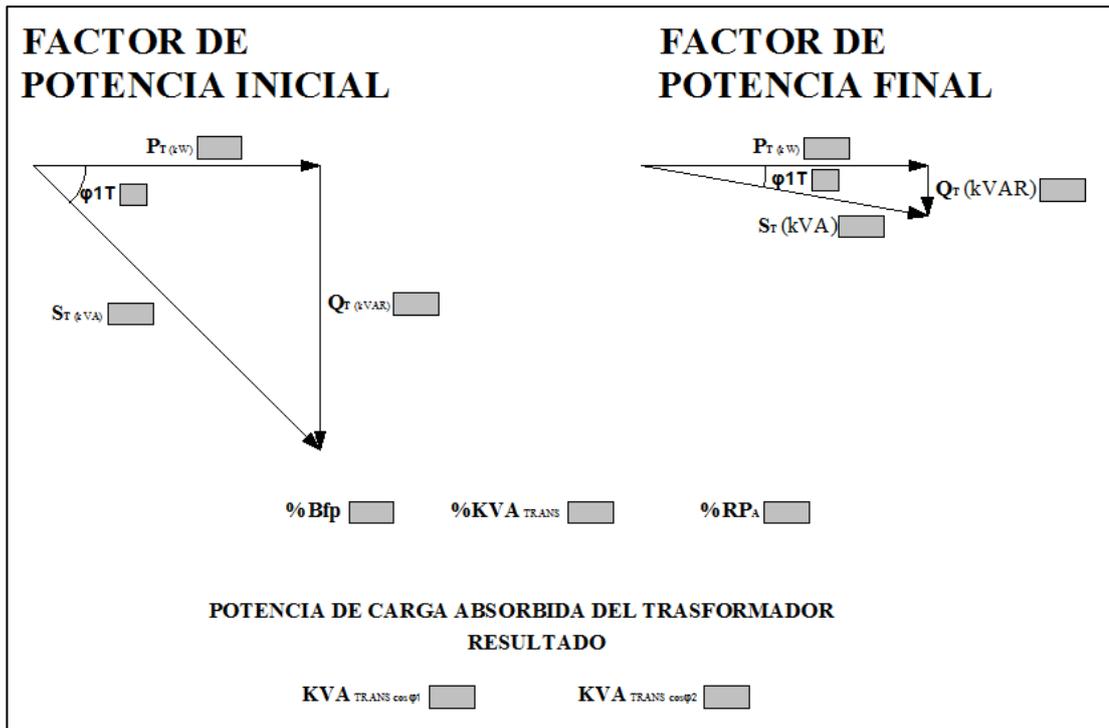


Figura 3. 9 Visualización de diferencia entre $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$ total

KVAR NECESARIOS PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMATICO	SIMULACION DE CARGA	PERDIDA Y GANACIA
INGRESO DE DATOS	INGRESO DE DATOS	INGRESO DE DATOS	INGRESO DE DATOS
$P_{(kW)}$ <input type="text"/>	$\cos\phi_1$ <input type="text"/>	$P_{(kW)}$ <input type="text"/>	K _{CA} <input type="text"/>
$\cos\phi_1$ <input type="text"/>	C/K <input type="text"/>	$\cos\phi_1$ <input type="text"/>	KVA _{TRANS} <input type="text"/>
$\cos\phi_2$ <input type="text"/>	T _{C.R.C (seg)} <input type="text"/>	P_{trb} <input type="text"/>	L (m) <input type="text"/>
RESULTADO	N_{BA} <input type="text"/>	$t_{Pltb (h)}$ <input type="text"/>	ρ <input type="text"/>
Q_c (kVAR) <input type="text"/>	N_{SEC} <input type="text"/>	$V_{(Vca)}$ <input type="text"/>	
	$T_{C=PF (h)}$ <input type="text"/>	$I_{(Amp)}$ <input type="text"/>	
	RESULTADO		
	TP _{CCBA} <input type="text"/>		
	N_E <input type="text"/>		
	N_D <input type="text"/>		
	$\cos\phi_2$ <input type="text"/>		

Figura 3. 10 Visualización de variables de ingreso y salida para cálculos adicionales

CAPITULO 4

PRUEBAS FUNCIONALES

4.1. Medición de Señales

La realización de este proyecto, se obtuvo la colaboración de un taller electro automotriz, en el cual, previamente se realizó el levantamiento aproximado de las cargas existentes como se muestra en la tabla 4.1, además de los sistemas eléctricos instalados.

MARCA	EQUIPO	FASES	(P) carga (HP)	(P) carga (kW)
CENTURI	TORNO	3		10,000
MILWAEKEE	FRESADORA	3		5,000
SINSINATI	LIMADORA	3	5,00	3,730
MILWAEKEE	FRESADORA	3	10,00	7,460
	COMPRESOR	3	5,00	3,730
MILLER	CORTADORA DE PLASMA	3	8,60	6,400
	COMPRESOR	3	20,00	14,920
MILLER	SOLDADORA	3		36,400
PH	SOLDADORA	3		8,000
LIMDE	SOLDADORA	3	3,00	2,238
LIMDE	BANCO DE PRUEBAS	3	1,00	0,746
	BOMBA DE BANCO DE PRUEBAS	3	1,00	0,746
TOSS	TORNO	3	3,00	2,238

Tabla 4.1 Cuadro de cargas aproximadas del taller

En la figura 4.1 se realizó la medición en el banco de pruebas LIMDE de 0,746 kW



Figura 4. 1 Medición de voltaje y corriente con carga de 0,746kW



VALORES MEDIDOS						
Linea R		Linea S		Linea T		
V (Vol)	127,00	V (Vol)	127,00	V (Vol)	126,00	
I (Amp)	10,2	I (Amp)	11	I (Amp)	10	
cos fi	0,69	cos fi	0,71	cos fi	0,69	
POTENCIAS TOTALES cosfi (1)						
P (Kw)	2,7551	Q (KVAR)	2,8384	S (KVA)	3,952	
					cos fi 1	0,69

Figura 4. 2 Medición de voltaje, corriente y $\cos\phi$ con carga de 10kW

En la figura 4.2 se realizó la medición al Torno Centuri de 10kW

En la figura 4.3 se realizó la medición al Torno Centuri de 10kW, Banco de Pruebas LIMDE de 0,746 kW, la Bomba de Banco de Pruebas de 0,746 kW, y a la Fresadora MILWAEKEE de 7,460 kW.

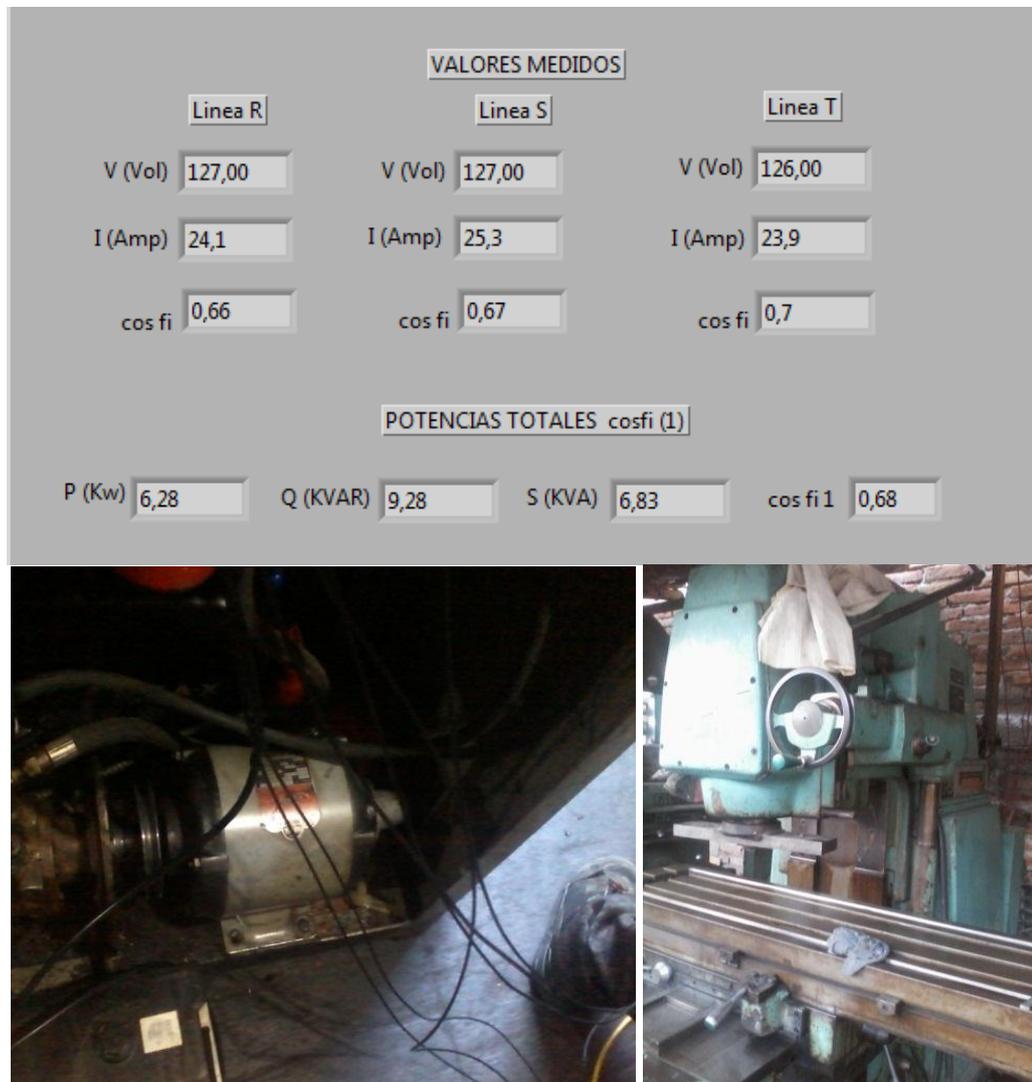


Figura 4. 3 Medición de voltaje, corriente y $\cos\phi$ con carga de 18.95kW

4.2. Comparación de Señales

En esta parte se tomaron los valores de corriente y voltaje de las fases, para poder comparar con el equipo diseñado, y ver la efectividad de las mediciones de equipo diseñado.



Figura 4. 4 Comparación de voltaje y corriente con una carga de 0,kW

VALORES MEDIDOS							
	Linea R		Linea S		Linea T		
V (Vol)	127,00	V (Vol)	127,00	V (Vol)	126,00		
I (Amp)	10,2	I (Amp)	11	I (Amp)	10		
cos fi	0,69	cos fi	0,71	cos fi	0,69		
POTENCIAS TOTALES cosfi (1)							
P (Kw)	2,7551	Q (KVAR)	2,8384	S (KVA)	3,952	cos fi 1	0,69



Figura 4. 5 Comparación de voltaje y corriente con carga de 10kW

VALORES MEDIDOS			
Linea R	Linea S	Linea T	
V (Vol)	127,00	V (Vol)	127,00
I (Amp)	24,1	I (Amp)	25,3
cos fi	0,66	cos fi	0,67
POTENCIAS TOTALES cosfi (1)			
P (Kw)	6,28	Q (KVAR)	9,28
S (KVA)	6,83	cos fi 1	0,68



Figura 4. 6 Comparación de voltaje y corriente con carga de 18,95kW

4.3. Corrección del factor de potencia

La corrección del factor de potencia de las cargas medidas, se la realizó mediante la simulación, de un grupo de banco automático de condensadores, obteniendo los siguientes datos para la corrección del cos fi.

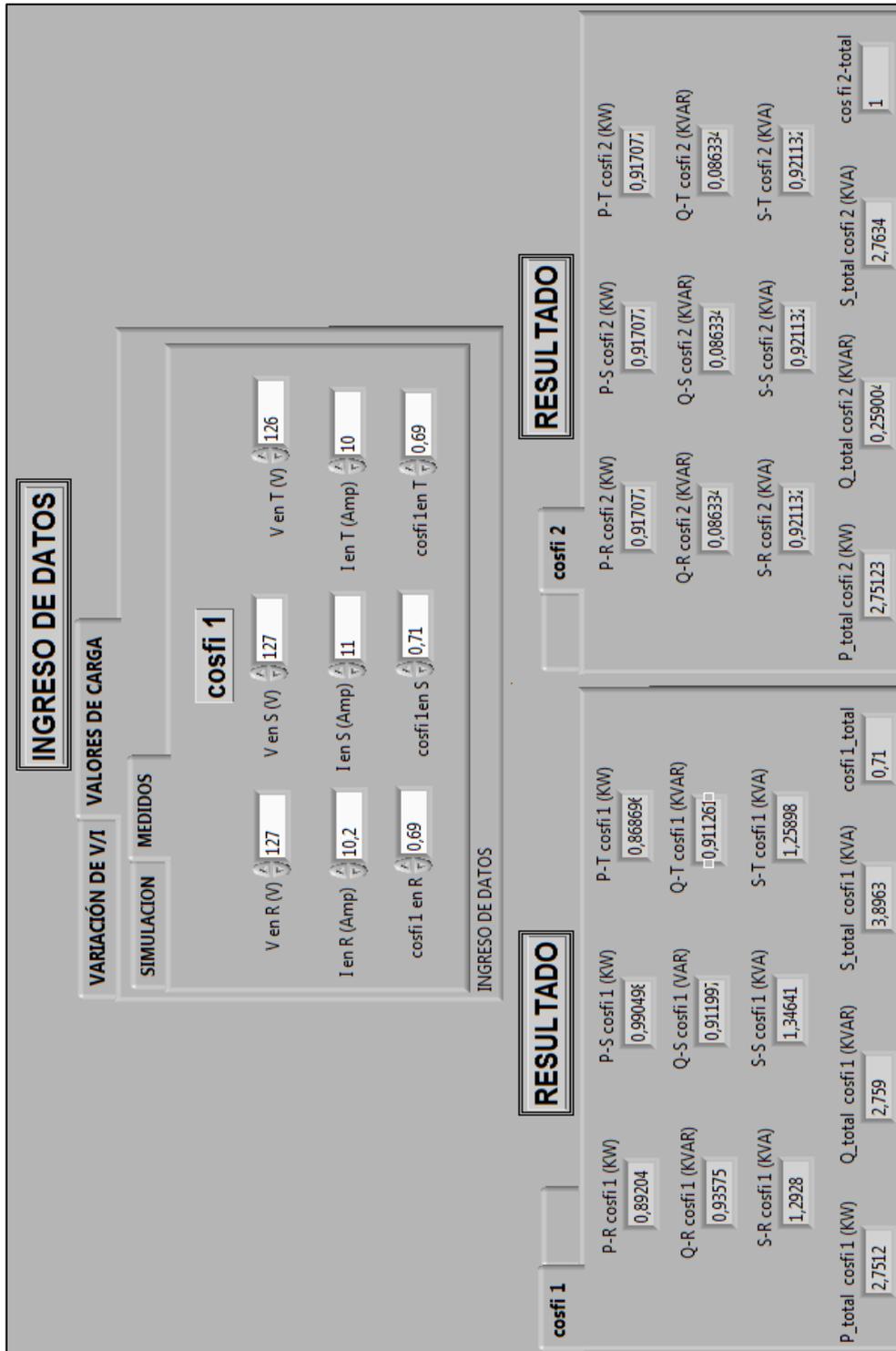


Figura 4. 7 Corrección del cosφ para una carga de 10kW

En las figuras 4.7 y 4.9, se observa los valores medidos por la carga, y los resultados del $\cos\phi$, y de las potencias, activa, reactiva y aparente, antes y después de corregir el factor de potencia, además en las figuras 4.8 y 4.10 se observa los valores y configuraciones del banco automático de condensadores, requeridos para mejorar el factor de potencia de las cargas.

BANCO AUTOMATICO DE CONDENSADORES

INGRESO DE DATOS

cosfi 2 requerido

C/K (%)

T- P (KVAR)

T- C/R.C (seg)

N - PA

N - SEC

T - C#P

RESULTADO

Qc (kVAR)

TP - QCBA (kVAR)

Boolean N - E

N-P

cos fi 1

cos fi 2

Figura 4. 8 Valores del banco automático de condensadores para una carga de 10kW al mejorar el cos

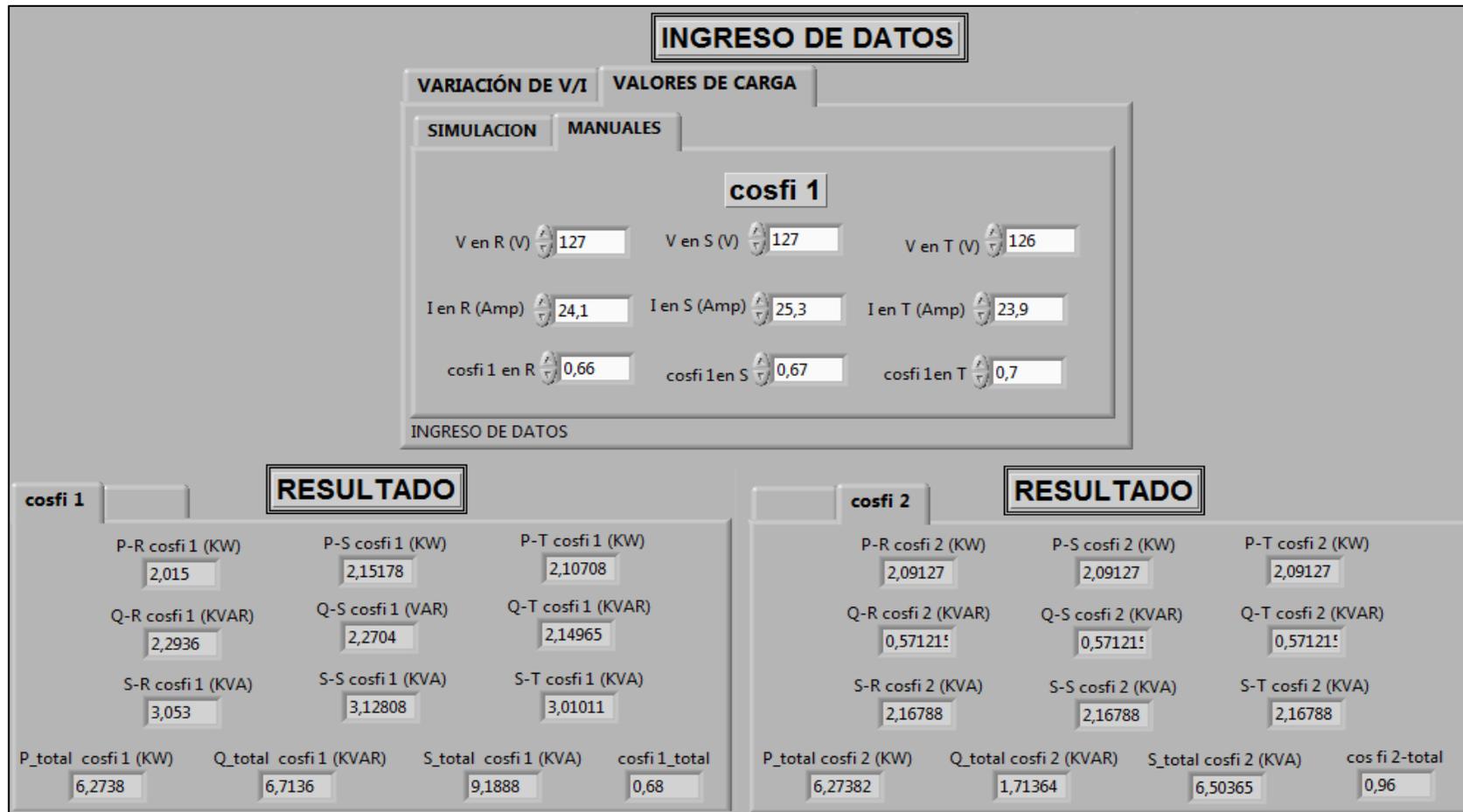


Figura 4. 9 Corrección del $\cos\phi$ para una carga de 18.95kW

BANCO AUTOMATICO DE CONDENSADORES

INGRESO DE DATOS

cosfi 2 requerido

C/K (%)

T- P (KVAR)

T- C/R.C (seg)

N - PA

N - SEC

T - C#P

RESULTADO

Qc (kVAR)

TP - QCBA (kVAR)

Boolean N - E

N-P

cos fi 1

cos fi 2

Figura 4. 10 Valores del banco automático de condensadores para una carga de 18.95kW al mejorar el $\cos\theta_1$

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

5.1. Corrección del factor de potencia

5.1.1. Cálculo de la potencia reactiva necesarios

En la figura 5.1 se muestra el cálculo automático de los Q_c necesarios para la corrección de la carga mostrada en la tabla 4.1 de dicho taller

KVAR NECESARIOS PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA	
INGRESO DE DATOS	
P (Kw)	100
cos fi 1	0,67
cos fi 2	0,92
RESULTADO	
Qc (kVAR)	68,2

Figura 5. 1 Cálculo del valor de los condensadores Q_c necesarios

Como la carga total aproximada del taller es de 101,608kW según la tabla 4.1, se tomó como potencia más cercana a los $P_{TOTAL}=100kW$, por lo que nos da un $Q_c=68,2kVAR$, de un $\cos\theta_1$ aproximado de 0.67 a un $\cos\theta_2$ mínimo de 0.92, además como en el taller las maquinas no funcionan completamente por periodos largos y mucho por 8 horas continuas en el día, y además observando en la tabla 4.1, que las cargas de mayor trabajo diario son de capacidades bajas, por lo que se requiere un banco de condensadores automático de $Q_c=50kVAR$, con un número de etapas

de 5, con tamaño de paso de 2.5kVAR, y con una secuencia de conmutación de 1:2:3:6:8, como se muestra en la tabla 3.2

5.1.2. Corrección del factor de potencia en las cargas

Como se mostró anteriormente en las figuras 4.7 y 4.9, los resultados obtenidos antes y después de corregir el factor de potencia, y en la figura 5.2 se observa los parámetros del banco automático de condensadores antes y después de corregir el factor de potencia de la carga de 10kW.

BANCO AUTOMATICO DE CONDENSADORES

INGRESO DE DATOS

cosfi 2 requerido

C/K (%)

T- P (KVAR)

T- C/R.C (seg)

N - PA

N - SEC

T - C#P

RESULTADO

Qc (kVAR)

TP - QCBA (kVAR)

Boolean N - E

N-P

cos fi 1

cos fi 2

Figura 5. 2 Parámetros del banco automático de condensadores para una carga de 10kW con un T-P(KVAR)=2.5

En el inciso 3.4.2 se describió las variables de la figura 5.2, además, podemos describir del banco automático de condensadores que:

- Como primer dato a ingresar el valor mínimo del $\cos\phi$ exigido por la empresa eléctrica,
- Que la variable C/K(%), se ajusta a las necesidades de la carga demandante Q_c , y al tamaño de paso del banco automático de condensadores T-P(kVAR).
- N-P, dependerá del número de paso que se encuentre en ese momento, dependiendo de la carga demandante
- T-P(kVAR), tomara el valor de acuerdo al número de pasos activados (N-P)

En la figura 5.2, para una carga de $P=10\text{kW}$ se describe que: como el valor de T-P(kVAR)=2.5 y el valor de $Q_C(\text{kVAR})=1.578$, el banco automático de condensadores actuara cuando el valor de $Q_C(\text{kVAR})$ este como mínimo a un 60% del valor de T-P(kVAR), teniendo una corrección del factor de potencia de 1, con una activación de N-P=1, y con un valor del tamaño de paso activado en ese momento por el banco automático de condensadores de TP-QCBA(kVAR)=2.5. En esta corrección del factor de potencia, hay que tener en cuenta que la carga a corregir es pequeña a comparación del tamaño de paso T-P(kVAR)=2.5.

En la figura 5.3, para una carga de $P=18.95\text{kW}$ se describe que: como el valor de T-P(kVAR)=2.5 y el valor de $Q_C(\text{kVAR})=4.041$, el banco automático de condensadores actuara cuando el valor de $Q_C(\text{kVAR})$ este como mínimo a un 60% del valor de T-P(kVAR), teniendo una corrección del factor de potencia de 0.96, con una activación de N-P=2, y con un valor del tamaño de paso activado en ese momento por el banco automático de condensadores de TP-QCBA(kVAR)=5

**BANCO
AUTOMATICO DE
CONDENSADORES**

INGRESO DE DATOS

cosfi 2 requerido

C/K (%)

T- P (KVAR)

T- C/R.C (seg)

N - PA

N - SEC

T - C#P

RESULTADO

Qc (kVAR)

TP - QCBA (kVAR)

Boolean N - E

N-P

cos fi 1

cos fi 2

Figura 5. 3 Parámetros del banco automático de condensadores para una carga de 18.95Kw con un T-P(kVAR)=2.5

En el análisis de la figura 5.2, para una carga de $P=10\text{kW}$, se da como resultado una sobre compensación de energía reactiva en la carga, ya que para corregir el factor de potencia para esta carga el $T\text{-}P(\text{kVAR})=2.5$ es un valor grande, por lo que se recomienda igualar las cargas en un aproximado de la misma capacidad, y dividir las y así instalar un banco de condensadores para cada tipo de carga, uno para cargas pequeñas y otras para más grandes, claro que esto requiere más inversión económica, pero al tener presente estas condiciones de capacidades y tiempo de uso es muy factible la inversión para este tipo de cargas, lo que significa que se puede instalar para una carga de $P=10\text{kW}$ un $T\text{-}P(\text{kVAR})=2$ como máximo, obteniendo los resultados de la figura 5.4

BANCO AUTOMATICO DE CONDENSADORES

INGRESO DE DATOS

cosfi 2 requerido

C/K (%)

T- P (KVAR)

T- C/R.C (seg)

N - PA

N - SEC

T - C#P

RESULTADO

Qc (kVAR)

TP - QCBA (kVAR)

Boolean N - E

N-P

cos fi 1

cos fi 2

Figura 5. 4 Parámetros del banco automático de condensadores para una carga de 10kW con un T-P(kVAR)=2

5.2. Beneficios de Mejoramiento de energía reactiva

Para el análisis de los beneficios del mejoramiento el factor de potencia se realizó un cuadro aproximado del tiempo de trabajo, como se muestra en la tabla 5.1, por lo que el tamaño del banco automático de condensadores es de 50kVAR como se explicó en el inciso 5.1.1

MARCA	EQUIPO	FASES	(P) carga (HP)	(P) carga (kW)	HORAS TRAB /DIA	H/TRA MES	HORAS TRAB /DIA kW/h	HORAS TRAB/MES (kW/h)
CENTURI	TORNO	3		10,000	0,75	15,00	4,71	94,21
MILWAEKEE	FRESADORA	3		5,000	0,40	8,00	1,10	22,04
SINSINATI	LIMADORA	3	5,00	3,730	0,25	5,00	0,45	8,97
MILWAEKEE	FRESADORA	3	10,00	7,460	0,75	15,00	2,16	43,14
	COMPRESOR	3	5,00	3,730	5,00	100,00	9,96	199,23
MILLER	CORTADORA DE PLASMA	3	8,60	6,400	0,10	2,00	0,30	6,09
	COMPRESOR	3	20,00	14,920	2,50	50,00	15,91	318,25
MILLER	SOLDADORA	3		36,400	0,25	5,00	2,61	52,10
PH	SOLDADORA	3		8,000	0,75	15,00	0,25	5,07
LIMDE	SOLDADORA	3	3,00	2,238	0,25	5,00	0,29	5,82
	BANCO DE PRUEBAS	3	1,00	0,746	5,00	100,00	1,78	35,56
	BOMBA DE BANCO DE PRUEBAS	3	1,00	0,746	5,00	100,00	1,78	35,56
TOSS	TORNO	3	3,00	2,238	2,50	50,00	2,68	53,64

Tabla 5.1 Cuadro aproximado de trabajo, de las cargas aproximadas del taller

5.2.1. En los alimentadores

Para el análisis de eficiencia en los alimentadores, se tomó como una sola carga o un solo motor a P=18,95kW, con un calibre #10 con una L= 20m y un $\rho=0,0022\Omega/m$

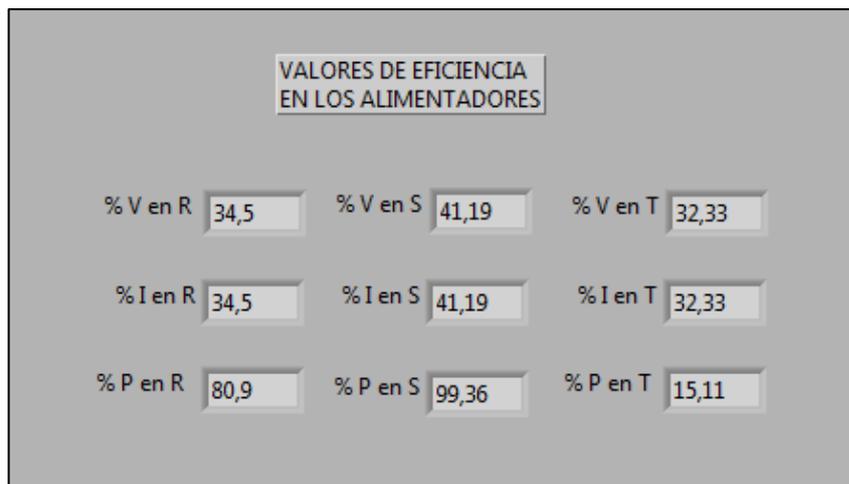


Figura 5. 5 Eficiencia en los alimentadores para P=18.95kW

También se analizó como una solo carga o motor a $P=10\text{kW}$, con un calibre #10 con una $L= 20\text{m}$ y un $\rho=0,0022\Omega/\text{m}$

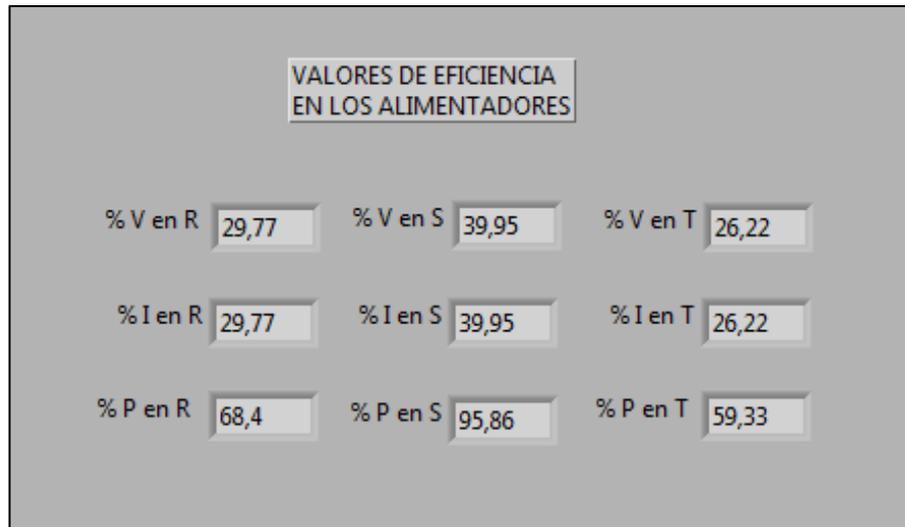


Figura 5. 6 Eficiencia en los alimentadores para $P=10\text{kW}$

5.2.2. En el transformador

Como se explicó anteriormente en el inciso 5.1.1 que la carga total máxima es $P_{\text{TOTAL}}=100\text{kW}$ y un transformador de capacidad de $\text{kVA-TRANS} = 150$, por lo tanto se requiere de un banco automático de capacitores de $Q_c= 50\text{kVAR}$, y sobre las variables en el inciso 3.4 esto significa que, al mejorar el $\cos\phi_1=0.68$ a un $\cos\phi_2=0.92$ mínimo, se obtuvo los siguientes resultados:

- En la relación total de pérdidas en los alimentadores %RPA
- Que al tener una carga total de $P_{\text{TOTAL}}=100\text{kW}$ con un $\cos\phi_1=0.68$, se está absorbiendo la capacidad del transformador casi en un 100% de su potencia de $\text{kVA-TRANS} = 150$, y al mejorar el $\cos\phi_2=0.92$ como mínimo, se está absorbiendo la capacidad del transformador en un casi 70% de su potencia de $\text{kVA-TRANS} = 150$, dando como resultado el porcentaje en el que se puede aprovechar la potencia del transformador % $\text{kVA-TRANS}=34.6$, esto significa que al mejorar el factor de potencia, se puede incrementar la carga del taller sin afectar o comprar otro transformador
- Al mejorar el factor de potencia en este taller tenemos que la relación de pérdidas de %RPA=49.88, esto quiere decir que al tener un $\cos\phi_2=0.92$ como mínimo, en las instalaciones internas se puede instalar conductores

de calibre menor y a mayor distancia, teniendo en cuenta que esto es un buen ahorro económico para el taller.

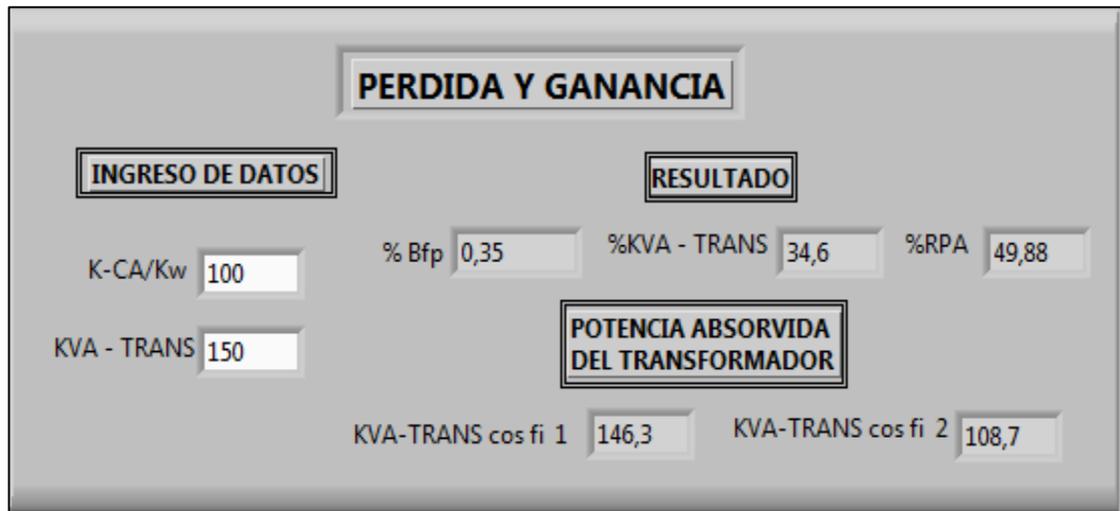


Figura 5. 7 Eficiencia en el transformador

5.2.3. Económicamente

Igualmente en el diseño de este proyecto usando la programación G, se calcula del porcentaje de penalización por bajo factor de potencia, como se muestra en la figura

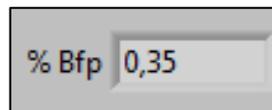


Figura 5. 8 Porcentaje de penalización por bajo cos ϕ

Esto significa, que al seguir manteniendo un $\cos\phi_1=0.68$, el recargo es de un 35% del valor de la planilla mensual, más el consumo mensual de la planilla, esto significa que por ejemplo, si saliera en la planilla de pago de 5.000\$, y como el recargo es del 35%Bfp= 35% de 5.000= 1.750\$, entonces el pago de facturación mensual seria de 5.000+1.750=6.750\$ por tener un $\cos\phi_1=0.68$, lo que significa un gran ahorro económico al mejorar el factor de potencia.

Ahora, al invertir en un banco de condensadores automático de $Q_c=50\text{kVAR}$, cuyo costo hoy en día puede oscilar dependiendo de la procedencia y de la tecnología entre 10.000\$ y 15.000. Por lo que tomando el ejemplo anterior y comprando un banco automático de condensadores de 10.000\$ podemos calcular en tiempo de recuperación de capital al invertir en un banco automático de condensadores.

$$\%Bfp = 1.750\%$$

$$\$BAQc = 10.000\%$$

Entonces

$$\frac{BAQc = 10.000\$}{\%Bfp = 1.750\%} = 5.72$$

Esto significa que en un periodo máximo de 6 meses se logra recuperar la inversión del banco automático de condensadores, además después de este tiempo el taller no solo recupero la inversión, sino que además un ahorro en la eficiencia de los conductores, transformador y en los motores o cargas del taller, teniendo así un ahorro económico.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. ZBAR-MALVINO-MILLER, Practicas de Electrónica. Barcelona España, 2001
2. PÉREZ RODRÍGUEZ, Leonel. *Introducción a los micros controladores*. Ecuador: Escuela de Ingeniería Electrónica. Universidad del Azuay. 2008. Digital.
3. *OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT*. Fairchild Semiconductor Corporation, 2002. Digital.
4. PÉREZ RODRÍGUEZ, Leonel. *Conversor Analógico/Digital*. Ecuador: Escuela de Ingeniería Electrónica. Universidad del Azuay. 2009. Digital.
5. TORRES SALAMEA, Hugo. *Electrónica, El Amplificador Operacional, Principios básicos*. Cuenca Ecuador: Escuela de Ingeniería Electrónica. Universidad del Azuay. 2002. Impreso.
6. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*. Microchip Technology Inc, 2009. Digital.
7. *ACS714T LLC-30 Data Sheet*. Allegro Micro Systems, Inc, 2006-2009. Digital
8. Rogan C. José, Gutiérrez G. Gonzalo, Menéndez P. Eduardo, *Apuntes de un curso de Introducción a la Física de Sólidos*, Primera edición: Santiago Chile. Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. [199-]
9. BOYLESTAD, Robert L., NASHELSKY Lois. *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*, Décima edición: Pearson Educación, México 2009
10. BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al Análisis de Circuitos*, Décima segunda edición: Pearson Educación, México 2011

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

1. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL. ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA. http://www.ipn.mx/educacionsuperior/Paginas/Ing_Electrica.aspx [consulta Marzo 2013]
2. UIVERSIDAD DE GRANADA. ESPAÑA, Departamento de Electrónica y Tecnología en Computadoras: http://electronica.ugr.es/~amroldan/assignaturas/curso08-09/ftc/temas/Tema_01E_AO_Comparador.pdf. [consulta 7 de Enero del 2012].
3. NATIONAL INSTRUMENTS, http://www.ni.com/niglobal/int_dis.htm [consulta Marzo 2013]

ANEXOS

ANEXO 1

MANUAL DE USUARIO DE LABVIUW

En la realización de este proyecto, en la programación de Labviuw, se realizó las siguientes aplicaciones. Cálculo de Q_c (KVAR), para el análisis de corrección del factor de potencia, en la figura A1.1 se muestra para el cálculo de los KVAR necesarios ingresando los siguientes datos:

The image shows a software window titled "KVAR NECESARIOS PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA". It contains an "INGRESO DE DATOS" section with three input fields: "P (Kw)" with the value 0, "cos fi 1" with the value 0, and "cos fi 2" with the value 0. Below this is a "RESULTADO" section with an output field "Qc (kVAR)" showing the value 0.

Figura A1.1 Cálculo de Q_c

- P (Kw) = Potencia demandada total(kW)
- $\text{Cos}\phi_1$ = Factor de potencia inicial o actual
- $\text{Cos}\phi_2$ = Factor de potencia final o a mejorar

Y se obtiene como resultado

- Q_c = Potencia reactiva del banco de condensadores (kVAR),

Simulación de Carga

En la figura A1.2, se observa las variables de entrada y salida, con los siguientes datos a ingresar:

Figura A1.2 Simulación de Carga

- P = Potencia demandada total (kW)
- $\cos\phi_1$ = Factor de potencia el cual la carga está generando
- P/trb = Potencia demandada de trabajo (kW), esto es que puedo ingresar valores de carga cualquiera como máximo la potencia demandada total.
- $t_{P/trb}$ = El tiempo en que la carga está trabajando (h = horas)
- V = Volteje de ingreso (por cada fase)

- **Perdida y Ganancia al tener un $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$**

Para realizar los cálculos de pérdida y ganancia entre un $\cos\phi_1$ y $\cos\phi_2$ se tienen que ingresar las siguientes variables (figura A1.3)

PERDIDA Y GANANCIA		VALORES DE EFICIENCIA EN LOS ALIMENTADORES					
INGRESO DE DATOS		% V en R	0	% V en S	0	% V en T	0
KCA	0	% I en R	0	% I en S	0	% I en T	0
KVA - TRANS	0	% P en R	0	% P en S	0	% P en T	0
L (m)	0						
ρ	0	% Bfp	0,00	%KVA - TRANS	0	%RPA	0
POTENCIA ABSORVIDA DEL TRANSFORMADOR							
		KVA-TRANS cos fi 1	0	KVA-TRANS cos fi 2	0		

Figura A1.3 Eficiencias al tener un $\cos\theta_1$ y $\cos\theta_2$

- K-CA = carga total a corregir el factor de potencia
- KVA-TRANS = Valor o carga del transformador conectado
- L (m) = Longitud de los conductor por cada fase
- ρ = Resistencia de conductor (Ω/m) por cada fase

Dando como resultado

- %Bfp = porcentaje del factor de penalización por bajo factor de potencia
- %KVA-TRANS = porcentaje de aprovechamiento de la potencia aparente del transformador
- %RPA = relación de pérdidas en los alimentadores o cables
- $KVA_{TRA}\cos\theta_1$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia inicial o bajo (1)
- $KVA_{TRA}\cos\theta_2$ = potencia aparente del transformador con el factor de potencia final o mejorado (2)
- % I_1 = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cable uno

- $\%I_2$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cables
- $\%I_3$ = porcentaje de la disminución de corriente en el alimentador o cables
- $\%V_1$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable uno
- $\%V_2$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable dos
- $\%V_3$ = porcentaje de la disminución de voltaje en el alimentador o cable tres
- $\%P_1$ = porcentaje de la disminución de potencia en el alimentador o cable uno
- $\%P_2$ = porcentaje de la disminución de potencia en el alimentador o cable dos
- $\%P_3$ = porcentaje de la disminución de potencia en el alimentador o cable tres

- **Simulación del Banco de Condensadores**

En la siguiente figura A1.4, se muestra los valores a ingresar como

- $\text{Cos}\phi_1$ = Factor de potencia final o a mejorar
- C/K = Configuración de sensibilidad
- $T_{C/R.C}$ = Tiempo de conexión y reconexión de los condensadores (seg)
- $N_{PA.}$ = Numero de pasos
- $N_{SEC.}$ = Numero de secuencias
- $T_{C.\#P}$ =Tiempo de conexión de los pasos que se conectan del banco automático de condensadores (h= horas)

**BANCO DE
CONDENSADORES
AUTOMATICO**

INGRESO DE DATOS

cos fi 1

C/K

T- C/R.C (seg)

N - PA

N - SEC

T - C#P (h)

RESULTADO

TP - QCBA

N - E

N - P

cos fi 2

Figura A1.3 Banco de Condensadores Automático

Y las variables de resultado son:

- TP_{QCBA} = Tamaño de pasos, potencia reactiva del banco de condensadores que están activados (kVAR).
- N_E = Numero de etapas que están conectados.
- N_P = Numero de paso por el cual está en ese momento conectado.
- $\cos\theta_2$ = Factor de potencia final mejorado.


```

index_end ; fin cartel
ch_cont ; contador auxiliar
de caracteres para cartel
dato_l ; dato leído (parte baja)
dato_h ; dato leído (parte alta)
cur_cont ; contdor auxiliar cursor
numero ; cifra que se va a
escribir
aux_numero
num_low ; variables
auxiliares para imprimir digitos en LCD
num_high
num_up
numWR ; Numero a escribir
en LCD
aux_chdir ; Auxiliar para el
direccionado en LCD

;RAM para demoras
M1 ; Registros que
carga los valores iniciales de demora
M2
cont1 ; Contadores que se
decrementan n la subrutina demora
cont2 ;hasta ser 0
cont3

resp

;RAM para funciones
funcion

;RAM para medir voltaje pico
mayor
mayor_ch0
mayor_ch1
mayor_ch2
mayor_ch3
mayor_ch4
mayor_ch5
anterior
VP_cont
VP_cont1
respVP
bandera
;RAM para COSFI
v_16ms
v_30
phi
phi1
phiR
phiS
phiT
aux_phi
volr

```

```

corr
vols
cors
volt
cort
par
pas
pat
pact
aux_prodl
aux_prodh
aux
sinphi
respq
ps
pp
flag
_dosientos_
    endc

```

```

;Declaración de bits

```

```

;Bits para LCD en el registro PORTA

```

```

rs                equ 4                ;      Pin RS (ra4)
e                  equ 1                ;      Pin E (rc1)

```

```

;Bits para el registro bandera

```

```

corrient          equ 0
cosfi             equ 1
p                  equ 2

```

```

;=====
;=====

```

```

;Carteles

```

```

;
    org 0x1200
    data '0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','A','B','C','D','E','F';      ;0-32
    data ',' 'K'

    org 0x1300
    data 'U','D','A','M','e','d','i','d','o','r',' ','T','r','i','f','a' ;0-32
    data 's','i','c','o','V','l','C','o','s','F','l','R','S','T','P',' ' ;32-64
    data 'Q',' ','S',' ','E','R','R','O','R';

```

```

;=====
;=====

```

```

;Vectores

```

```

    org 0X00
    goto ini
    org 0x18
    goto interrupt

```

```

=====
=====
;
;
;Subrutinas
;
;
-----
...SUBROUTINAS DEL DISPLAY...
-----
ini_lcd
    bcf PORTC,e                ;E = 0 (LCD inhabilitado E = 0)
    bcf PORTA,rs              ;RS = 0 (Modo de Instrucciones)

    ;SECUENCIA DE RESET DEL CRISTAL
    call dem_5ms              ;demora de power UP
    movlw 0x38
    movwf PORTD
    call pulse                 ;enable

    call dem_40us

    ;COMANDOS DE PROGRAMACION INICIAL
    ;-----
    ;FUNCTION SET INST
    ;-----
    ;Modo de transferencia de Datos: 8 bits
    movlw 0x38                ;"function set" = 38h
    movwf PORTD
    call pulse                 ;pulso de bus en "E"
    call dem_40us             ;demora de 40 us
    ;-----
    ;DISPLAY ON/OFF CONTROL
    ;-----
    movlw b'00001110'         ;display ON/OFF control = 0ch
    movwf PORTD
    call pulse                 ;pulso de 1 us en "E"
    call dem_40us

    ;-----
    ;ENTRY MODE SET INST
    ;-----
    ;La posicion del cursor se incrementa (direcciones de la DD RAM)
    ;No desplazar el Dato (al inicio)
    movlw 6                   ;"entry mode set" = 6
    movwf PORTD
    call pulse                 ;pulso de 1 us en "E"
    call dem_40us

    ;-----
    ;DISPLAY CLEAR
    ;-----
    movlw 1                   ;"display clear" = 1
    movwf PORTD
    call pulse                 ;pulso de 1 us en "E"
    call dem_1640us

    bsf PORTA,rs              ;RS = 1 (Modo de Datos)
    return

```

```

clrdisp ;clrf PORTA
        bcf PORTA,rs          ;Modo comandos
        movlw 1                ;display clear = 1
        movwf PORTD
        call pulse             ;pulso de 1us en "E"
        call dem_1640us
        bsf PORTA,rs          ;modo datos
        bsf PORTA,5
        return

;lee MEMORIA DE PROGRAMAS E INCREMENTA CURSOR

lee_mem                                ;leer el dato
        TBLRD*+                ; read into TABLAT and increment
        movf TABLAT,w          ; get data
        movwf dato_h
        TBLRD*+                ; read into TABLAT and increment
        movf TABLAT,w          ; get data
        movwf dato_l
        return

;
;habilita display (da un pulso en el pin enable)
;
pulse  bcf PORTC,e             ;E = 0
        bsf PORTC,e           ;E = 1
        nop                    ; espera un ciclo de maquina
        bcf PORTC,e           ;E = 0
        return

chdir  bcf PORTA,rs           ;modo comandos
        movwf PORTD           ;pone la dirección en D
        call pulse
        call dem_40us
        bsf PORTA,rs         ;modo datos
        return

;
;escribe cualquier cartel en el LCD por el método de indexado de TABLA
;antes de llamarla deben cargarse las variables "index_ini" e "index_end"
write
        movf index_ini,w
        movwf TBLPTRL         ;dirección inicial del cartel
        clrf ch_cont          ;ciclo de escritura en el LCD
rd_char
        movf TBLPTRL,w
        subwf index_end,w
        btfsc STATUS,2
        return

        ;lee próximo
        call lee_mem          ;lee un dato en ascii
        movf dato_h,w
        btfsc flag,0

```

```

    goto transmite
imprimir
    btfsc bandera,cosfi
    return
    movwf PORTD
        call pulse
        call dem_40us
        goto rd_char

;inicia puntero de TABLA en la 0x1100
ini_ptr1
    clrf TBLPTRU
    movlw 12
    movwf TBLPTRH
    clrf TBLPTRL
    return

;inicia puntero de TABLA2 en la 0x1200
ini_ptr2
    clrf TBLPTRU
    movlw 13
    movwf TBLPTRH
    clrf TBLPTRL
    return

;apaga cursor
cur_off bcf PORTA,rs                ;modo comandos
        movlw b'00001100'           ;cursor on
        movwf PORTD
        call pulse                   ;pulso de 1us en "E"
        call dem_40us
        bsf PORTA,rs                ;modo datos
        return

transmite
    movwf TXREG
    bsf TXSTA,5                      ; TXEN
loopTR  btfss TXSTA,1                ; TMRT
        goto loopTR
    btfss funcion,0
    return
    goto imprimir
;
;
;.....SUBRUTINAS DE DEMORAS.....
;
;DEMORA DE 47US.....
dem_40us
    movlw d'8'
    movwf M1
    movlw d'1'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 500US.....

```

```

dem_65us                                ; 63,75 + 0,5 call = 64,25
    movlw d'9'
    movwf M1
    movlw d'1'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 500US.....
dem_500us
    movlw d'11'
    movwf M1
    movlw d'7'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 1ms (1000 US)....
dem_1ms
    movlw d'3'
    movwf M1
    movlw d'133'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 1.64ms (1640 US)....
dem_1640us
    movlw d'46'
    movwf M1
    movlw d'1'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 5.32 m.....
dem_5ms
    movlw d'60'
    movwf M1
    movlw d'5'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 50ms.....
dem_50ms
    movlw d'67'
    movwf M1
    movlw d'14'
    movwf M2
    call demora
    return
;DEMORA DE 100ms.....
dem_100ms
    movlw d'100'
    movwf M1
    movlw d'15'
    movwf M2
    call demora
    return

```

```

;DEMORA DE 1s aprox.....
dem_1s
    movlw d'102'
    movwf M1
    movlw d'128'
    movwf M2
    call demora
    return
; DEMORA general.....
demora ;return
    movf M1,w
    movwf cont1
    movwf cont2
    movf M2,w           ;      1us
    movwf cont3       ;      0,25us
loop  decfsz cont1     ;      0,75us por (M1-1)
    goto loop
    movf M1,w
    movwf cont1       ;      0,75us (contando el salto)
    decfsz cont2     ;      0,75us cada vez que no salte
    goto loop       ;      (0,75*(M1-1)+1,5)(M1-1)
    movf M1,w
    movwf cont2       ;      0,75us
    decfsz cont3     ;      0,75us cada vez que no salte
    goto loop       ;      ((0,75*(M1-1)+1,5)(M1-
1)+1.5)(M2-1)
    return           ;      mas 0,75us.... como se llama
con call mas 0,5us
;
=====
;...SUBRUTINAS EEPROM...
;
;
;
;
;
;
;Programa Principal
;
;
ini
    ;Condiciones iniciales
    movlb 0           ;      BSR = 00

    ;Puertos para el LCD se necesita el puerto D, rc0 rc1 ra4 y ra5
    bcf TRISA,4       ;      (RS)
    ;
    bsf TRISA,5       ;      (Backlight)

    ;Teclado en PORTB
    movlw b'11111111' ;      Configuración de PORTB para
teclado
    movwf TRISB       ;      PORTB entradas digitales
    clrf PORTB
    clrf LATB
    bsf INTCON2,7     ;      Pull ups PORTB

    ;LCD en PORTC y PORTD
    clrf PORTC        ;      Configuración de PORTC

```



```

clr POSTINC0
clr POSTINC0
clr POSTINC0
clr POSTINC0
clr POSTINC0

clr FSR1H
movlw 0x50
movwf FSR1L

movlw d'130'
movwf _dosientos_

        movlw '*'
        movwf TXREG
        bsf TXSTA,5           ;TXEN           es el primer
asterisco al serial
loop1  btfss TXSTA,1         ;TMRT
        goto loop1

        bsf ADCON0,0

        bsf INTCON,GIE
;+++++
inicio
        goto inicio

;+++++

;=====
;=====
;interrupciones

interrupt           ;           Atención a interrupción

;   btfsc PIR1,RCIF
;   call recept

        btfss PORTB,6
        call funcion_1
;           btfss PORTB,7
;           call funcion_2

        call vicosfi

;           btfsc funcion,1
;           call paprpp
        retfie
;=====
;=====
;Subrutinas de interrupción. 1er nivel
;

```

```
;Medidor de V I COSFI
```

```
funcion_1
```

```
    call cartel_vicosfi
    bsf funcion,0
    bcf funcion,1
    return
```

```
funcion_2
```

```
    call cartel_paprpp
    bsf funcion,1
    bcf funcion,0
    return
```

```
-----
```

```
;2do nivel
```

```
vicosfi
```

```
    bsf flag,0
```

```
    bcf ADCON0,5 ; Canal AN0 VR
```

```
    bcf ADCON0,4
```

```
    bcf ADCON0,3
```

```
    movff mayor_ch0,mayor
```

```
    call voltaje_pico ;
```

```
canal AN0
```

```
Obtiene el voltaje pico en el
```

```
    movf respVP,w
```

```
    movwf mayor_ch0
```

```
    movwf volr
```

```
    movlw 0xc6 ;
```

```
    movwf aux_chdir ; Dirección en LCD
```

```
    movf mayor_ch0,w
```

```
    call Voltaje
```

```
    movwf numero
```

```
    call imprime_num ;
```

```
(en decimal)
```

```
Muestra en el LCD el voltaje pico
```

```
    call dem_100ms
```

```
    bsf ADCON0,3 ;
```

```
Canal AN1 IR
```

```
    movff mayor_ch1,mayor
```

```
    call voltaje_pico ;
```

```
canal AN1
```

```
Obtiene el voltaje pico en el
```

```
    movf respVP,w
```

```
    movwf mayor_ch1
```

```
    movwf corr
```

```
    movlw 0xcd ;
```

```
    movwf aux_chdir ; Dirección en LCD
```

```
    btfss mayor_ch1,7
```

```
        clrf mayor_ch1
```

```
    bcf mayor_ch1,7
```

```
    movf mayor_ch1,w
```

```
    call Corriente
```

```
    mullw d'2'
```

```
    movf PRODL,w
```

```
    movwf numero
```

```

        call imprime_num;_corr           ;      Muestra en el LCD el
voltage pico (en decimal)
        call dem_100ms

        bsf ADCON0,4                   ;      Canal AN2 VS
        bcf ADCON0,3
        movff mayor_ch2,mayor
        call voltaje_pico               ;      Obtiene el voltaje pico en el
canal AN2
        movf respVP,w
        movwf mayor_ch2
        movwf vols

        movlw 0x9a;7                   ;      Dirección en LCD
        movwf aux_chdir
        movf mayor_ch2,w
        call Voltaje
        movwf numero
        call imprime_num               ;      Muestra en el LCD el voltaje pico
(en decimal)
        call dem_100ms

        bsf ADCON0,3                   ;      Canal AN3 IS
        movff mayor_ch3,mayor
        call voltaje_pico               ;      Obtiene el voltaje pico en el
canal AN3
        movf respVP,w
        movwf mayor_ch3
        movwf cors

        movlw 0xa1                     ;      Dirección en LCD
        movwf aux_chdir

        btfss mayor_ch3,7
        clrf mayor_ch3
        bcf mayor_ch3,7
        movf mayor_ch3,w

        call Corriente
        mullw d'2'
        movf PRODL,w
        movwf numero

        call imprime_num;_corr           ;      Muestra en el LCD el
voltage pico (en hexadecimal)
        call dem_100ms

        bsf ADCON0,5                   ;      Canal AN4 VT
        bcf ADCON0,4
        bcf ADCON0,3
        movff mayor_ch4,mayor
        call voltaje_pico               ;      Obtiene el voltaje pico en el
canal AN4
        movf respVP,w

```

```

        movwf mayor_ch4
        movwf volt

        movlw 0xda
        movwf aux_chdir
        movf mayor_ch4,w
        call Voltaje
        movwf numero
        call imprime_num
        call dem_100ms
        call dem_100ms

        bsf ADCON0,3
        movff mayor_ch5,mayor
        call voltaje_pico
        movf respVP,w
        movwf mayor_ch5
        movwf cort

        movlw 0xe1
        movwf aux_chdir

        btfss mayor_ch5,7
        clrf mayor_ch5
        bcf mayor_ch5,7
        movf mayor_ch5,w

        call Corriente
        mullw d'2'
        movf PRODL,w
        movwf numero

        call imprime_num;_corr
        call dem_100ms

        ; COSFI

        bsf bandera,cosfi

        sensorVR
        btfss PORTB,1
        goto sensorVR
        btfsc PORTB,0
        call cosphiR

        ; movff phi,phiR
        movff phi,numero
        call imprime_num
        clrf phi

        sensorVS
        btfss PORTB,3
        goto sensorVS

```

; Dirección en LCD
 ; Muestra en el LCD el voltaje pico (en hexadecimal)
 ; Canal AN5 IT
 ; Obtiene el voltaje pico en el canal AN5
 ; Dirección en LCD
 ; Muestra en el LCD el voltaje pico (en hexadecimal)
 ; COSFI

```

        btfsc PORTB,2
        call cosphiS

    movff phi,numero
        call imprime_num
        clrf phi

sensorVT
        btfss PORTB,5
        goto sensorVT
        btfsc PORTB,4
        call cosphiT

    movff phi,numero
        call imprime_num
        clrf phi

        movlw '*'
        movwf TXREG
        bsf TXSTA,5                ;TXEN                es el primer
asterisco al serial
loop2  btfss TXSTA,1                ;TMRT
        goto loop2

        bcf bandera,cosfi
        bcf flag,0

;    btfss funcion,0
;    return
;IMPRIMIR COSFI
;    movlw 0x51
;    movwf FSR0L
;    movlw 0xcf                    ;    Dirección en LCD
;        call chdir
;    movff POSTINC0,PORTD
;        call pulse
;        call dem_40us
;    movlw 0xd0                    ;    Dirección en LCD
;        call chdir
;    movlw '.'
;    movwf PORTD
;    call pulse
;    call dem_40us
;    movlw 0xd1                    ;    Dirección en LCD
;        call chdir
;    movff POSTINC0,PORTD
;        call pulse
;        call dem_40us
;    movlw 0xd2                    ;    Dirección en LCD
;        call chdir
;    movff POSTINC0,PORTD
;        call pulse
;        call dem_40us
;    movlw 0xa3                    ;    Dirección en LCD

```

```

;           call chdir
;   movff POSTINC0,PORTD
;           call pulse
;           call dem_40us
;   movlw 0xa4           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movlw '.'
;   movwf PORTD
;   call pulse
;   call dem_40us
;   movlw 0xa5           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movff POSTINC0,PORTD
;           call pulse
;           call dem_40us
;   movlw 0xa6           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movff POSTINC0,PORTD
;           call pulse
;           call dem_40us
;   movlw 0xe3           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movff POSTINC0,PORTD
;           call pulse
;           call dem_40us
;   movlw 0xe4           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movlw '.'
;   movwf PORTD
;   call pulse
;   call dem_40us
;   movlw 0xe5           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movff POSTINC0,PORTD
;           call pulse
;           call dem_40us
;   movlw 0xe6           ;   Dirección en LCD
;           call chdir
;   movff INDF0,PORTD
;           call pulse
;           call dem_40us
;   return

recept return
;   movlw 0x50
;   movwf FSR1L
;   bcf INTCON,GIE
;recept_loop
;   bcf PIR1,RCIF
;   movf RCREG,w
;   movwf POSTINC1
;   clrf RCREG
;   sublw '#'
;   btfsc STATUS,Z
;   call rotatefsr1

```

```

;   btfss PIR1,RCIF
;   goto $ - 2
;   incf contador_bucle
;   movlw d'18'
;   subwf contador_bucle,w
;   btfss STATUS,Z
;   goto recept_loop
;   bsf INTCON,GIE
;   return

;rotatefsr1
;   movlw 0x50
;   movwf FSR1L
;   movlw '#'
;   movwf POSTINC1
;   clrf contador_bucle
;   return

   movf RCREG,w
   movwf POSTINC1
   clrf RCREG
   sublw '#'
   btfsc STATUS,Z
   call rotatefsr1
;   bsf INTCON,GIE
   return

rotatefsr1
   movlw 0x50
   movwf FSR1L
   movlw '#'
   movwf POSTINC1
   return

cosphiR
;   decfsz _dosientos_
;   return
;   movlw d'130'
;   movwf _dosientos_
;   incf phi,1

cosphi1
   btfss PORTB,0
   return
   incf phi,1

;   movf phi,w
;   sublw d'255'
;   btfsc STATUS,Z
;   return ;   call retorna_phi0

   btfsc PORTB,0
   goto cosphi1
   return

cosphiS

```

```

        incf phi,1
cosphi2

        btfss PORTB,2
        return
        incf phi,1

; movf phi,w
; sublw d'255'
; btfsc STATUS,Z
; goto retorna_phi0

        btfsc PORTB,2
        goto cosphi2
        return
cosphiT
        incf phi,1
cosphi3

        btfss PORTB,4
        return
        incf phi,1

; movf phi,w
; sublw d'255'
; btfsc STATUS,Z
; goto retorna_phi0

        btfsc PORTB,4
        goto cosphi3
        return

retorna_phiR_0
    incf phi1,1
    clrf phi
    return
retorna_phi0
    clrf phi
    return

;Medidor de PA PR PA
paprpp ;return
    movlw 0x94
    call chdir
    movlw 0x50;1
    movwf FSR0L
    movff POSTINC0,PORTD
    call pulse
    call dem_40us
    movlw 0x95
    call chdir
    call print_k
    movlw 0x96

```

; Dirección en LCD

; Dirección en LCD

```

        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
call pulse
        call dem_40us
movlw 0x97                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0x99                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0x9a
call chdir
call print_k
movlw 0x9b                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0x9c                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0x9e                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0x9f
call chdir
call print_k
movlw 0xa0                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0xa1                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us

movlw 0xa4                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0xa5                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movlw '.'
movwf PORTD

```

```

        call pulse
        call dem_40us
movlw 0xa6                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff POSTINC0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us
movlw 0xa7                ;   Dirección en LCD
        call chdir
movff INDF0,PORTD
        call pulse
        call dem_40us

        return
;-----
;Subrutinas Funciones Básicas
;-----
voltaje_pico                ;   Subrutina de obtención de
voltaje_pico
        bsf ADCON0,2                ;   go
loopVP
        btfsc ADCON0,2
        goto loopVP
        movff ADRESH,anterior
        movf anterior,w
        subwf mayor,w
        btfss STATUS,C
        movff anterior,mayor
        movff mayor,respVP
        decfsz VP_cont,1
        goto voltaje_pico
        movlw d'255'
        movwf VP_cont
        decfsz VP_cont1,1
        goto voltaje_pico
        movlw d'6'
        movwf VP_cont1
        clrf mayor
        clrf mayor_ch0
        clrf mayor_ch1
        clrf mayor_ch2
        clrf mayor_ch3
        clrf mayor_ch4
        clrf mayor_ch5
        clrf anterior
        return
imprime_num
        movff numero,aux_numero
again_num_up
        movlw d'100'
        subwf numero,1
        btfsc STATUS,C
        goto inc_num_up
        movff num_up,numWR
        call escribe_numero

```

```

        incf aux_chdir
        btfsc bandera,p
        call punto_mil
        movf num_up,w
        mullw d'100'
        movf PRODL,w
        subwf aux_numero,1
        movff aux_numero,numero
again_num_high
        movlw d'10'
        subwf numero,1
        btfsc STATUS,C
        goto inc_num_high
        movff num_high,numWR
        call escribe_numero
        incf aux_chdir
        btfsc bandera,corrient
        call punto_decimal
        movf num_high,w
        mullw d'10'
        movf PRODL,w
        subwf aux_numero,1
        movff aux_numero,numero
        movff numero,numWR
        call escribe_numero
        clrf num_up
        clrf num_high
        clrf num_low
        clrf numero
        return
inc_num_up
        incf num_up
        goto again_num_up
inc_num_high
        incf num_high
;        movf num_high,w
        goto again_num_high

punto_decimal
        movlw d'16'
        movwf numWR
        call escribe_numero
        incf aux_chdir
        bcf bandera,corrient
        return
punto_mil
        movlw d'17'
        movwf numWR
        call escribe_numero
        incf aux_chdir
        return

imprime_num_corr
        movff numero,aux_numero
again_num_up_corr

```

```

        movlw d'100'
        subwf numero,1
        btfsc STATUS,C
        goto inc_num_up_corr

        movf num_up,w
        mullw d'100'
        movf PRODL,w
        subwf aux_numero,1
        movff aux_numero,numero
again_num_high_corr
        movlw d'10'
        subwf numero,1
        btfsc STATUS,C
        goto inc_num_high_corr

        movf num_high,w
        mullw d'10'
        movf PRODL,w
        subwf aux_numero,1
        movf aux_numero,w
movwf numero
movwf num_low
movlw d'2'
mulwf numero
movff PRODL,num_low

; if num_low >> 0x09
    movlw d'2'
    mulwf num_high
    movff PRODL,num_high
movf num_low,w
sublw 0x09

btfss STATUS,C
    call aux_inc_num_high
;    incf num_high,1
;    movlw 0x0a
;    subwf num_low,w
;    movwf num_low
; else
;    movlw d'2'
;    mulwf num_high
;    movff PRODL,num_high
; endif

; if num_high >> 0x09
    movlw d'2'
    mulwf num_up
    movff PRODL,num_up
movf num_high,w
sublw 0x09
btfss STATUS,C
    call aux_inc_num_up

```

```

;      incf num_up,1
;      movlw 0x0a
;      subwf num_high,w
;      movwf num_high
;
;   else
;
;      movlw d'2'
;      mulwf num_up
;      movff PRODL,num_up
;
;   endif
;
;   endif

movff num_up,numWR
      call escribe_numero
      incf aux_chdir
movff num_high,numWR
      call escribe_numero
      incf aux_chdir
movlw d'16'
      movwf numWR
      call escribe_numero
      incf aux_chdir
movff num_low,numWR
      call escribe_numero
;      incf aux_chdir

;
;      movff numero,numWR
;      call escribe_numero
      clrf num_up
      clrf num_high
      clrf num_low
      clrf numero
      return

inc_num_up_corr
      incf num_up
      goto again_num_up_corr
inc_num_high_corr
      incf num_high
;      movf num_high,w
      goto again_num_high_corr
aux_inc_num_high
      incf num_high,1
      movlw 0x0a
      subwf num_low,w
      movwf num_low
      return
aux_inc_num_up

      incf num_up,1
      movlw 0x0a
      subwf num_high,w
      movwf num_high
return

```

Voltaje

```

mullw d'127'
clrf resp
movlw d'255'
subwf PRODL,1
btfsc STATUS,Z
incf resp,1
movf PRODH,w
btfsc STATUS,Z
goto fin_v
    
```

again_v

```

incf resp,1
incf PRODL,1
btfsc STATUS,Z
incf PRODH,1
decfsz PRODH,1
goto again_v
    
```

fin_v

```

movf resp,w
    
```

; 255 = 200v respuesta en

w

```

return
    
```

Corriente

```

bsf bandera,corrient
mullw d'212'
    
```

clrf resp

```

movlw d'255'
subwf PRODL,1
btfsc STATUS,Z
incf resp,1
movf PRODH,w
btfsc STATUS,Z
goto fin_c
    
```

again_c

```

incf resp,1
incf PRODL,1
btfsc STATUS,Z
incf PRODH,1
decfsz PRODH,1
goto again_c
    
```

fin_c

```

movf resp,w
return
    
```

```

;-----
;Subrutinas de Display
;-----
    
```

cartel_inicio

```

call cur_off
call clrdisp
call ini_ptr2
movlw 0x87
call chdir
    
```

```

;
; Cartel de Inicio
; "SAMPLER"
    
```



```

        movwf index_ini
        movlw d'60'
        movwf index_end
        call write
        return
cartel_paprpp
        call cur_off           ; "PA PR PP"
        call clrdisp
        call ini_ptr2
        movlw 0x81
        call chdir
        movlw d'60'
        movwf index_ini
        movlw d'64'
        movwf index_end
        call write
        movlw 0x86
        call chdir
        movlw d'64'
        movwf index_ini
        movlw d'68'
        movwf index_end
        call write
        movlw 0x8B
        call chdir
        movlw d'68'
        movwf index_ini
        movlw d'72'
        movwf index_end
        call write
        movlw 0x8F
        call chdir
        movlw d'44'
        movwf index_ini
        movlw d'54'
        movwf index_end
        call write
        return
cartel_error
        call clrdisp
        clrf funcion
        call ini_ptr2
        movlw 0x87
        call chdir
        movlw d'72'
        movwf index_ini
        movlw d'82'
        movwf index_end
        call write
        return
escribe_numero;
        escribe el numero que le mandes , en el registro numWR , con la direccion
en W
        movf aux_chdir,w
        call chdir

```

```
        call ini_ptr1
        movlw d'2'
        mulwf numWR;
        movff PRODL,index_ini
        addwf PRODL
        movff PRODL,index_end;
        call write
        return
print_k
    call ini_ptr1
    movlw d'34'
    movwf index_ini
    movlw d'36'
    movwf index_end
    call write
    return
;-----
    end
;-----
```