



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

***DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MEDIDOR
DIGITAL DE ENERGIA TRIFASICO***

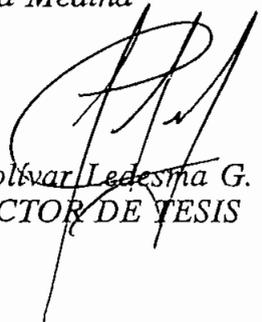
**Tesis previa a la obtención del título en
Ingeniería en la especialización de
ELECTRONICA Y CONTROL**

KATHERINE SOSA MEDINA

Quito junio, 1993

*Certifico que el presente trabajo de tesis
ha sido realizado en su totalidad por la
señorita:*

Katherine Sosa Medina



Ing. Bolívar Ledesma G.
DIRECTOR DE TESIS

Agradecimiento :

Al Sr. Ing. Bolívar Ledesma por su valioso aporte humano y científico y, sobre todo por su entrega a la labor docente y de investigación en la E.P.N.

Dedicatoria :

*A mis padres Elvia y José por el esfuerzo diario
realizado, que en este trabajo encuentren el primer
fruto de lo que con ahínco han sembrado.
A Juan Carlos por su cariño, apoyo y comprensión.*

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	1
--------------------	---

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1 DEFINICIONES BASICAS:

1.1.1 Funciones de excitación	4
1.1.2 Valor promedio	8
1.1.3 Valor medio cuadrático	8
1.1.4 Factor pico	11
1.1.5 Factor de forma	11
1.1.6 Factor de rizado	11
1.1.7 Distorsión armónica total	12
1.1.8 Potencia instantánea y Energía eléctrica	13
1.1.9 Potencia aparente	13
1.1.10 Potencia activa, real o media	14
1.1.11 Potencia reactiva	15
1.1.12 Potencia de distorsión o residual	16
1.1.13 Factor de potencia	17

1.2 TECNICAS DE ESTIMACION DE PARAMETROS ELECTRICOS:

1.2.1 Muestreo de la señal AC escalada	18
1.2.2 Muestreo de la señal AC escalada y rectificada	19
1.2.3 Muestreo de la señal DC	20

1.3 ANALISIS DE LA ONDA TRIANGULAR Y SINUSOIDAL

22

1.4 DETERMINACION DE LOS VALORES RMS DE VOLTAJE Y CORRIENTE:

1.4.1 Voltaje RMS	24
1.4.2 Corriente RMS	25
1.4.3 Determinación del factor de potencia	26
1.4.4 Determinación de frecuencia	28
1.4.5 Determinación de potencia aparente, activa y reactiva	28
1.4.5.1 Potencia aparente	28
1.4.5.2 Potencia activa	29
1.4.5.3 Potencia reactiva	30
1.4.6 Determinación de energía	31

**CAPITULO 2
ESPECIFICACIONES Y DISEÑO**

2.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA: 33

 2.1.1 Especificaciones de entrada 36

 2.1.2 Despliegue de valores medidos 37

2.2 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA:

 2.2.1 Diagrama de bloques 38

 2.2.2 Descripción del sistema 39

 2.2.2.1 Módulo 1 - Tarjeta de control 40

 2.2.2.2 Módulo 2 - Tarjeta de capacitación y adaptación
 de señales 47

 2.2.2.3 Módulo 3 - Tarjeta de comunicación con el usuario 50

 2.2.2.4 Fuente de alimentación 54

 2.2.2.5 Protecciones 54

 2.2.3 Diseño del circuito de adquisición de datos 54

**CAPITULO 3
DESARROLLO DEL SOFTWARE**

3.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE SOFTWARE 66

3.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA

 3.2.1 Programa principal 73

 3.2.2 Rutina de atención a la interrupción serial 78

 3.2.3 Rutina de atención a las interrupciones externas 78

 3.2.3.1 EXINT0 80

 3.2.3.2 EXINT1 81

 3.2.4 Rutina para medir la frecuencia de la RED 82

 3.2.5 Rutina de factor de potencia 84

 3.2.6 Rutina de adquisición de datos 86

 3.2.7 Rutina de voltaje y corriente del conversor A/D 87

 3.2.8 Rutina de promediación y almacenamiento binario 89

 3.2.9 Rutina de escalamiento de voltaje y la corriente 91

 3.2.10 Rutina para desplazar los dígitos BCD del voltaje 96

3.2.10.1	DESPLAZARV	96
3.2.10.2	DESPLAZARI	98
3.2.11	Rutina de cálculo de potencia aparente S	99
3.2.12	Rutina de cálculo de potencia activa P	101
3.2.13	Rutina de cálculo de potencia reactiva Q	102
3.2.14	Determinación de parámetros trifásicos S, P, Q y f_p	103
3.2.15	Rutina de cálculo de energía	104
3.2.16	Rutina de actualización del display	104
3.2.17	Rutina de teclado	113
3.2.18	Rutina de encabezado del display	114
3.2.19	Rutina de manejo del display	116
3.2.19.1	MOVCURSOR	116
3.2.19.2	PRINTCHAR	117
3.2.19.3	PRINTDIG	119
3.2.19.4	CLEARLCD	120
3.2.19.5	RESETDISP	121
3.2.19.6	PROMLCD	122
3.2.19.7	RETARDO	124
3.2.20	Rutina para transformar un número binario a su equivalente BCD	124
3.2.21	Rutina para sumar 2 números de N bytes y hacer ajuste decimal	127
3.2.22	Rutinas auxiliares	128
3.2.22.1	MULTIPLICAR	128
3.2.22.2	DIVISION	129
3.2.22.3	SUMA	129
3.2.22.4	RESTA	130

3.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR131

CAPITULO 4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1	OPERACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	141
4.2	OPERACION DEL MEDIDOR DIGITAL DE ENERGIA	143
4.3	CONEXIONES DEL MEDIDOR DE ENERGIA	158
4.4	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL EQUIPO	164
4.5	COMPARACION CON OTROS EQUIPOS COMERCIALES	171

CAPITULO 5
CONCLUSIONES

5.1	ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	175
5.2	ANALISIS TECNICO - ECONOMICO	176
5.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	180

BIBLIOGRAFIA	184
---------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A:	Listado del Programa en Assembler
ANEXO B:	Tarjetas impresas y distribución de componentes
ANEXO C:	Manual del Display
ANEXO D:	Manual de la tarjeta MCPD51DA

INTRODUCCION:

Los medidores de energía cada día cobran mayor importancia; es así que a través del desarrollo de este tema de tesis se ha diseñado y llevado a construcción el prototipo de un medidor digital de energía y de los demás parámetros eléctricos trifásicos de la red de alimentación como son voltaje, corriente, potencias aparente, activa, reactiva, frecuencia y factor de potencia, en base a un microcontrolador de la familia MCS-51, en el que se busca como objetivo fundamental la reducción del costo del aparato sin dejar de lado características técnicas importantes inherentes al equipo, ofreciendo al mercado local una alternativa que sea competitiva tanto a nivel tecnológico como económico. Cabe indicar que el equipo está diseñado para aplicaciones de captación de datos y estudios eléctricos en acometidas industriales, en cámaras de transformación, subestaciones y centrales de generación; y no para uso residencial

La diferencia fundamental del prototipo actualmente desarrollado con los convencionales, radica en la no utilización de partes mecánicas o móviles y la concepción de un equipo totalmente en estado sólido. Es decir, se suprime el medidor convencional con disco de inducción y en su lugar se utilizan componentes eléctricos y electrónicos para medir la magnitud del voltaje, corriente y ángulo de fase, en base al cual el μ C INTEL 8752 calcula los demás parámetros eléctricos.

Además, se realizan mediciones independientes en las tres fases del sistema, para luego totalizarlas vectorialmente y proveer al usuario todos los datos del sistema trifásico.

El trabajo incluye el desarrollo de hardware y software para funcionamiento del equipo,

adicionalmente constan las pruebas realizadas, garantizando así la solvencia técnica del mismo, y su buena operación dentro de las especificaciones indicadas.

El equipo cuenta con memoria del tipo EPROM donde se aloja el programa en assembler y RAM no volátil para almacenar los datos de energía.

Adicionalmente dispone de una interfaz serial de norma EIA RS-232C para comunicarse con un computador y de esta manera descargar datos almacenados en el equipo para su posterior análisis.

El medidor digital de energía ha sido diseñado usando modernos componentes digitales y materiales de alta calidad disponibles en el mercado, y construido mediante técnicas circuitales adecuadas para hacer de él un equipo altamente confiable. La combinación de dichas características, sumadas a su acabado pretenden dar como resultado un equipo que puede ser considerado libre de problemas y que prácticamente no va a requerir mantenimiento.

Los sistemas digitales que se establecen teniendo como base un circuito microcontrolador, son diseñados y construidos con el propósito de ejecutar una tarea específica en forma automática; en este caso las diferentes acciones que lleva a cabo el equipo están especificadas en su respectivo software, convirtiéndose éste en una de las partes más importantes y que merece toda la atención del caso; en razón a que toda la parte circuital y tanto sensores como actuadores van a permitir que se cumpla la tarea prevista bajo la supervisión del microcontrolador.

Para una mejor comprensión de los objetivos planteados, se ha dividido este trabajo en cuatro capítulos a saber:

En el primer capítulo se indica el fundamento que se sigue para el desarrollo de hardware y software del sistema, incluyendo métodos y justificaciones para la medición y estimación de parámetros eléctricos.

El capítulo segundo contiene las especificaciones y diseño del hardware del sistema, el detalle de los circuitos que lo componen, sus características y funcionamiento.

El tercer capítulo recopila los requerimientos de software del sistema, los parámetros tomados en cuenta para su desarrollo, la estructura general del programa, el detalle de las subrutinas que se ejecutan en el microcontrolador, su funcionamiento y modo de uso.

En el capítulo cuarto se anotan los resultados experimentales a los que se ha llegado una vez que se ha probado el equipo, se determinan los alcances y las limitaciones que el equipo presenta con relación a otros medidores de similares características.

Finalmente, el capítulo quinto incluye una serie de conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo realizado, las mismas que serán de ayuda en el desarrollo de futuros proyectos que se relacionen con el tema aquí presentado.

CAPITULO 1:

GENERALIDADES

CAPITULO 1

1.1 DEFINICIONES BASICAS

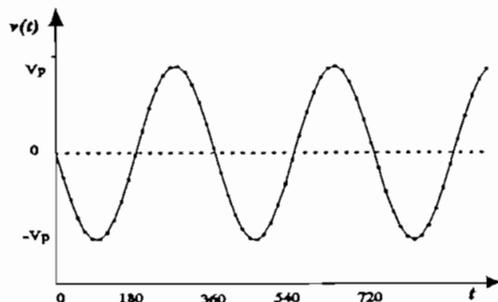
1.1.1 FUNCIONES DE EXCITACION:

Las fuentes primarias de energía eléctrica son:

- a) generadores de voltaje alterno, y,
- b) acumuladores o baterías, que proporcionan voltaje continuo.

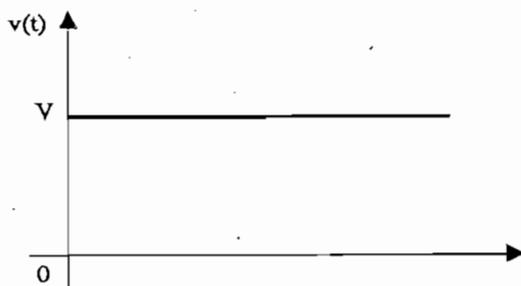
Las expresiones matemáticas que describen al voltaje entregado por las fuentes, en función del tiempo, se denominan *Funciones Elementales* de excitación, y pueden ser representadas de la siguiente manera:

Fuentes de alterna:



$$v(t) = V_p \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (1.1)$$

Fuentes de continua:



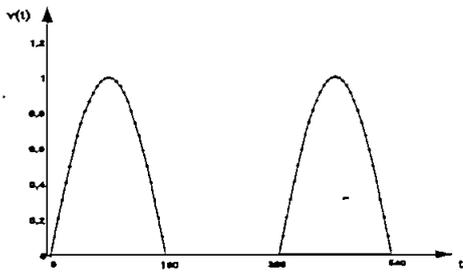
$$v(t) = V \quad (1.2)$$

La función sinusoidal, se caracteriza por su amplitud (V_p), frecuencia angular ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$) y por el ángulo de fase (ϕ). El período de la función es T , y su inversa corresponde a la frecuencia ($f = 1/T$).

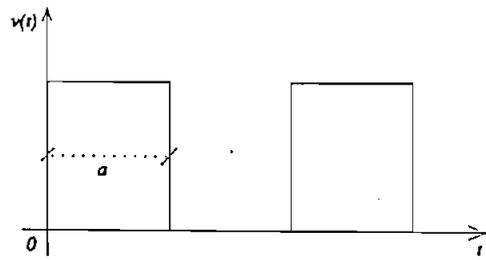
La función del voltaje continuo, llamada también función paso, tiene una amplitud constante (V) y un período (T) que se considera infinito, en este caso su frecuencia resulta ser igual a cero.

A partir de las funciones elementales y con la ayuda de los convertidores de energía eléctrica, se pueden obtener otras funciones de excitación. ^[1] A continuación se indican algunas de ellas:

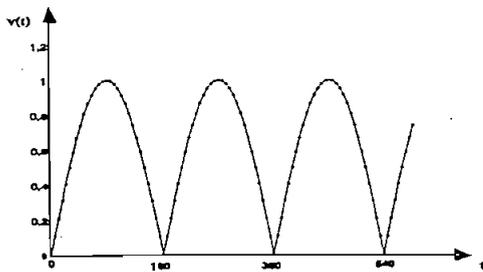
[1] BANDA H. "Fundamentos de Control Electrónico Industrial", CENDES-EPN, 1985



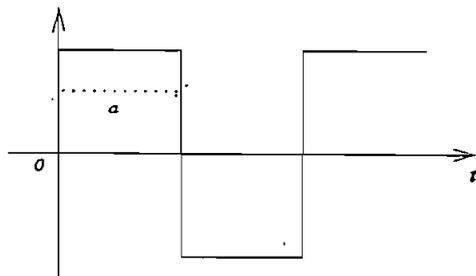
(a)



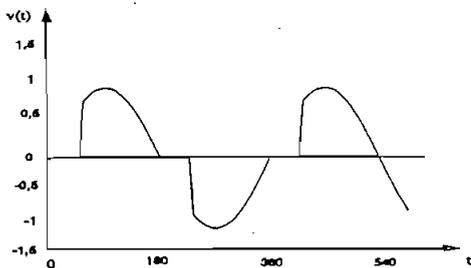
(d)



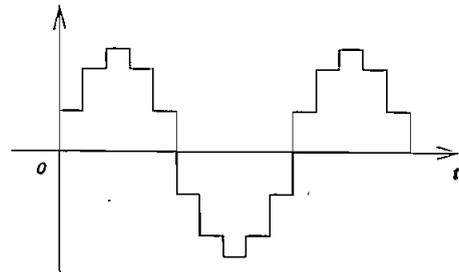
(b)



(e)



(c)



(f)

- a. función continua rectificada en media onda
- b. función continua rectificada en onda completa
- c. función alterna con control de fase
- d. función pulsos continuos (onda cuadrada continua)
- e. función pulsos alternos (onda cuadrada alterna)
- f. función pulsos alternos escalonados

Las funciones de excitación derivadas de funciones elementales, generalmente son periódicas. A estas se las denomina *Ondas complejas o distorsionadas*.

Toda función periódica compleja, que cumpla con las condiciones de DIRICHLET, puede ser representada por un conjunto infinito de funciones elementales, al que se denomina *Serie de Fourier*.^[2]

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega t + B_n \text{senn}\omega t) \quad (1.3)$$

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \text{sen}(n\omega t + \phi_n) \quad (1.4)$$

Donde los coeficientes están dados por:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cdot dt \quad (1.5)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos n\omega t \cdot dt \quad (1.6)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \text{senn}\omega t \cdot dt \quad (1.7)$$

$$C_n = (A_n^2 + B_n^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.8)$$

$$\phi_n = \text{tg}^{-1} \left(\frac{A_n}{B_n} \right) \quad (1.9)$$

Mientras mayor cantidad de términos de la serie infinita se consideran en la composición, mayor será la aproximación del resultado a la función compleja original.

[2] DEMIDOVICH B. "Problemas y ejercicios de Análisis Matemático", Brasil 1985

El término A_0 en la expresión corresponde a la magnitud de la componente de frecuencia cero o *Componente Continua*, el sumatorio agrupa a las funciones sinusoidales de amplitud C_n , frecuencia angular $n\omega$ y ángulo de fase ϕ_n , conocidas con el nombre de *Componente Alterna*. Aquella correspondiente a $n = 1$ es la *Componente Fundamental* y las otras se denominan *Componentes Armónicas* de orden n .

La expresión 1.4, define además el *Espectro de Frecuencias* de la función $f(t)$.

La mayoría de los conceptos relacionados con las variables eléctricas, se las ha definido tomando en cuenta las funciones elementales de excitación:

1.1.2 VALOR PROMEDIO:

El valor promedio de una función $f(t)$, es la media aritmética de sus valores instantáneos, dentro de un período T . Por definición,

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cdot dt \quad (1.10)$$

La expresión 1.5 de la componente continua A_0 es equivalente a la definición dada por la expresión (1.10) por tanto, dicho coeficiente representa el valor medio de la función compleja.

1.1.3 VALOR MEDIO CUADRÁTICO:

Para una función periódica $f(t)$, está definido por,

$$V_{RMS} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.11)$$

En el sentido físico, el valor RMS de una función periódica de voltaje o corriente, corresponde a la amplitud del voltaje o corriente continua constante, que origina igual disipación de potencia sobre una resistencia eléctrica.

Consideremos el caso de una función sinusoidal:

$$f(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (1.12)$$

$$V_{RMS} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T [A \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)]^2 \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.13)$$

$$V_{RMS} = \left[\frac{A^2}{2T} \int_0^T [1 - \cos^2(\omega t + \phi)] \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.14)$$

$$V_{RMS} = \left[\frac{A^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{A}{\sqrt{2}} \quad (1.15)$$

Usualmente, para especificar una fuente de voltaje sinusoidal, se indica su valor RMS y su frecuencia. Así, cuando se indica que la fuente es 110 Vac, 60 Hz, se entiende que la función sinusoidal, tiene una amplitud igual a $110\sqrt{2}$ (expresión 1.15) y una frecuencia angular igual a $120 \cdot \pi$ rad / seg, su expresión será:

$$v(t) = 110 \cdot \sqrt{2} \cdot \text{sen}(120\pi t + \phi) \quad (1.16)$$

El ángulo de fase ϕ puede escogerse libremente, según convenga (generalmente $\phi = 0$).

Si se aplica la definición a una función compleja (1.4) se obtiene la expresión conocida como

Teorema de Parseval. [3]

$$V_{RMS} = \left[A_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{C_n}{\sqrt{2}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.17)$$

[3] BANDA H. "Fundamentos de Control Electrónico Industrial", CENDES-EPN, 1985

Esta expresión indica que el valor RMS total de una onda compleja es igual a la combinación cuadrática del valor RMS de la componente continua y del valor RMS de la componente alterna.

$$V_{RMS} = [V_{RMS_0}^2 + V_{RMS_{AC}}^2]^{1/2} \quad (1.18)$$

$$V_{RMS_0} = A_0 \quad (1.19)$$

$$V_{RMS_{AC}} = \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{C_n}{\sqrt{2}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.20)$$

La magnitud indicada $(C_n / \sqrt{2})$, corresponde al valor RMS de la componente armónica de orden n.

Aplicando los conceptos anteriores, para el caso general, las funciones complejas de voltaje y corriente, pueden ser escritas como:

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} \cdot V_n \cdot \text{sen}(n\omega t + \phi_{v_n}) \quad (1.21)$$

$$i(t) = I_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \sqrt{2} \cdot I_m \cdot \text{sen}(m\omega t + \phi_{i_m}) \quad (1.22)$$

Por tanto sus valores RMS, resultarían iguales a:

$$V = (V_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n^2)^{1/2} = \left(\sum_{n=0}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2} \quad (1.23)$$

$$I = (I_0^2 + \sum_{m=1}^{\infty} I_m^2)^{1/2} = \left(\sum_{m=0}^{\infty} I_m^2 \right)^{1/2} \quad (1.24)$$

1.1.4 FACTOR PICO:

Se define como la relación entre la máxima amplitud y el valor RMS de una función periódica.

$$K_F = \frac{A_{MAX}}{V_{RMS}} \quad (1.25)$$

1.1.5 FACTOR DE FORMA: ^[4]

Indica el grado de distorsión de una onda respecto a la continua y corresponde a la relación entre el valor RMS y el valor medio de una función periódica. Siempre el factor de forma es mayor o igual a 1.

$$F = \frac{V_{RMS}}{V_{MED}} \geq 1 \quad (1.26)$$

En el caso de las señales periódicas que tienen valor medio cero, por ejemplo la sinusoidal, el factor de forma sería infinito, por tanto se define:

$$F = \frac{V_{RMS}}{V_{MED}(\text{módulo})} \quad (1.27)$$

Donde: V_{MED} (módulo) equivale a encontrar el valor medio de la señal rectificadas.

1.1.6 FACTOR DE RIZADO: ^[4]

Es la relación entre el valor medio cuadrático de la componente alterna y el valor medio de una función periódica.

^[4] RASHID M. H. "Power Electronics", Prentice-Hall International, 1988

$$\gamma = \frac{[\sum_{n=1}^{\infty} (\frac{C_n}{\sqrt{2}})]^{1/2}}{A_0} = \frac{V_{RMS_{AC}}}{A_0} \quad (1.28)$$

Tomando en consideración la expresión (1.18) resulta

$$\gamma = \frac{[V_{RMS}^2 - A_0^2]^{1/2}}{A_0} \quad (1.29)$$

Además de la ecuación (1.26) se tiene que:

$$\gamma = [F^2 - 1]^{1/2} \quad (1.30)$$

Debido a que la función continua constante, tiene un factor de forma unitario y factor de rizado nulo, se puede considerar al factor de rizado como un indicador del grado de diferencia que existe entre la función compleja y la función elemental continua constante.

En general, si una función compleja tiene un factor de rizado menor que un 1%, se la puede considerar como una función continua constante.

1.1.7 DISTORSION ARMONICA TOTAL:

Está definida por la relación entre el valor medio cuadrático de las componentes armónicas, a partir de la segunda, y el valor medio cuadrático de la componente fundamental.

$$D_A = \frac{[\sum_{n=2}^{\infty} (\frac{C_n}{\sqrt{2}})]^{1/2}}{\frac{C_1}{\sqrt{2}}} = \frac{[\sum_{n=2}^{\infty} C_n^2]^{1/2}}{C_1} = THD \quad (1.31)$$

La función sinusoidal elemental, no posee distorsión armónica, por tanto el factor de distorsión puede considerarse como un indicador de la diferencia existente entre una onda compleja y una sinusoidal elemental.

En general, una función con distorsión armónica total inferior al 5%, puede ser considerada como si fuere una senoide elemental.

1.1.8 POTENCIA INSTANTANEA Y ENERGIA ELECTRICA:

La potencia instantánea, es igual al producto de las funciones de voltaje y corriente, en un determinado dispositivo.

Representa la relación de transferencia de energía con respecto al tiempo.

$$p = v(t).i(t) = \frac{dE}{dt} \quad (1.32)$$

Consecuentemente, la energía eléctrica, estará dada por la integral indefinida,

$$E = \int v.i.dt \quad (1.33)$$

1.1.9 POTENCIA APARENTE:

Se define como el producto de los valores medios cuadráticos (RMS) del voltaje y de la corriente, en un determinado dispositivo.

$$S = V.I \quad (1.34)$$

Utilizando (1.23) y (1.24) se tiene:

$$S = \left[\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} V_n^2 \cdot I_m^2 \right]^{1/2} \quad (1.35)$$

La dimensión de la potencia aparente es *Voltios * Amperio*, pero no tiene naturaleza física. Representa la capacidad de transferencia de energía de un sistema. Para distinguirla de las cantidades físicas reales (potencia instantánea y potencia media), se la denomina *Voltamperios Aparentes*.

1.1.10 POTENCIA ACTIVA, REAL O MEDIA:

Constituye la potencia efectivamente consumida por un circuito, y está definida como el valor medio de la expresión que representa la potencia instantánea.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \cdot dt \quad (1.36)$$

Utilizando las expresiones (1.21) y (1.22) se obtiene:

$$P = V_0 \cdot I_0 + \sum_{n=0}^{\infty} V_n \cdot I_n \cdot \cos(\phi_{v_n} - \phi_{i_n}) \quad (1.37)$$

En el caso general, la potencia activa resulta igual a la suma de la potencia de las componentes continuas, y la potencia media de las componentes alternas.

A la potencia real, solamente contribuyen los productos entre los valores RMS de las componentes espectrales de corriente y voltaje, que son del mismo orden, con el coseno del ángulo de defasaje entre la respectiva componente de voltaje y de corriente.

Cada término del sumatorio corresponde a la parte real del *Fasor de Potencia* de la respectiva componente armónica.

1.1.11 POTENCIA REACTIVA:

Se utiliza esta expresión, para designar al vaivén de energía entre la fuente y la carga, de allí que el término POTENCIA no es muy apropiado para este caso, y se prefiere usar el término *Voltamperios Reactivos*.

Para posibilitar el cálculo de los voltamperios reactivos, con la misma exactitud que la potencia media, se define como potencia reactiva al producto del valor RMS del voltaje, con el valor RMS de la componente de corriente que está en cuadratura con el voltaje. En el caso general, cuando las funciones de voltaje o corriente son complejas, para cada componente armónico de potencia real (media), existirá una componente de potencia reactiva en cuadratura, dando como resultado la potencia reactiva total que es igual al sumatorio de todas las componentes armónicas de potencia reactiva.

De (1.37) resulta,

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot I_n \cdot \text{sen}(\Phi_{v_n} - \Phi_{i_n}) \quad (1.38)$$

Cabe señalar que en el caso de tener ondas complejas, la potencia reactiva puede o no estar asociada con el almacenamiento de energía en campos de fuerza (elementos reactivos lineales).

1.1.12 POTENCIA DE DISTORSION O RESIDUAL: [5]

Las componentes P y Q forman el denominado FASOR de POTENCIA, cuyo módulo, en la definición generalizada, es menor que la magnitud de la potencia aparente S. Esto indica que existe una tercera componente ortogonal de potencia que conjuntamente con P y Q conforma el *Vector de Potencia*. En este caso el módulo representa la potencia aparente. Consecuentemente, la potencia de distorsión se define como una componente ortogonal al fasor de potencia, con un módulo dado por:

$$D = [S^2 - P^2 - Q^2]^{1/2} \quad (1.39)$$

Utilizando las expresiones (1.35), (1.37) y (1.38) se obtiene:

$$D = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} [V_n^2 I_m^2 - V_n V_m I_n I_m \cos(\psi_n - \psi_m)]^{1/2} \quad (1.40)$$

Donde:

$$\psi_n = (\phi_{v_n} - \phi_{i_n}) \quad (1.41)$$

$$\psi_m = (\phi_{v_m} - \phi_{i_m}) \quad (1.42)$$

Para los casos en que la distorsión armónica del voltaje y de la corriente es cero, la componente D queda anulada.

[5] BANDA H. "Fundamentos de Control Electrónico Industrial", CENDES-EPN, 1985

$d_{i_n} = \frac{I_n}{I}$ = Factor espectral de la n -ésima componente de la corriente

$\cos\phi_n$ = Factor de desplazamiento para el armónico de orden n

1.2 TECNICAS DE ESTIMACION DE PARAMETROS ELECTRICOS

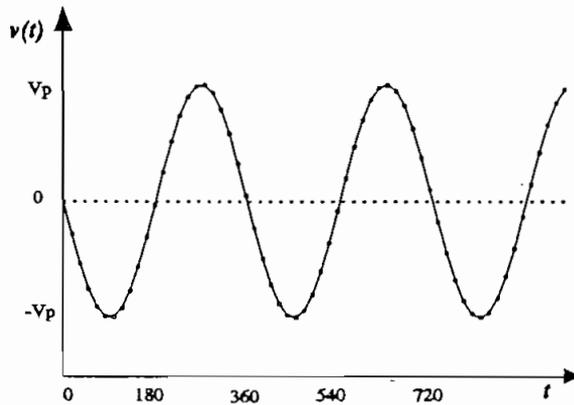
En el equipo que se va a desarrollar, los valores de potencia y energía no van a ser medidos directamente. Estos serán determinados por medio de cálculos que dependen de los parámetros de voltaje, corriente y del ángulo de desfase entre voltaje y corriente.

Como los valores de voltaje con los que se va a trabajar son línea - línea y las señales requeridas para ser procesadas en el conversor A/D y posteriormente ingresar al μC deben tener una amplitud máxima de 5 voltios entonces es necesario bajar dichos voltajes muestreados a niveles adecuados de trabajo, es decir 5 V.

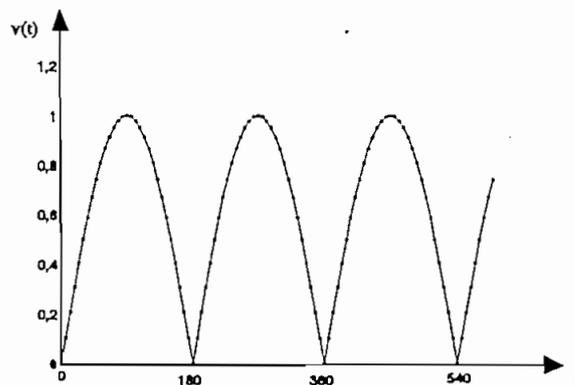
Partiendo de la condición de que los voltajes y corrientes son señales sinusoidales puras, a continuación se indican los métodos que podrían ser utilizados para la medición de dichos parámetros y la posterior estimación de los demás parámetros eléctricos.

1.2.1 MUESTREO DE LA SEÑAL AC ESCALADA:

Si la señal muestreada corresponde a una señal sinusoidal completa con sus semiciclos positivo y negativo esta debería tener una amplitud máxima de 5 V, teniendo su pico inferior en 0 V. y el superior en 5 V. Considerando esto, se tiene que el paso de voltaje para un conversor de 8 bits sería igual a $5/256 = 0.019$ V.



1.2.2 MUESTREO DE LA SEÑAL AC ESCALADA Y RECTIFICADA



En el caso de muestrear la señal sinusoidal rectificada en onda completa se tendría una variación de 0 a 5 voltios pico de la señal sinusoidal, a diferencia del caso anterior en el que se tiene una variación de 0 a 2.5 voltios pico. De esta manera se observa que se tienen los 256 valores para un cuarto período de la onda de voltaje, obteniéndose por tanto una mayor resolución.

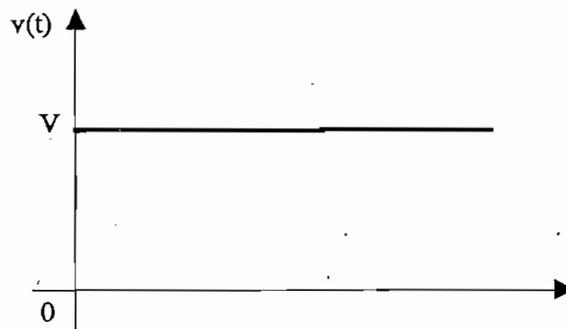
Tanto para el caso indicado en 1.2.1 como para el caso 1.2.2, al realizar el muestreo de las ondas es necesario que estas se encuentren adecuadamente sincronizadas con los cruces por cero de la señal de tal manera de asegurar que todas las señales sean muestreadas a partir del mismo

punto inicial; esto puede acarrear errores ya que se perdería información en el tiempo de discriminación del punto de cruce por cero.

En ambos casos, la determinación del valor RMS involucra, primeramente, sumar los datos comprendidos en un semiciclo y guardar el resultado, luego sumar otro grupo de datos correspondiente al siguiente semiciclo y repetir el proceso para el número de semiciclos que incluye el total de muestras que se desean obtener, posteriormente se debería sacar el valor RMS. Todo este proceso da como resultado un complicado desarrollo de software y el incremento en uso de memoria RAM.

También es necesario recalcar el problema que involucra la presencia de perturbaciones y ruido en la red ya que estos pueden introducir errores en la medición realizada por el conversor A/D.

1.2.3 MUESTREO DE LA SEÑAL DC



Considerando lo anteriormente indicado se tiene como alternativa, realizar la medición de voltaje obteniendo de la señal sinusoidal su valor medio para lo cual primeramente se procederá a rectificarla en onda completa y luego, por medio de un filtro obtener su valor medio.

Con este método se obtiene el valor medio de la señal analizada, el mismo que es proporcional al valor RMS de la señal. De igual manera que en los casos anteriores la señal deberá variar entre 0 y 5 V para un rango especificado.

El valor medio obtenido servirá para encontrar el valor RMS de la señal ya sea por hardware o software, lo cual permitirá determinar los parámetros de potencia y energía.

Cabe indicar que este método planteado es el que va a ser usado en el presente trabajo por las ventajas que presenta, éste es:

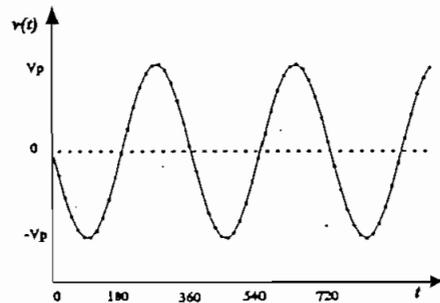
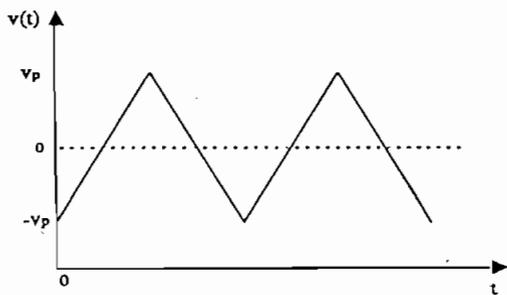
- Las mediciones se realizan en forma sencilla puesto que no están sujetas a la señal de sincronización de los cruces por cero.
- El número de muestras que se van a tomar tampoco están sujetas a la información de cruce por cero. por lo que se facilita tomar un mayor número de muestras dentro de un mismo período de la red.
- Los valores que ingresan al μC para la conversión y obtención de su verdadero valor RMS, en el caso de analizar la señal continua simplificarán las operaciones en el μC .

Como desventaja se puede anotar que:

- Al obtener el valor medio de la señal se está perdiendo información de la forma de la onda, esto da como resultado que señales con diferente grado de distorsión, es decir, diferente valor RMS, pueden presentar el mismo valor medio rectificado.

Consideremos el siguiente ejemplo, en el cual se analiza un caso crítico de distorsión de una señal sinusoidal; ésto es, la señal triangular.

1.3 ANALISIS ONDA TRIANGULAR Y SINUSOIDAL



Para encontrar el error que se introduce en la determinación de los valores **RMS** de las señales analizadas, al tratarlas como si fueran sinusoidales, se deben tomar en cuenta las siguientes relaciones:

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi} \quad (1.48)$$

$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (1.49)$$

Por tanto, de la ecuación 1.27, el factor de forma queda determinado por:

$$F = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \quad (1.50)$$

El error que se introduce en las mediciones quedará determinado por la diferencia que existe entre el factor de forma de la señal que se analiza (señal triangular) y el factor de forma de la señal sinusoidal.

Los datos que interesan para la señal triangular son:

$$V_{dc}(\Delta) = \frac{V_p}{\sqrt{3}} \quad (1.51)$$

$$V_{RMS}(\Delta) = \frac{V_p}{2} \quad (1.52)$$

El factor de forma, por tanto, queda determinado por:

$$F' = \frac{2}{\sqrt{3}} \quad (1.53)$$

Cabe indicar que los valores medios, tanto de la señal sinusoidal como de la señal triangular se obtienen a partir de las señales rectificadas en onda completa.

Por tanto, el error que se comete en la medición queda determinado por:

$$e = \frac{F' - F}{F'} * 100 \% \quad (1.54)$$

$$e = \frac{1.15 - 1.11}{1.15} * 100\%$$

$$e = 3.81 \%$$

De este análisis se desprende que el máximo error generado para una señal triangular es 3.81% que supera el 2% de error que admiten los instrumentos de medida. A continuación se calcula el factor de forma máximo que deberían presentar las señales de voltaje y corriente a ser medidas de tal manera que el error que se introduce en los cálculos no supere el rango permitido.

De la ecuación 1.54, asumiendo un error de 2% obtenemos F':

$$F' = \frac{F}{1 - e} = 1.17 \quad (1.55)$$

Este valor indica que el equipo a diseñarse, puede trabajar con la precisión correspondiente a los instrumentos de medida siempre que las señales que se analicen presenten un factor de forma menor o igual a 1.17.

El procedimiento para la medición de corriente y voltaje va a ser el mismo, en los dos casos se deben determinar los valores RMS de estas dos magnitudes.

1.4 DETERMINACION DE LOS VALORES RMS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

1.4.1 VOLTAJE RMS

Considerando los métodos que van a ser empleados para la medición de voltajes y corrientes, se deberá encontrar los valores RMS en función de los valores medios que serán medidos a través del conversor A/D. Tales mediciones, para un conversor A/D de 8 bits cubren un rango de 00H a FFH (0 - 255) y mantienen una relación directa con los valores medios de la señal.

La expresión que permite relacionar la palabra binaria con el valor RMS de las señales se obtiene como se indica en el siguiente caso:

Sea un conversor A/D de 8 bits, los valores que puede tomar están en el rango de 00H a FFH, la señal que se va a analizar tiene una amplitud de $220V \pm 20\%$, por tanto:

176V 00H

264V FFH

tomando en cuenta estas correspondencias, se establece la expresión para determinar el valor RMS a partir del valor binario dado por el conversor A/D.

$$\text{Voltaje (RMS)} = m * \text{Valor binario} + 176 \quad (1.56)$$

$$m = \frac{264 - 176}{FF_H - 00_H} = 0.34 \quad (1.57)$$

Por tanto, la ecuación que debe resolverse en el microcontrolador es:

$$\text{Voltaje (RMS)} = 0.34 * \text{Valor binario} + 176 \quad (1.58)$$

De igual forma se procedería para otra escala de voltaje.

1.4.2 CORRIENTE RMS

El procedimiento que se sigue para la determinación del valor **RMS** de corriente es similar al que se usó para encontrar el voltaje RMS.

Consideremos que se va a trabajar con un conversor A/D de 8 bits, el valor de corriente a la entrada del equipo oscila entre 0 y 5A, por tanto:

0A 0V 00H

5A 5V FFH

tomando en cuenta estas correspondencias, se establece la expresión para determinar la corriente RMS a partir del valor binario dado por el conversor A/D.

$$\text{Corriente (RMS)} = m * b * \text{Valor binario} \quad (1.59)$$

b = relación de transformación del transformador de corriente

$$m = \frac{5 - 0}{FF_H - 00_H} = 0.0196 \quad (1.60)$$

Por tanto, para un transformador de corriente con relación de transformación 5:5, es decir $b=1$ se tiene:

$$\text{Corriente (RMS)} = 0.196 * \text{Valor binario} \quad (1.61)$$

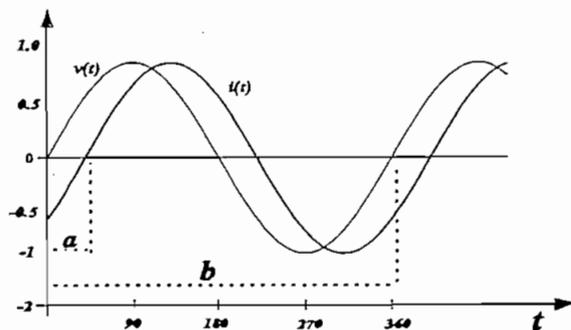
Adicionalmente, será necesario escalar el valor obtenido de manera que las operaciones involucradas resulten fáciles de resolver; por ejemplo, los cálculos se simplifican si en lugar de trabajar con el valor $m = 0.0196$ se trabaja con $m = 196$.

El producto $m * b$ que se incluye en la operación que debe resolver el μC , una vez escalado, será grabado en tablas de conversión.

1.4.3 DETERMINACION DEL FACTOR DE POTENCIA:

Antes de iniciar la descripción del método que será empleado para la determinación del factor de potencia cabe recordar que para el análisis se consideran señales sinusoidales puras y por tanto el factor de potencia será igual al coseno del ángulo de defasaje entre el voltaje y la corriente.

El factor de potencia será determinado midiendo el tiempo que transcurre entre los cruces por cero positivos de las señales de voltaje y corriente de una misma fase. Paralelamente, se debe medir el período de las señales, para lo cual se tomará como referencia los cruces por cero consecutivos de una misma señal de voltaje.



Para que el tiempo "a" tenga una correspondencia con el ángulo de defasaje que existe entre V e I, se divide a/b con cuyo valor y mediante tablas de conversión se podrá determinar el f_p de cada fase.

En este mismo método, se incluye la posibilidad de determinar si el factor de potencia es inductivo o capacitivo, para ello se utilizará el tiempo de defasaje entre voltaje y corriente ("a"). Dependiendo del rango en el que se encuentre la magnitud del ángulo medido, se pueden determinar las características de f_p .

$$f_p (\text{inductivo}) \quad \text{--} \quad 0^\circ < a < 90^\circ \quad (1.62)$$

$$f_p (\text{capacitivo}) \quad \text{--} \quad 270^\circ < a < 360^\circ \quad (1.63)$$

Como convención, a lo largo de este trabajo se asume:

FACTOR DE POTENCIA	SIGNO
INDUCTIVO	+
CAPACITIVO	-

Para evitar errores y tener mayor exactitud en la medición del factor de potencia se tomarán un total de ocho (8) mediciones tanto para el tiempo "a" como para el período "b", estos valores serán sumados y posteriormente promediados.

1.4.4 DETERMINACION DE FRECUENCIA:

Para cumplir con este objetivo, se determinan los tiempos entre dos (2) cruces por cero consecutivos de la señal de voltaje de cada fase (cruces positivos). Se toman ocho muestras por cada fase dando un acumulado total de 24 mediciones que luego será promediado.

Será necesario encontrar una expresión que permita relacionar el tiempo medido con su correspondiente valor de frecuencia.

Sea:

Frecuencia del cristal = 3.579545 MHz

Frecuencia del timer del μC = 3.579545 /12 MHz

Se toma como base de tiempo para realizar las mediciones, un ciclo de máquina que es igual al inverso de la frecuencia del timer del μC , por tanto el valor que cuenta el timer determina directamente el valor de la frecuencia que se va a medir:

$$frec. red = \frac{frec. timer}{Conteo timer (CM)} \quad (1.64)$$

1.4.5 DETERMINACION DE POTENCIA APARENTE, ACTIVA Y REACTIVA:

1.4.5.1 POTENCIA APARENTE:

Considerando la relación 1.33 y tomando en cuenta que se disponen los valores RMS de voltaje y corriente, la potencia aparente queda determinada por el producto de dichos valores RMS para cada fase. El valor trifásico se obtiene sumando las potencias parciales de las tres fases.

$$S_{fase} = V_{RMS} * I_{RMS} \quad (1.65)$$

$$S(3\phi) = \sum_{i=1}^3 V_{RMS_i} * I_{RMS_i} \quad (1.66)$$

1.4.5.2 POTENCIA ACTIVA:

En el planteamiento de este proyecto se tomó como punto de partida la consideración de que las señales que se van a analizar son sinusoidales puras, por tanto, la expresión que permite determinar la potencia activa se encuentra a partir de la relación 1.35, donde p es la potencia instantánea dada por el producto de voltajes y corrientes instantáneas.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt \quad (1.67)$$

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V_{RMS} \cdot \text{sen}(\omega t) \quad (1.68)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I_{RMS} \cdot \text{sen}(\omega t - \Phi) \quad (1.69)$$

Por tanto, la potencia activa queda definida por:

$$P = V_{RMS} * I_{RMS} * \cos(\Phi) \quad (1.70)$$

$$P_{fase} = S_{fase} * \cos(\Phi) \quad (1.71)$$

$$P(3\phi) = \sum_{i=1}^3 P_i \quad (1.72)$$

Nota: Los valores de S y f_p serán determinados previamente

El equipo a desarrollarse deberá posibilitar la medición de potencia eléctrica y la determinación del sentido del flujo de la misma, la convención que se adopta para el signo de la potencia es:

FLUJO DE POTENCIA	SIGNO
RED A LA CARGA	+
CARGA A LA RED	-

De la ecuación 1.73 se concluye que el signo de la potencia queda determinado por el signo de $\cos(\phi)$.

1.4.5.3 POTENCIA REACTIVA:

Como se consideran señales sinusoidales puras, el grado de distorsión armónica de las mismas es cero, por tanto de la relación 1.38 se tiene:

$$Q^2 = S^2 - P^2 \quad (1.73)$$

$$Q^2 = S^2 - S^2 \cdot \cos(\Phi)^2 \quad (1.74)$$

$$Q^2 = S^2 \cdot (1 - \cos(\Phi)^2) \quad (1.75)$$

Por tanto:

$$Q = S \cdot \text{sen}(\Phi) \quad (1.76)$$

De esta relación se desprende que el flujo de reactivos Q queda determinado por $\text{sen}(\phi)$, esto es:

REACTIVOS	$\text{sen}(\phi)$
INDUCTIVO	+
CAPACITIVO	-

Los valores de $\text{sen}(\phi)$ serán determinados a través de tablas de conversión que serán grabadas en el μC y que dependen directamente de $\text{cos}(\phi)$, es decir del factor de potencia determinado.

En síntesis, utilizando un microcontrolador se procederá a determinar los valores a y b para encontrar el resultado de la división a/b . Este valor posteriormente será escalado con el factor 255 para formar un puntero (ϕ) que permitirá consultar en tablas previamente grabadas en la memoria del programa los valores de $\text{cos}(\phi)$, $\text{sen}(\phi)$ y sus respectivos signos.

$$\phi = \frac{a}{b} * 255 \quad (1.73)$$

$$\phi = 00H \text{ ---- } 0^\circ \quad (1.78)$$

$$\phi = FFH \text{ ---- } 360^\circ \quad (1.79)$$

1.4.6 DETERMINACION DE ENERGIA:

Como se observa en la relación 1.32, la energía eléctrica queda determinada por una integral indefinida:

$$E = \int P . dt \quad (1.80)$$

Los datos con que trabaja el μC son valores discretos, por tanto el cálculo de la integral se sustituye por el sumatorio indefinido del producto de la potencia activa por el período de muestreo, así:

$$E = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \cdot \Delta T \quad (1.81)$$

ΔT = Período de muestreo o base de tiempo para el muestreo

De la relación 1.81, se observa que se debe escoger una base de tiempo lo bastante pequeña de tal manera de conseguir buena precisión en la medición de este parámetro. Para este trabajo, la base de tiempo que se ha escogido es 2 segundos, fundamentalmente por limitaciones en la velocidad de operación del μC y la máxima frecuencia del reloj que admite el conversor A/D.

CAPITULO 2:
ESPECIFICACIONES Y DISEÑO

CAPITULO 2

ESPECIFICACIONES Y DISEÑO

2.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA:

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y construcción de un medidor digital de magnitudes eléctricas, cuyas características técnicas y económicas son similares a las de otros medidores convencionales del mercado.

El equipo se encarga de procesar las señales provenientes de la red de alimentación, evaluarlas y posteriormente calcular los valores de potencia activa, reactiva, aparente, factor de potencia, frecuencia y energía.

Este proceso se realiza por medio del microcontrolador de la familia INTEL MCS51 y circuitos auxiliares de conversión analógica digital.

Para la presentación de resultados al usuario se utiliza una pantalla de cristal líquido (LCD); además, la tarjeta de interfaz con el usuario dispone de todos los dispositivos necesarios para facilitar la comunicación (teclado, barras de leds, leds, etc).

En el medidor se elaboran rutinas que le permiten realizar, entre otras las siguientes funciones:

- * Medición de voltaje y corriente a través de los circuitos de adquisición de datos y defase entre V e I de cada fase.
- * Cálculo de:
 - Voltaje RMS línea-línea y fase-neutro
 - Corriente RMS por fase
 - Factor de potencia por fase y trifásico
 - Frecuencia de la red
 - Potencia Activa por fase y trifásica
 - Potencia Reactiva por fase y trifásica
 - Potencia Aparente por fase y trifásica
 - Energía eléctrica
- * Determinación del sentido de flujo de potencia ($\pm P$)
- * Determinación de las características de potencia reactiva, es decir, establecer si Q es inductiva o capacitiva.
- * Descarga de datos a un computador a través de la interfase serial para su almacenamiento y posterior análisis.

Considerando que se deben medir las señales de voltaje y corriente, en el diseño del equipo se requiere un circuito que permita acondicionar estas señales a los valores adecuados de tal manera que estos puedan ser procesados en el μC , luego de ser convertidos de analógicos a digitales.

Para estimar el parámetro frecuencia se deberán establecer los cruces por cero de la señal de voltaje y/o corriente de tal manera de establecer el tiempo entre una y otra señal.

Así mismo, para estimar los valores de factor de potencia (f_p) se deberá determinar el desfase entre V e I , por tanto se requerirá detectar los cruces por cero de estas señales.

El medidor de energía deberá ocupar el menor espacio posible de manera que, su instalación sea fácil y además que sea portátil para utilizarlo en diferentes aplicaciones.

La polarización del circuito se hará a través de una fuente con salidas de $\pm 12 V$ y $5 V$. Esta fuente para su funcionamiento será alimentada por la red.

Adicionalmente se dispondrá de una memoria RAM NO VOLATIL, la misma que remplazará al circuito de respaldo que sería utilizado para mantener la información y datos almacenados sin alteraciones pese a fallas en el servicio de alimentación de energía.

A disposición del usuario se dejarán borneras externas que estarán conectadas a salidas digitales del microcontrolador las mismas que podrán ser usadas para alarmas u otros dispositivos de acuerdo a las necesidades del usuario.

Las señales de corriente y voltaje llegarán de la red a terminales externos los cuales deben permitir fácil conexión, además se deben incluir las protecciones necesarias de manera de preservar al equipo de posibles daños.

El sistema básicamente está orientado al tratamiento de las señales de voltaje y corriente de la red de alimentación, las mismas que van a permitir la determinación de los demás parámetros eléctricos, dentro de los rangos de funcionamiento que se indican a continuación:

2.1.1 ESPECIFICACIONES DE ENTRADA:

Voltaje nominal de alimentación	110 y 220 V AC o DC.
Voltaje de entrada	220 V. conexión en Δ
Variación de voltaje de entrada	$\pm 20 \%$
Corriente de entrada	5 A.
Número de fases	3
frecuencia	60 Hz.
Variación de frecuencia	$\pm 16.6 \%$
Clase de precisión	2 (instrumentos de medida)
Factor de forma señales de entrada	≤ 1.17
Condiciones de temperatura y enfriamiento	
Rango de temperatura	0 - 55 °C
Enfriamiento	natural
Humedad relativa máxima 60 % no condensada.	
Altura	2800 m.

Escalas de voltaje

220 V. y 440 V.

Escalas de corriente

5, 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 250,
300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000,
1200, 1500, 1600, 2000, 2500 A.

Todos estos parámetros de diseño se consideraron tomando en cuenta el tipo de red de alimentación que se dispone para el análisis.

2.1.2 DESPLIEGUE DE VALORES MEDIDOS:

Los diferentes parámetros eléctricos y sus respectivas unidades serán mostrados por parejas en una pantalla de cristal líquido como se indica en la tabla 2.1.

MAGNITUD	RESOLU.	MAGNITUD	RESOLUC
V_{RS} (V)	0.1 V	I_r (A)	$I_{m\acute{a}x}/256$
V_{ST} (V)	0.1 V	I_s (A)	$I_{m\acute{a}x}/256$
V_{TR} (V)	0.1 V	I_T (A)	$I_{m\acute{a}x}/256$
POT. ACTIVA R (KW)	0.1 KW	POT. REACTIVA R (KVAR)	0.1 KVAR
POT. ACTIVA S (KW)	0.1 KW	POT. REACTIVA S (KVAR)	0.1 KVAR
POT. ACTIVA T (KW)	0.1 KW	POT. REACTIVA T (KVAR)	0.1 KVAR
POT. APARENTE R (KVA)	0.1 KVA	FACTOR DE POTENCIA R	0.01
POT. APARENTE S (KVA)	0.1 KVA	FACTOR DE POTENCIA S	0.01
POT. APARENTE T (KVA)	0.1 KVA	FACTOR DE POTENCIA T	0.01
POTENCIA ACTIVA TRIFASICA (KW)	0.1 KW	POTENCIA REACTIVA TRIFASICA (KVAR)	0.1 KVAR
POTENCIA APARENTE TRIFASICA (KVA)	0.1 KVA	FACTOR DE POTENCIA TRIFASICO	0.01
ENERGIA (KW - HORA)	0.1 KW-h	FRECUENCIA (Hz)	0.01 Hz

TABLA 2.1 Despliegue de valores medidos

2.2 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA.

2.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

La figura 2.1 muestra el diagrama de bloques generalizado del sistema a diseñarse. En él se pueden identificar las diferentes etapas del circuito:

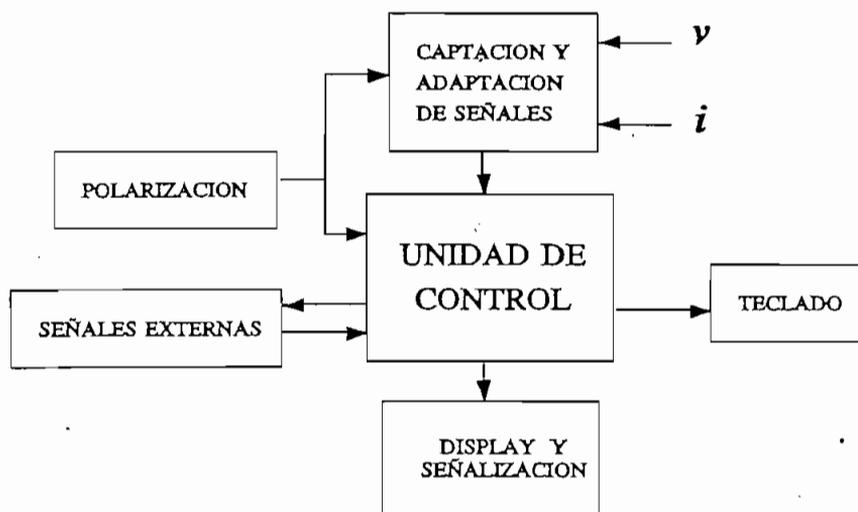


Figura 2.1 Diagrama de bloques circuito general

- **Polarización**, este circuito se alimenta directamente de la red con un voltaje de 120 V o 220 V AC o DC. Consiste básicamente en una fuente switching de ± 12 V y + 5 V, valores necesarios para la polarización de todo el equipo.
- La etapa de *captación y adaptación de señales*, toma las señales de voltaje y corriente de la red, así como los cruces por cero de V e I, las procesa y convierte de analógicas a digitales para luego ser seleccionadas y tratadas por el μ C.

- La *unidad de control*, fundamentalmente se encarga de tomar las señales digitales provenientes de la tarjeta de captación y adaptación de señales, evaluar todos los parámetros eléctricos de la red, generar la base de tiempo, atender al teclado, manejar el indicador de cristal líquido, barras de leds, etc.

- Para *comunicación con el usuario*, se pone a disposición un display, teclado y pórtico serial el cual permitirá, en aplicaciones posteriores, descargar a un computador datos de interés para el usuario, los cuales han sido almacenados en memoria durante el trabajo del equipo.

- El bloque correspondiente a *señales externas* representa tanto a las señales que salen de la unidad de control así como a aquellas que ingresan a dicha unidad. Entre estas se encuentran las señales que están a disposición del usuario para diferentes propósitos como es el manejo de relés y alarmas (8 salidas digitales, 2 entradas analógicas, 10 entradas digitales de las cuales 2 tienen prioridad y generan interrupción en el microprocesador, previstas para monitorear el estado lógico de dispositivos externos al registrador).

2.2.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA

Con el objetivo de bajar costos con respecto a otros equipos de similares características, se utiliza la mínima cantidad de componentes sin descuidar el cumplimiento de los requerimientos especificados.

El equipo construido consta de los siguientes módulos:

- a) Tarjeta de control
- b) Tarjeta de captación y adaptación de señales
- c) Tarjeta de comunicación con el usuario
- d) Fuente de alimentación
- e) Protecciones

2.2.2.1 Módulo 1:

TARJETA DE CONTROL

En la figura 2.2 se indica el diagrama de bloques simplificado correspondiente a la Tarjeta de Control (MCPD51DA). Está constituida fundamentalmente por el microcontrolador, el conversor análogo digital, memoria RAM no volátil, retenedores, buffers y decodificadores.

La tarjeta de control corresponde a un sistema desarrollado en el Area de Control Electrónico de Potencia. Esta ha sido diseñada para permitir aplicaciones de carácter general, en base a los microcontroladores INTEL de la familia MCS-51, el cristal que emplea es de 3.579545 MHz. Tal valor se ha determinado considerando los tiempos que se requieren para la conversión análoga digital y la lectura del multiplexer.

En la figura 2.3 se muestra el diagrama circuital correspondiente a esta tarjeta, allí se observa los componentes que se usan y su disposición.

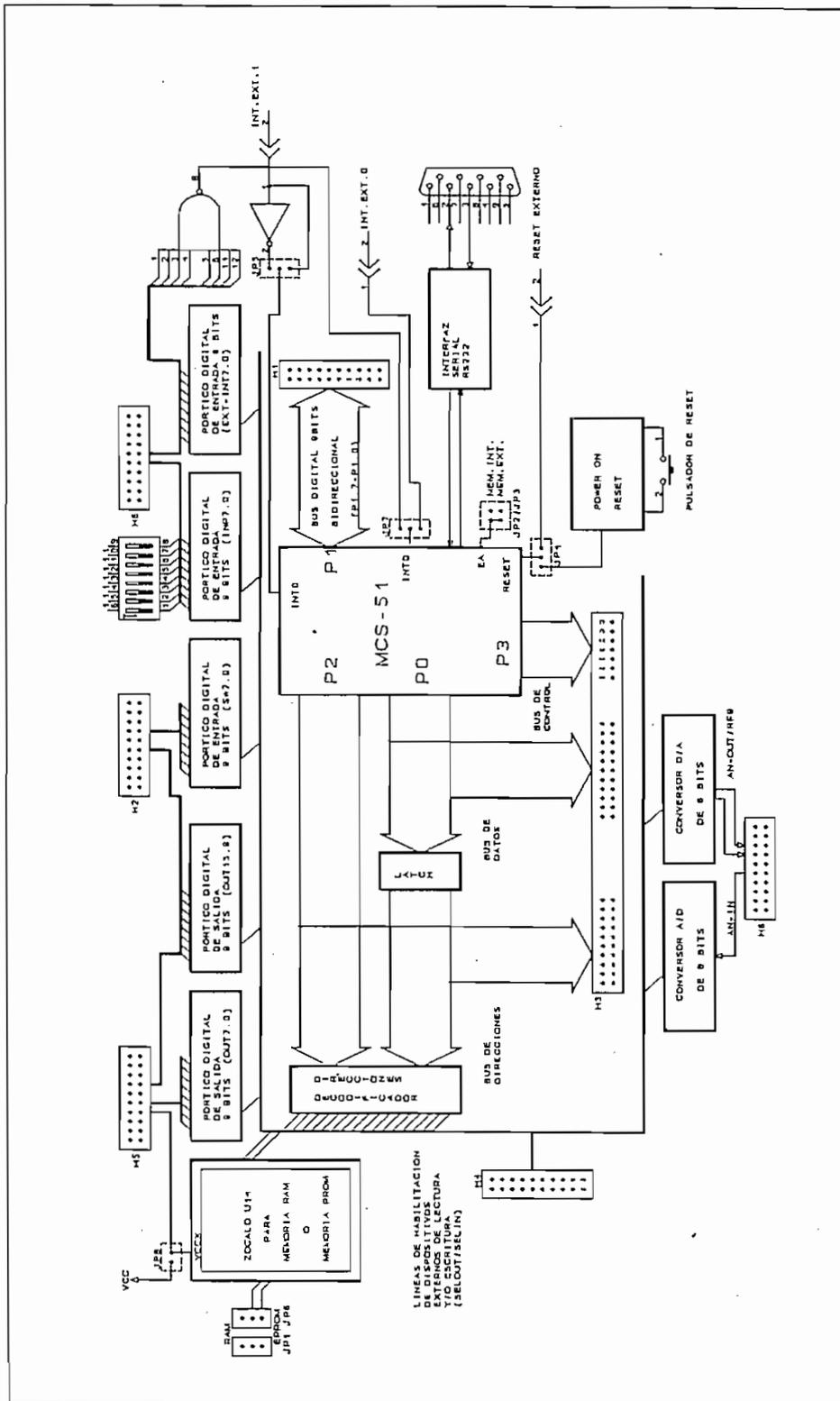


Figura 2.2 Diagrama de bloques tarjeta MCPD51DA

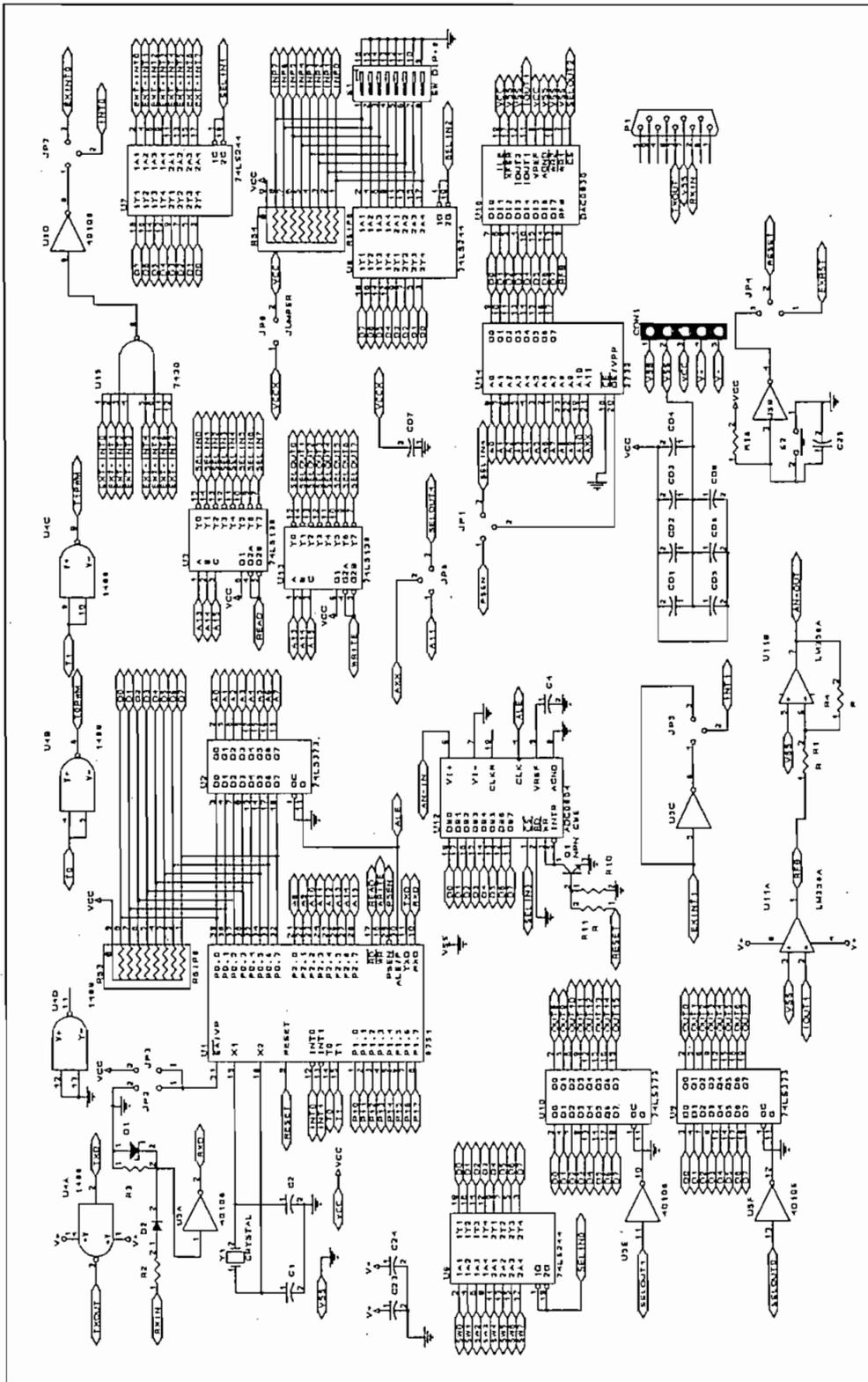


Figura 2.3

Diagrama Circuitual Tarjeta MCPD51DA

La tarjeta pone a disposición:

- 1 pórstico digital bidireccional de 8 bits (P1.7 a P1.0)
- 2 pórsticos digitales de salida de 8 bits (OUT0 a OUT15)
- 1 pórstico digital de entrada de 8 bits (SW0 a SW7)
- 1 pórstico digital de entrada de 8 bits con opción de colocar un dipswitch-8 en la tarjeta (INP0 a INP7).
- 1 pórstico digital de entrada de 8 bits con opción de generar interrupción externa (EXT-INT0 a EXT-INT7).
- 1 entrada analógica (0 a 5V) y conversor A/D de 8 bits.
- 1 salida analógica (0 a 5V) proveniente de un conversor D/A de 8 bits.
- 1 pórstico de comunicación serial RS232 (conector DB9).
- 1 Bus de datos del microcontrolador (D7 a D0).
- 1 Bus de direcciones del microcontrolador (A15 a A0).
- 1 Bus de señales de control del microcontrolador (RD, WR, T0, T1, ALE, PSEN, RESET, INT0, INT1)
- 1 Bus de señales de control para habilitación de dispositivos externos: 3 de entrada (SELIN 5,6,7) y 4 de salida (SELOUT 3,5,6,7)
- memoria RAM de 2 Kbytes
- Circuito de reset interno con pulsador

Distribución de señales en los conectores: ^[6]

La tarjeta presenta 6 conectores (H1 - H6) a través de los cuales entrega y recibe señales y datos. Practicamente en todos los conectores se tiene acceso a las fuentes principales de polarización del circuito lógico a través de los pines VCC y VSS.

El conector CON1 sirve para conectar la tarjeta con la fuente de polarización principal:

VCC = + 5V

VSS = 0V

V+ = + 12V

V- = - 12V

CONECTOR H1:

P17..P10:	Pórtico P1 del microcontrolador (8 bits bidireccional)
EXINT0:	Acceso a la interrupción externa 0 del micro
EXINT1:	Acceso a la interrupción externa 1 del micro
T0:	Entrada al timer/counter 0 del micro
T1:	Entrada al timer/counter 1 del micro

CONECTOR H2:

SW7..SW0:	Pórtico digital de entrada de 8 bits.
OUT15..OUT8:	Pórtico digital de salida de 8 bits.

^[6] LEDESMA B. "Manual de la tarjeta MCPD51DA"

CONECTOR H3:

El conector H3 permite el acceso directo hacia el microcontrolador: el bus de datos, el bus de direcciones y todas las señales de control: ALE, READ, WRITE, PSEN.

D7..D0:	Bus de datos del micro
A15..A0:	Bus de direcciones del micro
T0:	Entrada al timer/counter 0 del micro
T1:	Entrada al timer/counter 1 del micro
EXRST:	Entrada para ingreso de señal de reset externo.
EXINT0:	Acceso a la interrupción externa 0 del micro.
EXINT1:	Acceso a la interrupción externa 1 del micro.

CONECTOR H4:

SELIN5,6,7:	Señales de habilitación para dispositivos externos de entrada (lectura)
SELOUT3,5,6,7:	Señales de habilitación para dispositivos externos de salida (escritura)
RXD:	Línea de recepción para comunicación serial del microcontrolador (niveles TTL)
TXD:	Línea de transmisión para comunicación serial del microcontrolador (niveles TTL)
RXIN:	Línea de recepción serial RS232 (conector DB9) de la tarjeta (niveles de voltaje ± 12 V)
TXOUT:	Línea de transmisión serial RS232 (conector DB9) de la tarjeta (niveles de voltaje ± 12 V)
TOPWM:	Señal de salida correspondiente al complemento lógico del pin T0 del

microcontrolador y en niveles lógicos de ± 12 V.

T1PWM: Señal de salida correspondiente al complemento lógico del pin T1 del microcontrolador y en niveles lógicos ± 12 V.

CONECTOR H5:

OUT7..OUT0: Pórtico digital de salida de 8 bits.

OUT15..OUT8: Pórtico digital de salida de 8 bits.

VCCX: Entrada externa para polarización de U14

CONECTOR H6:

EXT-INT7....

EXT-INT0: Pórtico digital de entrada de 8 bits con opción a generar interrupción externa 0 en el microcontrolador.

INP7..INP0: Pórtico digital de entrada de 8 bits con opción de colocar un dip-switch 8 en la tarjeta.

AN-OUT: Salida analógica (0 a +5 V) proveniente del conversor D/A (DAC0830)

RFB: Salida analógica (0 a -5 V) correspondiente a la señal invertida que viene del conversor D/A.

AN-IN: Entrada analógica(0 a +5 V) hacia el conversor A/D (ADC0802)

Los diagramas impresos, así como la distribución de componentes correspondiente al circuito de control se indican en el anexo B.

Puesto que se va a utilizar esta tarjeta para el desarrollo del presente tema de tesis y de la cual no se utilizarán todas las posibilidades que tiene, a continuación, en la figura 2.4, se indica el

diagrama de bloques correspondiente a la parte de control que será utilizada y los circuitos adicionales que se especificaron en la parte correspondiente a descripción general del sistema:

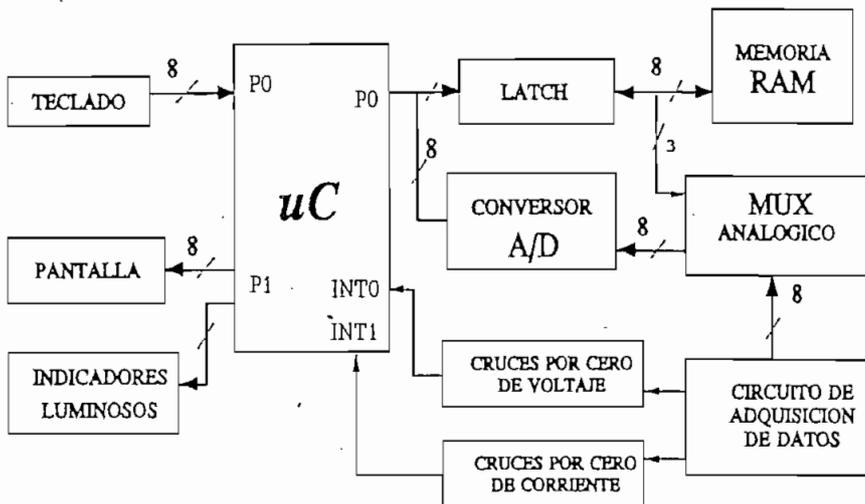


Figura 2.4 Diagrama de Bloques Circuito de Control

2.2.2.2 Módulo 2:

TARJETA DE CAPTACION Y ADAPTACION DE SEÑALES:

En la figura 2.5 se muestra el diagrama simplificado del circuito de adquisición de datos; en éste se identifican:

- Circuito acondicionador de señales de voltaje
- Circuito acondicionador de señales de corriente
- Detectores de cruce por cero
- Selector de señales que ingresan al μC
- Salidas auxiliares externas para manejo de relés

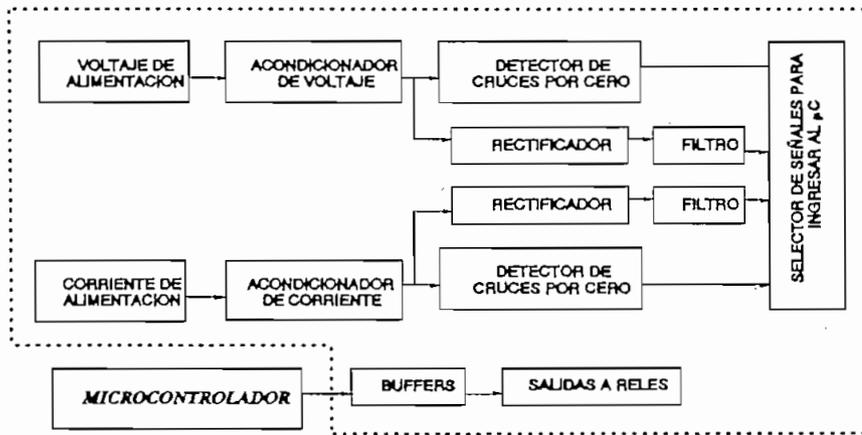


Figura 2.5 Diagrama de Bloques Circuito de Captación de señales

Las señales de voltaje RS, ST y TR ingresan de la red de alimentación a los transformadores de voltaje que permiten una entrada de 220 V. obteniéndose a la salida 24 V, de allí entran al circuito de acondicionamiento de señales de voltaje. Este circuito toma la señal del transformador, por medio de un divisor de tensión se baja dicha señal a los niveles adecuados para ser tratada, adicionalmente presenta un filtro pasivo de primer orden cuya función principal es filtrar el ruido y perturbaciones que se introducen en la red. Los filtros generan un desfase igual para todas las fases (30°).

Las señales ya escaladas son rectificadas en onda completa a través de un rectificador de precisión desarrollado en base a Amplificadores Operacionales LF347, luego se procede a obtener su valor medio con un filtro activo de segundo orden cuya constante de tiempo garantiza un factor de rizado en la señal suficientemente bajo. El rango obtenido de variación de voltaje es de 0 a 5 V, valor que depende de los voltajes de alimentación, ésto es:

$$V_{ent} = 220 - 20\%V \quad V_1 = 0V \quad (2.1)$$

$$V_{ent} = 220 + 20\%V \quad V_1 = 5V \quad (2.2)$$

La corriente se mide en cada línea a través de transformadores de corriente. Las señales de corriente se amplifican y se filtran a través de un filtro activo de primer orden que elimina las perturbaciones y distorsión de la señal, además este circuito defasa 30° la señal de corriente.

Las señales una vez acondicionadas entran a un multiplexer analógico el mismo que selecciona sus entradas por medio de señales de control enviadas por el μC . La señal escogida entra al conversor análogo digital obteniéndose así una señal que puede ser tratada y analizada por el μC .

Paralelamente, las señales escaladas de voltaje y de corriente pasan a la etapa de detección de cruces por cero, generando en esta parte pulsos de frecuencia igual a la frecuencia de las señales analizadas; ésto es, la detección se realiza en cruces por cero positivos (paso de valores negativos a positivos cada 360°). Los pulsos así generados tienen una duración de $\tau = 33 \mu s$, tiempo suficiente para su procesamiento a través del μC ($\tau \geq 12 T$, siendo $T =$ período de oscilación del μC).

Las 3 señales de cruces por cero de voltaje se pasan por una compuerta AND y van a la interrupción 0 del microcontrolador, de igual manera, los cruces por cero de las 3 corrientes son atendidas por la interrupción 1 del μC para lo cual previamente pasan a través de un arreglo de diodos que cumple la misma función que una compuerta AND.

Los resultados obtenidos luego de ser procesados en el μC se exhiben en una pantalla. Adicionalmente para cambiar de página y observar mayor información se utiliza el teclado. Cada una de las teclas cumple una función específica.

Más adelante, se indica la parte correspondiente al diseño y especificaciones de este módulo.

2.2.2.3 Módulo 3

TARJETA DE COMUNICACION CON EL USUARIO

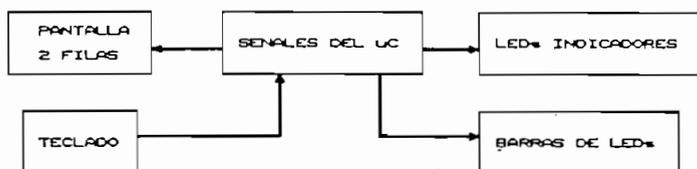


Figura 2.6 Diagrama de bloques Circuito de Comunicación con el Usuario

La figura 2.6 indica el esquema simplificado de bloques correspondiente al circuito de comunicación o interfaz con el usuario.

Esta tarjeta, denominada DISPLAY INTEL51 ha sido concebida para ofrecer las funciones más comunes que permiten la comunicación entre un sistema digital microprocesado y el usuario.

La tarjeta DISPLAY se conecta directamente con la tarjeta MCPD51DA, sin recurrir a conectores externos o cables, guardando total compatibilidad con la distribución física de los conectores de la tarjeta MCPD51DA, utilizándose el pórtico P1 del μC para la transferencia de datos y señales de control del display.

Incluye elementos de visualización y presentación de información:

- Un pórtico para pantalla de cristal líquido de 2 filas con posibilidad de visualizar hasta 16 caracteres alfanuméricos por fila; incluye un decodificador y toda la circuitería para ser accedido desde el microcontrolador, facilitando las siguientes funciones básicas:

- Ingreso de datos en formato de 4 bits a través de 4 señales de control,
- Selección de ingreso de datos de izquierda a derecha o viceversa,
- Control del cursor,
- Set de caracteres ASCII extendido,
- Registro interno de 80 localidades,
- Comando de borrado de pantalla,
- Control del nivel de contraste.

Para mayor información de la pantalla de cristal líquido referirse al anexo C.

- Cuatro indicadores rectangulares tipo LED para visualización de mensajes predefinidos y que podrían ser usados para señalar estados de falla, valores que sobrepasan los límites predefinidos, etc.
- Barra gráfica de indicadores luminosos de 20 Leds, ideal para visualización de niveles y que en el medidor de energía podrá ser usado, por ejemplo, para visualizar el nivel relativo de potencia aparente.

Adicionalmente, la tarjeta DISPLAY incorpora elementos para ingreso de datos o comandos:

- Tres pulsadores con indicación luminosa incorporada, ideal para ingreso de comandos o funciones.

Esta tarjeta está disponible en el área de Control Electrónico de Potencia de la Escuela Politécnica Nacional.

a) **PANTALLA:**

Los resultados y demás mensajes se exhiben en una pantalla de cristal líquido. Esta presenta 2 filas de 16 caracteres cada una. Cada caracter será tratado por el μ C como una localidad de memoria externa RAM.

b) **TECLADO:**

Para esta parte del circuito se van a utilizar 3 pulsantes con indicación luminosa los cuales van a permitir seleccionar en pantalla, la información correspondiente a los parámetros eléctricos.

En la figura 2.7 se indica el diagrama circuital correspondiente a esta tarjeta. Cabe indicar que de esta tarjeta solo se utilizan la pantalla, la barra de leds y 3 teclas o pulsantes.

c) **BARRA LUMINOSA:**

Es un arreglo de 20 leds, que se utiliza para mostrar los diferentes estados en que se encuentra el medidor. Se debe usar un buffer (74259) a fin de obtener la corriente necesaria para encender los indicadores puesto que el μ C no tiene la capacidad de entregar la corriente requerida.

Los diagramas correspondientes a la tarjeta impresa, así como la distribución de componentes del circuito de comunicación con el usuario se incluyen en el anexo B.

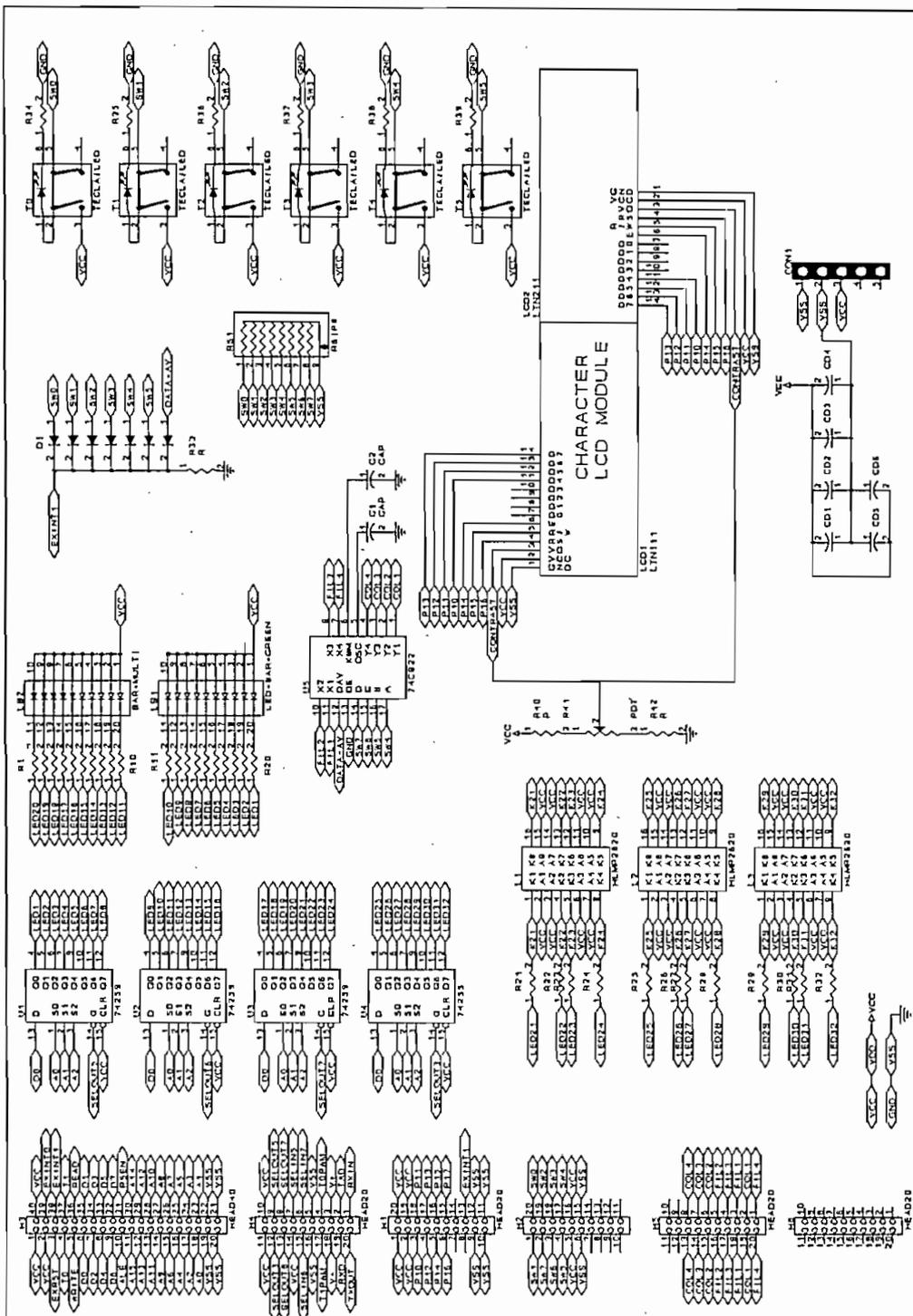


Figura 2.7 Diagrama Circuital Tarjeta de Comunicación con el Usuario

2.2.2.4 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación que se emplea es de tipo switching, para su funcionamiento puede ser alimentada de la red con 120 V. o con 220 V AC o DC. Permite obtener a la salida +5V / 7A, +12V / 1A y -12V / 0.5A. Esta fuente permite abastecer con +5V y la cantidad de corriente necesaria para la alimentación de todos los circuitos integrados, leds, barras indicadoras, display y demás elementos que constituyen el equipo. Adicionalmente cabe señalar que las fuentes de $\pm 12V$ son necesarias para realizar la comunicación serial del equipo con un computador personal.

2.2.2.5 Protecciones

Para protección del circuito, en los terminales primarios de los transformadores de voltaje se tienen colocados varistores del tipo Z320LA15 entre líneas los cuales van a proveer una protección a la entrada contra sobrevoltajes.

Así mismo, para proteger al equipo contra la posibilidad de que el secundario del transformador de corriente se presente en circuito abierto por destrucción de las resistencias que nos permiten transformar las señales de corriente en señales de voltaje, se han puesto en paralelo a estas resistencias diodos (1N3990 $I >> 5A.$) en antiparalelo los cuales dan un camino alternativo de circulación de corriente en el caso que se produzcan las fallas antes indicadas.

2.2.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ADQUISICION DE DATOS:

La tarjeta de captación y adaptación de señales ha sido diseñada partiendo de la existencia y disponibilidad de las tarjetas de control y comunicación con el usuario pues, como se indicó

anteriormente estas disponen del μC y el conversor A/D con los cuales se va a trabajar en la obtención de los parámetros eléctricos a través de un procesamiento de las señales que ingresan al μC a través de software en el mismo.

El esquema circuital correspondiente a esta tarjeta se muestra en la figura 2.8.

Todas las señales que van a ser muestreadas ingresan al conversor A/D a través de un multiplexer analógico (CD4051BC) para poder seleccionar la señal a ser medida.

El conversor a ser utilizado es el ADC0802, el cual tiene una resolución de 8 bits, con un error de conversión de ± 1 bit. Se escogió este conversor considerando que se desea un instrumento de clase 2, por lo que el error máximo permitido para una medida es de 2%. Tomando en cuenta que el voltaje cubre un rango de $220\text{ V} \pm 20\%$, se tendrá una variación de 88 V para dicho rango y por tanto, para el conversor de 8 bits, se tendrán 255 pasos posibles.

$$\Delta V = \frac{88}{255} = 0.345 \quad (2.3)$$

El error máximo cometido es igual a:

$$e = \frac{0.345}{88} * 100 = 0.392\% \quad (2.4)$$

que es inferior al máximo permitido, de igual manera sucede con la medición de corriente, por lo que se concluye que el conversor de 8 bits, es adecuado para obtener la precisión deseada.

Los diagramas impresos, así como la distribución de componentes correspondiente al circuito de captación y adaptación de señales se incluyen en el anexo B.

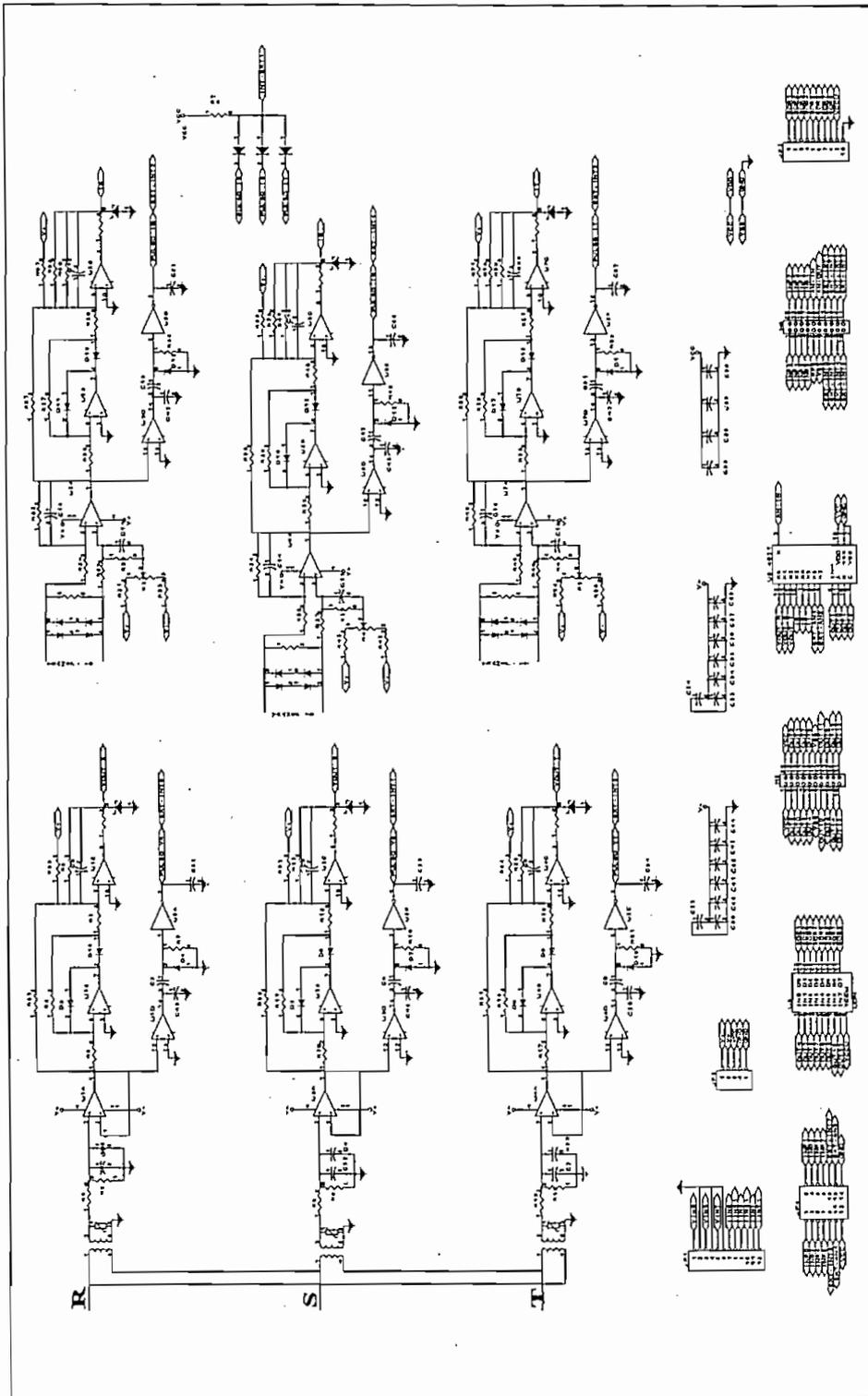


Figura 2.8 Diagrama Circuital Tarjeta de Captación y Adaptación de Señales

a) Divisor de tensión y filtro pasivo de primer orden

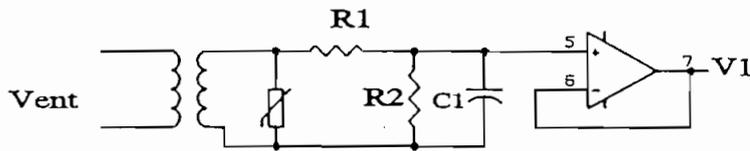


Figura 2.9

Cada uno de los voltajes de la red son escalados a una amplitud menor por medio de transformadores (220 : 24). Como se requiere que la amplitud de las señales varíe en un rango de (0 a 12 V) y considerando que se trabaja con amplificadores operacionales (LF347), a más de los transformadores de voltaje se dispuso un divisor de tensión y un filtro pasivo de primer orden cuyo objetivo es filtrar y mantener igual el desfase producido en el acondicionador de señales de voltaje así como de corriente y obtener el parámetro eléctrico de factor de potencia con exactitud.

A la salida del divisor de tensión se presenta un amplificador operacional en la configuración de seguidor de voltaje para desacoplar impedancias entre los dos circuitos de filtrado y rectificación.

Los valores de R1, R2 y C1 se determinaron de tal forma de obtener una amplitud $V_1 = 2.4$ V. y un desfase respecto a la señal de entrada de aproximadamente 30° .

$$V_1 = \frac{V_{ent} \cdot R_2 \parallel \frac{1}{C_1 \cdot S}}{R_1 + R_2 \parallel \frac{1}{C_1 \cdot S}} \quad (2.5)$$

$$R_{cq} = R_1 \parallel R_2 \quad (2.7)$$

$$V_{ent} = 24V \quad f=60Hz \quad C_1=0.22\mu F \quad (2.8)$$

Suponiendo que:

$$V_1 = 2.4V \quad \Phi = 30^\circ \quad (2.9)$$

De la ecuación 2.3, obteniendo el módulo de V_1 , se tiene:

$$R_1 = 39 K\Omega \quad R_2 = 6.8 K\Omega \quad (2.10)$$

b) **Rectificador de Precisión:**

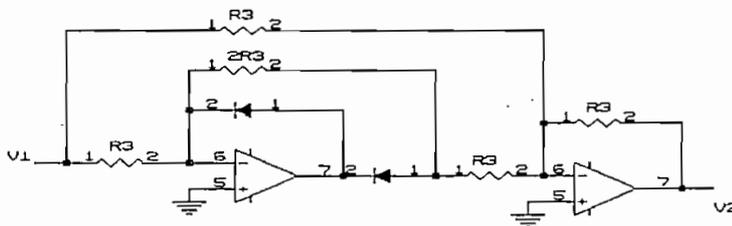


Figura 2.10

Está diseñado en base a amplificadores operacionales; toma la señal de entrada proveniente del divisor de tensión (V_1) obteniéndose a la salida (V_2) una señal rectificada en onda completa. En la figura 2.10 se indica el esquema circuital correspondiente a la etapa rectificadora. Cabe señalar que este circuito se utiliza para el acondicionamiento de señales tanto de voltaje como de corriente, el valor de R_3 es $10 K\Omega$.

c) **Detector de cruces por cero:**

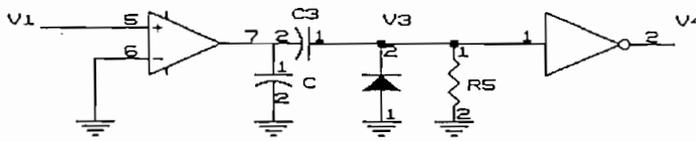


Figura 2.11

Toma las señales obtenidas del seguidor de tensión, las lleva a un comparador con referencia cero "0 V", la señal que resulta de la comparación es pasada a través de una red C-R obteniéndose en V3 pulsos positivos cada 360° con una duración 33 μ s, tiempo suficiente y necesario para su posterior lectura en el μ C. Adicionalmente, como los pulsos de detección de cruces por cero serán atendidos por el μ C como interrupciones externas es necesario que los pulsos sean negativos por lo que se incluyó en el circuito un inversor (74HC14).

Los valores de R5 y C3 se calculan considerando que el tiempo de duración del pulso debe ser $\tau \geq 12 T$, donde T es el inverso de la frecuencia del cristal con el que está trabajando el μ C.

$$\tau = 2. \pi. C_3. R_5 \quad T \geq 1 \mu s \quad (2.11)$$

$$C_3 = 0.022 \mu F \quad R_5 = 1.5 k\Omega \quad (2.12)$$

C se utiliza para eliminar los ruidos y perturbaciones presentes en las señales tanto de voltaje como de corriente.

$$C = 0.1 \mu F$$

La figura 2.11 indica el esquema circuital correspondiente. Este circuito también fue utilizado para detectar los cruces por cero de las señales de corriente.

d) Filtro activo de segundo orden para acondicionador de V.

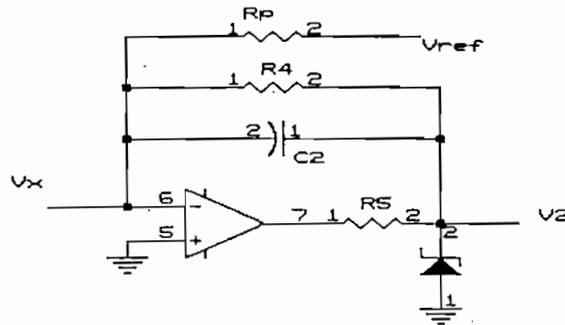


Figura 2.12

Se encarga de filtrar la señal rectificadora en onda completa y obtener una señal continua en el tiempo, la misma que tendrá un rango de variación entre 0 y 5V cuando se tiene a la entrada del circuito un voltaje de $220 - 20\%$ y $220 + 20\%$ respectivamente.

Los valores de C_2 , R_4 y R_p se calculan considerando un factor de rizado inferior al 1%. Cabe indicar, que el amplificador operacional sobre el cual se desarrolla el circuito, es el mismo que se encuentra a la salida de la etapa correspondiente al rectificador de precisión, por tanto los valores de los elementos se ven afectados por los elementos que forman parte del rectificador.

La resistencia variable R_p es utilizada durante el diseño del circuito; una vez calibrado su valor se sustituye esta por una resistencia fija.

R_p sirve para ajustar los valores de voltaje, de tal manera que se cumpla:

$$V_{ent} = 220 - 20\%V \quad V_1 = 0V \quad (2.13)$$

$$V_{ent} = 220 + 20\%V \quad V_1 = 5V \quad (2.14)$$

$$V_{rms}^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V^2 \cdot \text{sen}^2 x \cdot dx \quad (2.15)$$

$$V_{rms_{ent}} = 220V. \quad (2.16)$$

$$V_{dc_{ent}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V \cdot \text{sen} x \cdot dx \quad (2.17)$$

$$V_{dc_{ent}} = \frac{2 \cdot \sqrt{6}}{3\pi} \cdot 220 \quad (2.18)$$

$$V_{ac_{rms_{ent}}} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2} \quad (2.19)$$

$$\text{factor de rizado} = 0.001 \quad (2.20)$$

$$f_r = \frac{V_{ac_{rms_{sal}}}}{V_{dc_{sal}}} \quad (2.21)$$

$$|G(j\omega)| = \frac{1}{1 + \omega \cdot R_4 \cdot C_2} = \frac{V_{ac_{rms_{sal}}}}{V_{ac_{rms_{ent}}} \quad (2.22)$$

$$\frac{0.001 V_{dc}}{V_{ac_{rms_{ent}}} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_4 \cdot C_2} \quad (2.23)$$

$$C_2 = 22 \mu F \quad R_4 = 51 k\Omega \quad R_p = 52 k\Omega \quad (2.24)$$

Adicionalmente, para garantizar el correcto funcionamiento del circuito para los rangos de voltaje establecidos, esto es, $220 \pm 20\%$ se coloca a la salida del amplificador operacional un diodo zener de 5.1 V. El zener actúa de tal manera que si el voltaje de entrada a los transformadores es inferior a $220 - 20\%$ no permite que a la salida del A.O. se presenten

voltajes negativos, limitando el mismo a una salida de - 0.6V.

En el otro sentido, si el voltaje de entrada supera los $220 + 20\%$, el zener no permitirá que la salida sobrepase los 5.1V, protegiendo así al circuito. La resistencia R5 tiene un valor de 330Ω .

Este circuito es similar en diseño al que será utilizado a la salida del acondicionador de corriente y se indica en la figura 2.12.

e) Circuito de captación de corriente

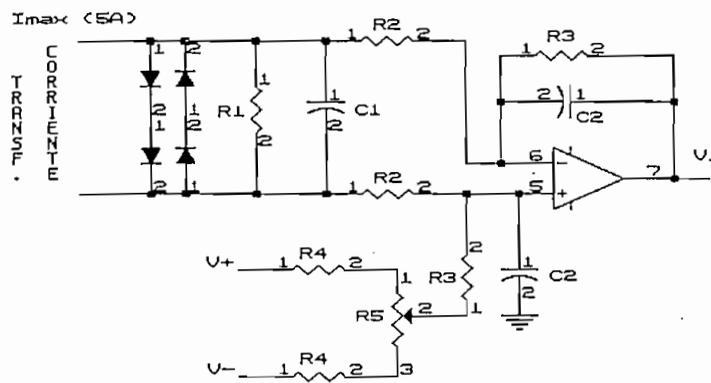


Figura 2.13

Esta etapa, como se indica en la figura 2.13 consiste en un amplificador diferencial.

Las señales ingresan desde el transformador de corriente. Como lo que interesa es obtener una señal de voltaje para proceder a la adaptación de la misma, se utiliza una resistencia (R1) cuyo valor fue calculado en función del máximo voltaje que se quiere que ingrese al amplificador operacional y de la potencia que va a disipar.

$$I_{\max} = 5A. \quad P_{dis} = 5W. \quad R_1 = 0.1 \Omega \quad (2.25)$$

Adicionalmente R1 se coloca en paralelo con C1 para filtrar la señal de entrada del amplificador diferencial.

Para el amplificador diferencial:

$$R_3 = R_4 * G_A \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} V_x = 5V & \quad I_{\max} = 5A \\ V_x = 0V & \quad I_{\min} = 0A \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\frac{V_1}{V_x} = \frac{1}{1 + S.C_2.R_4} \quad (2.28)$$

$$tg \phi = 2.\pi.f.R_4.C_2 \quad \phi = 30^\circ \quad (2.29)$$

$$C_2 = 0.33 \mu F \quad R_3 = 68k\Omega \quad R_2 = 10k\Omega \quad (2.30)$$

Las resistencias R4 conectadas a V+ y V- sirven para compensar el offset que se genera en la configuración dada para el Amplificador Operacional, su valor es fijo. A través del potenciómetro (R5) se calibra el circuito eliminando el offset.

$$R_4 = 4.7 k\Omega \quad R_5 = 500 \Omega.$$

El capacitor C2, sirve para defasar la señal de corriente en el mismo valor que la señal de voltaje y evitar errores en la medición de factor de potencia.

Todas las señales de corriente y voltaje acondicionadas entran a un multiplexer analógico, el cual tiene las líneas de selección que son directamente comandadas por el μC , para escoger la variable a ser medida.

El multiplexer (4051) dispone de ocho canales, de los cuales 6 están ocupados, mientras que los dos restantes quedan disponibles para el usuario.

La selección de canales del Multiplexer Análogo se realizan por medio de 3 líneas provenientes del μC .

f) Filtro activo de segundo orden para acondicionador de I.

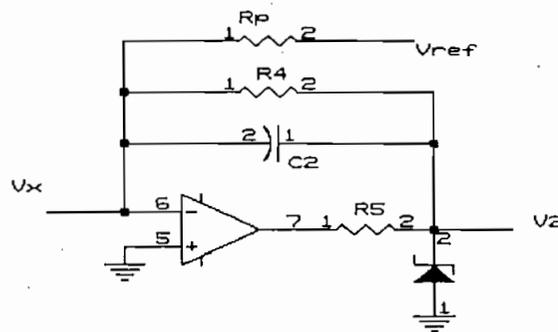


Figura 2.14

Se encarga de filtrar la señal rectificadora en onda completa y obtener una señal continua en el tiempo, la misma que tendrá un rango de variación entre 0 y 5V cuando se tiene a la entrada del circuito una corriente de 0A y 5A respectivamente.

Los valores de $C2$, $R4$ y Rp se calculan considerando un factor de rizado inferior al 1%. Cabe indicar, que el amplificador operacional sobre el cual se desarrolla el circuito, es el mismo que se encuentra a la salida de la etapa correspondiente al rectificador de precisión, por tanto los valores de los elementos se ven afectados por los elementos que forman parte de dicho rectificador.

La resistencia variable R_p es utilizada durante el diseño del circuito, una vez calibrado su valor se sustituye esta por una resistencia fija.

R_p sirve para ajustar los valores de voltaje, de tal manera que se cumpla:

$$I_{ent} = 0A. \quad V_1 = 0V \quad (2.31)$$

$$I_{ent} = 5A. \quad V_1 = 5V \quad (2.32)$$

Los valores de resistencias y condensador que se obtuvieron para este diseño son:

$$C_2 = 68\mu F \quad R_4 = 13k\Omega \quad R_p = 1.5M\Omega \quad (2.33)$$

Adicionalmente, para garantizar el correcto funcionamiento del circuito para los rangos de corriente establecidos, esto es, 0 y 5 A se coloca a la salida del amplificador operacional un diodo zener de 5.1 V. El zener actúa de tal manera que si la corriente es menor a 0 A no permite que a la salida del A.O. se presenten voltajes negativos, limitando el mismo a una salida de - 0.6V.

En el otro sentido, si la corriente supera los 5 A, el zener no permitirá que la salida sobrepase los 5.1 V, protegiendo así al circuito. La resistencia R_5 tiene un valor de 330 Ω .

CAPITULO 3:

DESARROLLO DE SOFTWARE

CAPITULO 3

DESARROLLO DE SOFTWARE

3.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE SOFTWARE

El microcontrolador a utilizarse debe realizar las tareas que permitan cumplir con los requerimientos y funciones del equipo a diseñarse. Las tareas son rutinas específicas que se ejecutan de acuerdo a prioridades predeterminadas y en intervalos de tiempo fijos que el microcontrolador dispone para su ejecución.

El software desarrollado deberá posibilitar la medición y determinación de los parámetros eléctricos como son:

- Voltaje RMS línea - línea
- Corriente RMS por fase
- Factor de potencia por fase
- Factor de potencia trifásico
- Frecuencia de la red
- Potencia activa por fase y trifásica
- Potencia reactiva por fase y trifásica
- Potencia aparente por fase y trifásica
- Energía eléctrica

Para la medición e indicación de cada uno de estos parámetros en la pantalla de cristal líquido, se ha previsto tener las siguientes características:

Se ha planteado tener dos escalas de voltaje que corresponden a 220 y 440V, por cuanto estos dos niveles de voltaje son los más utilizados en nuestro país tanto a nivel residencial como industrial. Estos serán mostrados en el display con una resolución que depende directamente de la escala en la que se trabaja, pero sin afectar en ningún caso la precisión en las mediciones. Los valores a ser indicados siempre van a ocupar cuatro localidades en el display, es decir tres enteros y un decimal (xxx.x).

Para la medición de la corriente se consideran varias escalas las cuales se indican a continuación: 5, 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 1600, 2000 y 2500 A, las cuales deberán ser sensadas a través de transformadores que entreguen una corriente máxima en el secundario de 5A. Estos datos tendrán una resolución que depende de la escala en la que se esté trabajando ya que en pantalla siempre se ocuparán los mismos espacios, sin embargo, su precisión se mantendrá igual, cualquiera sea la escala con la que se trabaje. Para la indicación de los datos en pantalla al igual que en voltaje se prevé tener cuatro campos (xxxx) en el cual el punto decimal variará según la escala en la que se esté trabajando.

La selección de las escalas de voltaje y corriente se realizará mediante los dipswitches disponibles en la tarjeta.

Para la medición e indicación del factor de potencia tanto por fase como trifásico, se ha previsto tener una resolución de dos dígitos decimales, por lo que en el display se dejan cuatro localidades para mostrar esta información (xx.xx).

La medición de frecuencia se realizará con una resolución de 0.01 Hz, por tanto, para que esta información sea mostrada en la pantalla se requiere de cuatro localidades, dos para enteros y dos para decimales (xx.xx)

Las mediciones de cada una de las potencias tanto aparente, activa y reactiva, por fase y trifásicas siempre se realizará considerando una única escala, esto es, KVA, KW, KVAR respectivamente, con una resolución de 0.1 KVA, 0.1 KW, 0.1 KVAR; para cumplir con este planteamiento será necesario dejar disponible en pantalla cuatro localidades de tal manera de poder representar 3 dígitos enteros y un decimal (xxx.x). La información máxima que se podrá mostrar será igual a 999.9 KVA, KW, KVAR para cada parámetro.

En el caso de la energía activa, esta será medida en unidades de KW-h, con una resolución de 0.1 KW-h; se ha previsto mostrar esta información en la pantalla de cristal líquido con un formato de cinco enteros y un decimal (xxxxx.x) por tanto se deben dejar seis localidades para indicar esta información. La capacidad máxima de almacenamiento es de 99999.9 KW-h.

Los datos en pantalla van a ser mostrados en parejas como se indicó en la tabla 2.1.

Cada uno de los valores van a ser mostrados en diferentes páginas del display, por tanto, para su manejo es necesario disponer de un puntero que utiliza una localidad de memoria RAM (PUNTRD) el cual va a contener la información del número de página que se desea mostrar. El contenido de este puntero puede ser alterado tanto internamente con el manejo de las rutinas del programa, así como externamente por el usuario de tal manera de poder cambiar la información que se presenta en la pantalla. El teclado únicamente permite cambiar la información a ser mostrada en la pantalla.

Todas las mediciones de voltaje, corriente, y cálculos de frecuencia, factor de potencia, potencia aparente, activa, reactiva, por fase y trifásicos, así como energía se los realiza en forma permanente una vez que el equipo ha sido encendido y puesto en operación por medio de un reseteo del microcontrolador. No se requiere ninguna señal externa adicional para iniciar el proceso de medición. Cabe indicar que esta medición no depende del teclado ni tampoco es función del PUNTRD, por tanto, los cálculos se efectúan independientemente de lo que se muestra en display.

La determinación del valor del factor de potencia por fase, así como de frecuencia, se realiza midiendo los intervalos de tiempo entre cruces por cero de voltaje y corriente para lo cual, se detectan dichos cruces usando las interrupciones externa 0 (cruces por cero de voltaje) y externa 1 (cruces por cero de corriente) del microcontrolador y acumulando el tiempo contado con ayuda del timer 0.

Además, se ha desarrollado la rutina de interrupción serial la cual permite establecer la comunicación del equipo con el usuario a través de un computador personal, de tal forma de poder recopilar información almacenada en la memoria de datos de programa (RAM). Esta rutina utiliza el TIMER 2.

Para cumplir con el requisito planteado en el capítulo 2, de mantener la precisión y la resolución todas las rutinas se han desarrollado de manera que trabajan con aritmética extendida y así, no se pierde la información de los decimales de los números que podrían afectar, al resultado obtenido.

Para facilitar el desarrollo de software del equipo y mejorar su comprensión, se plantean reglas generales las mismas que determinan las estrategias que se seguirán en la escritura de las

diferentes rutinas.

- Puesto que se requieren bases de tiempo exactas para las funciones de temporización se debe garantizar que la ejecución del programa total dure un número de ciclos constante independiente de los saltos, interrupciones, bifurcaciones o estado en el que se encuentre el microcontrolador.
- El μC permanentemente debe ejecutar el programa principal, el cual consiste en medir y calcular los parámetros eléctricos, actualizar el display, independiente de las atenciones que se tienen a interrupciones, a teclado y demás funciones del equipo.
- Todas las rutinas desarrolladas deben ser compensadas en el tiempo de tal manera de garantizar que el programa principal, por cualquier camino que se siga para realizar las operaciones, se ejecute en tiempos constantes.
- Todas las rutinas desarrolladas realizan operaciones en aritmética extendida puesto que siempre se debe trabajar con decimales, los cuales son convertidos a enteros luego de ser multiplicados por una constante adecuada y conocida. Estas constantes deberán ser consideradas para realizar su ponderación previamente a ser mostrados en pantalla.
- Todos los valores medidos tienen localidades de memoria RAM predefinidas para su almacenamiento; también para los valores calculados se tienen localidades para almacenamiento del valor binario y para su valor equivalente en BCD.
- Considerando que la pantalla y las barras luminosas van a indicar diferente información (parámetros eléctricos), es conveniente definir estados seleccionables a través del

teclado. Usando un puntero se podrá manejar con facilidad la rutina de actualización del LCD, determinando así cual es la información que se va a mostrar.

El programa de operación del equipo se encuentra almacenado en memoria EPROM incorporada al μC 8752.

En la memoria EPROM del μC también se encuentran grabadas las constantes correspondientes a las relaciones de transformación de voltaje y corriente así como tablas de conversión usadas en las operaciones y los mensajes iniciales y encabezados que se presentan en el LCD.

A continuación en la tabla 3.1, se indican las subrutinas usadas y la función que estas cumplen en la ejecución del programa.

RUTINAS DEL PROGRAMA	FUNCION QUE REALIZA
ACTUALIZALCD	ACTUALIZA LOS VALORES DEL LCD
ADVI	LECTURA DE V e I Y ACUMULACION DE ELLOS
BCDCONVERT	CONVERSION DE UN NUMERO BINARIO DE 2 BYTES A SU EQUIVALENTE BCD
CABEZA	ENVIA MENSAJES INICIALES DEL EQUIPO AL LCD
CLEARLCD	BORRA O LIMPIA LA PANTALLA DEL LCD
DESPLAZARI	DESPLAZA LOS DIGITOS DE I PARA MOSTRAR BYTES MAS SIGNIFICATIVOS DEPENDIENDO DE LA ESCALA DEL TRANSFORMADOR
DESPLAZARV	DESPLAZA LOS DIGITOS DE V PARA MOSTRAR BYTES MAS SIGNIFICATIVOS DEPENDIENDO DE LA ESCALA
DISP1	PERMITE MANEJO DE LA PRIMERA FILA DEL LCD
DISP2	PERMITE MANEJO DE LA SEGUNDA FILA DEL LCD
DIVISION	DIVIDE 1 NUMERO DE 4 BYTES PARA UNO DE 2
ESCALAVOLT	MULTIPLICA EL BINARIO DE V POR UN FACTOR DE ESCALA PARA OBTENER EL VALOR REAL
ESCALACURR	MULTIPLICA EL BINARIO DE I POR UN FACTOR DE ESCALA PARA OBTENER EL VALOR REAL
EXINT0	ATENCION A LA INT0. (CRUCES POR 0 DE VOLTAJE)
EXINT1	ATENCION A LA INT1. (CRUCES POR 0 DE CORRIENTE)
FACTORPOT	DETERMINA EL FACTOR DE POTENCIA POR FASE
MOVCURSOR	POSICIONA AL CURSOR EN ALGUN LUGAR DEL LCD
MOVDDRAM	ENVIA DATOS DEL μ C A LA RAM DEL LCD
MULTIPLICAR	MULTIPLICA 2 NUMEROS DE 2 BYTES CADA UNO
PRINTCHAR	IMPRIME UN CARACTER EN ALGUN LUGAR DEL LCD
PRINTDIG	IMPRIME UN DIGITO EN ALGUN LUGAR DEL LCD
PROMLCD	COPIA DATOS DE LA ROM DEL μ C AL LCD
RESETDISP	INICIALIZA AL LCD
RESTA	RESTA 2 NUMEROS DE N BYTES
RETARDO	GENERA TIEMPOS DE RETARDO (Diferentes usos)
RUTBASET1	PROMEDIA V e I, INICIALIZA PUNTEROS, CAMBIA DE FASE
SUMBCD	SUMA 2 NUMEROS DE N BYTES Y HACE AJUSTE DECIMAL
SUMA	SUMA 2 NUMEROS DE N BYTES
TECLAÑO	ATENCION Y DECODIFICACION DE TECLADO

TABLA 3.1 SUBRUTINAS UTILIZADAS EN EL PROGRAMA

3.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA

3.2.1 PROGRAMA PRINCIPAL:

El programa principal debe ejecutarse iterativamente y demorar siempre un número de ciclos de máquina constante. En la figura 3.2 se muestra la estructura general del programa principal.

Se ha tomado como base de tiempo 2 segundos, por tanto considerando que se va a trabajar con un cristal de 3.579545 MHz cada vuelta completa al programa principal demora un total de 596.590 ciclos de máquina que equivalen a 2 segundos.

La estructura del programa principal comprende cuatro secciones, de las cuales tres corresponden a las mediciones de voltaje y corriente de cada fase, así como también las atenciones a las interrupciones de los cruces por cero de voltaje y corriente de cada fase lo cual permitirá obtener los valores correspondientes a frecuencia y factor de potencia de cada fase, mientras que en la última se realizan todos los cálculos de los diferentes parámetros a medirse. A continuación se indica el gráfico en el cual se esquematiza la forma como se ejecutan las operaciones en el lazo principal.

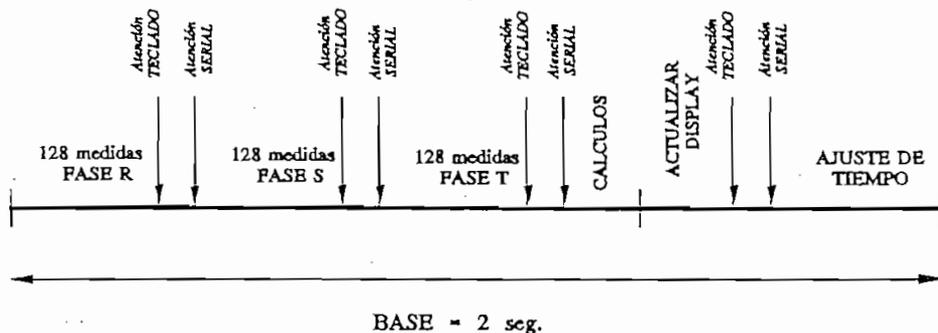


Figura 3.1

El programa principal empieza con la inicialización de todos los registros destinados a especificar ciertas funciones de los elementos del microcontrolador tales como los que definen la forma de operación de los timer/counter, habilitación de interrupciones, prioridad de interrupciones.

Se inicializa al stack pointer en 22H, la interrupción serial, la interrupción externa 0 y la interrupción externa 1 de tal manera que estas sean atendidas por flanco negativo, para detectar los cruces por cero de voltajes y corrientes respectivamente en forma independiente.

Se selecciona al timer 1 en el modo 1 para que funcione como timer de 16 bits para generar con este la base de tiempo de 2 segundos. Para las mediciones de factor de potencia y frecuencia se utiliza el timer 0 en modo 1 de tal modo que opere como timer de 16 bits. El timer 2 es utilizado en el modo 2 para generar el baud rate en 1200 para la transmisión serial y comunicación con el PC.

Arranca baud rate, se resetea bandera serial y bandera de interrupción externa 1 y 0.

Al empezar a funcionar el equipo, se limpia la pantalla de cristal líquido, se apagan los leds y la barra de leds utilizando las subrutinas RESETDISP, LEDOFF, BARRAS. Luego se envía a pantalla los primeros mensajes de inicialización del equipo los que describen las características del mismo.

Adicionalmente se inicializa la base de tiempo BASET1 que corresponde al número de lecturas de voltaje y corrientes que se van a tomar, en este caso específico se realizan 128 mediciones. Se lee el valor del dipswitch, cuyo valor se almacena en la localidad de RAM interna del microcontrolador DIPSW, dicha información será utilizada posteriormente para la determinación de las escalas de voltaje y corriente durante los cálculos de sus valores RMS respectivos. El

dipswitch es leído una sola vez al inicio de la ejecución del programa por lo que este valor no podrá ser alterado durante la ejecución del mismo; si se desea que una nueva escala de voltaje o corriente sea aceptada se deberá resetear al microcontrolador.

Al ingresar en el lazo del programa principal se inicializa el contador de la base de tiempo de 2 segundos y se arranca el timer 1. El registro utilizado como contador de la base de tiempo es el R7 del banco 2. A continuación se pregunta si no se han cumplido las 128 lecturas, de no ser así se llama a la subrutina ADVI la cual se encarga de leer los canales del conversor A/D correspondientes al voltaje y corriente de la fase activa.

Cumplidas las 128 lecturas, se llama a la rutina RUTBASET1 que permite promediar los valores de voltaje y corriente medidos. Al mismo tiempo se acumulan los tiempos de retardo existente entre los cruces por cero de voltaje - corriente y corriente - voltaje en las localidades FRECHBIN y FRECLBIN, realizadas estas operaciones se incrementa el contador de fase, si el contador de fase es igual a 3 (cumplidas 3 fases), se procede a calcular los valores RMS de voltaje y corriente, potencia aparente, activa, reactiva y factor de potencia de cada fase, así como los parámetros trifásicos de S, P, Q, fp, energía consumida y frecuencia. Posteriormente todos estos valores son procesados de tal manera de encontrar su respectivo valor BCD para poder ser mostrados en pantalla. Realizado esto, se llama a la rutina ACTUALIZALCD que permite actualizar todos los datos que van a ser mostrados en el DISPLAY y se encera el contador de fase. Por último para garantizar que la rutina del programa principal se demore el tiempo especificado de 2 segundos, se realiza la compensación del tiempo esperando que el contador de la base de tiempo (R7) sea igual a cero, indicación que se da seteando la bandera BBASET.

Si el valor de fase no es igual a 3 se enceran las localidades de acumulación de voltaje,

corriente y frecuencia binario. Se atiende a la interrupción serial, la cual permite descargar datos de la memoria de datos del microcontrolador (memoria RAM); y se verifica si alguna de las teclas fue presionada. Aquí se habilita la interrupción externa 0 que permite detectar los cruces por cero de voltaje y se inicializa el contador de interrupciones para realizar un total de 8 mediciones.

Durante el proceso de la ejecución de las 128 lecturas de voltaje y corriente de cada fase, son habilitadas en forma alternada las interrupciones externa 0 y 1 correspondientes a cruces por cero de voltaje y corriente respectivamente. Estas señales de interrupción son atendidas durante todo el proceso de lectura de parámetros de cada fase. En primer lugar se procede a habilitar la interrupción de voltaje (int. externa 0) la cual servirá como señal de sincronización, una vez recibida la señal de interrupción de voltaje de la fase activa, se procede a parar al timer 0, leer los valores contenidos en sus registros y almacenarlos en las localidades predefinidas para este propósito, posteriormente se encera el timer, se habilita la interrupción de corriente (int. externa 1) y se arranca nuevamente al timer, y se retorna a seguir ejecutando el programa principal, al llegar una interrupción de corriente se deja de ejecutar el programa principal y se salta a ejecutar la rutina de atención a la interrupción externa 1, en esta rutina al igual que en la interrupción externa 0 se para el conteo del timer 0, se lee el contenido de sus registros, y se lo acumula en localidades de RAM predefinidas, posteriormente se encera el timer, se habilita las interrupciones de voltaje se deshabilitan las de corriente, se arranca el timer y se retorna al programa principal.

En el intervalo de obtención de datos de una fase se reciben ocho interrupciones de corriente y nueve de voltaje, por lo que se tendrán siempre la sumatoria de ocho valores correspondientes a intervalos de tiempo de cruce por cero de voltaje-corriente y corriente-voltaje, dichos valores son almacenados en localidades de la RAM interna del μC .

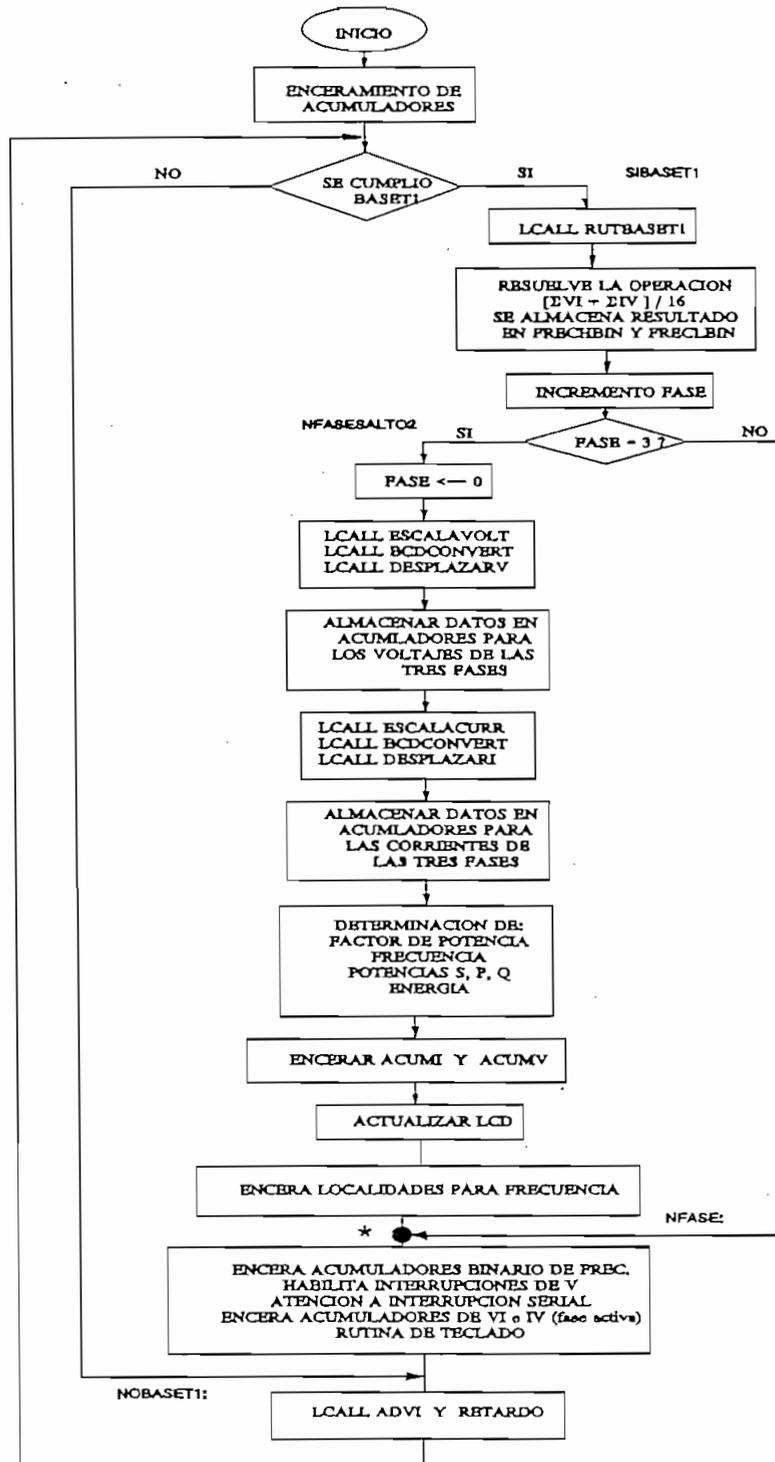


Figura 3.2 Diagrama de flujo PROGRAMA PRINCIPAL

Para cumplir con este objetivo, se utilizan las dos interrupciones externas que dispone el μC 8752, de las cuales la INT0 corresponde a los cruces por cero de los voltajes de las tres fases, mientras que INT1 corresponde a los cruces por cero de las corrientes de las tres fases.

Estas dos fuentes de interrupción son procesadas en forma independiente. Siempre para el inicio de atención a las interrupciones se habilita la interrupción externa 0 (interrupciones de voltaje), la cual es tomada como señal de sincronismo, por tanto siempre se espera en cada fase activa su interrupción de cruce por cero de voltaje, de acuerdo con el gráfico siguiente:

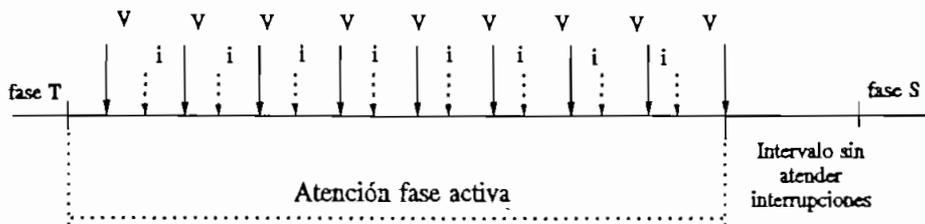


Figura 3.3

Una vez que ha llegado un cruce por cero de voltaje de la fase activa, se atiende a la interrupción, se para el conteo del timer 0, se acumula el tiempo de cruces por cero de corriente-voltaje (SUMIV), se encera el timer, se habilita la interrupción de corriente y se arranca al timer, y se pasa a esperar una interrupción de corriente; una vez que haya llegado la interrupción de corriente de la fase activa, se para el timer0, se acumula el tiempo de cruces por cero de voltaje-corriente (SUMVI) y se habilita la interrupción de voltaje. Con el propósito de que las mediciones sean mas confiables se realizan ocho mediciones de los intervalos de tiempo de cruce por cero de voltaje-corriente y corriente-voltaje.

3.2.3.1 EXINT0:

En la rutina de la interrupción externa 0 se verifica que el código de la fase leída corresponda al de la fase activa, si así es el caso, se para el conteo del TIMER0, el dato almacenado en los registros del timer (TH0 y TL0) son transferidos a localidades de memoria RAM y sumados con los respectivos valores anteriores. Una vez concluido esta parte del proceso, se encera el TIMER y se inicia nuevamente el conteo (STARTTIMER). Posteriormente se habilita la interrupción externa 1 si y solo si ha llegado el código de voltaje correcto.

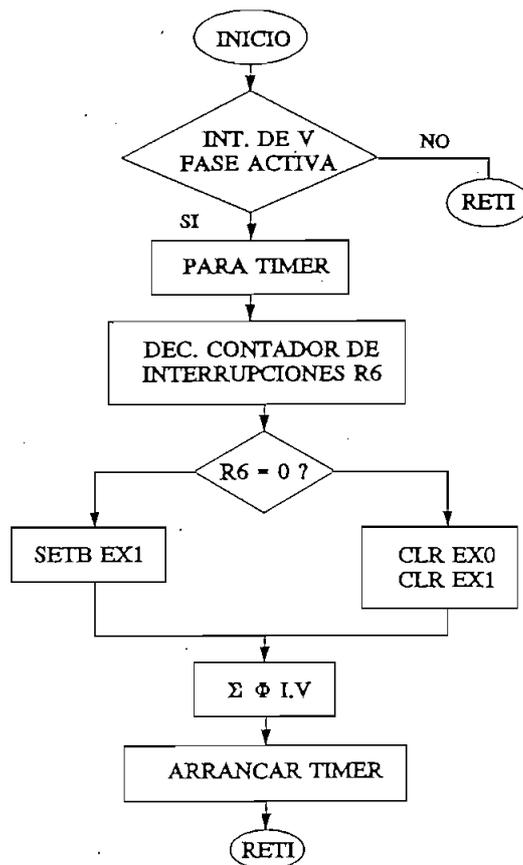


Figura 3.4 Subrutina EXINT0 .

3.2.3.2 EXINT1:

Esta subrutina tiene una estructura similar a la indicada anteriormente (EXINT0), la variante que presenta es que al iniciar la ejecución de la misma se deshabilita la interrupción externa 0.

Es necesario indicar que los valores registrados en el TIMER, cuando éste es arrancado en la interrupción externa 1 son acumulados en la localidades de memoria RAM denominadas SUMIV, en tanto que, los valores registrados en el TIMER correspondientes a la atención de la interrupción externa 0 se acumulan en las localidades denominadas SUMVI. Estos datos posteriormente serán utilizados para la determinación de los parámetros eléctricos de frecuencia y factor de potencia.

Las dos rutinas anteriormente especificadas realizan el conteo de los tiempos entre cruces por cero de corriente y voltaje en forma independiente para cada fase.

En las figuras 3.4 y 3.5 se indican los diagramas de flujo de estas subrutinas.

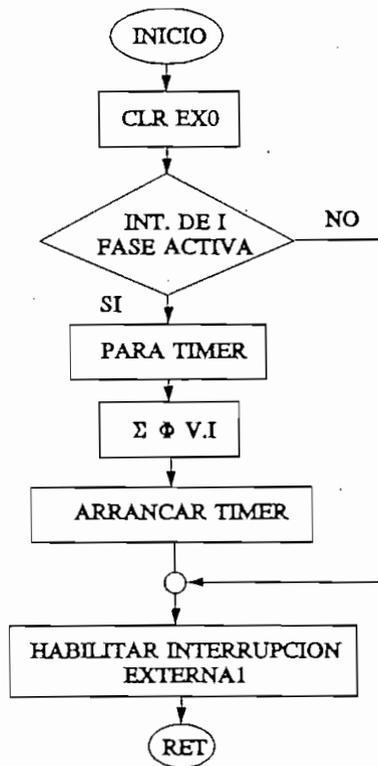


Figura 3.5 Subrutina EXINT1

3.2.4 RUTINA PARA MEDIR LA FRECUENCIA DE LA RED

Para el cálculo del valor de frecuencia de la red de alimentación, se utilizan los valores SUMIV y SUMVI resultantes de las rutinas EXINT0 y EXINT1.

Esta rutina suma los registros SUMVI y SUMIV de la fase activa y este resultado, equivalente a un período de la red, se suma con los correspondientes de las otras dos fases, por tanto, la frecuencia se calcula promediando los períodos de las tres fases.

El valor promedio binario es transformado a su equivalente BCD para su posterior exhibición en el LCD.

Frecuencia del cristal = 3.579545 MHz

Frecuencia del timer del μC = 3.579545 /12 MHz

Se toma como base de tiempo para realizar las mediciones, un ciclo de máquina que es igual al inverso de la frecuencia del timer del μC , por tanto el valor que cuenta el timer determina directamente el valor de la frecuencia que se va a medir:

$$frec. red = \frac{frec. timer}{Conteo timer (CM)} \quad (3.8)$$

Tomando en cuenta que se van a realizar ocho mediciones por cada fase, y que el promedio se obtiene del acumulado de las tres fases, dicho acumulado ocupa un número superior a 2 bytes, haciéndose necesario escalar el valor medido y por tanto la constante de división.

En base a pruebas realizadas en el μC se determinó que el número adecuado para realizar el escalamiento es 16, por tanto el acumulado deberá dividirse para 16 mientras que la frecuencia del timer queda afectada por un factor 3/2, ésto es:

$$frecuencia_{(timer)} = \frac{298.245 * 8 * 3}{16} Hz \quad (3.9)$$

$$frecuencia_{(timer)} = 447.443 Hz \quad (3.10)$$

Este valor de constante teóricamente es el adecuado, sin embargo, al realizar las experimentaciones con dicho valor se detectan errores en la medición de frecuencia, debido a que el μC no toma un tiempo constante en la atención a interrupciones y arranque y parada del TIMER. Por tanto experimentalmente se determino:

$$frecuencia_{(timer)} = 446.000 Hz \quad (3.11)$$

Cabe señalar que este proceso de escalamiento no afecta la resolución en la medida de frecuencia (0.01 Hz)

3.2.5 RUTINA DE FACTOR DE POTENCIA

En esta subrutina se leen los valores correspondientes a los tiempos entre cruces por cero de voltaje y corriente **SUMVI** (cruces positivos), se realizan un total de ocho mediciones. Los valores de factor de potencia se encuentran almacenados en una tabla de traducción (**TFACTORP**); el puntero de la tabla correspondiente a f_p se determina dividiendo el tiempo acumulado producido por los cruces por cero de **V** e **I** para el tiempo acumulado de los cruces por cero consecutivos de voltaje de una misma fase, tal como se justificó en el numeral 1.4.3 del capítulo 1. El resultado de esta división tiene una extensión de un byte.

En la tabla se encuentran almacenados 256 valores correspondientes a f_p los mismos que pueden tomar valores de 0 a 1 teniendo una distribución de tipo cosenoidal.

Además en esta subrutina dependiendo de la posición del puntero de la tabla se puede determinar el signo del factor de potencia que indica si este tiene características de inductivo o capacitivo.

Los signos de la potencia activa y reactiva corresponden a los 2 bits menos significativos de los bytes almacenados en la tabla denominada **TABLASIGNOS**. El bit 0 corresponde a potencia activa y el bit 1 a potencia reactiva. Por convención, si el bit 0 está en **1L** indica que el flujo de potencia es positivo, esto es, consumo de potencia; caso contrario es negativo, equivalente a entrega de potencia. De igual manera, si el bit 1 está en **1L** corresponde a potencia reactiva inductiva caso contrario equivale a potencia reactiva capacitiva.

La información correspondiente a los signos se almacena en la localidad 20H que es direccionable bit a bit.

El valor de f_p en esta subrutina se encuentra en código binario, y posteriormente debe ser transformado a BCD para poder exhibirlo en la pantalla LCD.

El valor de dirección de la tabla es almacenado en la localidad PUNTFP, el cual posteriormente permitirá determinar el valor $\text{sen}(\phi)$, necesario para el cálculo de potencia reactiva.

En la figura 3.6 se indica el diagrama de flujo correspondiente a esta subrutina.

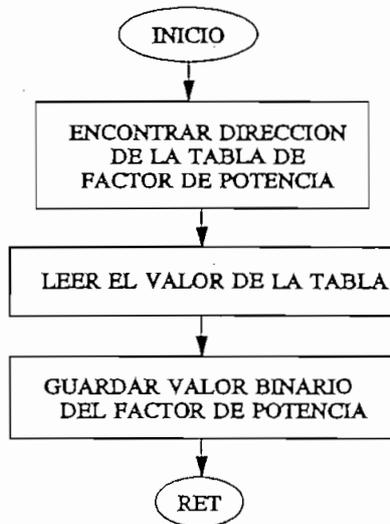


Figura 3.6 Subrutina FACTORPOT

3.2.6 RUTINA DE ADQUISICION DE DATOS

Mediante esta rutina se procederá a la selección y lectura de uno de los canales del multiplexer análogo en los cuales se pueden leer las magnitudes correspondientes a voltajes y corrientes de alimentación, posteriormente se las almacenará en localidades de memoria RAM predefinidas al inicio del programa. Se toman un total de 128 muestras de V e I por cada fase las cuales se van acumulando, se divide la suma para el número de muestras obteniéndose así su valor promedio, dicho valor se guarda en memoria RAM. A continuación se indica la tabla que contiene los códigos para seleccionar el canal del multiplexer análogo y la correspondiente magnitud a medirse:

CODIGO DEL MUX	MAGNITUD A MEDIRSE
1111110B	VOLTAJE DE LINEAS RS
1111101B	VOLTAJE DE LINEAS ST
1111011B	VOLTAJE DE LINEAS TR
1110111B	CORRIENTE DE LA LINEA R
1110111B	CORRIENTE DE LA LINEA S
1101111B	CORRIENTE DE LA LINEA T

TABLA 3.2 CODIGO DE LECTURA DE MULTIPLEXER ANALOGICO

Esta subrutina se ejecuta leyendo los datos de voltaje, corriente, factor de potencia y frecuencia por cada fase en forma independiente.

3.2.7 RUTINA DE LECTURA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL CONVERSION A/D

Se denomina ADVI; en la figura 3.7 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a esta rutina. Al conversor A/D, así como al multiplexer analógico se los trata como localidades de memoria externa, para esto, se direcciona al MUX para escoger uno de los ocho canales de tal forma de enrutarlos hacia el conversor análogo digital (esto se hace a través de OUT07, se generan los retardos necesarios para garantizar la estabilización del multiplexer así como para realizar las lecturas respectivas (150 μ s para estabilizar MUX y CAD).

La primera lectura que se ejecuta corresponde a voltaje, seguidamente, luego de almacenar los resultados iniciales en ACUMVH y ACUMVL, se procede al trabajo con los datos de corriente. En este caso, la dirección a la que se debe apuntar es incrementada en 3, los resultados de acumulación se almacenan en las localidades ACUMIH y ACUMIL.

Tanto para la lectura de corriente como de voltaje, se toman un total de 128 muestras por cada fase (128 llamadas a la rutina ADVI), con un intervalo de 744 μ s que corresponde a la toma de muestras durante 4.76 ciclos de la red si se considera que esta tiene una frecuencia de 50 Hz, mientras que a una frecuencia de 70 Hz se muestrearán datos de 6.7 ciclos.

El valor promedio de la suma, tanto de voltaje como de corriente, se encuentra dividiendo tal resultado para el número de lecturas realizadas.

Los tiempos de estabilización se calculan observando las especificaciones del multiplexer analógico y del conversor A/D. Estos tiempos son 150 μ s y 120 μ s para cada elemento respectivamente.

Se ha previsto tomar un total de 128 medidas puesto que mientras mayor es el número de datos con el que se trabaja, el resultado de su promediación se aproxima más al valor real.

Además, las muestras son tomadas de manera de garantizar que ellas no estén ubicadas en un rango muy pequeño de la señal analizada y por tanto lograr una información más certera de las características de dichas señales.

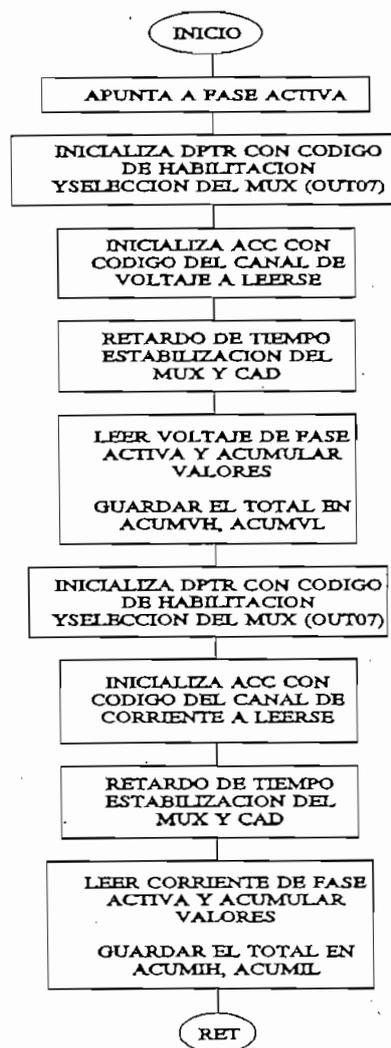


Figura 3.7 Subrutina ADVI

3.2.8 RUTINA DE PROMEDIACION Y ALMACENAMIENTO BINARIO

La subrutina RUTBASET1, cuando se termina la base de tiempo T1 (fin del bloque de 128 mediciones de cada fase) se encarga de promediar los valores de v e i acumulados por la subrutina ADVI, estos promedios son almacenados en memoria RAM, se inicializan los contadores y registros para cambio de fase y se compensa el tiempo. En la figura 3.8 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a esta subrutina.

La promediación de los valores acumulados se realiza a través de rotaciones primero el de voltaje y luego el de corriente. Los promedios binarios se almacenan en las localidades de memoria RAM denominadas VR, VS, VT, IR, IS, IT. El registro R0 del banco 0 es utilizado en esta subrutina como puntero de RAM (dirección para almacenar resultados en binario).

Todos los valores de voltaje y corriente, anteriormente indicados, tendrán una extensión máxima de 1 byte, lo cual facilitará las operaciones posteriores que deben ejecutarse con dichos datos.

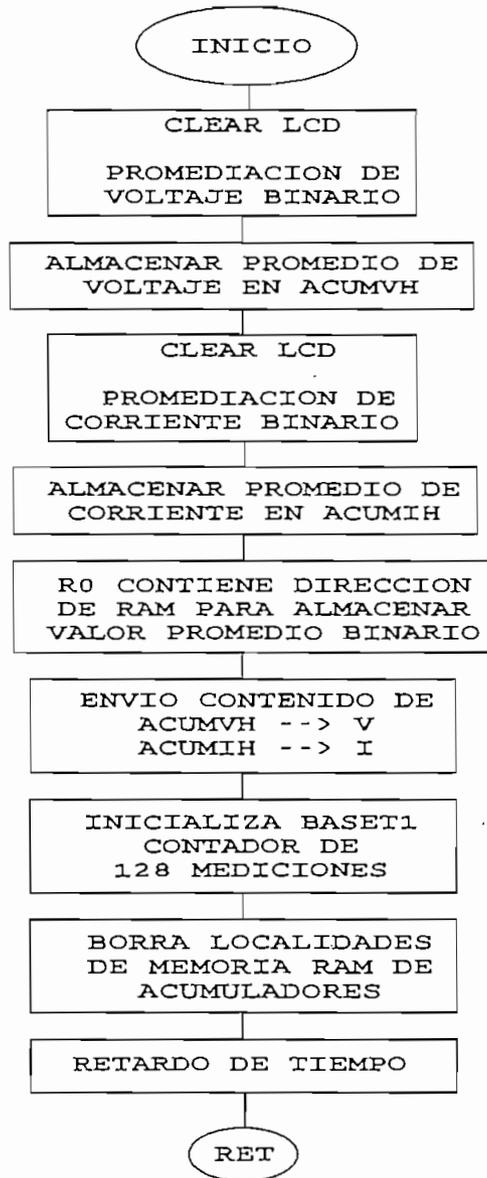


Figura 3.8 Subrutina RUTBASET1

3.2.9 RUTINA DE ESCALAMIENTO DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE.

Esta conformada por dos partes para el escalamiento de voltaje y corriente en función del dipswitch que permite seleccionar la relación del transformador de corriente y la escala del voltaje.

La subrutina para escalar el voltaje se denomina ESCALAVOLT, y para la corriente ESCALACURR, esta última adicionalmente utiliza una tabla que contiene el factor que debe ser usado para el escalamiento en función de la relación de transformación.

Para el voltaje se prevé dos escalas una de 220V y otra de 440V, las cuales podrán ser seleccionadas a través del dipswitch que es tratado como una localidad de memoria externa.

Considerando que el conversor que se va a utilizar es de ocho bits, los valores mínimo y máximo de salida del conversor son 00H y FFH, y como los valores de entrada al equipo van a ser $220V \pm 20\%$, se tiene las siguientes equivalencias:

176 V.....	00H
264 V.....	FFH

o en el caso de la otra escala ($440 \pm 20\%$):

352 V.....	00H
528 V.....	FFH

tomando en cuenta estas relaciones se obtienen las siguientes ecuaciones, necesarias para encontrar el valor real de voltaje de entrada al equipo:

$$\text{Valor (RMS)} = m * \text{Valor conversor} + 176V \quad (3.1)$$

$$m = \frac{264 - 176}{FFH - 00H} = 0.34 V \quad (3.2)$$

Por tanto, la ecuación que permite determinar el voltaje RMS queda dada por:

$$\text{Valor (RMS)} = 0.34 * \text{Valor conversor} + 176V \quad (3.3)$$

Para la escala de 440 V, se tiene:

$$\text{Valor (RMS)} = m * \text{Valor conversor} + 352V \quad (3.4)$$

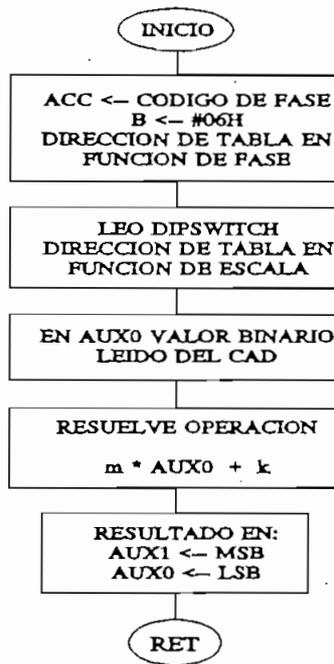
$$m = \frac{528 - 352}{FFH - 00H} = 0.69 V \quad (3.5)$$

Por tanto, la ecuación que permite determinar el voltaje RMS queda dada por:

$$\text{Valor (RMS)} = 0.69 * \text{Valor Binario} + 352V \quad (3.6)$$

La rutina ESCALAVOLT inicia cargando en el acumulador el código correspondiente a la fase activa, con este valor se obtiene el offset de la tabla de escalamiento en función de la fase, lee el dipswitch de selección de escalas, con los dos códigos se obtiene la posición del dato en la tabla en función de la fase y la escala.

El primer dato leído de la tabla corresponde al factor de escalamiento por el cual debe multiplicarse el valor de voltaje (binario) que se encuentra almacenado en AUX0; el segundo y tercer dato leído de la tabla corresponde al valor que debe sumarse al producto anterior. Los resultados de la operación se almacenan en AUX1 (MSB) y AUX0 (LSB)



m y k: Datos grabados en la tabla

Figura 3.9 Subrutina ESCALAVOLT

Para el escalamiento de corriente se han considerado las siguientes escalas:

5 A 10 A 20 A 50 A 75 A 100 A 150 A 200 A
 250 A 300 A 400 A 500 A 600 A 750 A 800 A 1000 A
 1200 A 1500 A 1600 A 2000 A 2500 A.

obteniéndose las siguientes relaciones de escalamiento:

$$\text{Factor de Conversión} = \frac{\text{Valor de escala}}{255} \quad (3.7)$$

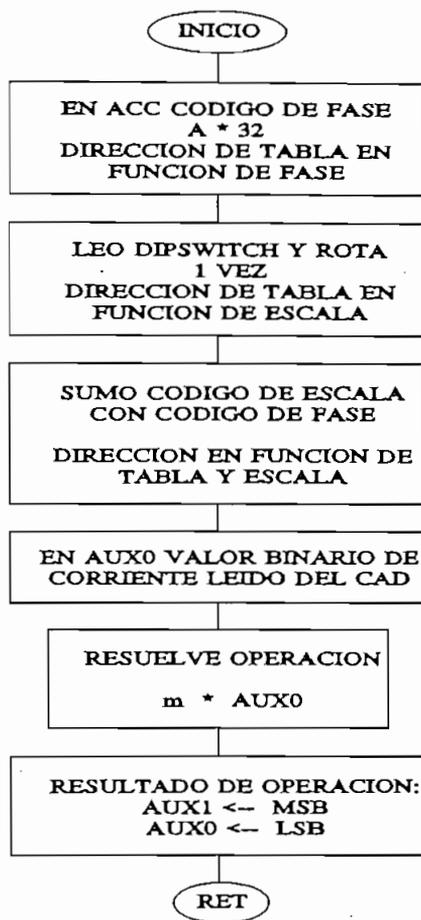
ESCALA (A)	5	10	20	50	75	100	150	200	250	300	400	500
FACTOR DE ESCALA	196	39	78	196	29	39	59	78	98	118	157	196

ESCALA (A)	600	750	800	1000	1200	1500	1600	2000	2500
FACTOR DE ESCALA	235	29	31	39	47	59	63	78	98

Entonces para cada uno de los casos de escala lo único que se deberá hacer para encontrar el valor de corriente será multiplicar el valor de escalamiento por el valor binario, considerando unicamente los valores de conversión los cuales son: 29, 31, 39, 47, 59, 63, 78, 98, 118, 157, 196 y 235 de tal manera que los factores de conversión tengan una extensión de un byte para todos los casos. Por tanto, se tiene otra rutina que va a permitir mostrar en pantalla el valor real escalado por medio de la inserción de un punto decimal en el lugar adecuado dependiendo de la escala a la que se esté trabajando.

Tanto para la subrutina de escalamiento de voltaje como para la de escalamiento de corriente se ha preferido generar las tablas de constantes para cada fase en forma independiente de tal manera de poder calibrar al equipo por medio de software, esto es, los datos de v e i de cada fase para una misma entrada deberán presentar en pantalla un mismo valor.

Para la calibración del equipo, en lo referente a la medición de corriente, se debe encontrar el valor que debe tomar la constante de multiplicación y corregirla en la tabla. En cambio, para la calibración del parámetro de voltaje se procederá a encontrar las dos constantes de las ecuaciones 3.3 y 3.5 para grabar dicho valor en la tabla correspondiente.



m : *Dato grabado en la tabla*

Figura 3.10 Subrutina ESCALACURR

3.2.10 RUTINA PARA DESPLAZAR LOS DIGITOS BCD DEL VOLTAJE

Debido a que los dígitos mostrados en la pantalla van a ser cuatro o seis dependiendo de la magnitud que se va a indicar, es necesario realizar desplazamientos para tener los números en las localidades más significativas de memoria RAM dedicadas para este propósito. En esta rutina se utiliza una tabla en la cual se indican el número de desplazamientos que se deben realizar debido a que los datos a mostrarse deben estar almacenados en las localidades BCD2, BCD1.

3.2.10.1 *DESPLAZARV*

En este caso el número que se analiza es el correspondiente a voltaje por tanto el número de desplazamientos que se debe realizar es siempre igual a dos (2), debido a que el valor de voltaje tiene cuatro dígitos a mostrarse, los cuales al realizar la transformación a BCD quedan almacenados en las localidades BCD2, BCD1 y BCD0, por tanto es necesario rotarlos para que ellos queden en las localidades BCD2 y BCD1.

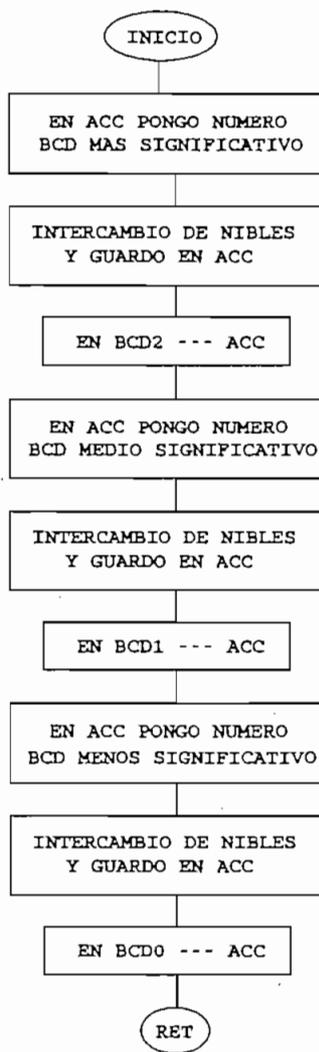


Figura 3.11 Subrutina DESPLAZARV

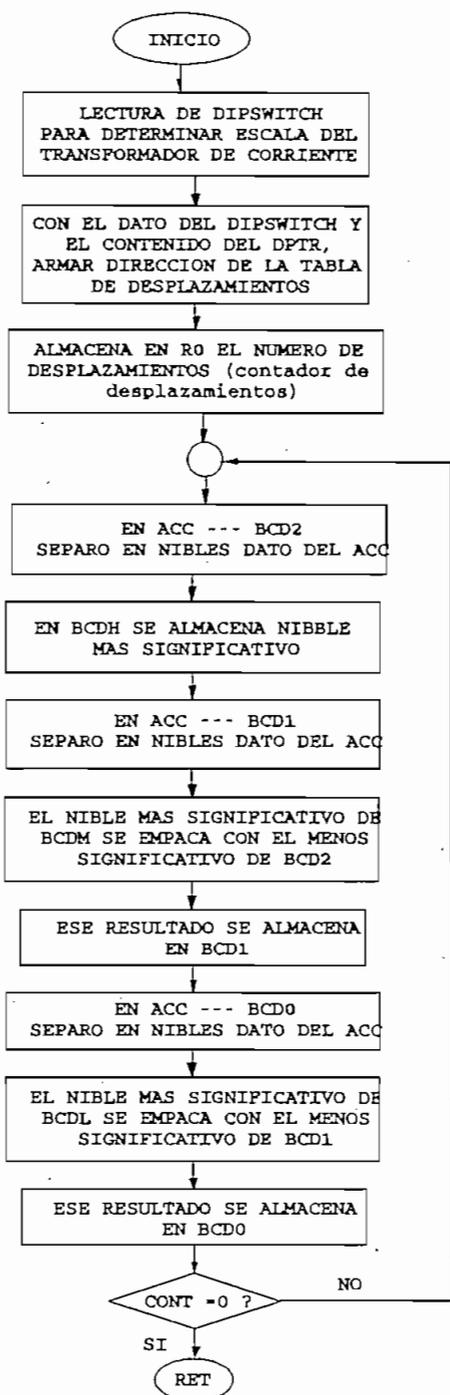


Figura 3.12 Subrutina DESPLAZARI

Para el caso de la corriente el número de desplazamientos va a depender de la escala en la que se esté trabajando:

ESCALA	20	200	2000	5	50	500	10	100	1000	75	750
FACTOR	78	78	78	196	196	196	39	39	39	29	29
DESPLAZ	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2

ESCALA	150	1500	250	2500	300	400	800	1200	1600
FACTOR	59	59	98	98	118	157	31	47	63
DESPLAZ	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Puesto que al convertir el dato a BCD el resultado queda almacenado en las localidades BCD2, BCD1 y BCD0, se los rota en base a la tabla anterior, de esta forma el dato a mostrarse en display queda almacenado en las localidades BCD2 y BCD1.

3.2.11 RUTINA DE CALCULO DE POTENCIA APARENTE S

En esta rutina, primeramente se encuentran los valores de voltaje de cada fase, puesto que dichos valores son medidos entre líneas. Para encontrar el valor de la potencia aparente se multiplica los valores RMS de voltaje y corriente de cada fase.

$$S_{fase} = V_{RMS} * I_{RMS} \quad (3.12)$$

Para determinar los voltajes de fase, en esta rutina se llama a la subrutina VOLTFASE, para ello, los valores de voltaje línea - línea que ocupan las localidades VAUX1 y VAUX0 son transferidos a las localidades MULT12, MULT11 y MULT10, mientras que en las localidades MULT21 y MULT20 se carga el valor 1000. Se llama a la rutina MULTIPLICAR y el resultado se almacena en las localidades RMULT3,2,1,0, posteriormente estos valores se

transfieren a las localidades DIVIDEN3,2,1,0 y en las localidades DIVISOR3,2 se aloja el valor $\sqrt{3} * 1000$. Se llama a la rutina DIVISION, el resultado de esta operación queda almacenado en las localidades RDIV1 y RDIV0 para luego ser transferidos a MULT12,11,10.

La subrutina VOLTFASE se encarga de realizar la siguiente operación:

$$V_{fase} = \frac{V_{L-L} * 1000}{\sqrt{3} * 1000} \quad (3.13)$$

Cabe indicar que en este proceso, las únicas localidades que no alteran sus contenidos son MULT21 y MULT20.

El valor de la corriente de fase que se encuentra en las localidades IAUX1,0 es transferido a las localidades MULT21,20; para ser multiplicado con el voltaje de fase que quedó almacenado en MULT12,11,10; el resultado queda en las localidades RMUL3,2,1,0.

El resultado de esta multiplicación es escalado a su valor real en función de las escalas de corriente y voltaje como se indica en la tabla 3.3. Para cumplir con este propósito se utiliza la subrutina ESCALAPOT y los resultados se entregan en las localidades RDIV2,1,0. Estos valores en binario son posteriormente transferidos a las localidades de almacenamiento binario de la fase correspondiente, así: SRHBIN, SRMBIN, SRLBIN; para luego ser convertidos a sus correspondientes valores BCD.

ESCALA (A)	5	10	20	50	75	100	150	200	250	300	400
FACTOR DE ESCALA	10^6	10^5	10^5	10^5	10^4	10^4	10^4	10^4	10^4	10^4	10^4

ESCALA (A)	500	600	750	800	1000	1200	1500	1600	2000	2500
FACTOR DE ESCALA	10 ⁴	10 ⁴	10 ³	10^{3}	10^{3}	10^{3}	10^{3}	10^{3}	10^{3}	10^{3}

TABLA N. 3.3

3.2.12 RUTINA DE CALCULO DE POTENCIA ACTIVA P

En esta rutina se toman los datos de potencia aparente y factor de potencia para ser multiplicados a través de la rutina MULTIPLICAR. El valor de la potencia aparente que se encuentra almacenado en las localidades RDIV2,1,0 se transfieren a las localidades MULT12,11,10. El factor de potencia es determinado nuevamente en función del puntero PUNTFP y su valor es almacenado en MULT21,20. El resultado de la multiplicación se divide para 100 y se almacena en RDIV2,1,0 para ser transferido a las correspondientes localidades de almacenamiento binario PRHBIN, PRMBIN, PRLBIN y posteriormente, mediante la rutina BCDCONVERT, obtener los valores BCD que serán mostrados en la pantalla.

La operación que se realiza es:

$$P_{fase} = S_{fase} * \cos(\Phi) \quad (3.14)$$

El signo de esta potencia es determinado en función del $\cos(\phi)$ que para el caso de este trabajo corresponde al factor de potencia por fase, el signo queda almacenado en los bits correspondientes a cada fase, esto es, SIGNOPR, SIGNOPS, SIGNOPT. Si la bandera que contiene la información de signo es 0 la potencia tiene un signo negativo, mientras que si es un 1 la potencia será positiva.

Es necesario indicar que durante el cálculo de la potencia activa, las localidades que no alteran su contenido son MUL12,11,10 que contienen la potencia aparente en binario y MULT21,20 que contienen el factor de potencia también binario.

3.2.13 RUTINA DE CALCULO DE POTENCIA REACTIVA Q

El procedimiento que sigue esta rutina es similar a la que permite determinar la potencia activa, los datos que se requieren para la operación son potencia aparente y $\text{sen}(\phi)$ que serán multiplicados a través de la rutina MULTIPLICAR. El valor de la potencia aparente que se encuentra almacenado en las localidades RDIV2,1,0 se transfiere a las localidades MULT12,11,10. El valor de $\text{sen}(\phi)$ es buscado en tablas en función del puntero PUNTFP y su valor es almacenado en MULT21,20. El resultado de la multiplicación se divide para 100 y se almacena en RDIV2,1,0 para ser transferido a las correspondientes localidades de almacenamiento binario QRHBIN, QRMBIN, QRLBIN y posteriormente, mediante la rutina BCDCONVERT, obtener los valores BCD que serán mostrados en la pantalla.

La operación que se realiza es:

$$Q_{fase} = S_{fase} * \text{sen}(\Phi) \quad (3.15)$$

El signo de esta potencia es determinado en función del $\text{sen}(\phi)$. El signo queda almacenado en los bits correspondientes a cada fase, esto es, SIGNOQR, SIGNOQS, SIGNOQT. Si la bandera que contiene la información de signo es 0 la potencia tiene un signo negativo, mientras que si es un 1 la potencia será positiva.

Es necesario indicar que durante el cálculo de la potencia activa, las localidades que no alteran su contenido son MUL12,11,10 que contienen la potencia aparente en binario y MULT21,20 que contienen el factor de potencia también binario.

3.2.14 DETERMINACION DE PARAMETROS TRIFASICOS S, P, Q y Fp

Para la determinación de S y P no interesa el signo de los parámetros monofásicos, por tanto, en cada caso se procede a sumar directamente los valores binarios de cada una de las fases que están almacenados en las localidades correspondientes de P y S para ese propósito. Los resultados de la acumulación se alojan en las localidades que han sido destinadas para datos trifásicos, así por ejemplo para la potencia activa trifásica las localidades de memoria son: P3FHBIN, P3FMBIN y P3FLBIN. El signo de P trifásico viene determinado por el signo de las potencias monofásicas.

Para el caso de la potencia reactiva trifásica, se debe considerar el signo de Q de cada fase, de tal forma que el signo resultante se establece considerando si el resultado de la suma es positivo o negativo. El código del signo se almacena en el bit SIGNOQ3 el cual será utilizado para su impresión en la pantalla.

La determinación de factor de potencia trifásico se realiza dividiendo la potencia activa trifásica para la potencia aparente total.

En todos los casos, una vez obtenidos los resultados, se llama a la rutina BCDCONVERT para obtener los valores BCD que serán mostrados en pantalla.

3.2.15 RUTINA DE CALCULO DE ENERGIA

Para la determinación de energía se ha escogido como base de tiempo 2 segundos, por lo que el valor de la potencia activa trifásica es dividida para 1800 ya que en pantalla la energía será mostrada en KW-hora. El resultado de esta división que se encuentra en RDIV2,1,0 se transfiere a las localidades AUX2,1,0 para ser convertidos a BCD. La acumulación de estos valores se hace directamente con los valores BCD en las localidades ENER5,4,3,2,1,0, mientras que el valor a ser mostrado en pantalla se hallará localizado en las localidades ENER5BCD, ENER4BCD, ENER3BCD.

Como las operaciones se ejecutan en aritmética extendida es necesario realizar la ponderación adecuada del valor a ser mostrado en pantalla para que este sea el dato correcto, es por esto, que la suma se realiza en unas localidades mientras que el resultado a mostrarse en pantalla se almacena en otras.

3.2.16 RUTINA DE ACTUALIZACION DEL DISPLAY

Esta rutina permite hacer la actualización de la pantalla LCD en función del puntero de RAM de DISPLAY el mismo que varía de acuerdo a la tecla seleccionada por el usuario. El nombre usado para esta subrutina es ACTUALIZALCD.

Adicionalmente esta rutina es utilizada para poner el punto decimal en función del puntero (PUNTRD) y de la escala del transformador de corriente.

Para poder usar esta rutina en la exhibición de todos los parámetros eléctricos y considerando que dichos parámetros se van a mostrar con 4 dígitos a excepción de la energía que se va a

mostrar en 6 dígitos, se escribe en las dos primeras localidades de la segunda fila dos espacios en blanco " " siempre para cualquier valor del PUNTRD excepto el que permite indicar energía.

Los datos se van a exhibir en parejas por cada fase de la siguiente manera: voltaje y corriente, potencia activa y reactiva, potencia aparente y factor de potencia, energía y frecuencia de la red.

Cuando el puntero de la RAM de display apunta a la dirección correspondiente a la medición de energía, se imprimen directamente los seis campos correspondientes a dicho parámetro, ocupando los 2 primeros espacios los dos dígitos adicionales propios de este espacio. Estos dos dígitos más significativos están ubicados en la localidad de memoria que se ha denominado ENERG5BCD.

Esta rutina usa además las subrutinas PRINTDIG, PRINTCHAR, que son utilizadas para imprimir tanto los mensajes como los datos en la pantalla.

La ubicación del punto decimal, como se mencionó en los párrafos anteriores es función del puntero de RAM de display y de la escala del transformador de corriente, esto es, dependiendo del parámetro que se exhiba se procederá a posicionar el punto decimal.

Adicionalmente esta subrutina incluye el posicionamiento del signo para potencia reactiva indicando así si el circuito es inductivo o capacitivo, y el signo de potencia que permite identificar el sentido del flujo de la misma. Para ello se utiliza la información de la localidad 20H la cual contiene los signos de las potencias activa y reactiva de cada fase de acuerdo a la siguiente tabla:

PARAMETRO	BIT
SIGNOPR	02H (20.2H)
SIGNOQR	03H (20.3H)
SIGNOPS	04H (20.4H)
SIGNOQS	05H (20.5H)
SIGNOPT	06H (20.6H)
SIGNOQT	07H (20.7H)
SIGNOP3	0BH (21.3H)
SIGNOQ3	0CH (21.4H)

Dependiendo del valor que tome el bit, esto es, 0 o 1 se toma la siguiente convención para los signos:

0 = *Potencia negativa*

1 = *Potencia positiva*

En las figuras 3.13 (A), (B) y (C) se indican los diagramas de flujo correspondientes a esta subrutina.

PUNTRD	SEÑAL COLUMNA 1	SEÑAL COLUMNA 2	FORMATO COLUMNA 1	FORMATO COLUMNA 2
0	V_{RS}	I_R	XXX.X	
1	V_{ST}	I_S	XXX.X	
2	V_{TR}	I_T	XXX.X	
3	P_R	Q_R	XXX.X	XXX.X
4	P_S	Q_S	XXX.X	XXX.X
5	P_T	Q_T	XXX.X	XXX.X
6	S_R	f_{pR}	XXX.X	XX.XX
7	S_S	f_{pS}	XXX.X	XX.XX
8	S_T	f_{pT}	XXX.X	XX.XX
9	P_{TOT}	Q_{TOT}	XXX.X	XXX.X
A	S_{TOT}	f_{pTOT}	XXX.X	XX.XX
B	ENERGIA _(TOT)	FREC	XXXXXX.X	XX.XX

TABLA N. 3.4 FORMATO DE ENVIO DE PARAMETROS A DISPLAY

En la tabla 3.5 se incluyen los parámetros a indicarse en la pantalla con sus respectivas unidades.

Las escalas de energía, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia y factor de potencia son fijas. Estas se exhiben en pantalla con un total de 4 dígitos con excepción de la energía. Para estos parámetros el punto decimal siempre ocupa la misma posición, cualquiera sea el valor que estos adopten.

Un tipo de procesamiento diferente requiere la ubicación del punto decimal de los parámetros que se exhiben en la segunda columna de la pantalla, puesto que en ellos el número de decimales y enteros es variable, ya sea por la escala (caso de la corriente) o por las características mismas de los parámetros.

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA
VOLTAJE	VOLTIOS
CORRIENTE	AMPERIOS
POTENCIA ACTIVA	KW
POTENCIA REACTIVA	KVAR
POTENCIA APARENTE	KVA
FRECUENCIA	Hz
ENERGIA	KW-H
FACTOR DE POTENCIA	--

TABLA N. 3.5 UNIDADES DE MEDIDA

PUNTRD		DIPSWITCH DE CORRIENTE 4P	FONDO DE ESCALA	# DE ENTEROS
0	C	00H	5.000	1
		01H	10.00	2
		02H	20.00	2
		03H	50.00	2
		04H	75.00	2
		05H	100.0	3
1	O	06H	150.0	3
		07H	200.0	3
		08H	250.0	3
		09H	300.0	3
		0AH	400.0	3
		0BH	500.0	3
2	R	0CH	600.0	3
		0DH	750.0	3
		0EH	800.0	3
		0FH	1000	4
		10H	1200	4
		11H	1500	4
	I	12H	1600	4
		13H	2000	4
		14H	2500	4
		15H	3000	4
		16H	4000	4
		17H	5000	4

TABLA N. 3.6 MANEJO DE ESCALAS DE CORRIENTE Y PUNTO DECIMAL

PUNTRD	PARAMETROS	N. DE ENTEROS
3	POTENCIA REACTIVA QR	3
4	POTENCIA REACTIVA QS	3
5	POTENCIA REACTIVA QT	3
6	FACTOR DE POTENCIA R	2
7	FACTOR DE POTENCIA S	2
8	FACTOR DE POTENCIA T	2
9	Q_{TOTAL}	3
A	$F_{P_{TOTAL}}$	2
B	FRECUENCIA	2

TABLA N. 3.7 ESTABLECIMIENTO DEL PUNTO DECIMAL (2da COLUMNA)

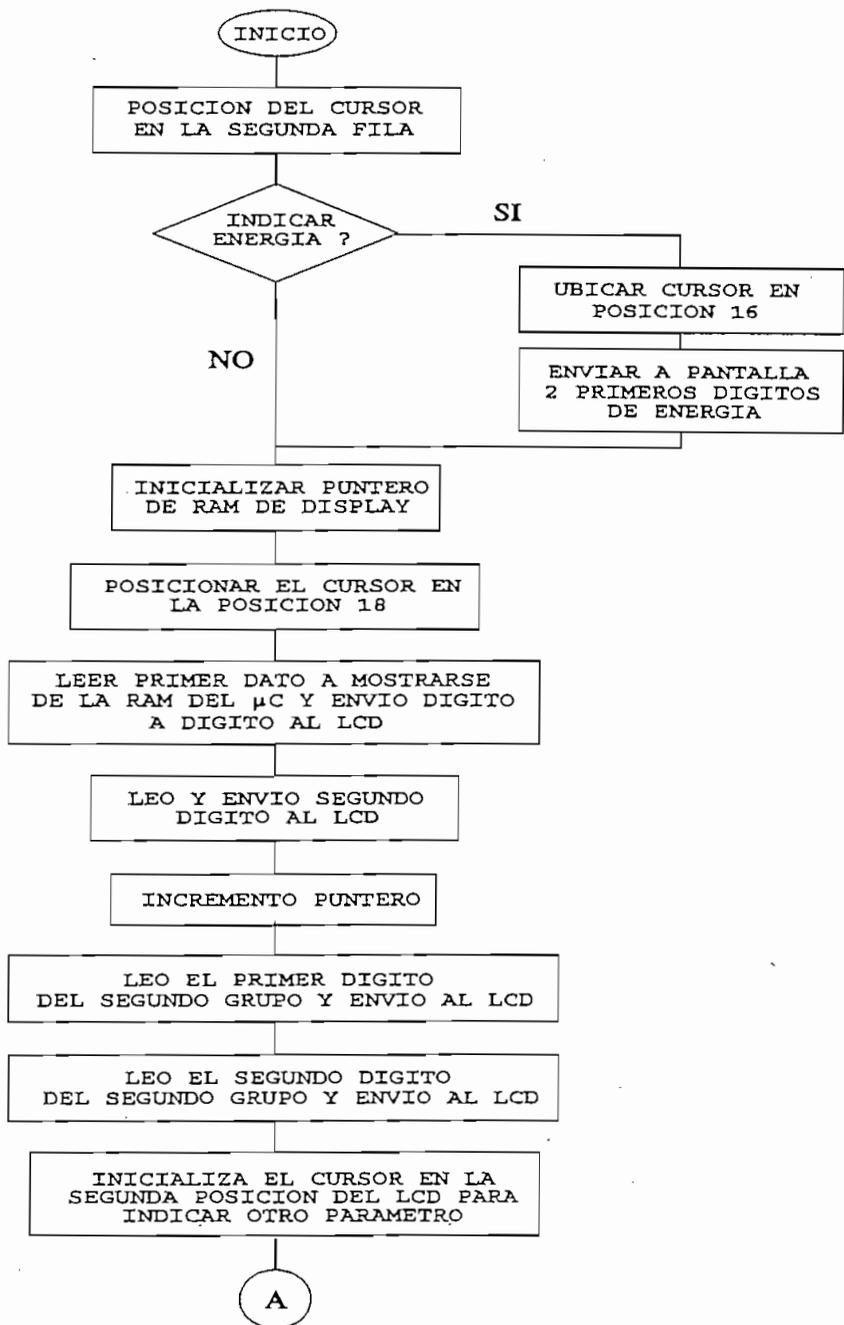


Figura 3.13 Subrutina ACTUALIZALCD (A)

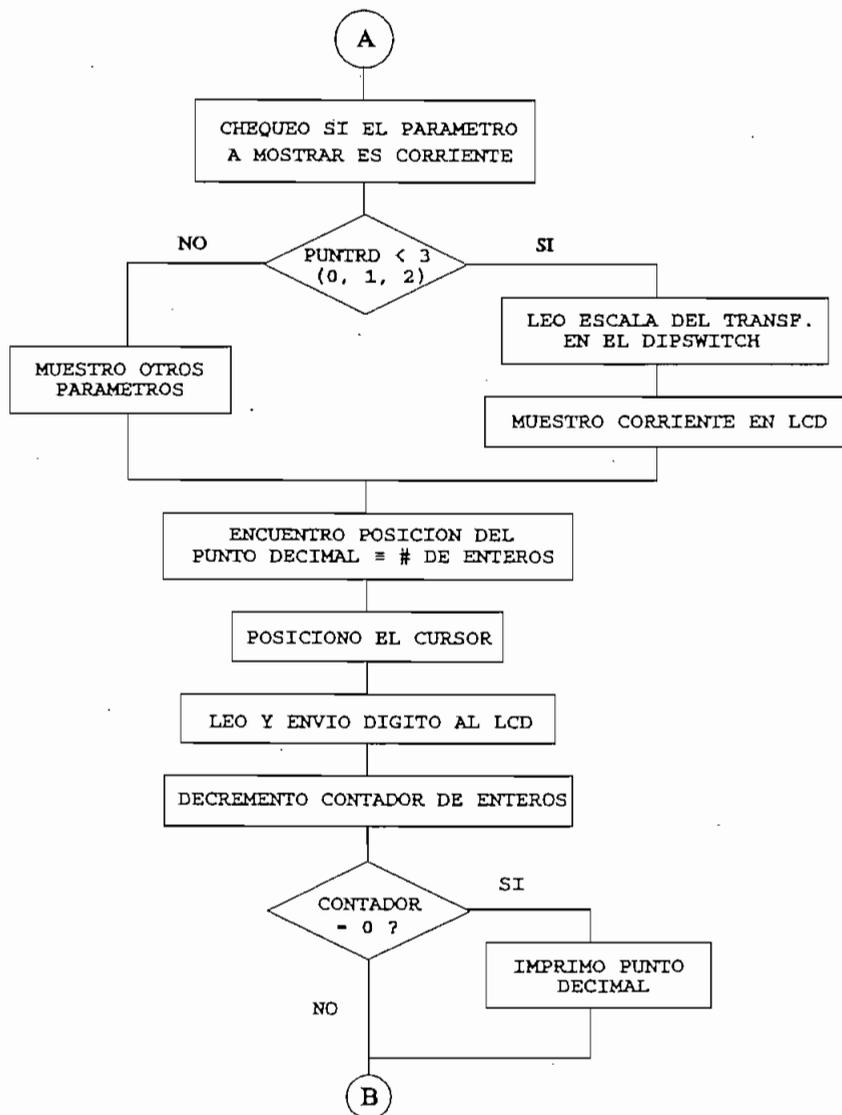


Figura 3.13 Subrutina ACTUALIZALCD (B)

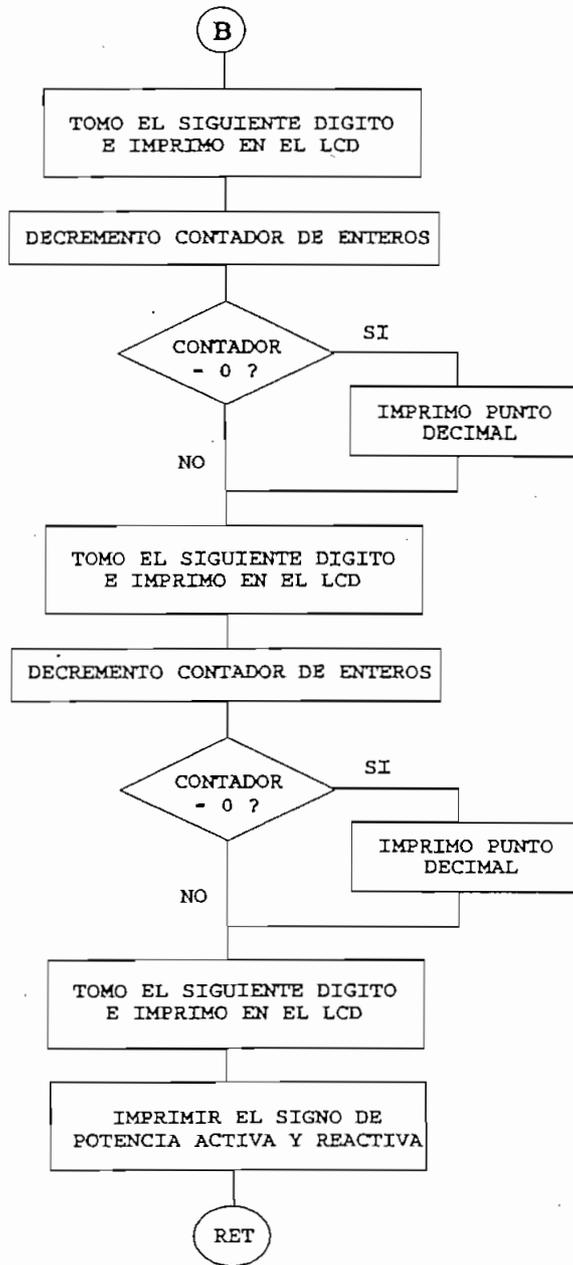


Figura 3.13 Subrutina ACTUALIZALCD (C)

3.2.17 RUTINA DE TECLADO:

Las teclas permitirán al usuario observar en pantalla los diferentes parámetros eléctricos. Esta rutina es ejecutada cuando se ha cumplido todo el proceso del programa principal. Para determinar qué tecla fue presionada se procede a una lectura de la localidad de memoria externa SW07 a la cual corresponde las salidas del teclado, por tanto, si una de las líneas del decodificador se encuentra en 1L implica que una tecla ha sido presionada, dependiendo de la posición que ocupa el 1L dentro del código leído se determina qué tecla ha sido pulsada.

No es necesario incluir retardos para eliminar el efecto de rebote que se produce al presionar cualquiera de las teclas puesto que esta subrutina se ejecuta periódicamente a intervalos grandes de tiempo, dicho tiempo corresponde a la ejecución de una vuelta completa del programa principal en el cual se realiza la adquisición de los datos de voltaje, corriente, y detección de cruces por cero.

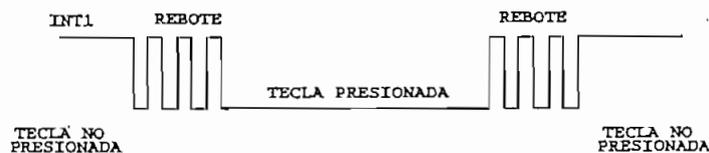


Figura 3.14

El programa funciona de tal manera que la función de la tecla es ejecutada solamente cuando la tecla ha dejado de ser presionada, así se garantiza que el monitoreo de las señales sea el adecuado aún cuando el personal que lo usa manifieste negligencia en su operación.

A continuación en la tabla 3.8 se indican los códigos usados para las teclas y las funciones que realizan:

TECLA	CODIGO	FUNCION QUE REALIZA
1	001	AVANZA A LA SIGUIENTE PAGINA DE DISPLAY
2	010	RETROCEDE A LA PAGINA ANTERIOR DEL DISPLAY
3	100	RESETEA EL DISPLAY Y REGRESA A LA PAGINA 1

TABLA N. 3.8

Como respuesta a la atención a una tecla presionada se altera la información contenida en la localidad de RAM **PUNTRD** la cual contiene la información del número de página que es mostrada en el display de acuerdo a la tabla 3.1. Una vez alterado el contenido de esta localidad se llama a la subrutina **CABEZA**, la cual escribe (despliega) en la primera fila del display el encabezado (el título, mensaje) de la información a mostrarse en esa página.

3.2.18 RUTINA DE ENCABEZADO DEL DISPLAY

Se denomina **CABEZA**, permite sacar en la primera fila de la pantalla los mensajes correspondientes al parámetro que se está presentando, estos mensajes permiten determinar si el valor mostrado en pantalla es voltaje, corriente, potencia activa, reactiva, frecuencia, factor de potencia, energía.

Esta subrutina es función del puntero de RAM de display **PUNTRD**, que se utiliza en las subrutinas **ACTUALIZALCD** y **TECLADO** para indicación por páginas de los parámetros eléctricos en la pantalla. Para poder escribir el mensaje en pantalla llama a la rutina **PROMLCD** que toma los datos grabados en la ROM del μC y los envía al display.

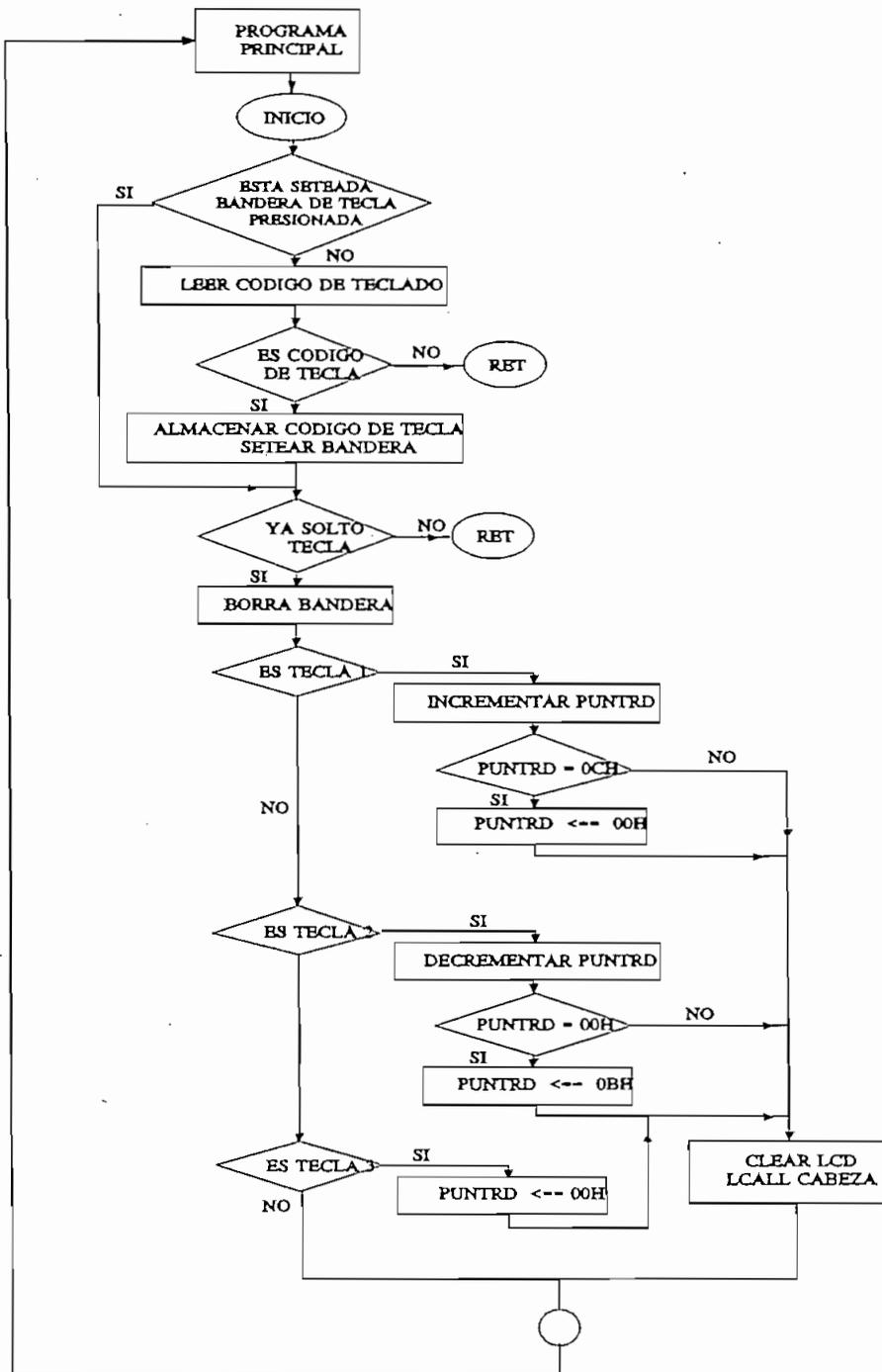


Figura 3.17 Subrutina TECLADO

Esta subrutina se encarga de posicionar el cursor en el LCD, las posiciones que se cuentan son 16 por fila. La impresión en cualquier posición de la primera fila se realiza dando al puntero **cursor** el valor de 00H a 15H, y si la impresión quiere hacerse en la segunda fila, el código que se lee será superior a 16H, en este caso se suma un offset de 30H (referirse al ANEXO C: Manual del display).

La distribución de la memoria RAM de datos del display es como se muestra a continuación:

00H - 27H	Primera fila
40H - 67H	Segunda fila

Para la utilización de esta subrutina bastará con cumplir los siguientes pasos:

- Cargar en el puntero **CURSOR**, el valor correspondiente a la posición
- Llamar a la subrutina **MOVCURSOR**

Como resultado se tiene que el cursor quedará apuntando en pantalla a la posición dada por el puntero.

3.2.19.2 ***PRINTCHAR***

Está diseñada para enviar a imprimir en pantalla un dato tipo caracter. El dato a enviarse es procesado conjuntamente con la dirección que ocupan las filas del LCD. Para poder enviar al LCD el dato se lo separa en nibbles.

El dato a imprimir en display debe separarse en 2 nibbles, cada uno de ellos deberá convertirse en un solo byte que incluye la dirección y comando de escritura de un dato en el display.

Ejemplo de impresión de un dato tipo caracter en el LCD y posicionamiento arbitrario con

MOVCURSOR:

```
MOV  CURSOR,#03H
ACALL MOVCURSOR
MOV  CHARACTER,#'3'
ACALL PRINTCHAR
MOV  CURSOR,#12
ACALL MOVCURSOR
MOV  CHARACTER,#'C'
ACALL PRINTCHAR
MOV  CHARACTER,#'D'
ACALL PRINTCHAR
```

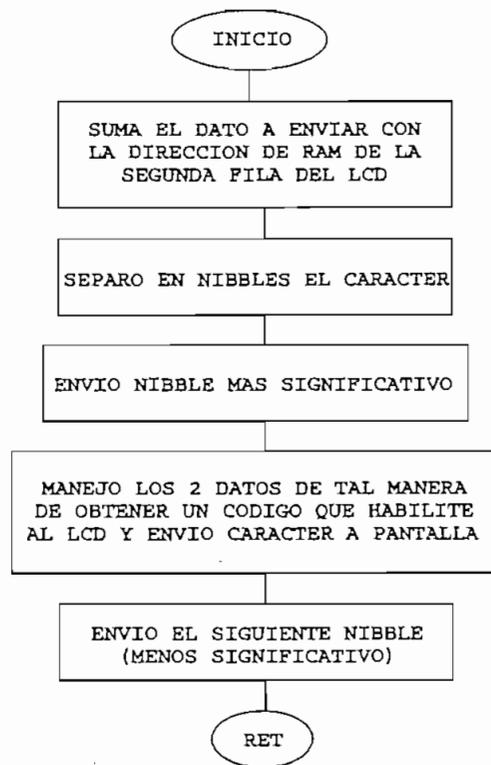


Figura 3.19 Subrutina PRINTCHAR

El dato '3' se imprime en la posición 3 del display, así mismo los caracteres 'C' y 'D' se imprimen en pantalla en las posiciones 12 y 13 respectivamente.

3.2.19.3 PRINTDIG

Está diseñada para enviar a imprimir en pantalla un dato tipo numérico (dígito). El dato a enviarse es procesado conjuntamente con la dirección que ocupan las filas del LCD. Para poder enviar al LCD el dato se lo separa en nibbles.

El dígito a imprimir en display debe separarse y ser enviado en 2 nibbles, cada uno de ellos deberá convertirse en un solo byte que incluye la dirección y comando de escritura de un dato en el display.

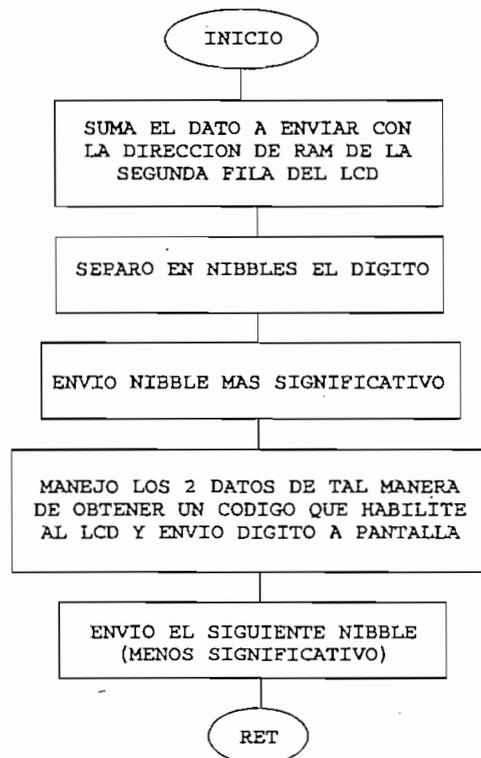


Figura 3.18 Subrutina PRINTDIG

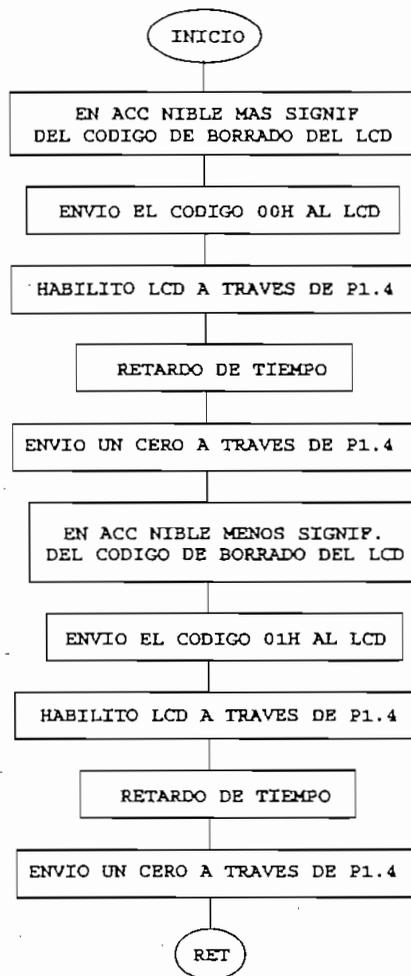


Figura 3.19 Subrutina CLEARLCD

Para borrar la pantalla de cristal líquido, de acuerdo al manual de instrucciones del mismo, es necesario enviar un código formado por dos números **00H** y **01H**, tales códigos se envían por nibles a través del pórtico **P1**. En esta subrutina se carga el valor a enviar en el acumulador, se envía el dato al pórtico y adicionalmente un **1L** por el pin de habilitación (**P1.4**). La señal de habilitación debe mantenerse en **1L** por un tiempo de $40 \mu s$ para garantizar que el código es leído por el LCD, por lo que se llama a la subrutina retardo, nuevamente se envía un **0** por el pin **P1.4** manteniéndolo por un tiempo de $40 \mu s$ y se repite el procedimiento para el siguiente código.

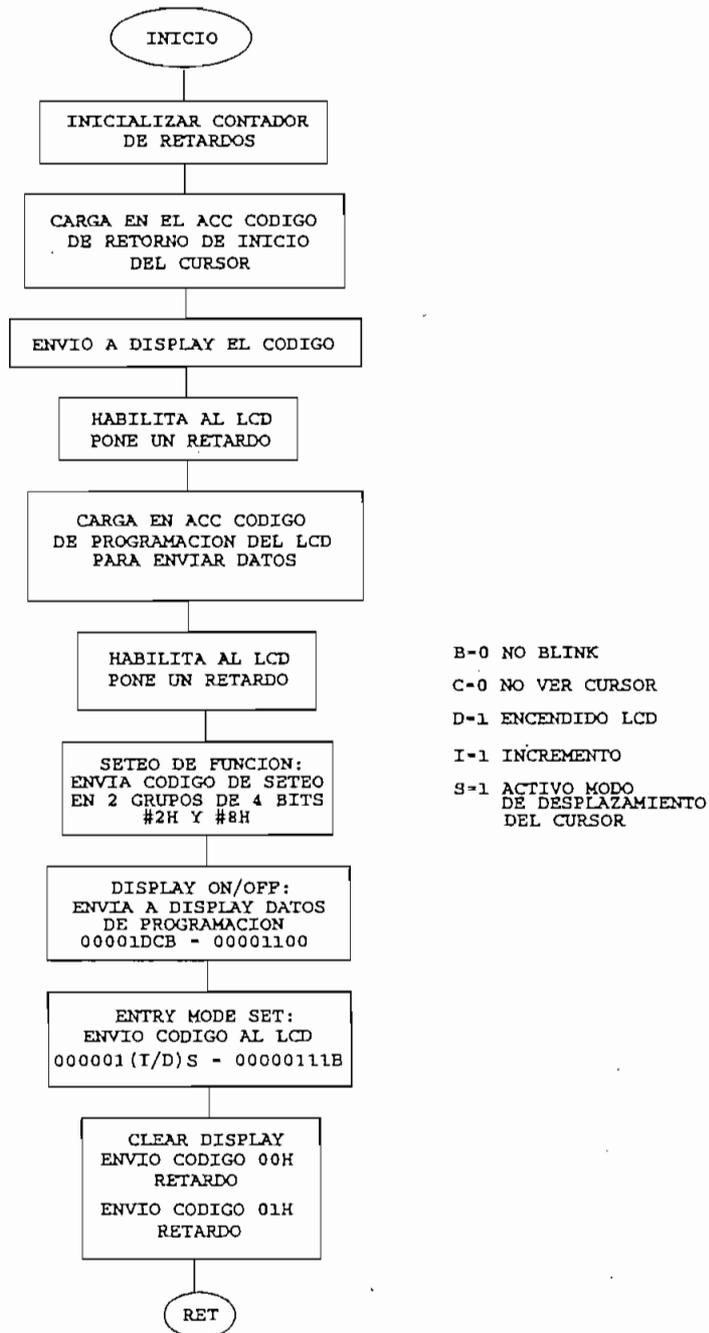


Figura 3.20 Subrutina RESETDISP

En esta subrutina se ejecutan todas las acciones de inicialización de la pantalla. Desde ese punto de vista, se constituye en la parte principal de la rutina de DISPLAY, aquí se envían los códigos para habilitar al LCD, los mismos que requieren una cierta duración para garantizar su lectura.

Las funciones que se realizan son:

SET
ON/OFF
ENTRY MODE SET
CLEAR DISPLAY

La información de como se determinan los códigos a enviarse desde el μ C hasta el LCD se muestra claramente en el ANEXO C correspondiente al manual del LCD.

3.2.19.7 PROMLCD

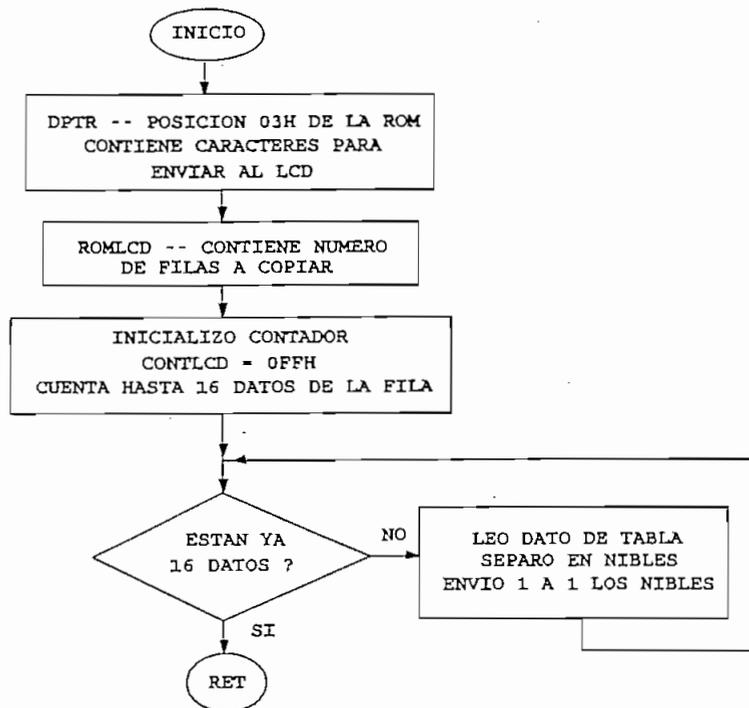


Figura 3.21 Subrutina PROMLCD

Se encarga de copiar datos o mensajes que se tienen grabados en la memoria ROM del μ C al LCD. Por ejemplo los mensajes que aparecen al inicio en pantalla están grabados previamente en la ROM del microcontrolador, así también ocurre con los mensajes que se presentan en la primera fila del DISPLAY que indican el nombre del parámetro que se va a mostrar.

Los datos están ubicados a partir de la posición 0300H de la memoria ROM. Cada fila puede presentar hasta 16 caracteres, por tanto la subrutina está desarrollada de tal manera de garantizar que los 16 datos que pueden existir en cada línea de mensaje sean llevados a pantalla.

Ejemplo de copiado de ROM a Display:

Se desea copiar los primeros mensajes del equipo que se ubican en la ROM #00.

```

MOV    ROMLCD,#00H    ;PRIMERA FILA DE LA ROM

MOSTRAR:
ACALL  PROMLCD
ACALL  RETARDO
INC    ROMLCD          ;PUNTERO DE TABLA
MOV    A,ROMLCD
CJNE  A,#04,MOSTRAR   ;04 = NUMERO DE FILAS

ORG    0300H
DB     '*** E. P. N. ***';FILA0
DB     '=====';FILA1
DB     'MEDIDOR DIGITAL ';FILA2
DB     ' DE ENERGIA 3∞ ';FILA3

```

3.2.19.10 RETARDO

En la ejecución de todo el programa se llama permanentemente a las subrutinas de generación de retardos de tiempo, estas son: RETARDO Y RETARDITO, la primera produce un retardo de $833\mu\text{s}$ equivalente a 252 ciclos de máquina, y la segunda genera retardos menores de aproximadamente $150\mu\text{s}$. Estos valores han sido determinados considerando que se trabaja con un cristal de 3.579545 MHz.

3.2.20 RUTINA PARA TRANSFORMAR UN NUMERO BINARIO A SU EQUIVALENTE BCD.

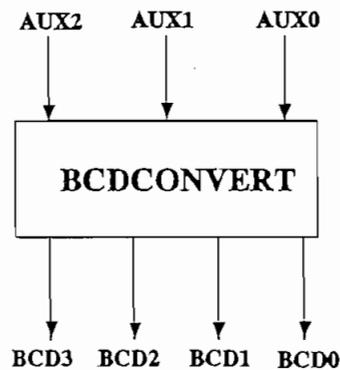


Figura 3.22

Se denomina BCDCONVERT; permite transformar un número binario de 3 bytes a su equivalente BCD, el resultado de esta transformación ocupa 4 bytes y se almacena en las localidades de memoria RAM BCD3, BCD2, BCD1, BCD0.

Esta rutina ocupa los registros R0, R2, R3 y R4 del banco de registros 1, y para la transformación utiliza una tabla. Una vez que se han sumado todos los valores de la tabla, la rutina regresa a utilizar el banco de registros 0.

La transformación se realiza por medio de rotaciones de los bits de cada uno de los bytes de un número en hexadecimal, entonces dependiendo de la posición del bit rotado se sumará el valor correspondiente al número 2^n , donde el valor n es igual a la posición del bit desplazado, por lo tanto n tomará valores entre 0 y 23 (24 bits de los tres bytes del número a transformarse), los valores en BCD correspondientes a la ecuación 2^n se encuentran almacenados en la TABLABCD. Cuando el bit rotado es igual a 0, al valor transformado se le suma cero, mientras que cuando es igual a 1 se le añadirá el valor correspondiente de la tabla.

Los valores para ser transformados mediante esta rutina deben estar almacenados en las localidades AUX2 (byte más significativo), AUX1 (byte medio) y AUX0 (byte menos significativo), las cuales durante el proceso no son alteradas en su contenido.

Cabe indicar que no se utilizan otras localidades de memoria adicionales a las mencionadas.

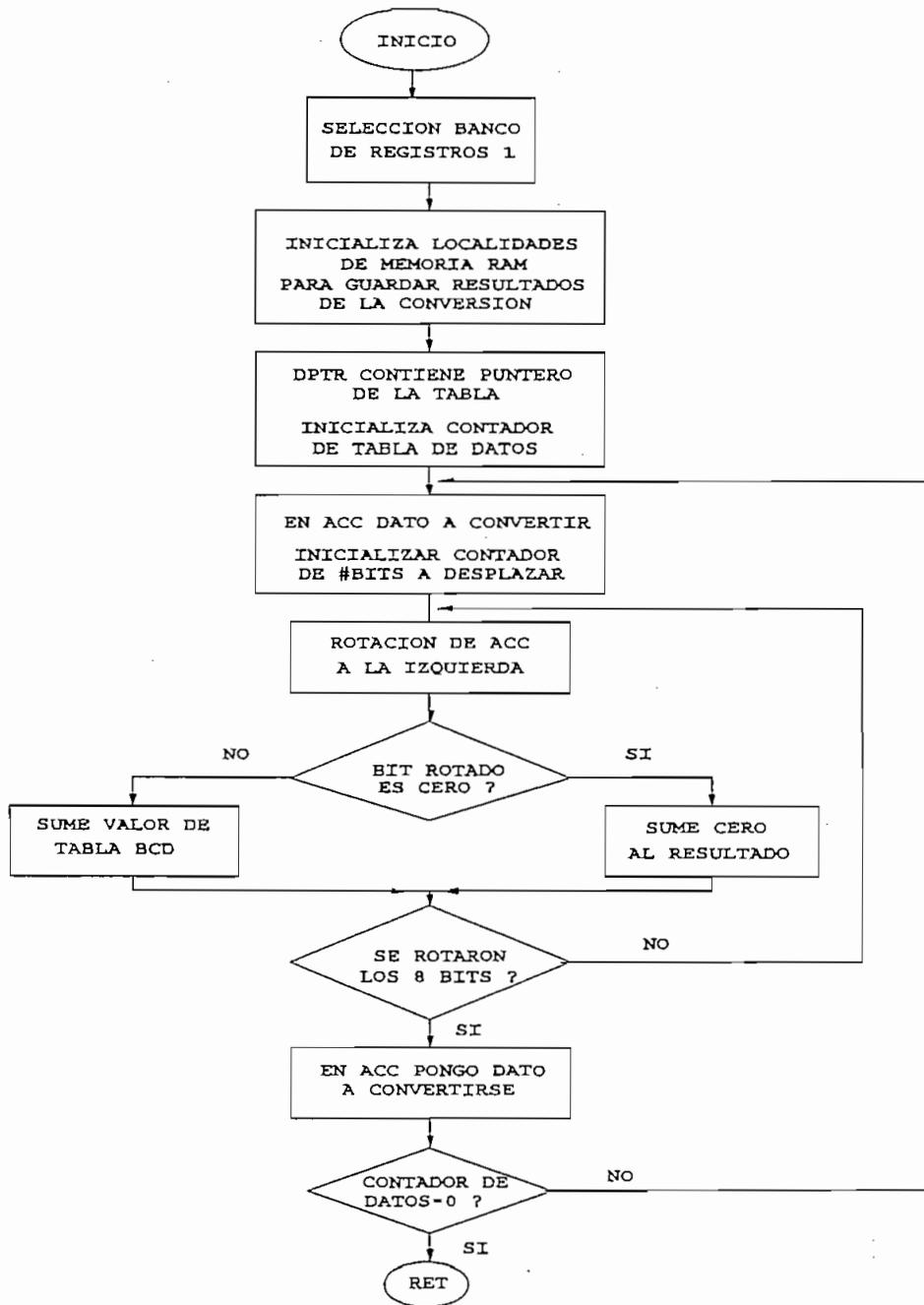


Figura 3.23 Subrutina BCDCONVERT

3.2.21 RUTINA PARA SUMAR 2 NUMEROS DE N BYTES Y HACER AJUSTE DECIMAL.

Se denomina SUMBCD, permite sumar dos números de n bytes realizando el ajuste decimal para obtener su valor en BCD. La suma se realiza entre los contenidos de las localidades indicadas por el registro R0 y el valor de la tabla indicado por la suma de los contenidos de los registros R2 y DPTR (R2 almacena dirección del dato BCD a sumarse y DPTR contiene el origen de la tabla), el resultado se almacena en la dirección indicada por el registro R0. Además, con el registro R4 se indica el número de bytes que van a ser sumados. Los registros a los que se hace mención corresponden al banco 1.

Los contenidos de los registros usados (R0, R2 y R4) son alterados durante la ejecución de esta rutina.

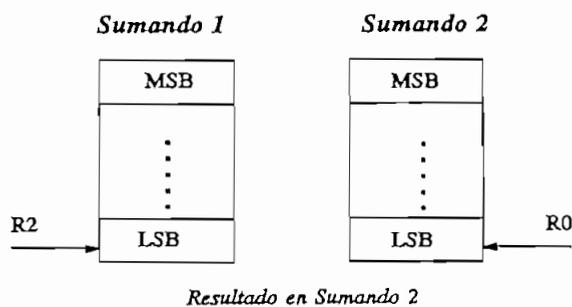


Figura 3.24

3.2.22 RUTINAS AUXILIARES

Se han denominado AUXILIARES, pues serán utilizadas de manera general a lo largo del programa, estas son MULTIPLICAR, DIVISION, SUMA, RESTA.

3.2.22.1 MULTIPLICAR:

Esta permite multiplicar un número de 3 bytes por uno de 2 bytes cuyo resultado ocupa una longitud máxima de 5 bytes. El número de 3 bytes deberá almacenarse en las localidades MULT12 (MSB), MULT11 y MULT10 mientras que el número de 2 bytes en los espacios de memoria que se han denominado MUL21 (MSB) y MULT20. El resultado de la multiplicación de estos números se aloja en RMULT4 (MSB), RMULT3, RMULT2, RMULT1 y RMULT0.

Durante el proceso de multiplicación, los datos contenidos en las direcciones de los multiplicandos no son alterados.

Se utilizan los registros R0, R1, R5 y R6 del banco de registros 0, así como la localidad auxiliar AUX1 para apuntar a la dirección del resultado.

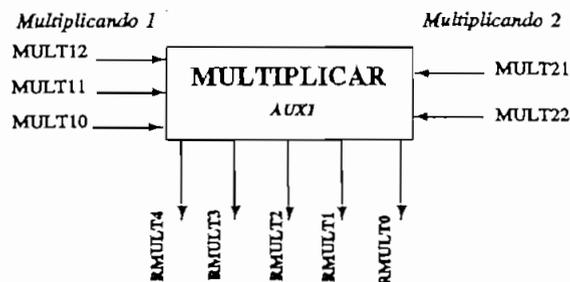


Figura 3.25

3.2.22.2 *DIVISION:*

Esta rutina permite dividir un número de 4 bytes para uno de 2 bytes, el resultado presenta una longitud máxima de 4 bytes. El dividendo debe ser alojado en las localidades DIVIDEN3 (MSB), DIVIDEN2, DIVIDEN1, DIVIDEN0, y el divisor en las localidades denominadas DIVISOR3 (MSB) y DIVISOR2; las localidades DIVISOR1 y DIVISOR0 son auxiliares en el proceso de división. Adicionalmente se utilizan los registros R0, R1, R5 y R6 del banco de registros 0. El resultado de la operación se almacena en las localidades RDIV3 (MSB, RDIV2, RDIV1 y RDIV0.

Durante el proceso de división, los datos contenidos en las direcciones tanto del dividendo como del divisor son alterados.

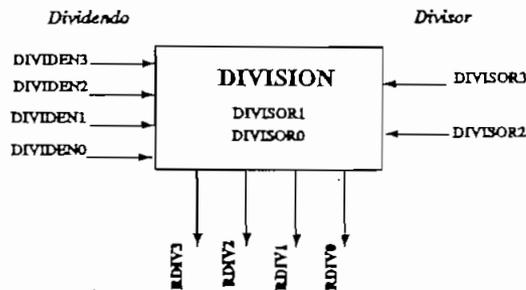


Figura 3.26

3.2.22.3 *SUMA:*

Permite sumar 2 números de *n* bytes donde el primer número está direccionado por el registro R0 y el segundo por el registro R1. El resultado es almacenado en las mismas localidades a las que apunta el registro R0, por tanto el primer sumando se pierde en el proceso. El número de bytes de los sumandos debe especificarse a través del registro R6.

Siempre R0 y R1 deben apuntar a los bytes menos significativos de los respectivos sumandos.

Cabe indicar que los registros usados pertenecen al banco 0 y que durante esta operación los contenidos de R0, R1, R6 y carry son alterados.

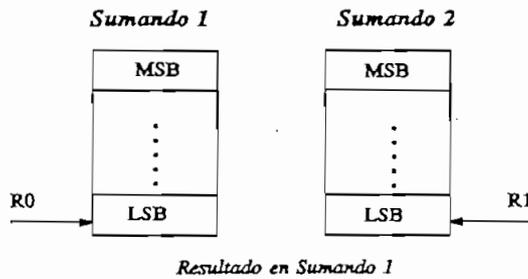


Figura 3.27

3.2.22.4 RESTA:

Permite restar 2 números de n bytes donde el minuendo está direccionado por el registro R0 y el sustraendo por el registro R1. El resultado es almacenado en las mismas localidades a las que apunta el registro R0, por tanto el minuendo se pierde en el proceso. El número de bytes de los operandos debe especificarse a través del registro R6.

Siempre R0 y R1 deben apuntar a los bytes menos significativos de los respectivos operandos.

Cabe indicar que los registros usados pertenecen al banco 0 y que durante esta operación los contenidos de R0, R1, R6 y carry son alterados.

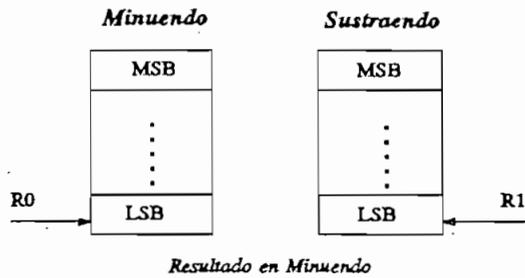


Figura 3.28

3.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR

Cada una de las rutinas desarrolladas en el microcontrolador han sido explicadas en detalle en lo que se refiere a su función y aplicación dentro del programa general en los numerales anteriores; el programa en assembler del μC 8752 una vez ensamblado se presenta en el ANEXO A.

En esta parte del trabajo es conveniente y necesario indicar la designación y función de cada uno de los registros, localidades de memoria RAM y banderas utilizadas en el programa. Es importante definir adecuadamente el banco de registros con el cual se va a trabajar de tal manera de realizar correctamente la transferencia de datos.

En la tabla 3.9 se indican las designaciones de los registros.

ASIGNACION DE REGISTROS

BANCO		REGISTROS UTILIZADOS EN LAS RUTINAS DEL PROGRAMA	
RS1	RS0		
0	0	R0	USADO PARA PUNTERO DE RAM INTERNA
		R1	PUNTERO EN TABLAPUNTOS EN ACTUALIZALCD
		R2	REGISTRO AUXILIAR DE USO GENERAL
		R3	USADO PARA RETARDOS GRANDES
		R4	EN RESETDISP Y AUXILIAR EXINT0, EXINT1
		R5	USADO EN LA RUTINA DE RETARDOS
		R6	CONTADOR DE 8 INTERRUPCIONES
		R7	USADO PARA BASES DE TIEMPOS
0	1	R1	UTILIZADO EN EXINT0 COMO PUNTERO DE RAM
		R0	USADOS EN LA SUBRUTINA DE CONVERSION BCDCONVERT Y EN LAS OTRAS OPERACIONES
		R2	
		R3	
		R4	
		R5	BCDL EN BCDCONVERT
		R6	BCDM EN BCDCONVERT
		R7	BCDH EN BCDCONVERT

TABLA 3.9 UTILIZACION DE BANCOS DE REGISTROS

RS1, RS0: Selectores de los bancos de registro

A partir de la tabla 3.10 se indican las localidades de memoria con sus correspondientes etiquetas y funciones que cumplen.

ASIGNACION DE ETIQUETAS MEMORIA RAM EXTERNA

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
EXTINT07	2000H	CODIGO DE INTERRUPCION EXT. DE 0 A 7
SW07	0000H	CODIGO DE ATENCION A TECLADO
OUT07	0000H	0-3 (selección MUX), 4-11 (salidas a través del UDN para relés)
OUT815	2000H	
DIPSWITCH	4000H	DETERMINA ESCALA DE VOLTAJE Y CORRIENTE
ADC	6000H	DATOS PROVENIENTES DEL CONVERSOR A/D
DAC	4000H	DATOS PROVENIENTES DEL CONVERSOR D/A
RAMBASE	8000H	
SELOUT3	6000H	DIRECCION DE GRUPO DE LEDS EN EL ORDEN: 4, 1, 2, 3
SELOUT5	0A000H	
SELOUT6	0C000H	
SELOUT7	0E000H	

TABLA 3.10 ASIGNACION DE ETIQUETAS MEMORIA RAM EXTERNA

ASIGNACION DE VALORES A ETIQUETAS

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
BASELCD	0300H	
INTVR	01111111B	DIRECC. LEER DATOS DE V EN CANAL DEL MUX
INTVS	10111111B	DIRECC. LEER DATOS DE V EN CANAL DEL MUX
INTVT	11011111B	DIRECC. LEER DATOS DE V EN CANAL DEL MUX
INTIR	11101111B	DIRECC. LEER DATOS DE I EN CANAL DEL MUX
INTIS	11110111B	DIRECC. LEER DATOS DE I EN CANAL DEL MUX
INTIT	11111011B	DIRECC. LEER DATOS DE I EN CANAL DEL MUX
BASET1	81H	CONTIENE EL VALOR DE RETARDO T1
BASET2	10H	CONTIENE EL VALOR DE RETARDO T2
BASET	0AH	PARA COMPLETAR BASE DE TIEMPO DE 2 SEGUNDOS

TABLA 3.11 ASIGNACION DE VALORES A ETIQUETAS

RAM INTERNA DE DISPLAY (BINARIO)

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
IT	6AH	ALMACENA PROMEDIO DE VALORES MEDIDOS DE IT
IS	69H	ALMACENA PROMEDIO DE VALORES MEDIDOS DE IS
IR	68H	ALMACENA PROMEDIO DE VALORES MEDIDOS DE IR
VT	67H	ALMACENA PROMEDIO DE VALORES MEDIDOS DE VT
VS	66H	ALMACENA PROMEDIO DE VALORES MEDIDOS DE VS
VR	65H	ALMACENA PROMEDIO DE VALORES MEDIDOS DE VR
SUMLIVT	64H	ALMACENA LOS TIEMPOS ENTRE CRUCES POR CERO DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE LA FASE T
SUMHIVT	63H	
SUMLVIT	62H	ALMACENA LOS TIEMPOS ENTRE CRUCES POR CERO DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE LA FASE T
SUMHVIT	61H	
SUMLIVS	60H	ALMACENA LOS TIEMPOS ENTRE CRUCES POR CERO DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE LA FASE S
SUMHIVS	5FH	
SUMLVIS	6EH	ALMACENA LOS TIEMPOS ENTRE CRUCES POR CERO DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE LA FASE S
SUMHVIS	5DH	
SUMLIVR	5CH	ALMACENA LOS TIEMPOS ENTRE CRUCES POR CERO DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE LA FASE R
SUMHIVR	5BH	
SUMLVIR	5AH	ALMACENA LOS TIEMPOS ENTRE CRUCES POR CERO DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE LA FASE R
SUMHVIR	59H	
MULT10	58H	BYTES DEL MULTIPLICANDO 1 BYTE MAS SIGNIFICATIVO MULT12
MULT11	57H	
MULT12	56H	
MULT20	55H	BYTES DEL MULTIPLICANDO 2 BYTE MAS SIGNIFICATIVO MULT21
MULT21	54H	
RMULT0	53H	RESULTADO DE LA MULTIPLICACION EL BYTE MAS SIGNIFICATIVO ES RMULT4 Y EL MENOS SIGNIFICATIVO RMULT0
RMULT1	52H	
RMULT2	51H	
RMULT3	50H	
RMULT4	4FH	

TABLA 3.12 ASIGNACION DE MEMORIA RAM INTERNA A DISPLAY (Binario) [A]

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
DIVISOR0	4EH	BYTES DEL DIVISOR BYTE MAS SIGNIFICATIVO DIVISOR3
DIVISOR1	4DH	
DIVISOR2	4CH	
DIVISOR3	4BH	
DIVIDEN0	4AH	BYTES DEL DIVIDENDO BYTE MAS SIGNIFICATIVO DIVIDENDO3
DIVIDEN1	49H	
DIVIDEN2	48H	
DIVIDEN3	47H	
RDIV0	46H	BYTES DEL RESULTADO DE LA DIVISION BYTE MAS SIGNIFICATIVO RDIV3
RDIV1	45H	
RDIV2	44H	
RDIV3	43H	
BCD0	42H	BYTES DEL RESULTADO DE LA CONVERSION A BCD BYTE MAS SIGNIFICATIVO BCD3
BCD1	41H	
BCD2	40H	
BCD3	3FH	
FRECLBIN	3EH	ALMACENA BYTES BINARIOS DE FRECUENCIA
FRECHBIN	3DH	
VAUX0	3CH	LOCALIDADES AUXILIARES PARA ALMACENAR VOLTAJE EN BINARIO BYTE MAS SIGNIFICATIVO VAUX1
VAUX1	3BH	
LAUX0	3AH	LOCALIDADES AUXILIARES PARA ALMACENAR CORRIENTE EN BINARIO BYTE MAS SIGNIFICATIVO LAUX1
LAUX1	39H	
PUNTFP	38H	PUNTERO DE TABLA DE FACTOR DE POTENCIA
AUX0	37H	LOCALIDADES AUXILIARES DE PROPOSITO GENERAL
AUX1	36H	
AUX2	35H	
AUXPSW	34H	LOCALIDAD AUXILIAR PARA ALMACENAR PSW
SIGNOS	21H	ALMACENAMIENTO DE SIGNOS DE P Y Q

TABLA 3.12 ASIGNACION DE MEMORIA RAM INTERNA A DISPLAY (Binario) [B]

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
PRHBIN	DCH	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA ACTIVA FASE R
PRMBIN	DDH	
PRLBIN	DEH	
PSHBIN	DFH	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA ACTIVA FASE S
PSMBIN	E0H	
PSLBIN	E1H	
PTHBIN	E2H	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA ACTIVA FASE T
PTMBIN	E3H	
PTLBIN	E4H	
P3FHBIN	E5H	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA ACTIVA TRIFASICA
P3FMBIN	E6H	
P3FLBIN	E7H	
QRHBIN	E8H	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA REACTIVA FASE R
QRMBIN	E9H	
QRLBIN	EAH	
QSHBIN	EBH	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA REACTIVA FASE S
QSMBIN	ECH	
QSMBIN	EDH	
QTHBIN	EEH	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA REACTIVA FASE T
QTMBIN	EFH	
QTLBIN	F0H	
Q3FHBIN	F1H	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA REACTIVA TRIFASICA
Q3FMBIN	F2H	
Q3FLIN	F3H	
SRHBIN	F4H	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA APARENTE FASE R
SRMBIN	F5H	
SRLBIN	F6H	
SSHBIN	F7H	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA APARENTE FASE S
SSMBIN	F8H	
SSLBIN	F9H	
STHBIN	FAH	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA APARENTE FASE T
STMBIN	FBH	
STLBIN	FCH	
S3FHBIN	FDH	ALMACENAMIENTO BINARIO DE POTENCIA APARENTE TRIFASICA
S3FMBIN	FEH	
S3FLBIN	FFH	

TABLA 3.12 ASIGNACION DE MEMORIA RAM INTERNA A DISPLAY (Binario) [C]

ASIGNACION DE ETIQUETAS MEMORIA RAM INTERNA

ETIQUETA	LOCALIDAD	FUNCION
D SERIAL	7FH	DATOS TRANSMITIDOS PORTICO SERIAL
DTECLA	7EH	BANDERA USADA PARA DATOS DEL TECLADO
LED	7DH	BANDERA PARA ATENDER INTERRUPCION EXTERNA 1
BARRA	7CH	INDICA # DE LEDs DE LA BARRA (0-20)
LEDBARRA	7BH	CUENTA EL # DE LEDs DE LA BARRA (0-20)
AUXLCD	7AH	LOCALIDAD AUXILIAR PARA MANEJO DE LCD
PUNTLCD	79H	ALMACENA PUNTERO DEL LCD
CONTLCD	78H	ALMACENA EL NUMERO DE CUENTAS DEL LCD
ROMLCD	77H	FILA DE LA ROM DESDE DONDE SE COPIA AL LCD
CURSOR	76H	POSICION DEL CURSOR EN EL LCD (0-15)
AUXCURSOR	75H	LOCALIDAD AUXILIAR PARA POSICION DEL CURSOR
DDRAM	74H	DIRECCION DE MEMOIRA RAM ASIGNADA AL LCD
CARACTER	73H	GUARDA EL DATO BCD PARA EXHIBIR EN EL LCD
DIGITO	72H	ALMACENA DIGITO A MOSTRARSE EN LCD
ACUMVH	71H	ALMACENA MSB DE LA SUMA DE VOLTAJE DE FASE
ACUMVL	70H	ALMACENA LSB DE LA SUMA DE VOLTAJE DE FASE
ACUMIH	6FH	ALMACENA MSB DE LA SUMA DE CORRIENTE DE FASE
ACUMIL	6EH	ALMACENA LSB DE LA SUMA DE CORRIENTE DE FASE
FASE	6DH	ALMACENA CODIGO DE FASE ACTIVA (0, 1, 2)
PUNTRD	6CH	PUNTERO DE RAM DE DISPLAY
DIPSW	6BH	PERMITE LEER EL VALOR DEL DIPSWITCH

TABLA 3.13

**ASIGNACION DE MEMORIA RAM INTERNA PARA DISPLAY
(DATOS EN BCD)**

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
ENERG5	8EH	ALMACENA VALORES DE ENERGIA ANTES DE SER ROTADOS PARA MOSTRAR EN EL DISPLAY
ENERG4	8FH	
ENERG3	90H	
ENERG2	91H	
ENERG1	92H	
ENERG0	93H	
VRHBCD	94H	ALMACENA MSB DE VR EN BCD
VRLBCD	95H	ALMACENA LSB DE VR EN BCD
IRHBCD	97H	ALMACENA MSB DE IR EN BCD
IRLBCD	98H	ALMACENA LSB DE IR EN BCD
VSHBCD	9AH	ALMACENA MSB DE VS EN BCD
VSLBCD	9BH	ALMACENA LSB DE VS EN BCD
ISHBCD	9DH	ALMACENA MSB DE IS EN BCD
ISLBCD	9EH	ALMACENA LSB DE IS EN BCD
VTHBCD	A0H	ALMACENA MSB DE VT EN BCD
VTLBCD	A1H	ALMACENA LSB DE VT EN BCD
ITHBCD	A3H	ALMACENA MSB DE IT EN BCD
ITLBCD	A4H	ALMACENA LSB DE IT EN BCD
PRHBCD	A6H	ALMACENA POTENCIA ACTIVA DE LA FASE R VALOR BCD EN 3 BYTES
PRMBCD	A7H	
PRLBCD	A8H	
QRHBCD	A9H	ALMACENA POTENCIA REACTIVA DE LA FASE R VALOR BCD EN 3 BYTES
QRMBCD	AAH	
QRLBCD	ABH	
PSHBCD	ACH	ALMACENA POTENCIA ACTIVA DE LA FASE S VALOR BCD EN 3 BYTES
PSMBCD	ADH	
PSLBCD	AEH	
QSHBCD	AFH	ALMACENA POTENCIA REACTIVA DE LA FASE S VALOR BCD EN 3 BYTES
QSMBCD	B0H	
QSLBCD	B1H	

TABLA 3.14 (A)

ETIQUETA	DIRECCION	FUNCION
PTHBCD	B2H	ALMACENA POTENCIA ACTIVA DE LA FASE T VALOR BCD EN 3 BYTES
PTMBCD	B3H	
PTLBCD	B4H	
QTHBCD	B5H	ALMACENA POTENCIA REACTIVA DE LA FASE T VALOR BCD EN 3 BYTES
QTMBCD	B6H	
QTLBCD	B7H	
SRHBCD	B8H	ALMACENA POTENCIA APARENTE LA FASE R VALOR BCD EN 3 BYTES
SRMBCD	B9H	
SRLBCD	BAH	
FPRHBCD	BBH	ALMACENA FACTOR DE POTENCIA DE LA FASE R VALOR BCD EN 2 BYTES
FPRLBCD	BCH	
SSHBCD	BEH	ALMACENA POTENCIA APARENTE LA FASE S VALOR BCD EN 3 BYTES
SSMBCD	BFH	
SSLBCD	C0H	
FPSHBCD	C1H	ALMACENA FACTOR DE POTENCIA DE LA FASE S VALOR BCD EN 2 BYTES
FPSLBCD	C2H	
STHBCD	C4H	ALMACENA POTENCIA APARENTE LA FASE T VALOR BCD EN 3 BYTES
STMBCD	C5H	
STLBCD	C6H	
FPTHBCD	C7H	ALMACENA FACTOR DE POTENCIA DE LA FASE T VALOR BCD EN 2 BYTES
FPTLBCD	C8H	
P3FHBCD	CAH	ALMACENA POTENCIA ACTIVA TRIFASICA VALOR BCD EN 3 BYTES
P3FMBCD	CBH	
P3FLBCD	CCH	
Q3FHBCD	CDH	ALMACENA POTENCIA REACTIVA TRIFASICA VALOR BCD EN 3 BYTES
Q3FMBCD	CEH	
Q3FLBCD	CFH	
S3FHBCD	D0H	ALMACENA POTENCIA APARENTE TRIFASICA VALOR BCD EN 3 BYTES
S3FMBCD	D1H	
S3FLBCD	D2H	
FP3FHBCD	D3H	ALMACENA FACTOR DE POTENCIA TRIFASICO VALOR BCD EN 2 BYTES
FP3FLBCD	D4H	

TABLA 3.14 (B)

ENERG4BCD	D6H	ALMACENA ENERGIA ACUMULADA EN BCD OCUPA TOTAL 4 BYTES BYTE MAS SIGNIFICATIVO ENERGBCD3
ENERG3BCD	D7H	
ENERG2BCD	D8H	
FRECHBCD	D9H	ALMACENA MSB DE FRECUENCIA EN BCD ALMACENA LSB DE FRECUENCIA EN BCD
FRECLBCD	DAH	
ENERG5BCD	DBH	BYTE MAS SIGNIFICATIVO DE ENERGIA

TABLA 3.14 (C)

BANDERA	BIT	FUNCION
BSERIAL	00H	PARA DETECTAR INTERRUPCION SERIAL
BBASET	01H	DETECTA SI CUMPLIO BASE DE TIEMPO
SIGNOPR	02H	DETERMINA SIGNO DE P FASE R
SIGNOQR	03H	DETERMINA SIGNO DE Q FASE R
SIGNOPS	04H	DETERMINA SIGNO DE P FASE S
SIGNOQS	05H	DETERMINA SIGNO DE Q FASE S
SIGNOPT	06H	DETERMINA SIGNO DE P FASE T
SIGNOQT	07H	DETERMINA SIGNO DE Q FASE T
SIGNOP3	0BH	DETERMINA SIGNO DE P TRIFASICA
SIGNOQ3	0CH	DETERMINA SIGNO DE Q TRIFASICA

TABLA 3.15 ASIGNACION DE BANDERAS

CAPITULO 4:

RESULTADOS EXPERIMENTALES

CAPITULO 4

RESULTADOS EXPERIMENTALES:

En este capítulo se presentan los resultados del funcionamiento del equipo

- Operación del sistema de adquisición de datos:
- Detalles Constructivos

4.1 OPERACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

En las figuras 4.1 y 4.2 se observan las respuestas en el tiempo de los circuitos de adquisición de datos para voltaje y corriente. Estos circuitos generan retardo en la lectura de los valores de V e I debido a los filtros que se incluyen para evitar perturbaciones que pueden afectar las mediciones.

Al equipo se le aplicó una entrada paso de $243 V_{RMS}$ que provocó sobre la carga una corriente de $1.4 A$.

De los gráficos obtenidos se observa que los circuitos de voltaje y corriente presentan un retardo de 3.5 s y 3.25 s. respectivamente, estos valores no afectan a la operación normal del equipo, sino, retardan el tiempo de estabilización de los datos mostrados en el display.

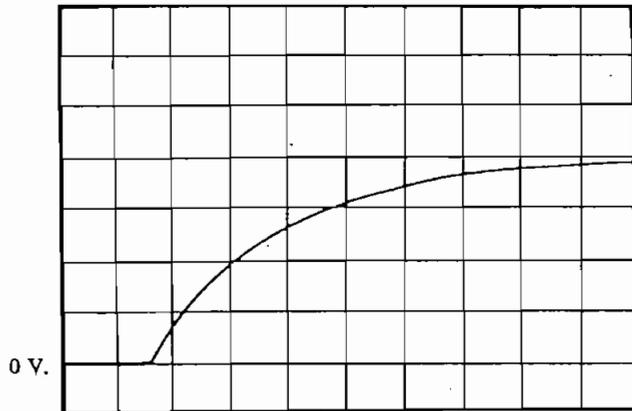


Figura 4.1
Respuesta circuito acondicionador de voltaje
Escala: Horz. 0.5 s/div
Vert. 1.0 V/div

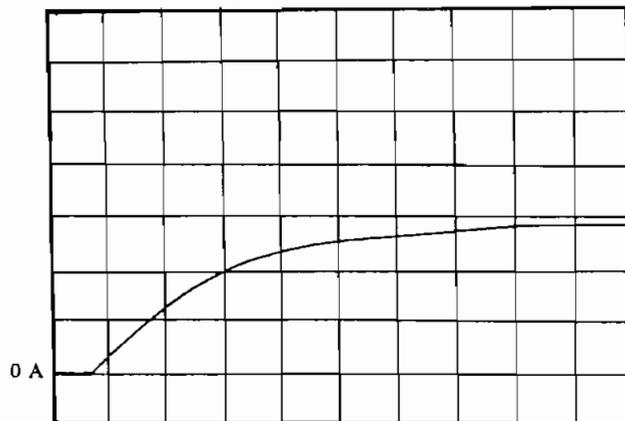


Figura 4.2
Respuesta circuito acondicionador de corriente
Escala: Horz. 0.5 s/div
Vert. 0.5 A/div

4.2 OPERACION DEL MEDIDOR DIGITAL DE ENERGIA

El equipo está diseñado para medir los parámetros eléctricos de la red, esto es V, I, f, fp, P, Q, S, E trifásico.

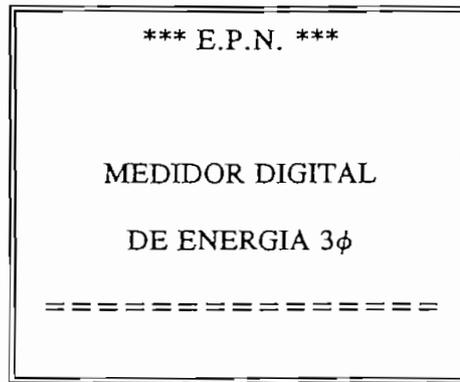
Las líneas de voltaje así como las provenientes de los transformadores de corriente ingresan al equipo a través de la bornera externa.

El equipo empieza su funcionamiento siempre y cuando se alimente a la fuente de polarización, la misma que puede trabajar tomando de la red 120 ó 220 v.

El equipo permite la medición de señales de voltaje y corriente con un factor de forma de hasta 1.17, valor que garantiza la operación del medidor con un error inferior al 2% correspondiente a equipos CLASE 2 (instrumentos de medida).

Los parámetros eléctricos se muestran en pantalla en parejas: voltaje y corriente rms por fase, potencia activa y reactiva por fase, potencia aparente y factor de potencia por fase, potencia activa y reactiva trifásica, potencia aparente y factor de potencia trifásico, energía y frecuencia de la red.

Al iniciar el funcionamiento, en pantalla aparecen los siguientes mensajes:



Luego, automáticamente inicia la medición, presentando en pantalla el voltaje entre las líneas RS y la corriente de la fase R. Para poder observar los demás parámetros será necesario que el usuario presione una de las teclas, la misma que permitirá cambiar de página de información.

Previamente, antes de empezar las mediciones se debe observar la disposición de los dipswitch internos de manera de escoger correctamente la escalas de los transformadores de voltaje y de corriente que se disponen. A continuación se indica la tabla de combinaciones de los dipswitch y las correspondientes relaciones de transformación:

DISTRIBUCION DE PINES								ESCALA DE TRASNFORMACION
P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0	CORRESPONDIENTE A V e I
X	X	X	X	X	X	X	0	ESCALA DE VOLTAJE 220 V.
X	X	X	X	X	X	X	1	ESCALA DE VOLTAJE 440 V.
X	X	0	0	0	0	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 5:5
X	X	0	0	0	0	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 10:5
X	X	0	0	0	1	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 20:5
X	X	0	0	0	1	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 50:5
X	X	0	0	1	0	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 75:5
X	X	0	0	1	0	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 100:5
X	X	0	0	1	1	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 150:5
X	X	0	0	1	1	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 200:5
X	X	0	1	0	0	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 250:5
X	X	0	1	0	0	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 300:5
X	X	0	1	0	1	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 400:5
X	X	0	1	0	1	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 500:5
X	X	0	1	1	0	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 600:5
X	X	0	1	1	0	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 750:5
X	X	0	1	1	1	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 800:5
X	X	0	1	1	1	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 1000:5
X	X	1	0	0	0	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 1200:5
X	X	1	0	0	0	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 1500:5
X	X	1	0	0	1	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 1600:5
X	X	1	0	0	1	1	X	TRANSF. DE CORRIENTE 2000:5
X	X	1	0	1	0	0	X	TRANSF. DE CORRIENTE 2500:5

TABLA N. 4.1

PRUEBAS DE PRECISION:

Para poder determinar el grado de precisión en las mediciones que realiza el equipo, se ha procedido a comparar los resultados que se tienen en relación al multímetro digital FLUKE 87, tomado como patrón, que permite realizar mediciones de voltaje, corriente y frecuencia con precisión de 0.7%, 1.0 y 0.005% respectivamente. Este instrumento se encuentra a disposición en el Laboratorio de Electrónica de Potencia de la EPN.

Los resultados para una red de alimentación de 220 V y carga variable se encuentran tabulados y graficados más adelante.

En la tabla 4.2 se encuentran indicados los datos correspondientes a las medidas realizadas para los voltajes entre fases tanto del equipo contruido como del instrumento patrón. De estos se desprende que los errores cometidos en las mediciones toman valores más grandes en los extremos de la banda de operación del equipo es decir cuando se encuentra en los valores cercanos a $220+20\%$ ó $220-20\%$, ésto, debido a que a los transformadores de medición de voltaje están trabajando con voltaje diferente al nominal, así mismo, cuando se lo hace trabajar con un voltaje superior al nominal, los transformadores de tensión sufren un calentamiento, que va en decremento de sus características normales de operación.

Además es necesario recalcar que los transformadores de potencial utilizados no son adecuados para realizar mediciones, por cuanto son transformadores comunes, que no tienen las características que presentan los de medición, ésto es, mejor precisión, temperatura de trabajo más alta, mayor rango de voltaje de operación, menores efectos de saturación del núcleo, estas características van a redundar en una reducción de los errores en las mediciones.

Sin embargo, es necesario recalcar que el equipo se ajusta a las especificaciones planteadas inicialmente para el funcionamiento del medidor.

Considerando lo anteriormente expuesto y observando los gráficos correspondientes se desprende que el equipo funciona de mejor manera en la zona intermedia de operación, tendiendo a disminuir el error introducido y manteniéndose dentro del rango permisible, éste es, banda de error de 0 a 2% (rango especificado para la clase 2 correspondiente a instrumentos de medición).

En el caso de las mediciones de corriente de fase, se tiene un comportamiento bastante similar al de voltaje, puesto que los errores tienden a incrementarse hacia los extremos tanto superior como inferior de la escala, esto se debe a que el transformador de corriente no está trabajando en su zona lineal. Ver tabla 4.3 y figuras correspondientes.

Cuando se trabaja con corrientes bajas cercanas a cero, el valor de la corriente de magnetización propia del transformador, provoca mediciones diferentes a la real, porque la corriente de magnetización se encuentra en un valor semejante a la que tiene la corriente que se desea medir.

Para el caso en el cual, la corriente se acerca al valor nominal del transformador se produce la saturación de su núcleo, lo que provoca que a pesar del aumento de valor de corriente en el primario del transformador, en su secundario no se va a reflejar este efecto, por tanto, se introducen errores.

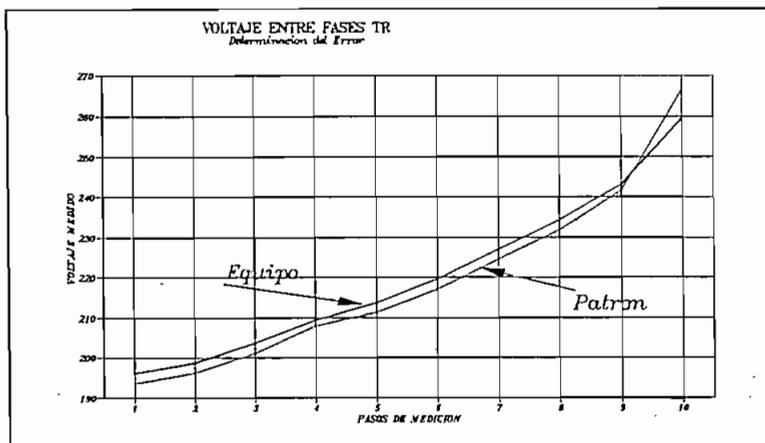
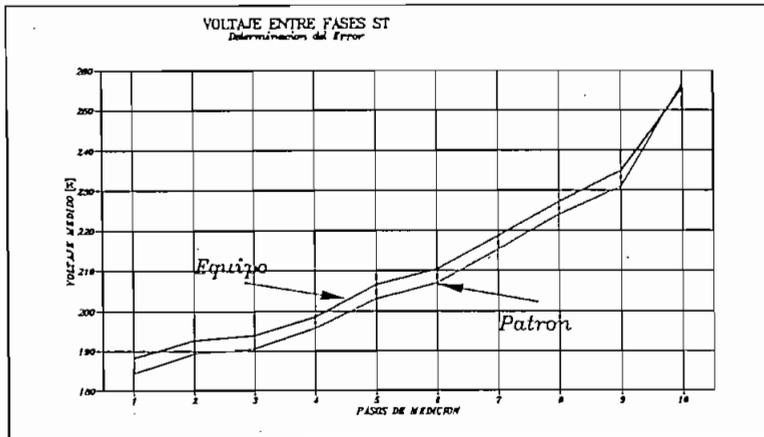
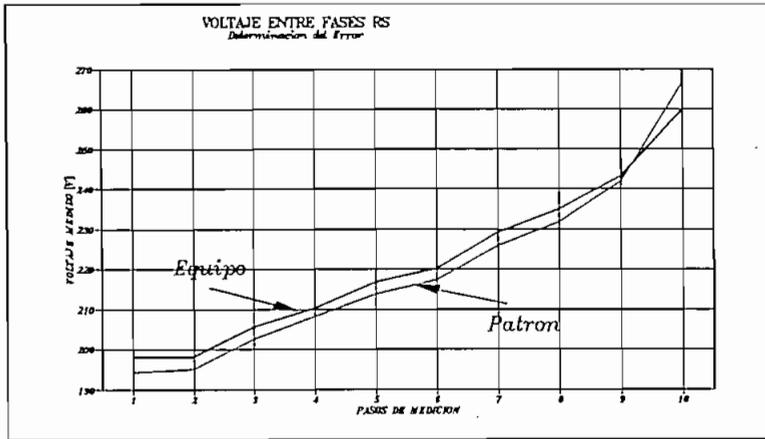
La banda de error que se introduce para la zona lineal de trabajo del transformador de corriente se mantiene entre 0 y 2%.

	VOLTAJE RS			VOLTAJE ST			VOLTAJE TR		
	EQUIPO	FLUKE	ERROR %	EQUIPO	FLUKE	ERROR %	EQUIPO	FLUKE	ERROR %
1	197.9	194.4	1.80	188.2	184.4	2.06	196.1	193.6	1.29
2	198.2	195.1	1.59	192.7	189.3	1.80	198.7	196.1	1.33
3	205.7	202.5	1.58	193.9	190.5	1.78	203.5	201	1.24
4	210.2	208.1	1.01	198.4	195.7	1.38	209.3	207.8	0.72
5	216.8	213.8	1.40	206.4	203	1.67	213.7	211.3	1.14
6	220.2	217.3	1.33	210.3	206.9	1.64	219.5	217	1.15
7	229.2	226	1.42	218.6	215.2	1.58	226.8	224.5	1.02
8	235	231.9	1.34	227.2	224	1.43	234.3	231.8	1.08
9	243.2	242	0.50	234.9	231	1.69	243.1	241.7	0.58
10	259.8	266.5	2.51	255.4	256.5	0.43	259.5	266.5	2.63

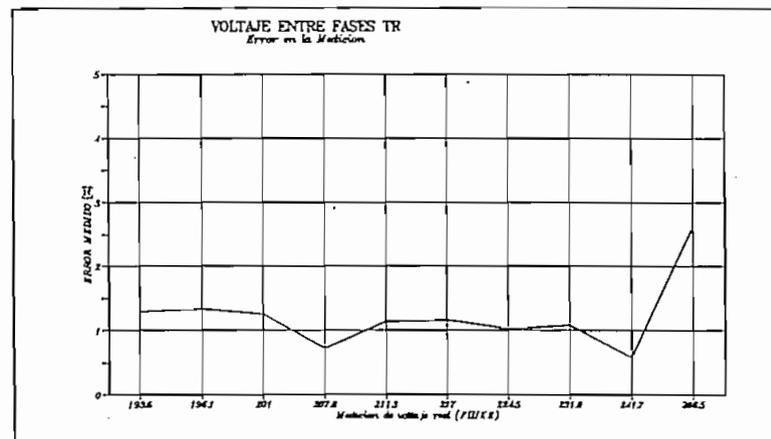
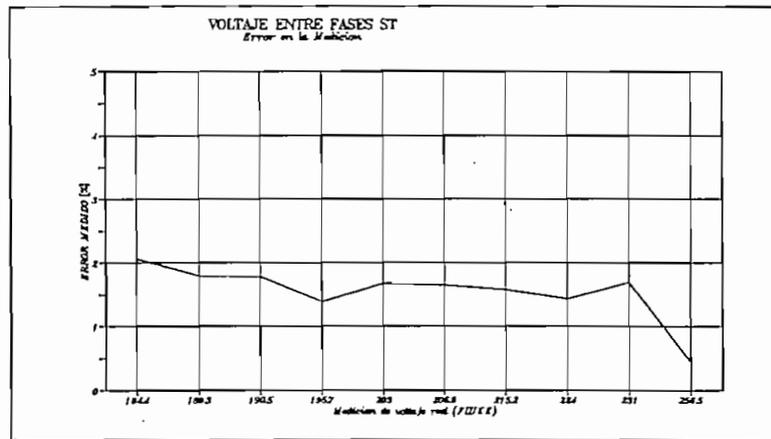
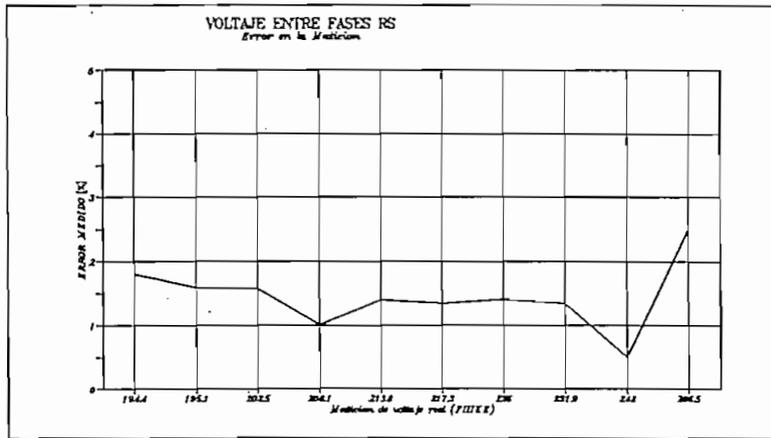
Tabla N. 4.2 Determinación de error en la medición de voltaje

CURVAS DE MEDICION DE VOLTAJE

Equipo construido y equipo patrón



BANDA DE ERROR Medición de Voltaje

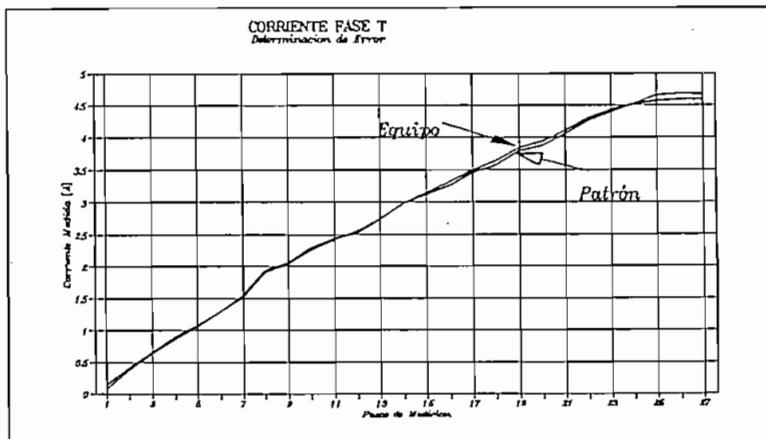
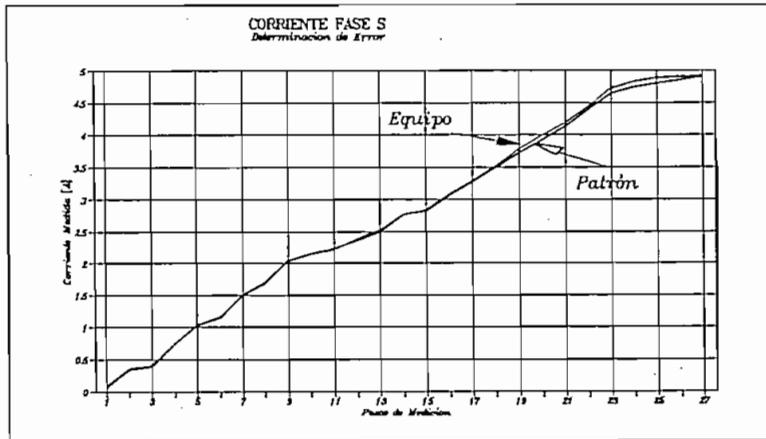
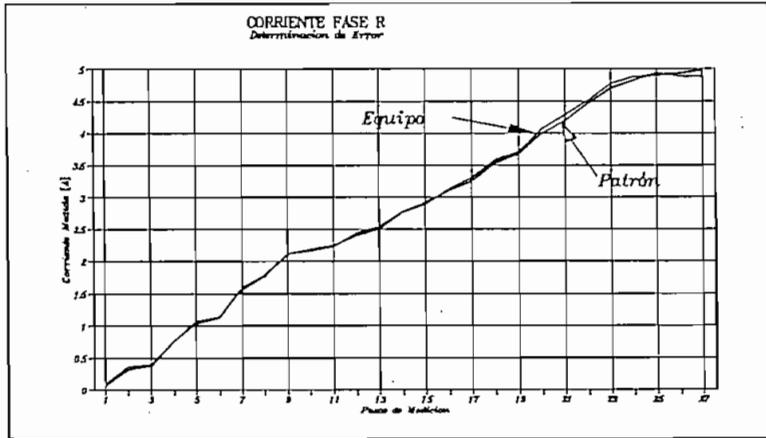


	CORRIENTE R			CORRIENTE S			CORRIENTE T		
	EQUIPO	FLUKE	ERROR %	EQUIPO	FLUKE	ERROR %	EQUIPO	FLUKE	ERROR %
1	0.057	0.098	42.37	0.057	0.088	35.88	0.087	0.143	39.16
2	0.323	0.366	11.75	0.328	0.355	7.61	0.386	0.424	8.96
3	0.376	0.39	3.59	0.386	0.404	4.46	0.63	0.665	5.26
4	0.754	0.76	0.79	0.733	0.748	2.01	0.864	0.902	4.21
5	1.075	1.042	3.17	1.022	1.033	1.06	1.062	1.078	1.48
6	1.147	1.129	1.59	1.138	1.159	1.81	1.278	1.302	1.84
7	1.562	1.599	2.31	1.505	1.492	0.87	1.512	1.542	1.95
8	1.753	1.769	0.90	1.698	1.675	1.37	1.89	1.926	1.87
9	2.102	2.117	0.71	2.045	2.032	0.64	2.034	2.057	1.12
10	2.178	2.158	0.93	2.161	2.131	1.41	2.25	2.293	1.88
11	2.247	2.226	0.94	2.238	2.217	0.95	2.412	2.437	1.03
12	2.389	2.431	1.73	2.354	2.398	1.83	2.574	2.524	1.98
13	2.493	2.534	1.62	2.489	2.526	1.46	2.736	2.738	0.07
14	2.759	2.764	0.18	2.759	2.764	0.18	2.988	2.987	0.03
15	2.883	2.912	1.00	2.837	2.81	0.96	3.15	3.119	0.99
16	3.121	3.099	0.71	3.088	3.06	0.92	3.312	3.257	1.69
17	3.303	3.249	1.66	3.281	3.265	0.49	3.492	3.447	1.31
18	3.577	3.525	1.48	3.512	3.498	0.40	3.636	3.571	1.82
19	3.711	3.669	1.14	3.782	3.715	1.80	3.834	3.788	1.21
20	4.071	3.995	1.90	3.995	3.919	1.94	3.942	3.867	1.94
21	4.278	4.199	1.88	4.188	4.135	1.28	4.104	4.047	1.41
22	4.509	4.457	1.17	4.439	4.397	0.96	4.302	4.26	0.99
23	4.773	4.698	1.60	4.728	4.646	1.76	4.428	4.39	0.87
24	4.871	4.822	1.02	4.825	4.748	1.62	4.518	4.52	0.04
25	4.902	4.936	0.69	4.882	4.799	1.73	4.572	4.65	1.68
26	4.935	4.875	1.23	4.902	4.85	1.07	4.59	4.682	1.96
27	4.975	4.878	1.99	4.921	4.894	0.55	4.59	4.667	1.65

TABLA N. 4.3 Determinación de error en la medición de corriente

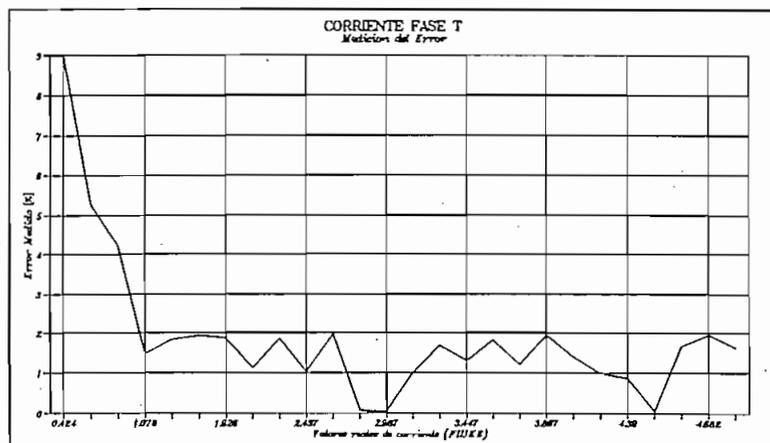
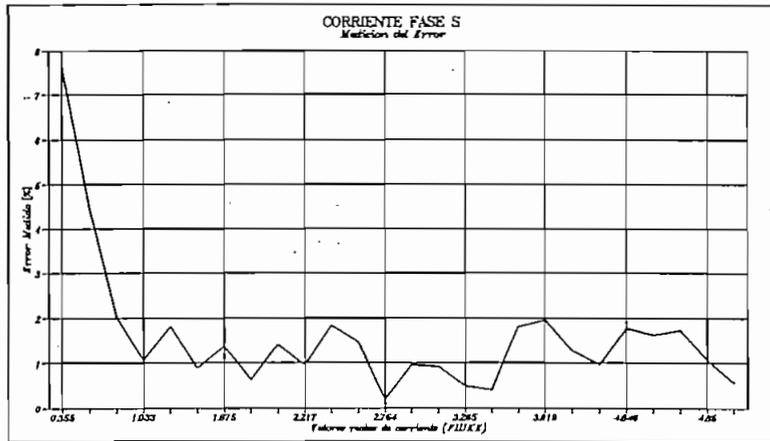
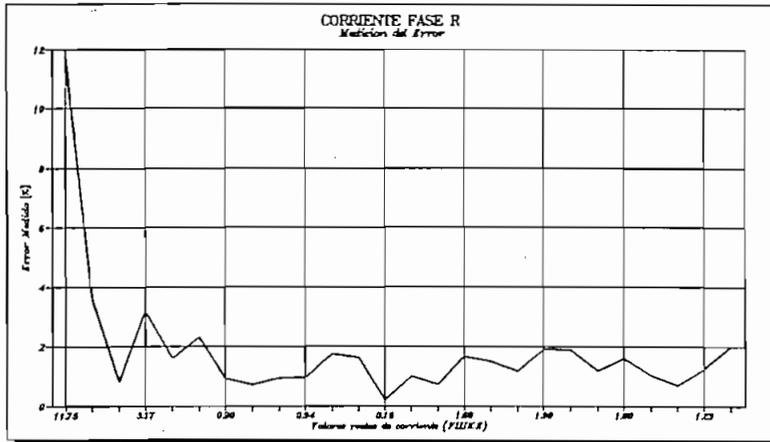
CURVAS DE MEDICION DE CORRIENTE

Equipo construido y equipo patrón



BANDA DE ERROR

Medición de Corriente



Para la medición de los valores de frecuencia y factor de potencia, como el método utilizado se basa en mediciones de intervalos de tiempo de cruces por cero tanto de voltaje como de corriente y no depende de elementos externos de medición, a más de detectores de cruce por cero, y el dispositivo que mide el tiempo, ésta presenta suficiente precisión de tal forma que el error generado resulta mínimo.

Cabe recalcar que para realizar las mediciones se toman valores medios los cual minimiza el error.

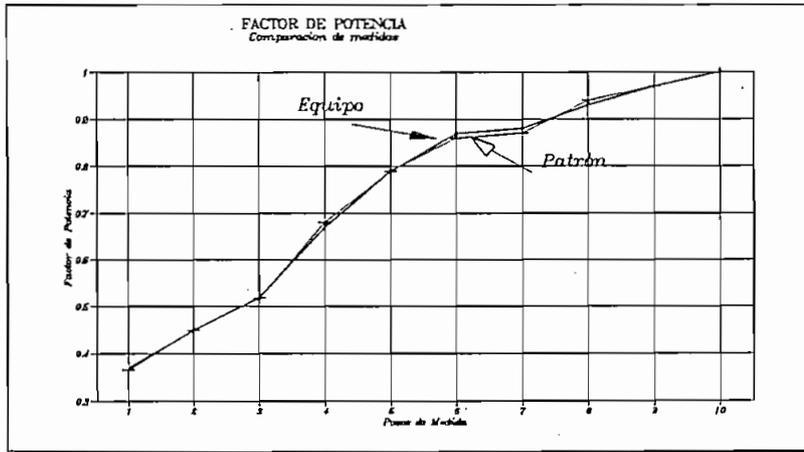
La banda de error para frecuencia se encuentra entre 0 y 0.03%, y para factor de potencia entre 0 y 2%.

FACTOR DE POTENCIA			
NUMERO	EQUIPO	PATRON	ERROR %
1	0.37	0.365	1.37
2	0.45	0.45	0.00
3	0.52	0.518	0.39
4	0.67	0.68	1.47
5	0.79	0.79	0.00
6	0.87	0.86	1.16
7	0.88	0.87	1.15
8	0.93	0.94	1.06
9	0.97	0.97	0.00
10	1	1	0.00

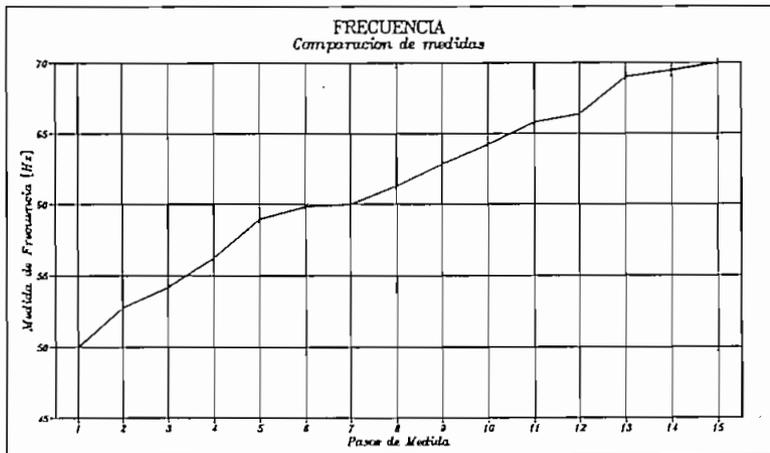
Tabla N. 4.4

FRECUENCIA			
NUMERO	EQUIPO	PATRON	ERROR %
1	50	49.99	0.02
2	52.75	52.74	0.02
3	54.18	54.19	0.02
4	56.22	56.21	0.02
5	58.95	58.94	0.02
6	59.83	59.82	0.02
7	60	59.98	0.03
8	61.3	61.29	0.02
9	62.85	62.83	0.03
10	64.25	64.27	0.03
11	65.84	65.83	0.02
12	66.41	66.39	0.03
13	68.97	68.99	0.03
14	69.44	69.43	0.01
15	70	69.98	0.03

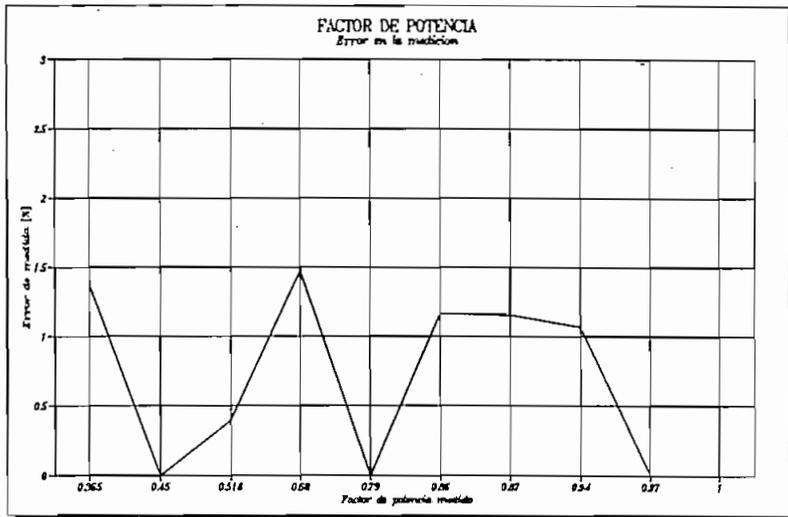
Tabla N. 4.5



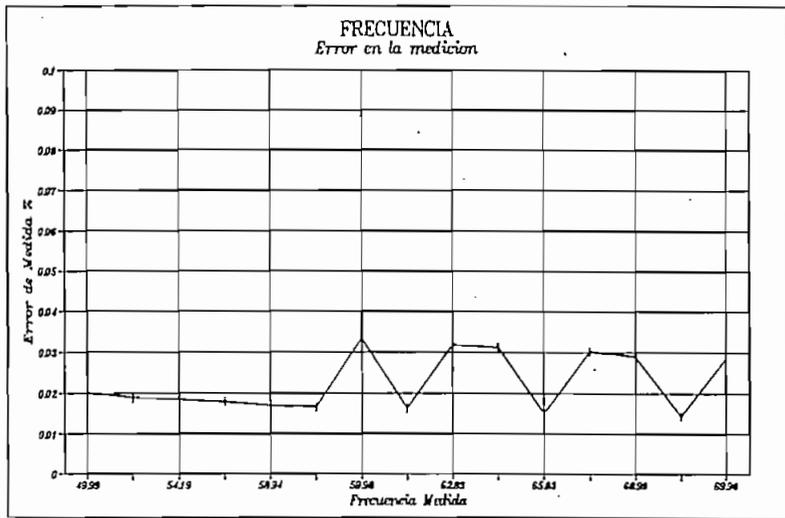
CURVA DE MEDICION DE FACTOR DE POTENCIA
Equipo construido y equipo patrón



CURVA DE MEDICION DE FRECUENCIA
Equipo construido y equipo patrón



BANDA DE ERROR
Medición de Factor de Potencia



BANDA DE ERROR
Medición de frecuencia

Para minimizar los errores en las mediciones realizadas para voltaje, corriente y tiempos entre cruces por cero de V e I, se realiza un número de muestreo definido para posteriormente obtener su valor promedio y de esta manera disminuir las perturbaciones que podrían introducirse en la red.

4.3 CONEXIONES DEL MEDIDOR DE ENERGIA

Para que el medidor empiece a trabajar es suficiente con conectarlo a la fuente de alimentación que puede ser tomada de la red de alimentación de 110 V. o 220 V. e instalar las líneas que llevan las señales de voltajes de fase y corrientes provenientes de los transformadores externos de corriente.

Estas conexiones de las líneas de señales se realizan a través de la bornera de conexión externa ubicada en la parte inferior del equipo.

La bornera tiene un total de 11 (once) terminales, de las cuales 6 están destinadas a las señales de corriente, 3 corresponden a los voltajes de fase y las 2 restantes a la alimentación del equipo (F y N).

Las conexiones a la red deben hacerse como se indica en las figuras 4.3 y 4.4, respetando las polaridades fijadas para los transformadores de corriente.

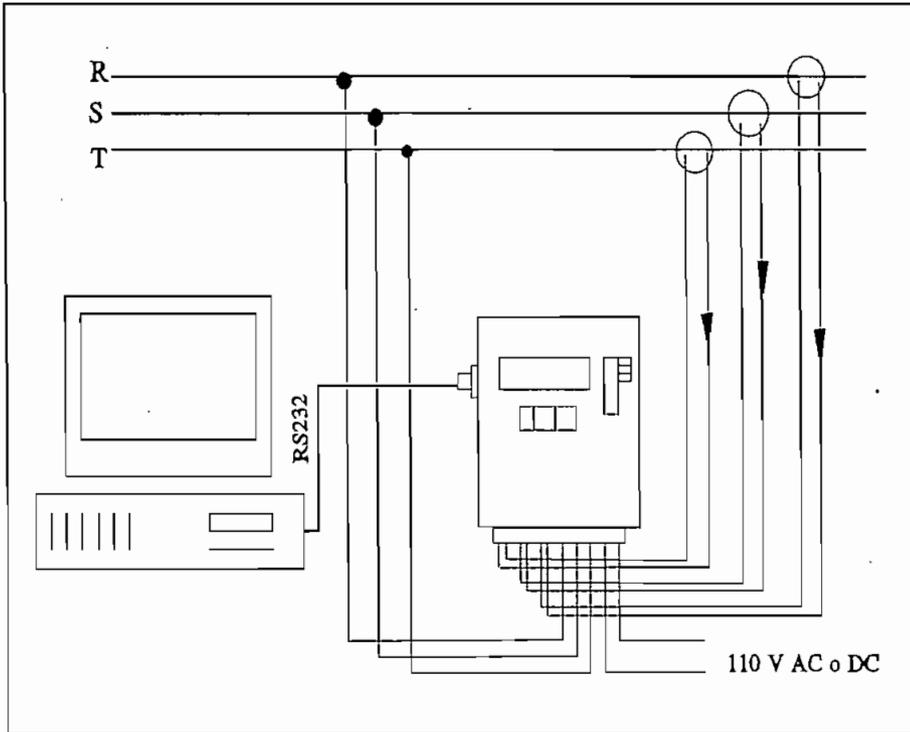


Figura 4.3 Conexión del Medidor con la RED

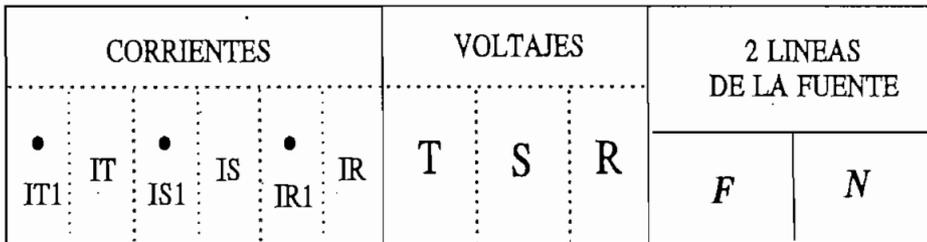


Figura 4.4 Bornera de conexión externa

DETALLES CONSTRUCTIVOS:

El equipo está montado sobre un gabinete tipo industrial de plástico de alta calidad de cierre hermético cuyas dimensiones son 195*250*100 mm. El peso neto aproximado es de 1 kg. En el interior se ubican los módulos (circuitos) de control , adquisición de datos, tarjeta de comunicación con el usuario, fuente de alimentación, transformadores de voltaje, protecciones del equipo y conector para comunicación serial.

En la parte frontal se deja ver la pantalla de cristal líquido, los leds, la barra de leds y las teclas. Todos estos elementos están montados en la tarjeta display (tarjeta de comunicación con el usuario)

En la parte inferior externa del gabinete está montada una bornera cuyos terminales están destinados a entradas de las líneas de voltaje de la red, señales de corriente provenientes de los transformadores y las líneas de alimentación fase y neutro para la fuente de polarización.

En la figura 4.4 se indica el diagrama correspondiente a la bornera de conexión externa.

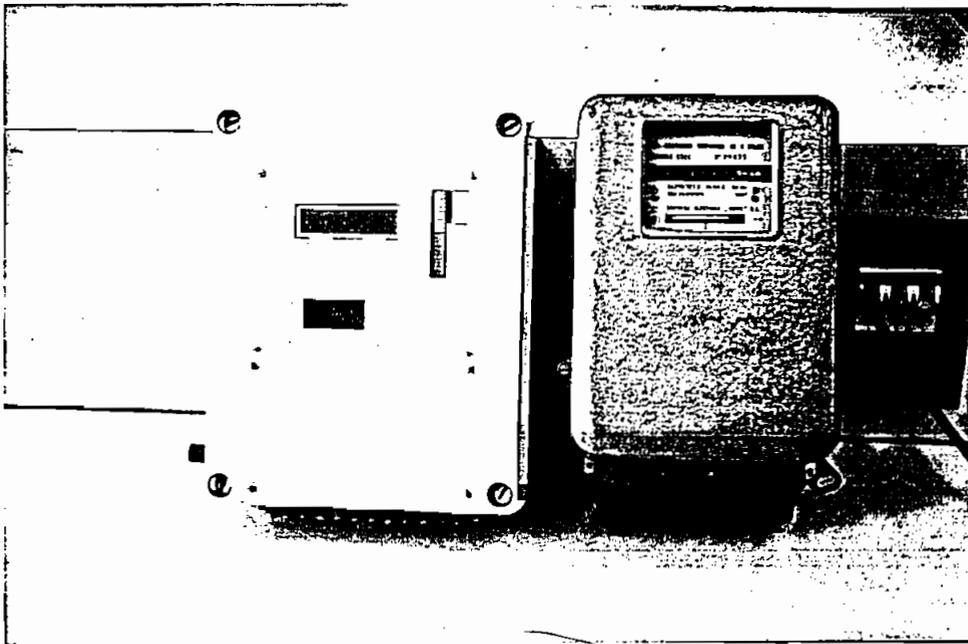


Foto 4.1 Medidor digital (izquierda) junto a medidor convencional

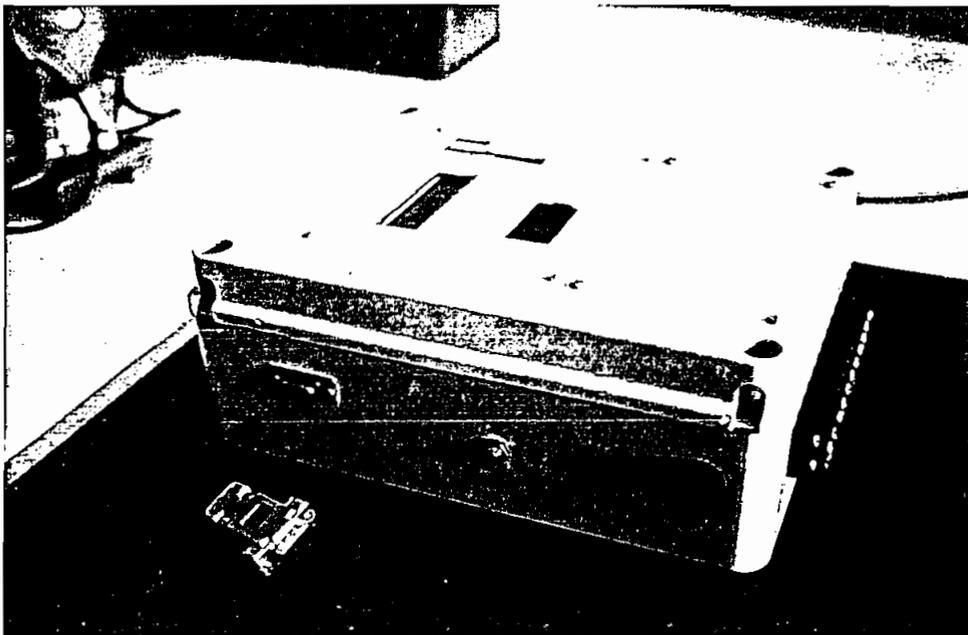


Foto 4.2 Vista lateral del Medidor Digital

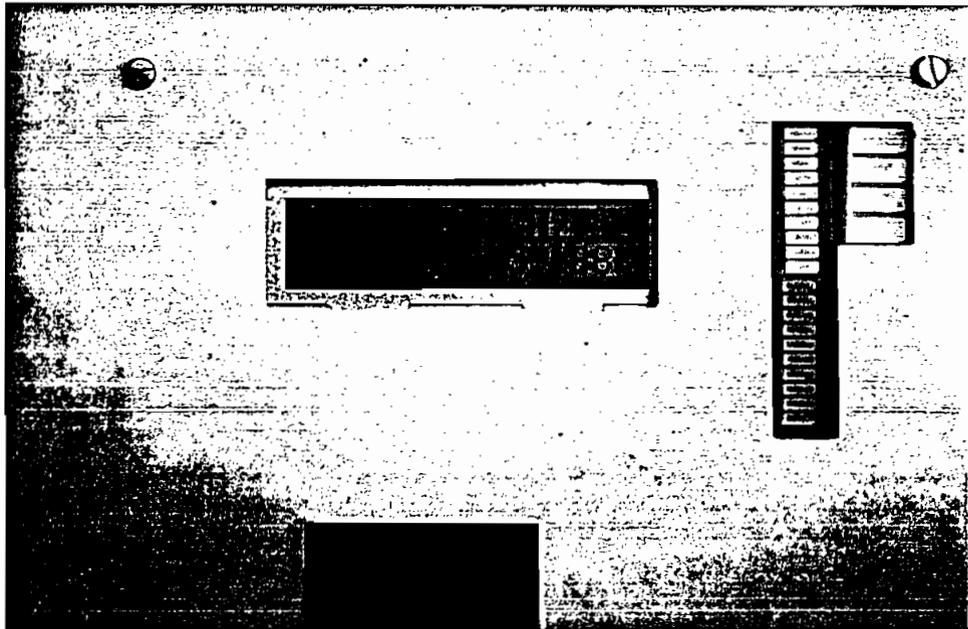


Foto N. 4.3 Pantalla de presentación de datos

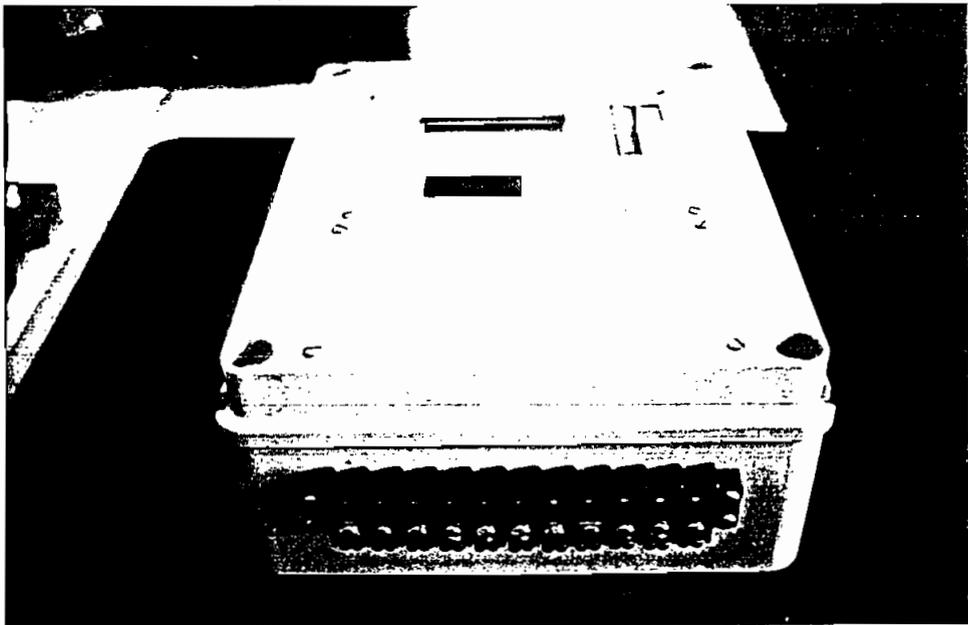


Foto 4.4 Bornera de Conexión Externa

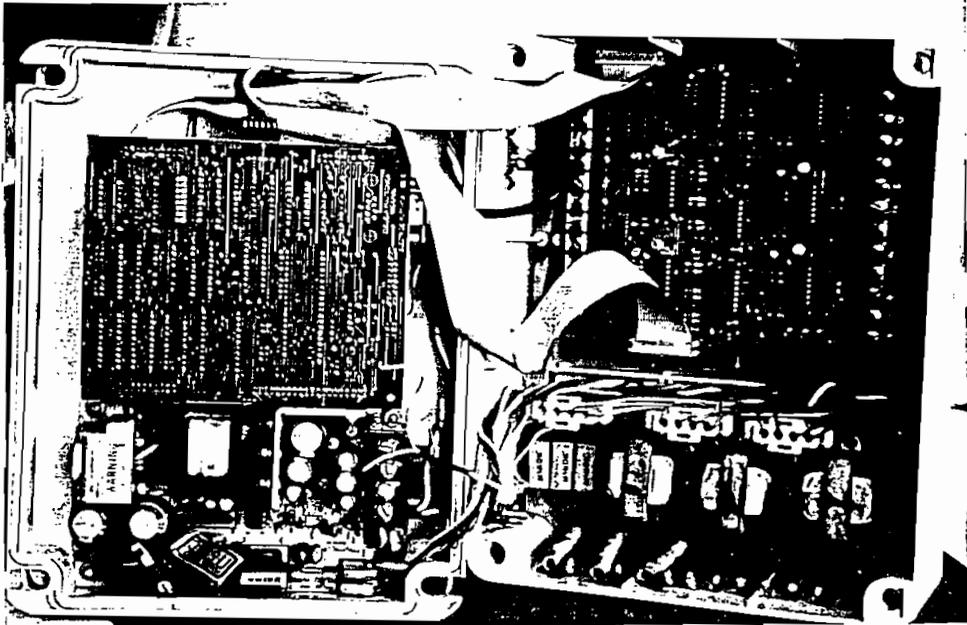


Foto N. 4.5 Vista interior del Medidor Digital

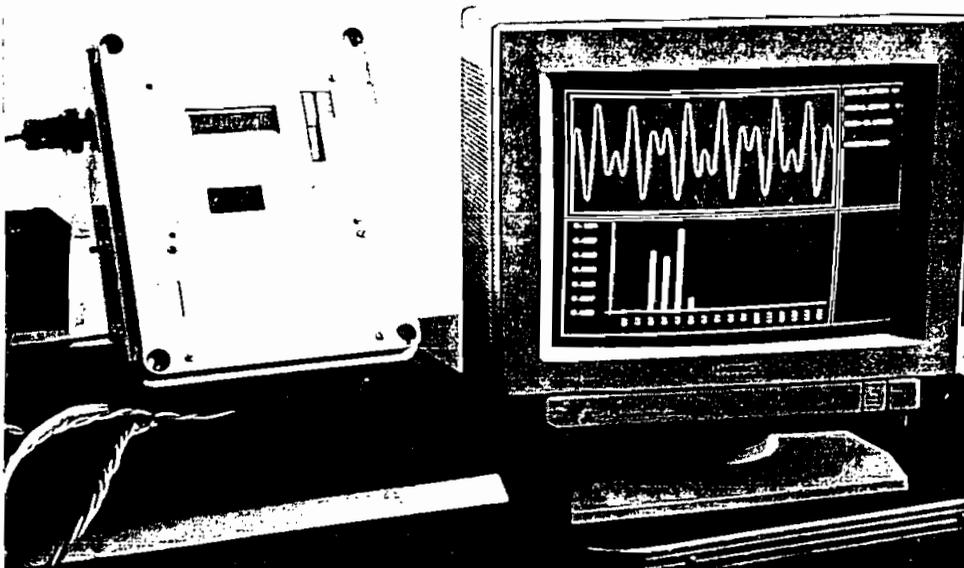


Foto N. 4.6 Conexión del Equipo con el PC

4.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL EQUIPO

Los objetivos y metas planteadas al declarar el presente tema de tesis han sido cubiertas en su totalidad una vez que se han realizado todas las pruebas de funcionamiento y calidad del equipo, dejando inclusive la posibilidad de que el equipo, por medio de adecuaciones de software realice otras funciones no desarrolladas en este trabajo.

El equipo opera de manera normal ante cualquier carga trifásica de 220 V. \pm 20 % y frecuencia 60 Hz \pm 16.6%. Bastará con mantener conectadas correctamente las señales de entrada al circuito y la fuente de alimentación.

El equipo permite realizar la medición del valor RMS tanto de voltajes como de corrientes de la línea de alimentación, potencias activa, reactiva, aparente, factor de potencia tanto por fase como total (trifásico), adicionalmente se obtienen los datos de energía consumida y frecuencia de la red.

Cabe mencionar que el equipo está diseñado de tal manera que puede determinar el sentido del flujo de potencia.

En este equipo no se puede determinar la distorsión armónica de las señales que están siendo medidas, sin embargo el equipo presenta las características necesarias para que por medio de software se desarrolle esta posibilidad.

Para el muestreo y posterior análisis de las señales de voltaje y corriente se considera que estas tienen formas de onda sinusoidales con factor de distorsión 0. Sin embargo, si se tiene el caso

de ondas distorsionadas con un factor de forma máximo de 1.17, el error que se comete en la medición de los parámetros eléctricos está en el rango del 2%, valor que está determinado para equipos clase 2 correspondiente a instrumentos de medida.

Como el muestreo de las señales de voltaje y corriente se realiza a partir de la señal continua obtenida luego de escalar las señales, rectificarlas y filtrarlas, la medición se perjudica en cuanto a la velocidad de respuesta pero, considerando que se trata de un instrumento de medición y no de control, esta limitación se ve superada.

El equipo deja la posibilidad de almacenamiento de datos eléctricos de interés para el usuario, los mismos que podrán ser descargados a través del pórtico serial que utiliza el protocolo RS232 hasta un computador para su posterior análisis.

En la tarjeta de adquisición de datos se tiene una bornera de 10 terminales los mismos que están conectados al microcontrolador a través de un buffer. Está a disposición del usuario y podría ser usada, por ejemplo, para manejo de alarmas y demás dispositivos a través de relés.

El programa del MEDIDOR ocupa aproximadamente 5 kB de la memoria EPROM del μC ; sin embargo, pueden hacerse variaciones pequeñas en software de ampliación a las funciones normales del equipo de acuerdo a necesidades específicas del usuario.

Si se desea que los datos almacenados por el equipo no se pierdan en caso de fallas en la alimentación, se puede escoger la opción de almacenamiento en la memoria RAM NO VOLATIL disponible en el equipo, lo cual garantizará que los datos se mantengan inalterados.

Si bien en el desarrollo de software para el equipo no se incluyen rutinas para el manejo de barras y grupos de leds, queda abierta la posibilidad de hacerlo con la adición de las rutinas correspondientes.

El equipo en lo referente a hardware deja a disposición del usuario algunas opciones que pueden ser utilizadas de acuerdo a sus necesidades, éstas son:

- **INDICADORES:**

Son 4 indicadores rectangulares tipo led que podrán usarse, por ejemplo, para visualización de mensajes predefinidos que permitan señalar estados de falla, valores que sobrepasan los límites predefinidos, etc.

- **BARRA GRAFICA:**

Incorpora 20 leds luminosos, es ideal para visualización de niveles, en el caso particular del medidor de energía podrá ser usado, por ejemplo, para visualizar el nivel relativo de potencia aparente.

- **SALIDAS DIGITALES:**

Son 8 (open colector PNP) de 5, 12 o 24 V y con capacidad de 0.5 A, previstas para el manejo de relés auxiliares para activación de alarmas y señalización de máximos y mínimos.

- **ENTRADAS DIGITALES:**

En un total de 10, 2 de las cuales tienen prioridad y generan interrupción en el microprocontrolador, previstas para monitorear el estado lógico de dispositivos externos al registrador (interruptores, disyuntores, etc.), o para el acoplamiento entre dos o más registradores en aplicaciones en las que se requiere monitorear variables eléctricas en diferentes ramales de un circuito.

- **ENTRADA DE MEDICION ANALOGICA:**

Prevista para monitorear magnitudes eléctricas adicionales y de interés como pueden ser: voltaje de corriente continua del sistema de alimentación auxiliar en subestaciones y/o centrales eléctricas, voltaje de alimentación auxiliar del registrador, etc.

- **ENTRADA DE MEDICION ANALOGICA :**

Para conexión de pinza amperímetrica, prevista para que el equipo conectado vía serial con un PC, pueda realizar el análisis de la forma de onda de la corriente monitoreada y su respectivo análisis de distorsión y espectro de frecuencias.

Limitaciones:

Si bien, se ha cumplido en totalidad con el objetivo planteado en este tema de tesis es necesario indicar que el equipo como tal presenta algunas limitaciones, éstas son:

- El equipo no mide energía aparente ni energía reactiva.
- No acumula energía de retorno;
- El voltaje medido es entre fases y no fase-neutro.

En el equipo se ha desarrollado el hardware y software en el microcontrolador para la comunicación serial, pero no se incluye el software para descargar los datos y procesar la información en el computador; este deberá ser desarrollado de acuerdo a necesidades específicas del usuario.

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO:

1. Voltaje de entrada AC:

Permite la selección de 2 escalas 220 y 440V línea - línea a través de un dipswitch.

Precisión: 1.7 %

Resolución: 0.1V

Rango: ± 20 %

Nota: Para la escala de 440 V. es necesario disponer transformadores de voltaje externos con relación de transformación 440:220.

2. Corriente de línea AC:

Se tiene la posibilidad de escoger por medio de dipswitch la escala del transformador de corriente de un total de 21 posibilidades; siempre en el secundario se tendrán 5A. (tabla 4.1)

Precisión: 2.0%

Resolución: rango de escala / 256

Rango: 0 - 2500 A

3. Potencia Activa por fase y trifásica:

Se indica en kW, calculada con los valores RMS de voltaje, corriente y factor de potencia.

Además, se indica el sentido de flujo de Potencia (+, -).

Precisión: 2.0 %

Resolución: 0.1 kW

Rango: 0 - 999.9 kW

4. Potencia Reactiva Q por fase y trifásica:

Se indica en kVAR calculada con los valores de la potencia aparente y $\text{sen}(\phi)$. Se indica también el signo de Q, ésto es, (-) capacitivo y (+) inductivo.

Precisión: 2.0 %

Resolución: 0.1 KVAR

Rango: 0 - 999.9 KVAR

5. Factor de Potencia por fase y trifásico:

Medido en función del defasaje entre el voltaje y corriente de la red de alimentación

Precisión: 1.7 %

Resolución: 0.01

Rango: 0 - 1

6. Frecuencia:

Medido en función de los cruces por cero consecutivos de la señal de voltaje:

Precisión: 0.035 %

Resolución: 0.01

Rango: 50 - 70 Hz

7. Energía:

Se mide en kW - h calculada en función de la potencia activa.

Precisión: 2.0 %

Resolución: 0.1 kW - h

Rango: 0 - 99999.9 kW - h

8. Potencia Aparente S por fase y trifásica:

Se indica en KVA calculada con los valores RMS de voltaje y corriente

Precisión: 2.0 %

Resolución: 0.1 KVA

Rango: 0 - 999.9 KVA

Las especificaciones indicadas en el capítulo 2, han sido cumplidas y probadas completamente, de allí que el equipo se constituye en un importante aporte técnico que puede entrar a competir con otros equipos de similares características con la notable ventaja de que está diseñado para trabajar en condiciones propias de nuestra región, su utilización se avisa ampliamente por las posibilidades que presenta en la selección de escalas de transformadores de voltaje y corriente, y la gran versatilidad que se tiene para ampliar o desarrollar nuevas funciones en el equipo considerando que este basa su funcionamiento en un microcontrolador (INTEL 8752).

4.5 COMPARACION CON OTROS EQUIPOS COMERCIALES:

Existen en el mercado diferentes equipos destinados a medición de parámetros eléctricos. Para la comparación requerida se han tomado aquellos que cumplen o presentan características similares a las planteadas en el presente tema de tesis.

En este análisis se han incluido, a más del equipo desarrollado en esta tesis, cuatro modelos existentes en el mercado y sus características más sobresalientes. Estos son: QUANTUM SVI, SATEC 280/288, ABB E1R y QUANTUM ST-Q101.

En la tabla 4.2 se indican las características más sobresalientes de los 4 equipos a compararse:

Las especificaciones de los equipos tomadas como referencia para realizar la comparación se las obtuvieron de los manuales de características técnicas de los equipos ^[7]

[7] Manuales ABB, QUANTUM, SATEC ...

MODELO DE MEDIDOR		QUANTUM SVI	SATEC 280/288	ABB EIR	QUANTUM ST-Q101	TESIS
CARACTERÍSTICA						
Voltaje de alimentación			95 a 135 Y 185 a 245			120 V o 240 V AC o DC
Rango de voltaje						± 20%
Frecuencia (Hz)		50 y 60	45-65 Hz	60 ± 3.33 %	50.6 60 ± 3 Hz	60 ± 10%
I _{RMS} (A)		2/5/10/100/200	0 - 6000	200	10 6 20	5/10/20/50/75/100/150/200025 0/300/400/500/600/750 800/1000/1200/1500/1600 2000
V _{RMS} (V)		120/240/277/345/480/600	0-660	120/240/480	68/120/240/277/480	220/480
Rango de voltaje		-33 % a +20 %		± 10% del especificado	-25 % a +15 % del especificado	± 20% del especificado
P por fase		Instantánea	Instantánea	Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada	Instantánea
Q por fase		Instantánea	Instantánea	Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada	Instantánea
S por fase		Instantánea	Instantánea	Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada	Instantánea
Energía		Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada	Instantánea y acumulada
Flujo bidireccional		No tiene medición	No tiene medición	Permite obtener información	Permite obtener información	Permite obtener información
Frecuencia		No mide	Valor ± 0.1 Hz	No mide	No mide	Valor ± 0.01 Hz
Precisión		±0.50% con $f_p=1$ ±0.75% con $f_p=0.5$	±1.5% rúg.	Dependiente del factor de potencia	Dependiente del factor de potencia	± 0.035 %
Temperatura		-40°C a 55°C Enfriamiento natural	-10°C a 50°C	-40°C a 85°C Enfriamiento natural	-40°C a 70°C Enfriamiento natural	0°C a 55°C Enfriamiento natural
Humedad		0% a 95% no condensada	0 a 90% no condensada	0 a 100% no condensada	0 a 95% no condensada	0 a 90% no condensada
Comunicación		Interfase serial RS232	Interfase serial RS232	Interfase serial RS232	Interfase serial RS232	Interfase serial RS232
Elemento básico		Convertor A/D de propósito específico	Microprocesador	No específica	Convertor A/D específico	Microcontrolador 8752H
Almacenamiento de datos		En EEPROM no volátil	No específica			RAM no volátil
Vizualización		Display LCD 16 caracteres	Display de 7 segmentos	Display LCD	Display LCD	Display LCD de 16 caracteres (2 filas)
Intervalo de medición de demanda		15,30,60 minutos	1,2,5,10,15,20,30,60 minutos			

El equipo de medición construido presenta características muy similares y en ciertos casos superiores respecto a los otros equipos que se encuentran en el mercado.

En cuanto a los rangos de medición de voltaje, los equipos comerciales presentan un mayor número de escalas debido a que estos se distribuyen en diferentes países lo cual hace necesario tener una amplia variedad de voltajes, mientras que si consideramos el sistema de alimentación nacional este presenta básicamente como niveles de voltaje de alimentación los dos tomados en cuenta en el desarrollo de la tesis.

El número de escalas de corriente con las cuales puede trabajar el equipo construido es mayor que el de los equipos del mercado (21 escalas), desde ese punto de vista el equipo presenta una ventaja representativa con respecto a los otros. Es necesario indicar que el nivel máximo de corriente de entrada al circuito de control del equipo diseñado es de 5 A.

En el equipo desarrollado, los diferentes parámetros de medición como son potencia activa (P), potencia aparente (S), pueden ser medidos con las mismas características que los otros equipos. En la medición de potencia reactiva se puede determinar el sentido del flujo de la misma de tal manera de identificar si se trata potencia reactiva capacitiva o inductiva, cuya información no todos los equipos tabulados la pueden proveer.

De los equipos detallados en la tabla 4.2 se observa que la mayoría de ellos pueden medir potencia instantánea e incluyen el proceso de acumulación para mostrar dicha información; el equipo construido mide únicamente potencias instantáneas y energía.

De las características térmicas de los equipos se desprende que estos tienen características muy similares, esto, debido a que todos ellos basan su construcción en elementos semiconductores

los cuales tienen características prefijadas por los fabricantes.

Tanto el equipo diseñado como los que se indican para efectos de comparación utilizan el puerto serial para la comunicación de los equipos con un computador, de tal forma de descargar los datos determinados y almacenados por el equipo en el PC, dejando abierta la posibilidad de realizarlo vía modem, con la inclusión de módulos adicionales al equipo.

De los equipos tabulados y que se los puede encontrar comercialmente todos utilizan en su construcción conversores o circuitos integrados de propósito específico, esto es, elementos que permiten realizar tareas predeterminadas; por tanto, las características técnicas en algunos aspectos con respecto al equipo que se ha construido en este tema de tesis son superiores. Sin embargo, es necesario recalcar que el prototipo está diseñado en base a circuitos integrados comerciales y que se los puede conseguir con mucha facilidad en el mercado nacional. Esto no ocurre con los equipos comparados, en ellos los circuitos integrados utilizados los poseen únicamente los fabricantes, lo que provoca una dependencia inevitable con los distribuidores para una reparación del equipo en caso de daño, circunstancia que no es conveniente bajo ningún aspecto.

CAPITULO 5:

CONCLUSIONES

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

5.1 Análisis de Resultados Experimentales:

Este capítulo presenta el análisis de los resultados experimentales tomando en cuenta los objetivos que se plantearon para el desarrollo de esta tesis.

- De las pruebas de contrastación para determinar precisión del equipo, realizadas tomando como patrón el multímetro FLUKE 87, se observa que la banda de error se mantiene entre 0 y 2%, valor menor al máximo que deben cumplir los instrumentos de medición clase 2.
- Al iniciar la construcción del equipo se estableció que la detección de los cruces por cero de las señales de voltaje y corriente para la obtención de frecuencia y factor de potencia iba a ser tratada atendiendo a una de las interrupciones del μC , pero, debido a errores que se producían en la lectura y procesamiento de estas señales, se hizo necesario utilizar las 2 interrupciones para tratar en forma independiente los cruces por cero de V e I.

- En el capítulo 4 se incluyen los gráficos que permiten observar de mejor manera los resultados del equipo en lo que a precisión se refiere, de ello se desprende que el equipo cumple con las condiciones de diseño especificadas, esto es, rangos de trabajo y grados de error permisibles.

5.2 Análisis Técnico Económico

El equipo ha sido diseñado y construido con elementos digitales y analógicos. El elemento (dispositivo) más costoso es el microcontrolador que se constituye en la parte central del circuito de control reduciendo notablemente su tamaño y sus condiciones de mantenimiento, pues este sustituye una gran cantidad de dispositivos analógicos

El circuito de adquisición de datos está desarrollado en base a elementos fáciles de encontrar en el mercado local como son resistencias, capacitores, diodos, amplificadores operacionales, inversores, etc.

Los elementos para implementar la tarjeta de display como son pantalla LCD, teclas, buffers no fue posible conseguirlos en el mercado nacional y se procedió a su importación.

La fuente de alimentación tipo switching con las características que se requerían para el presente trabajo también fue importada pues su costo y tamaño eran inferiores a las fuentes que se pueden desarrollar a nivel nacional debido a la dificultad de conseguir los elementos que la constituyen.

A continuación en la tabla 5.1 se indica el detalle de los elementos que constituyen el equipo, la cantidad utilizada y su valor unitario, lo cual da un costo total aproximado de S/. 1'000.000.00 (Un millón de sucres).

Cabe indicar que los valores considerados corresponden a precios en nuestro país, teniendo un cambio de 1 US\$ = s/. 1920.00

ANALISIS ECONOMICO

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
1	Resistencias de 1/4 W.	120	50.00	6000.00
2	Resistencias de 0.15 Ω / 5 W.	3	1500.00	4500.00
3	Capacitores de 0.1 μ F	60	350.00	21000.00
4	Capacitores de 0.22 μ F	3	350.00	1050.00
5	Capacitores de 47 μ F	4	500.00	2000.00
6	Capacitores de 22 pF	2	300.00	600.00
6	Capacitores de 22 μ F (tantalio)	7	800.00	5600.00
7	Capacitores de 68 μ F (tantalio)	6	800.00	4800.00
8	Diodos 1N4148	26	300.00	7800.00
9	Borneras de 11 salidas	2	2800.00	5600.00
10	Circuitos Integrados LF347	6	2500.00	15000.00
11	Circuitos Integrados UDN2981A	1	6000.00	6000.00
12	Circuitos Integrados CD4051	1	6000.00	6000.00
13	Circuitos Integrados 74HC14	2	2000.00	4000.00
14	Borneras de pines paralelos (20p)	13	1300.00	16900.00
15	Borneras de pines paralelos (40p)	2	2500.00	5000.00
16	Potenci6metros de 10 k Ω	4	1500.00	6000.00
17	Terminal de conexi3n de fuente	3	3000.00	9000.00
18	Transformadores de voltaje 220:24	3	15000.00	45000.00
19	Conectores macho-hembra para tarjeta	3	1000.00	3000.00
20	Varistores Z320LA15A	3	3500.00	10500.00
21	Diodos IN3990 (I > 5A)	6	800.00	4800.00
22	Fuente tipo Switching	1	70000.00	70000.00
22	Microcontrolador MCS-8752H	1	90000.00	90000.00
23	Memoria RAM NO VOLATIL DS1220	1	10000.00	10000.00
24	Convertor A/D ADC0801	1	8000.00	8000.00
25	Circuitos Integrados 74LS373	3	2500.00	7500.00
26	Circuitos Integrados 74LS244	3	2500.00	7500.00
27	Circuitos Integrados 74LS138	2	2500.00	5000.00
28	Circuitos Integrados 1488	1	2500.00	2500.00

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
29	Circuitos Integrados 74LS30	1	2500.00	2500.00
30	Circuitos Integrados 74LS259	4	4000.00	16000.00
32	Diodo Zener 5.1 V	1	500.00	500.00
33	Transistor 2N2222	1	300.00	300.00
34	Pulsante de RESET	1	2000.00	2000.00
35	Terminal DB9 (comunicación serial)	3	2500.00	7500.00
36	Zócalo de 40 pines	1	500.00	500.00
37	Zócalo de 24 pines	1	400.00	400.00
38	Zócalo de 20 pines	10	300.00	3000.00
39	Zócalo de 18 pines	1	300.00	300.00
40	Zócalo de 16 pines	9	300.00	2700.00
41	Zócalo de 14 pines	8	300.00	2400.00
42	Zócalo de 8 pines	1	300.00	300.00
43	Cristal de 3.579545 MHz.	1	7000.00	7000.00
44	Jumpers	5	500.00	2500.00
45	Resistencias Integradas 4.7 k Ω	3	2000.00	6000.00
46	Dipswitch 8p	1	3000.00	3000.00
47	Pulsantes con led indicador	6	8000.00	48000.00
48	Pantalla de Cristal Líquido LTN111	1	60000.00	60000.00
49	Barras de led's multicolor	2	8000.00	16000.00
50	Barras de led's	1	7500.00	7500.00
51	Circuitos Impresos	—	250000.00	250000.00
52	Cable de conexión # 22 AWG	10m	240.00	2400.00
53	Bornera de conexión externa (12p)	1	4000.00	4000.00
54	Tornillos y postes	—	20000.00	20000.00
55	Gabinete tipo industrial	1	90000.00	90000.00
56	Suelda	—	5000.00	5000.00
57	Cable plano	1m	2500.00	2500.00
58	Conectores de cable plano (20p)	6	2000.00	12000.00
TOTAL				964950.00

5.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Una vez realizadas las pruebas necesarias y el análisis técnico respectivo se puede indicar que el equipo opera en forma satisfactoria y cumple con los requisitos inicialmente planteados.
- La utilización del microcontrolador 8752 presenta muchas facilidades y confiabilidad en la ejecución de múltiples tareas planteadas en este trabajo como son: medición de voltaje y corriente, determinación de frecuencia, factor de potencia, estimación del verdadero valor RMS para voltaje y corriente, estimación de P, Q, S y E para sistemas trifásicos, manejo de pantallas y dispositivos de señalización y atención a teclado.
- Todas las operaciones matemáticas desarrolladas en el microcontrolador se hicieron en aritmética extendida. Como la velocidad de ejecución del equipo no es importante considerando que se trata de un instrumento de medición y no de control, las divisiones y multiplicaciones se las realizó por medio de rotaciones en unos casos y por medio de rutinas propias del μC en otros.
- Considerando los bajos costos que involucra la construcción del equipo con respecto a otros de similares características técnicas, se desprende la factibilidad de comercializarlo, pudiendo este competir en el mercado con buenos resultados.
- De acuerdo a los datos indicados en el cuadro correspondiente al análisis técnico - económico, se observa que el equipo puede ser construido en su totalidad en el país, por la facilidad de conseguir los dispositivos que lo constituyen.

- El prototipo presenta la circuitería necesaria y adecuada para permitir la posibilidad de desarrollar por medio de software funciones de:
 - Registro de variables eléctricas en intervalos de tiempos definidos
 - Tarifación automática
 - Comunicación con computadores personales a través del puerto serial para descarga de datos y posterior análisis.
 - Almacenamiento de valores pico de V, I, P, Q, S y E.

- El equipo está diseñado de tal forma que permite realizar la calibración del mismo a través de software evitando así, el engorroso trabajo que se tiene al revisar el hardware de cualquier sistema.

- La versatilidad que presenta el medidor digital es una de sus principales características pero esto posibilita la ampliación del equipo de acuerdo a requerimientos del usuario. Adicionalmente, el despliegue digital de las señales elimina los errores de observación que se involucran en la medición de las señales cuando se realiza con dispositivos análogos.

- Una característica importante del equipo es su capacidad de aceptar múltiples escalas de transformación de corriente lo cual le permite adaptarse a diferentes tipos de aplicaciones.

- El medidor presenta una característica fundamental que es la capacidad de discernir el sentido de flujo de potencia activa y reactiva, esto permite totalizar la energía activa (kW-h) consumida y/o generada en forma independiente, lo cual es muy útil en sistemas que cuentan con co-generación.

- En virtud de los resultados obtenidos, sería conveniente que la Escuela Politécnica Nacional conjuntamente con la empresa que patrocinó el desarrollo de este trabajo, procedan a la comercialización del equipo, con lo cual se avisoran buenos resultados.
- Se recomienda que la conexión de los transformadores de tensión se realice en YY y no en ΔY como es el caso del trabajo desarrollado, por cuanto se presentó un inconveniente al tratar los cruces por cero para determinación del factor de potencia, debido al defasaje de 30° que introduce la conexión ΔY . Además, cabe indicar que las operaciones que se desarrollan en el μC pueden ser simplificadas al usar la configuración recomendada.
- Se recomienda que las señales de corriente, una vez que pasan del amplificador diferencial, sean amplificadas de manera que tales señales no se vean afectadas por ruido y perturbaciones y por tanto, se obtengan mejores mediciones en lo referente al factor de potencia que requiere la detección de los cruces por cero de corriente.
- Es recomendable que las resistencias que se encuentran a la entrada del circuito de adaptación de señales de corriente y que permiten convertirlas a señales de voltaje, sean soldadas en los terminales de entrada de corriente y no tengan contacto con la tarjeta impresa, esto debido a la cantidad de corriente que debe circular por dichas resistencias.
- Sería conveniente incluir en el equipo un circuito "WATCH DOG TIMER" que se encargaría de vigilar permanentemente el funcionamiento del microcontrolador y generar señales adecuadas que permitan, en caso de fallas en el trabajo del μC , resetearlo. De esta manera se garantizará el funcionamiento normal del equipo.

- Para mejorar las características de funcionamiento del equipo se recomienda que en diseños posteriores se trabaje con componentes de precisión en las etapas analógicas, por ejemplo, se deberá sustituir las resistencias de carbón que tienen una precisión de $\pm 5\%$ por resistencias de film de metal de precisión 0.1% . Así también, se debe garantizar que los PT's y CT's para medición presenten buena precisión y linealidad.
- Se recomienda añadir al equipo entradas de medición de corriente por medio de pinzas a fin de dar una alternativa al uso de transformadores de corriente.
- Para complementar este trabajo, se recomienda desarrollar el software necesario para la comunicación con el computador, el mismo que servirá para el procesamiento y análisis de los datos eléctricos.
- Se recomienda investigar y desarrollar un prototipo de similares características al de este trabajo, haciendo un replanteo del hardware del medidor en base a un microcontrolador más versátil como es el 8752 AH BASIC a fin de optimizar el diseño, a la vez se debería aumentar la capacidad de almacenamiento en memoria RAM no volátil.
- Se sugiere incluir en el sistema, un reloj - calendario en tiempo real (RCTR); esto será de utilidad si se quiere convertir al medidor en un registrador de los parámetros eléctricos con hora y fecha, a la vez permitirá la programación externa de los intervalos de medición.

BIBLIOGRAFIA

BANDA H., " Fundamentos del Control Electrónico Industrial ", CENDES - EPN 1985

RASHID M. H., " POWER ELECTRONICS - Circuits, devices and applications ",
Prentice Hall International Inc., 1988

INTEL, " Embbeded Microcontroller Handbook ", Intel Corp, USA 1988

BANDA H. / VELARDE J. /...., " Control electrónico de potencia y técnicas digitales ",
INECEL - EPN 1986

VASS HELENA, "Apuntes de mediciones eléctricas" EPN - 1988

LEDESMA B. " Características Técnicas y guía de uso TARJETA MCPD51DA", EPN
1992.

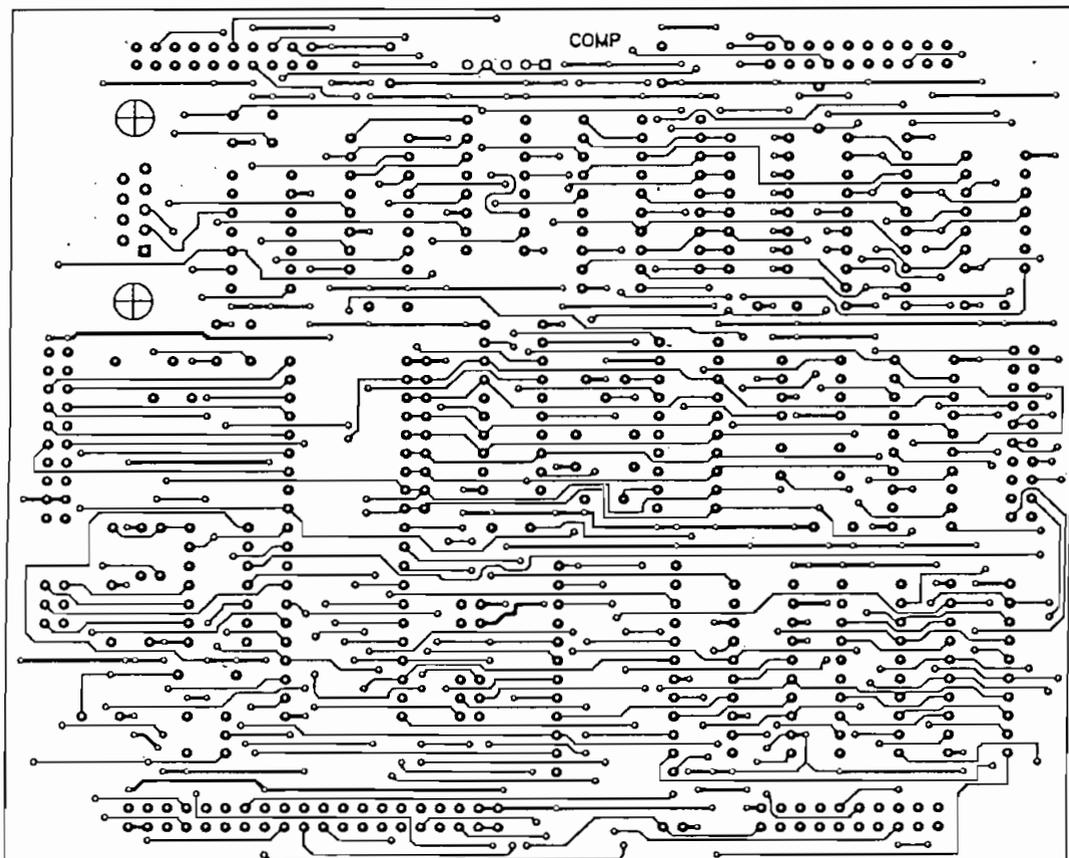
DEMIDOVICH B., " Problemas y ejercicios de Análisis Matemático ", Edicoes os
Bandeirantes, Sao Paulo - Brasil.



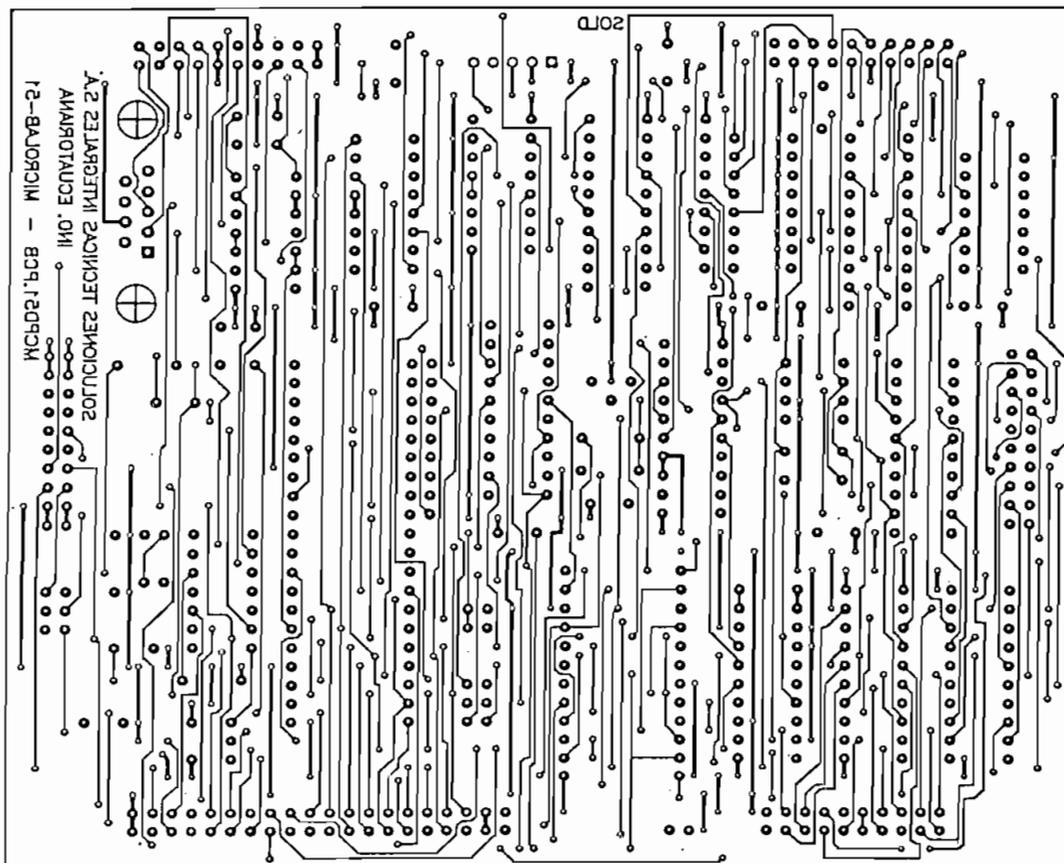
ANEXOS

ANEXO "B"

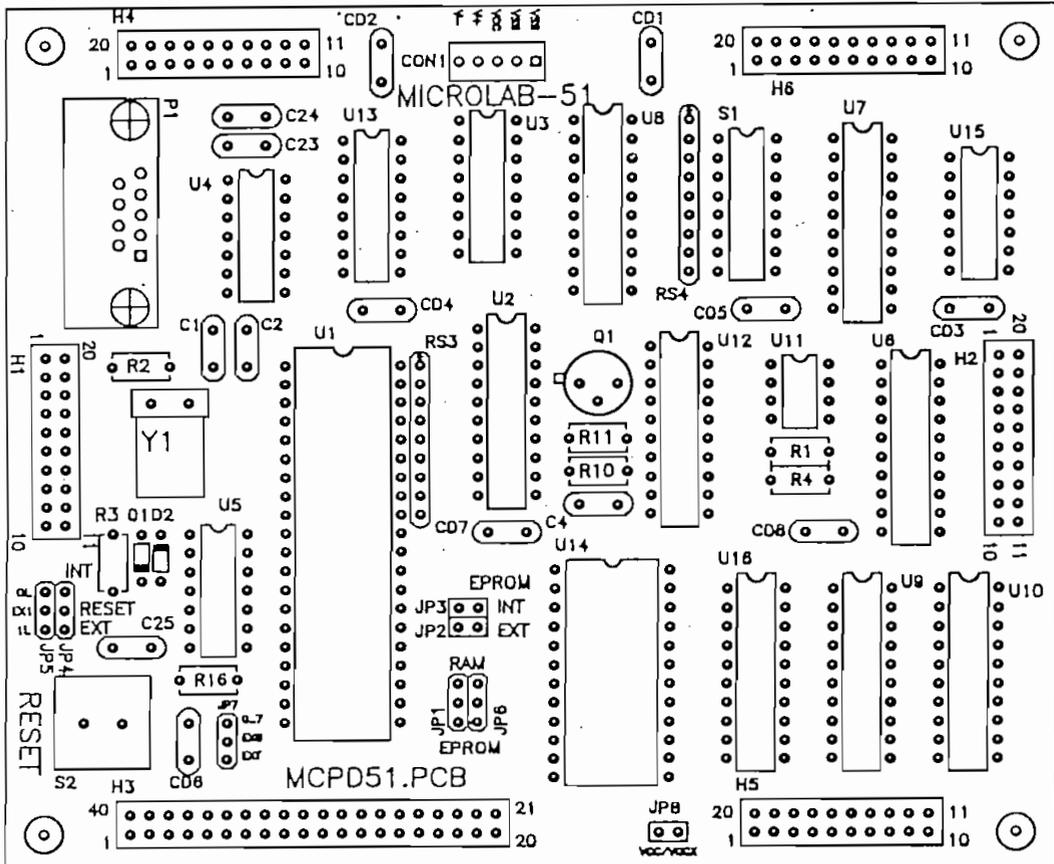
*Tarjetas Impresas y
distribución de Componentes*



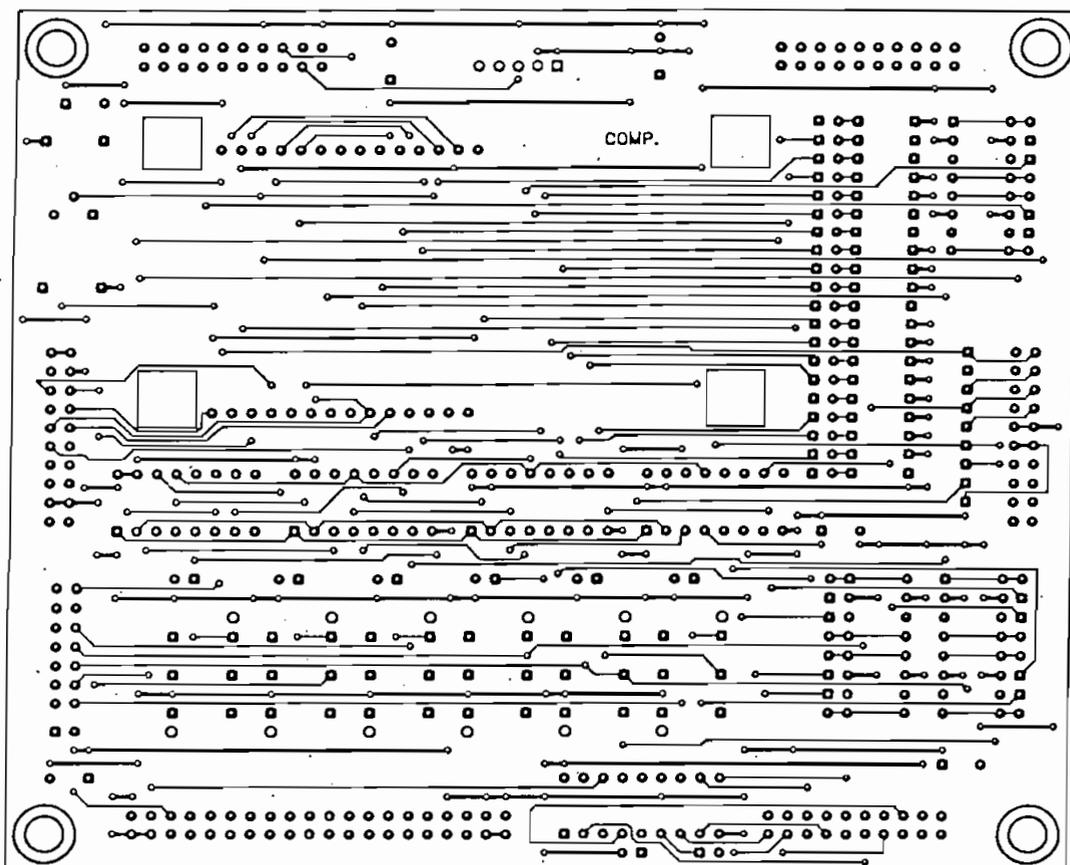
TARJETA IMPRESA MCPD51DA
Lado de Componentes (TOP)



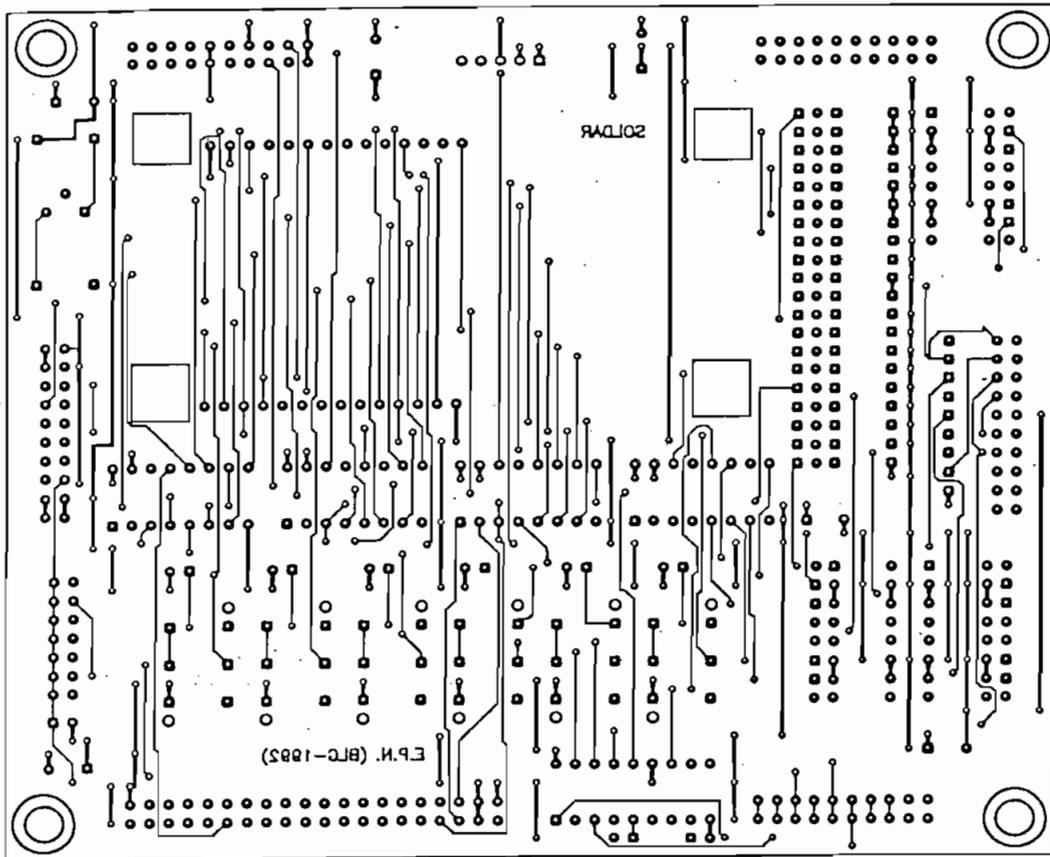
TARJETA IMPRESA MCPD51DA
Lado de Soldadura (BOTTOM)



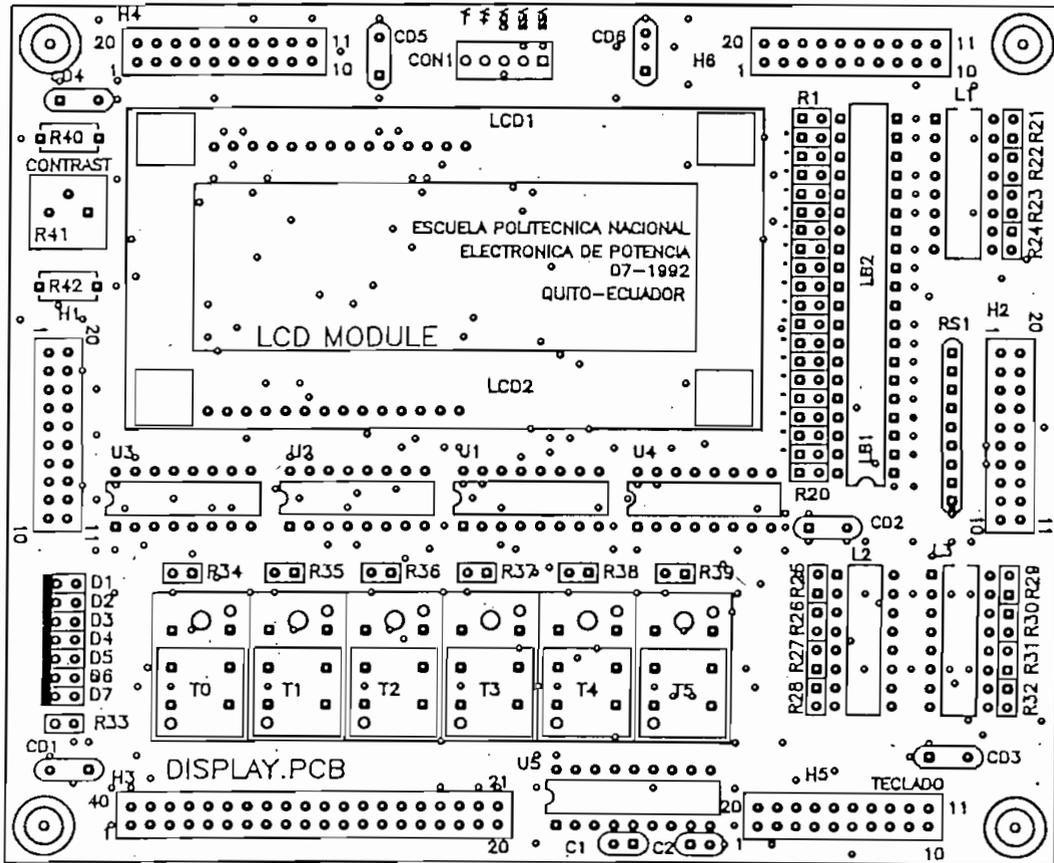
TARJETA IMPRESA MCPD51DA
Distribución de Componentes



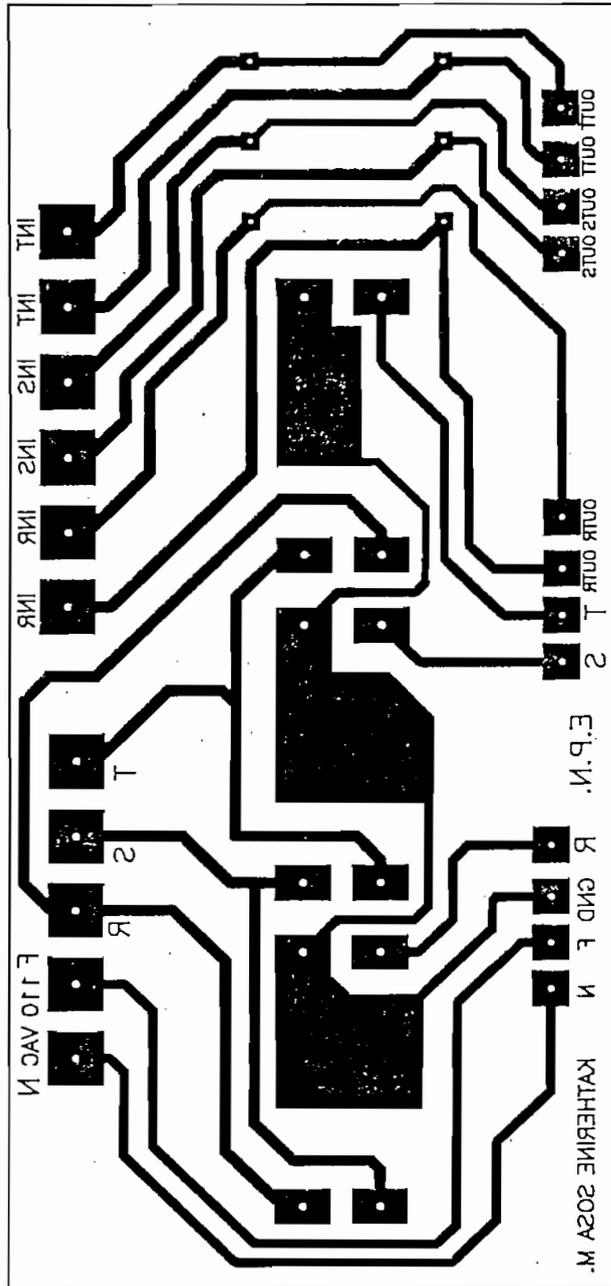
TARJETA IMPRESA DEL DISPLAY
Lado de Componentes (TOP)



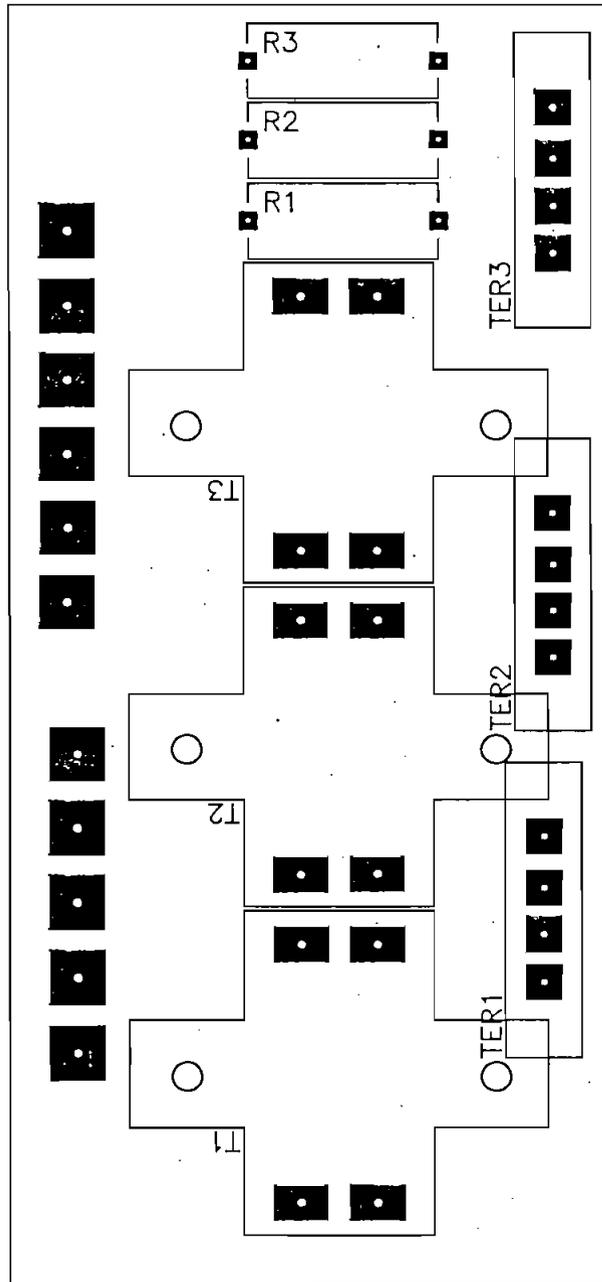
TARJETA IMPRESA DE DISPLAY
Lado de Soldadura (BOTTOM)



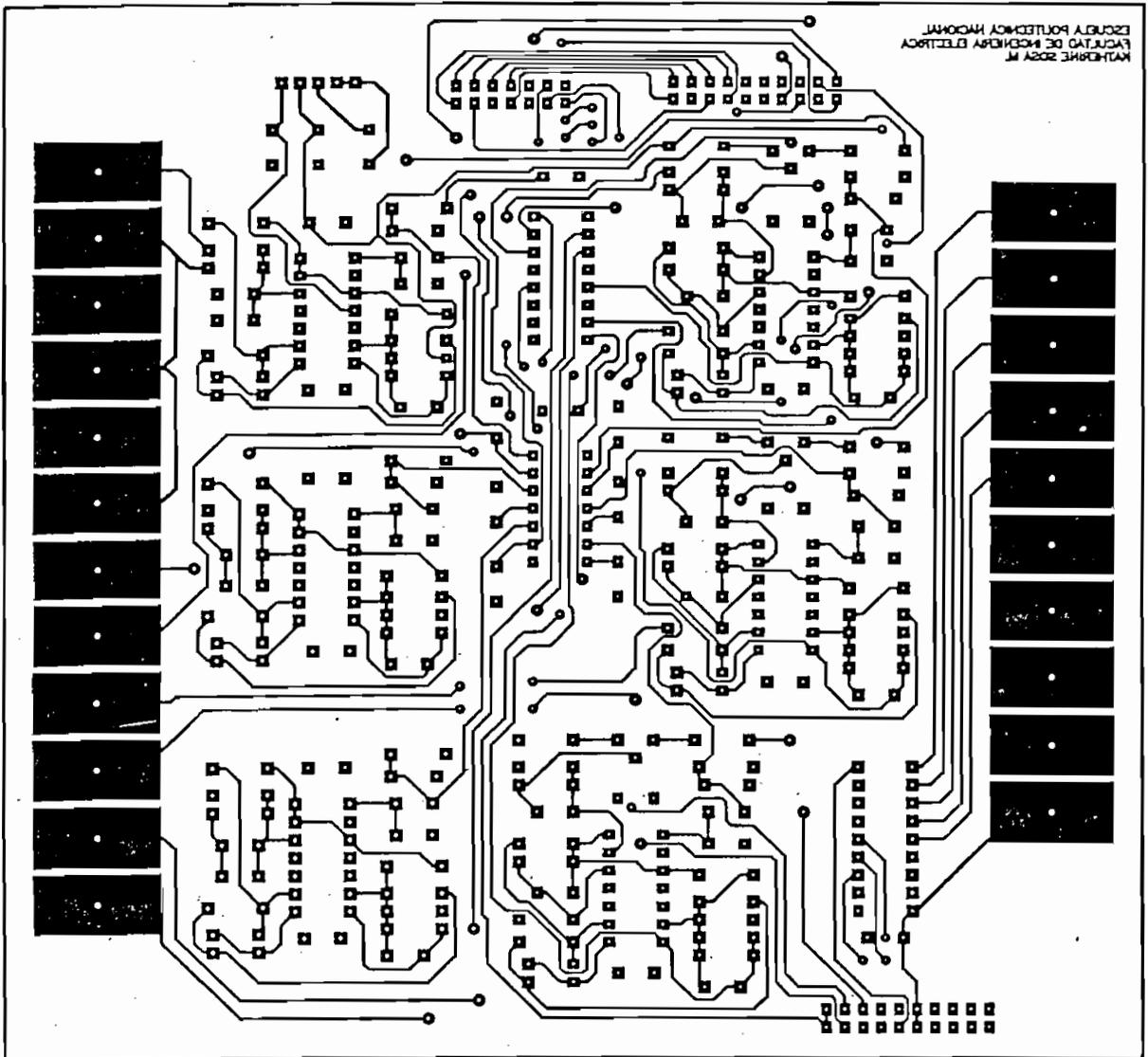
TARJETA IMPRESA DE DISPLAY
 Distribución de Componentes



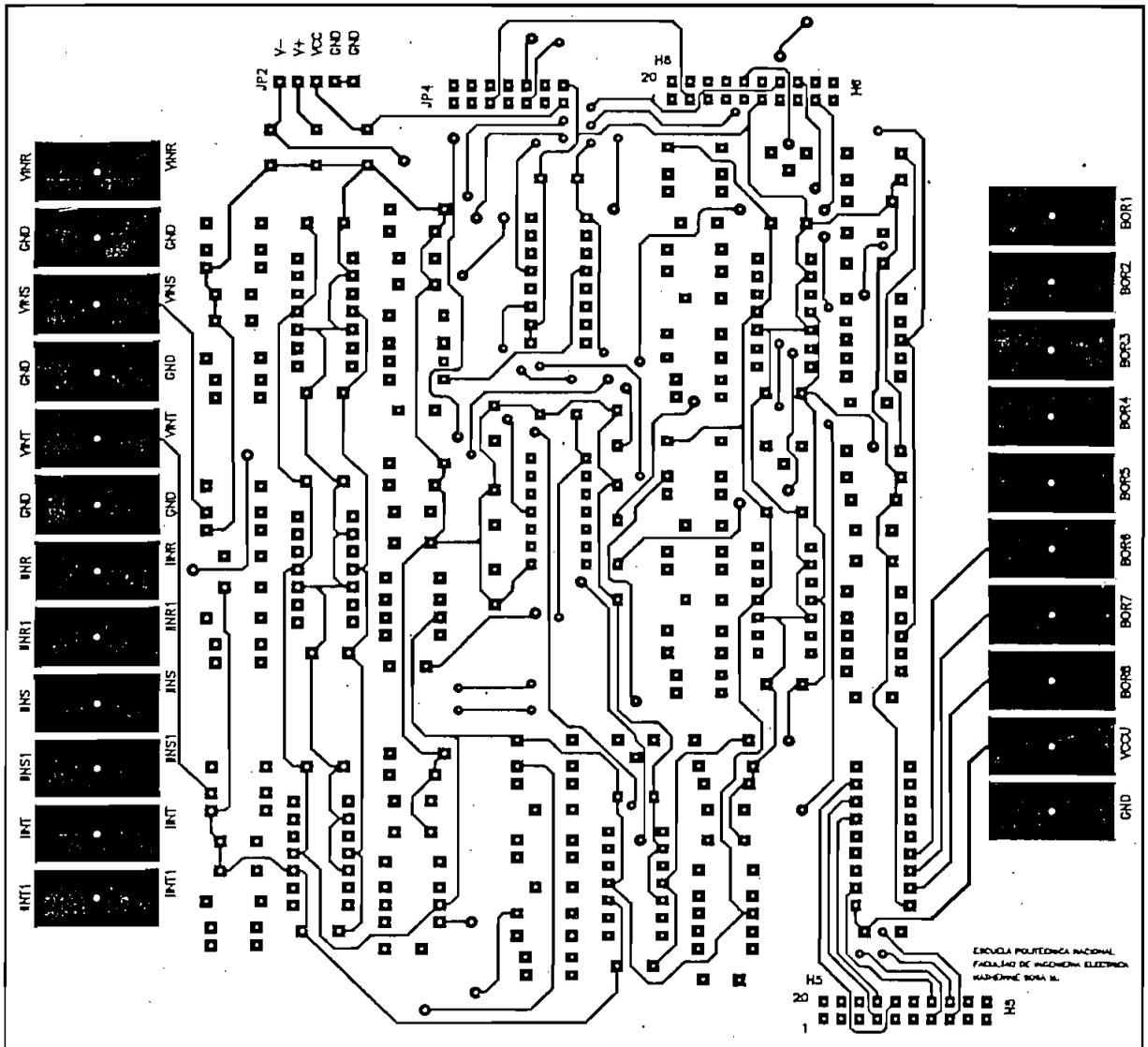
TARJETA IMPRESA TRANSFORMADORES DE VOLTAJE
Lado de Soldadura



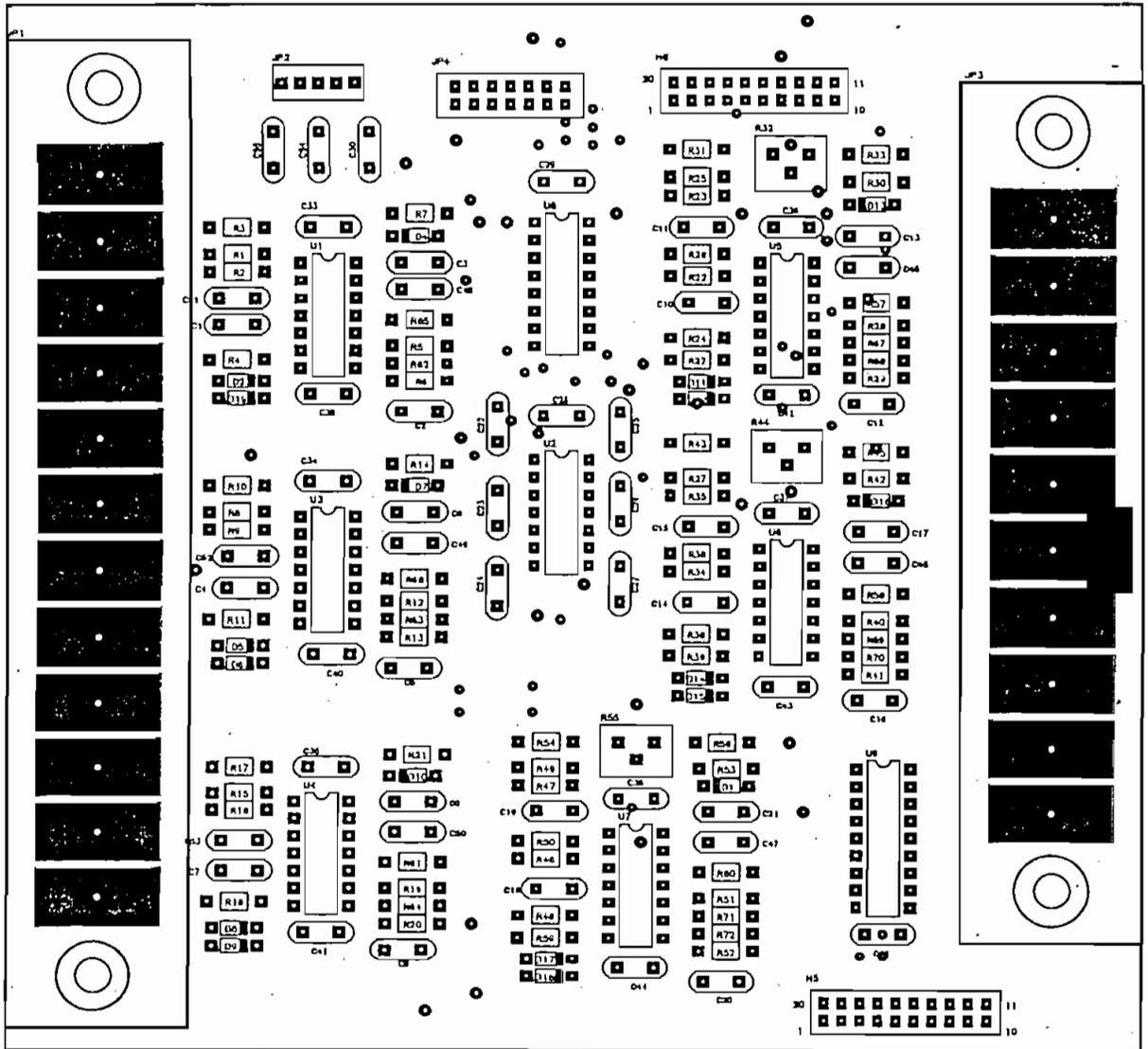
TARJETA IMPRESA TRANSFORMADORES DE VOLTAJE
· Distribución de Componentes



TARJETA IMPRESA CAPTACION DE SEÑALES
Lado de Componentes (TOP)



TARJETA IMPRESA CAPTACION DE SEÑALES
Lado de Soldadura (BOTTOM)



TARJETA IMPRESA CAPTACION DE SEÑALES
Distribución de componentes

PHILIPS



Electronic
components
and materials

Technical publication

DIGI-KEY 800 344-4539

PHILIPS DATA FOR LCD MODULE	
PART NO RNXDS-ND	QTY 1
 8227214000010138	TOTL 138
UNIT NO RNXS	DESTINATION CF-4370

SALES ORDER NUMBER
1723672

Character type LCD modules

The visual part of an LCD is only one of several components used to produce it. The shape of the display contents needs to be defined (usually from a character generator), the sequence and position of that display needs to be controlled (timer) and changes to the display must be stored and incorporated (RAM). As can be seen from this publication, our character LCD modules have all the controls and display built into one IC. They can operate under the control of either a 4-bit or 8-bit microcomputer to display alphanumeric characters, symbols and other signs. The module provides the user with a character type dot-matrix display panel featuring simple interface circuitry.

The LCD module receives character codes (8 bits per character) from a microprocessor or microcomputer, latches the codes to its Display Data RAM (80-byte DD RAM for storing 80 characters), transforms each character code into a 5 x 7 dot-matrix character pattern, and displays the characters on its LCD screen.

The module incorporates a character generator ROM which produces 160 different 5 x 7 dot-matrix character patterns. It also provides a character generator RAM (64 bytes) through which the user may define up to eight additional 5 x 7 dot-matrix character patterns, as required by the application.

To display a character, positional data is sent via the data bus from the microprocessor to the LCD module, where it is written into the instruction register. A character code is then sent and written into the data register. The module displays the corresponding character pattern in the specified position. It can either increment or decrement the display position automatically after each character entry, so that only successive characters codes need to be entered to

display a continuous character string. The display/cursor shift instruction allows the entry of characters in either the left-to-right or right-to-left direction. Since the display data RAM (DD RAM) and the character generator RAM (CG RAM) may be accessed by the microprocessor, unused portions of each RAM may be used as general purpose data areas. The module may be operated with either dual 4-bit or single 8-bit data transfers, to accommodate interfaces with both 4-bit and 8-bit microprocessors. It can operate from logic supply voltages as low as 5 V which makes it ideal for use with CMOS microprocessors.

Features

- Interface with either 4-bit or 8-bit microprocessor.
- Display data RAM
80 x 8 bits (80 characters).
- Character generator ROM.
160 different 5 x 7 dot-matrix character patterns.
- Character generator RAM
8 different user programmed 5 x 7 dot-matrix patterns.
- Display data RAM and character generator RAM may be accessed by the microprocessor.
- Numerous instructions
Clear Display, Cursor Home, Display ON/OFF, Cursor ON/OFF, Blink Character, Cursor Shift, Display shift.
- Built-in reset circuit is triggered at power ON.
- Built-in oscillator.

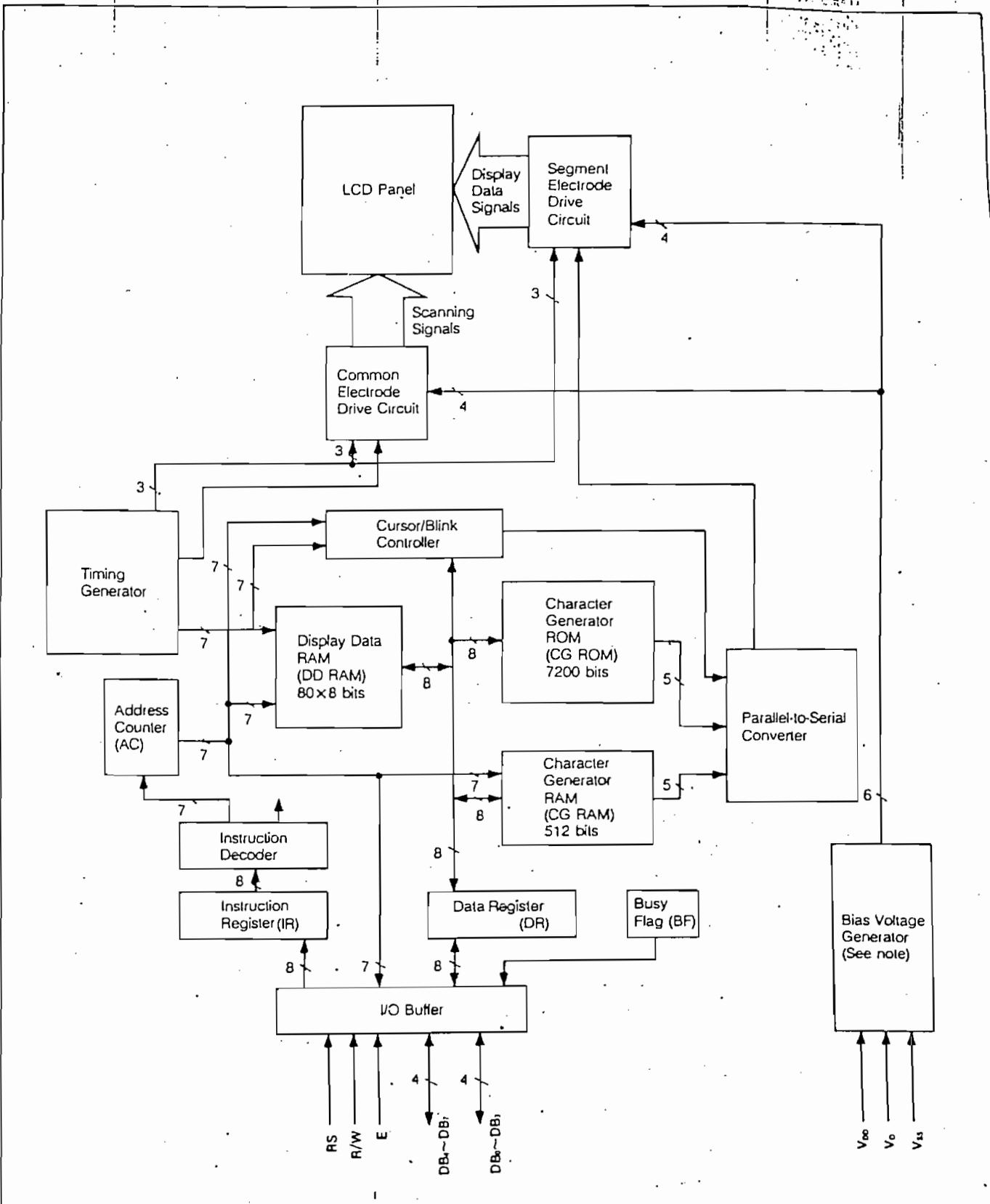


Fig. 1 Functional Block Diagram

TABLE 1
Character modules with built-in controllers

model	display format	character format	outline dimensions W x H x D (mm)	effective display area W x H (mm)	character size W x H (mm)	dot size W x H (mm)	operating temperature (°C)	storage temperature (°C)	supply voltage (V)	power (mW)
LTN111R-10	16 x 1	5 x 7 dot with cursor	80 x 36 x 12	64,5 x 13,8	3,07 x 5,73	0,55 x 0,75	0 to +50	-25 to +70	+5	7,5
LTN211R-10	16 x 2	5 x 7 dot with cursor	84 x 44 x 12	61 x 15,8	2,96 x 4,86	0,56 x 0,66	0 to +50	-25 to +70	+5	8
LTN241R-10	40 x 2	5 x 7 dot with cursor	182 x 33,5 x 11	154,4 x 15,8	3,2 x 4,85	0,6 x 0,65	0 to +50	-25 to +55	+5, -5	11

HARDWARE

Functional blocks

Registers

The LCD module has two 8-bit registers — an instruction register (IR) and a data register (DR).

The instruction register stores instruction codes such as "clear display" or "shift cursor", and also stores address information for the display data RAM and character generator RAM. The IR can be accessed by the microprocessor only for writing.

The data register is used for temporarily storing data during data transactions with the microprocessor. When writing data to the module, the data is initially stored in the data register, and is then automatically written into either the display data RAM or character generator RAM, as

determined by the current operation. The data register is also used as a temporary storage area when reading data from the display data RAM or character generator RAM. When address information is written into the instruction register, the corresponding data from the display data RAM or character generator RAM is moved to the data register. Data transfer is completed when the microprocessor reads the contents of the data register by the next instruction. After the transfer is complete, data from the next address position of the appropriate RAM is moved to the data register, in preparation for subsequent reading operations by the microprocessor.

One of the two registers is selected by the register select (RS) signal.

TABLE 2
Interface signals

signal name	input/output	external connection	function
RS	input	MPU	Register select signal "0": instruction register (when writing) busy flag and address counter (when reading) "1": data register (when writing and reading)
R/W	input	MPU	Read/write select signal "0": writing "1": reading
E	input	MPU	Operation (data read/write) enable signal
D4-D7	input/output	MPU	High-order lines of data bus with three-state, bidirectional function for use in data transactions with the MPU.
D0 to D3	input/output	MPU	Low-order lines of data bus with three-state, bidirectional function for use in data transactions with the MPU. These lines are not used when interfacing with a 4-bit microprocessor.
V _{DD} , V _{SS}		Supply voltage (logic)	V _{DD} : +5 V, V _{SS} : 0 V
V ₀		Power supply	Contrast adjustment voltage (V _{LCD} = V _{DD} - V ₀)

Busy flag (BF)

When the busy flag is set at a logical "1", the module is executing an internal operation, and no instruction will be accepted. The state of the busy flag is output on data line D7 in response to the register selection signals RS=0, R/W=1 as shown in Table 3. The next instruction may be entered after the busy flag is reset to logical "0".

Address counter (AC)

The address counter generates the address for the display data RAM and character generator RAM. When the address set instruction is written into the instruction register, the address information is sent to the address counter. The same instruction also determines which of the two RAMs is to be selected.

After data has been written to or read from the display data RAM or character generator RAM, the address counter is automatically incremented or decremented by one. The contents of the address counter are output on data lines D0 – D6 in response to the register selection signals RS=0, R/W=1 as shown in Table 3.

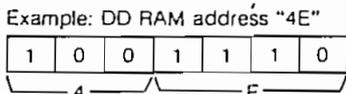
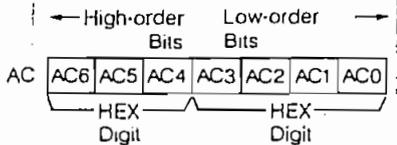
TABLE 3
Register selection

RS	R/W	operation
0	0	Write to instruction register, and execute internal operation (clear display, etc)
0	1	Read busy flag (D7) and address counter (D0-D6)
1	0	Write to data register, and execute internal operation (DR → DD RAM or DR → CG RAM)
1	1	Read data register, and execute internal operation (DD RAM → DR or CG RAM → DR)

Display data RAM (DD RAM)

This 80 x 8 bit RAM stores up to 80 8-bit character codes as display data. The unused area of the RAM may be used by the microprocessor as a general purpose RAM area.

The display data RAM address, set in the address counter, is expressed in hexadecimal (HEX) numbers as follows:



The address of the display data RAM corresponds to the display position on the LCD panel as follows:

i) Address type a For dual-line display

Digit	Display Position											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	39	40	
Line 1	00H	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H	08H	.....	26H	27H
Line 2	40H	41H	42H	43H	44H	45H	46H	47H	48H	.....	66H	67H

DD RAM Address (HEX)

When a display shift takes place, the addresses shift as follows:

Left Shift	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H	08H	09H	.....	27H	00H
	41H	42H	43H	44H	45H	46H	47H	48H	49H	.....	67H	40H
Right Shift	27H	00H	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H	.....	25H	26H
	67H	40H	41H	42H	43H	44H	45H	46H	47H	.....	65H	66H

The addresses for the second line are not consecutive with the addresses for the first line. A 40-character RAM area is assigned to each of the two lines as follows:

- line 1: 00H – 27H
- line 3: 40H – 67H.

For an LCD module with a display capacity of less than 40 characters per line, characters equal in number to the display capacity, as counted from display position 1, are displayed.

ii) Address type b For single-line display with logically dual-line addressing

Digit	Display Position															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Line 1	00H	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H	40H	41H	42H	43H	44H	45H	46H	47H

DD RAM Address (HEX)

When a display shift takes place, the addresses shift as follows:

Left Shift	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H	08H	41H	42H	43H	44H	45H	46H	47H	48H
	Right Shift	27H	00H	01H	02H	03H	04H	05H	06H	67H	40H	41H	42H	43H	44H	45H	46H

The right-hand eight characters, for the purposes of addressing and shifting, may be considered as a second display line.

For the address type of each module, see Table 10.

Character generator ROM (CG ROM)

This ROM generates a 5 x 7 dot-matrix character pattern for each of 160 different 8-bit character codes. The correspondence between character codes and character patterns is shown in Tables 4 and 5. Inquiries are invited for units with custom character patterns.

TABLE 4
Character codes

High-Order Low-Order 4 bit	4 bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
CG RAM (1)	xxxx0000			Q	A	P	'	F		-	9	E	0	P
	xxxx0001	(2)	!	1	A	Q	a	a	a	7	7	4	a	Q
	xxxx0010	(3)	"	2	R	b	r	r	r	4	W	X	P	B
	xxxx0011	(4)	#	3	C	S	c	s	s	U	7	E	E	e
	xxxx0100	(5)	\$	4	D	T	d	t	t	v	1	1	1	1
	xxxx0101	(6)	%	5	E	U	e	u	u	.	7	7	1	0
	xxxx0110	(7)	&	6	F	V	f	v	v	9	9	2	3	0
	xxxx0111	(8)	'	7	G	W	g	w	w	7	7	7	5	Q
(1)	xxxx1000	(1)	(	8	H	X	h	x	x	4	0	0	0	7
	xxxx1001	(2)	)	9	I	Y	i	y	y	9	7	1	0	0
	xxxx1010	(3)	*	:	J	Z	j	z	z	2	0	0	0	1
	xxxx1011	(4)	+	:	K	C	k	c	c	7	7	0	0	7
	xxxx1100	(5)	:	<	L	#	l	l	l	7	7	7	7	7
	xxxx1101	(6)	-	=	M	3	m	n	n	2	2	2	2	2
	xxxx1110	(7)	.	>	N	^	n	h	h	7	7	7	7	7
	xxxx1111	(8)	/	?	O	_	o	+	+	7	7	7	7	7

Notes: 1) The Character Generator RAM (CG RAM) generates character patterns in accordance with the user's program.
2) Last two columns indicate 5 x 8 dot character patterns (including the cursor line).

TABLE 5
Character codes

High-Order Low-Order 4-bit 4-bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)		0	●	P	\	p		-	夕	ミ	α	p
xxxx0001	(2)	l	l	A	Q	a	q	。	ア	チ	ム	ä	q
xxxx0010	(3)	"	2	B	R	b.	r	「	イ	ツ	ノ	β	θ
xxxx0011	(4)	#	3	C	S	c	s	」	ウ	テ	セ	ε	∞
xxxx0100	(5)	\$	4	D	T	d	t	,	エ	ト	ヤ	μ	Ω
xxxx0101	(6)	%	5	E	U	e	u	.	オ	ナ	ユ	ο	ü
xxxx0110	(7)	&	6	F	V	f	v	ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	∑
xxxx0111	(8)	'	7	G	W	g	w	ヲ	キ	ヌ	ラ	σ	π
xxxx1000	(1)	(	8	H	X	h	x	イ	ク	ネ	リ	√	∞
xxxx1001	(2)	)	9	I	Y	i	y	ッ	ケ	ノ	ル	∓	y
xxxx1010	(3)	*	:	J	Z	j	z	ス	コ	ハ	レ	∫	千
xxxx1011	(4)	+	;	K	[	k	{	。	サ	ヒ	ロ	×	万
xxxx1100	(5)	.	<	L	Y	l	|	+	シ	フ	ワ	Φ	円
xxxx1101	(6)	-	-	M	]	m	}	△	ス	へ	ン	£	+
xxxx1110	(7)	.	>	N	^	n	→	。	セ	ホ	。	∞	
xxxx1111	(8)	/	?	O	_	o	←	ヲ	ソ	フ	。	∞	■

Notes: 1) The CG RAM is a Character Generator RAM which generates character patterns in accordance with the user's program.
2) Last two columns indicate 5 x 8 dot character patterns (including cursor line).

Microprocessor interface

The LCD module performs either dual 4-bit or single 8-bit data transfers, allowing the user to interface with either a 4-bit or 8-bit microprocessor.

4-bit microprocessor interface (Fig.2)

Only data lines D4 – D7 are used for data transfers. Data transactions with the external microprocessor take place in two 4-bit data transfer operations. The high-order 4 bits (corresponding to D4 – D7 in an 8-bit transfer) are transferred first, followed by the low-order 4 bits (corresponding to D0 – D3 in an 8-bit transfer). The busy flag is to be checked on completion of the second 4-bit data transfer. Busy flag and address counter are output in two operations.

8-bit microprocessor interface

Each 8-bit piece of data is transferred in a single operation using the entire data bus D0 – D7.

Reset function

Initialization by internal reset circuit

The module has an internal reset circuit for implementing an automatic reset operation at power-on. During the

initialization operation, the busy flag is set. The busy state lasts for 10 ms after VDD reaches 4,5 V. The following instructions are executed in initializing the module.

- 1) Clear Display
DL = 1 8-bit data length for interface
- 2) Function Set
N = 0 Single-line display
F = 0 5 x 7 dot-matrix character font
- 3) Display ON/OFF Control
D = 0 Display OFF
C = 0 Cursor OFF
B = 0 Blink function OFF
- 4) Entry Mode Set
I/D = 1 Increment Mode
S = 0 Display shift OFF.

Caution: If the power conditions stated in the section called "Power conditions applicable when internal reset circuit is used", are not satisfied, the internal reset circuit will not operate properly and the LCD module will not be initialized. In this case, the initialization procedure must be executed by the external microprocessor. See section entitled "Initialization by instructions".

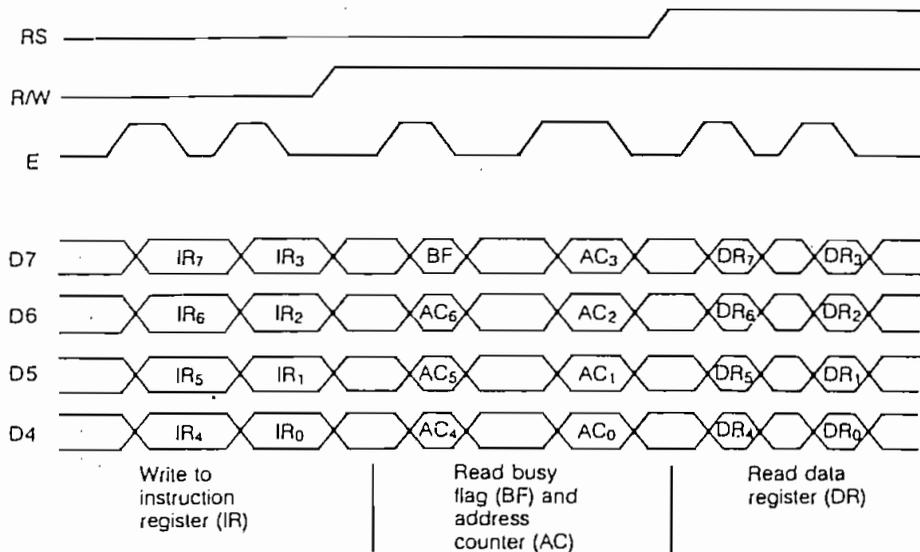


Fig. 2 4-bit Data Transfer

Initialization by instructions

If the power conditions for the normal operation of the internal reset circuit are not satisfied (see section entitled "Power conditions applicable when internal reset circuit is

used"), the module must be initialized by executing a series of instructions. The procedure for this initialization process is shown in Figs 3 and 4.

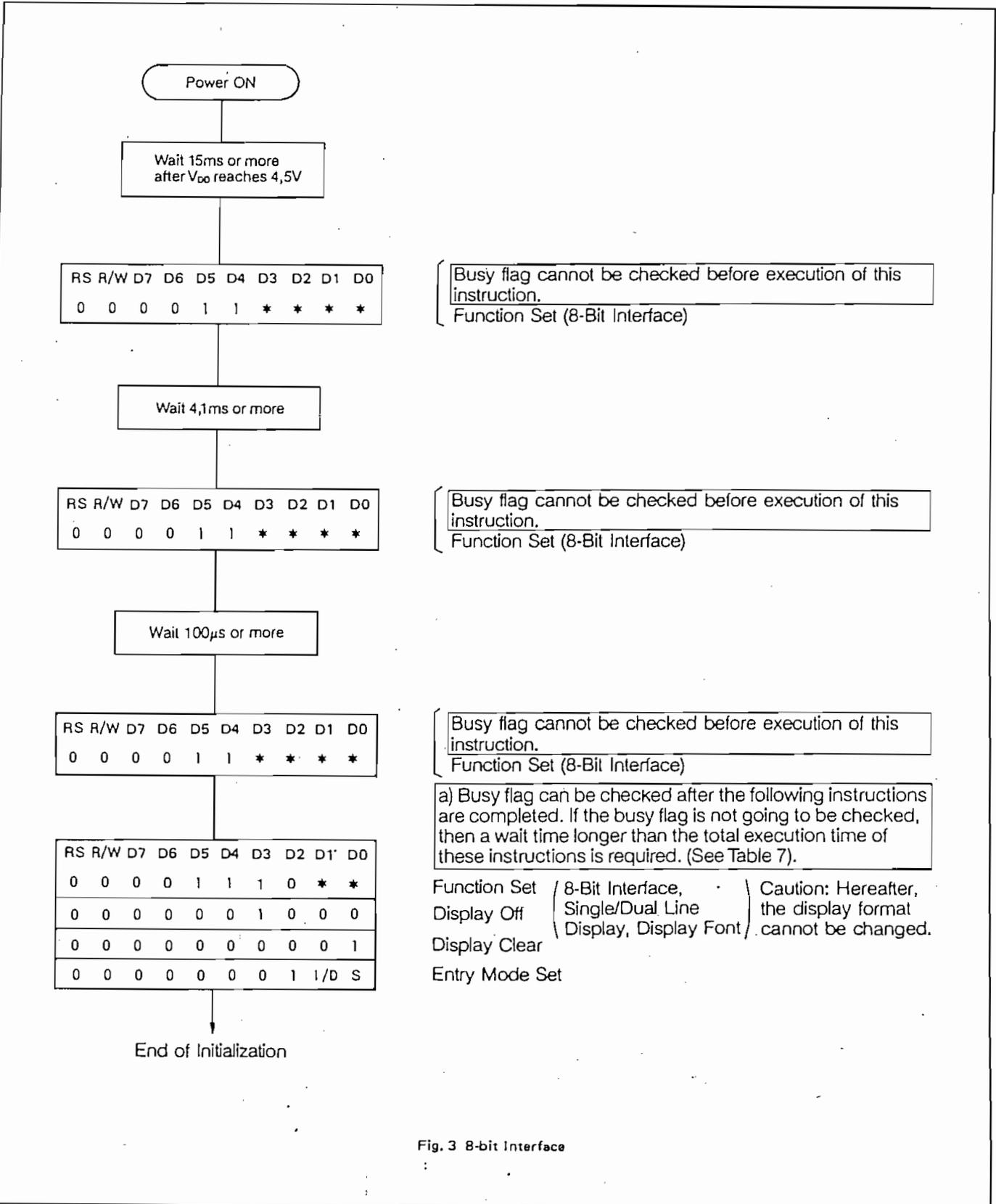
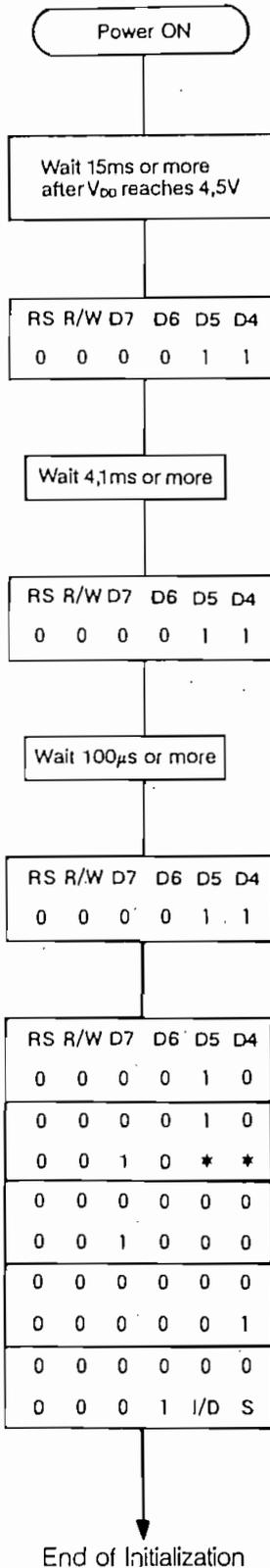


Fig. 3 8-bit Interface



Busy flag cannot be checked before execution of this instruction.

Function Set (8-Bit Interface)

Busy flag cannot be checked before execution of this instruction.

Function Set (8-Bit Interface)

Busy flag cannot be checked before execution of this instruction.

Function Set (8-Bit Interface)

a) Busy flag can be checked after the following instructions are completed. If the busy flag is not going to be checked, then a wait time longer than the total execution time of these instructions is required. (See Table 7).

I Function Set (4-Bit Interface)

This instruction signals the module to begin accepting and sending data in dual 4-bit transfers for all subsequent transfers for all subsequent transactions. This is the only 4-bit instruction recognized by the module.

II Function Set (4-Bit Interface, Single/Dual Line Display, Display Font) Caution: Hereafter, the display format cannot be changed.

III Display Off

IV Display Clear

Fig. 4 4-bit Interface

TABLE 7
Instruction set

instruction	code										function	execution time (max) (f_{cp} or $f_{osc} = 250 \text{ kHz}$)
	RS	R/W	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
Display clear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Clear entire display area, restore display from shift, and load address counter with DD RAM address 00H.	1,64 ms
Display/cursor home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Restore display from shift and load address counter with DD RAM address 00H.	1,64 ms
Entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Specify cursor advance direction and display shift mode. This operation takes place after each data transfer.	40 μs
Display ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Specify activation of display (D), cursor (C), and blinking of character at cursor position (B).	40 μs
Display/cursor shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Shift display or move cursor.	40 μs
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	0	*	*	Set interface data length (DL) and number of display lines (N).	40 μs
CG RAM address set	0	0	0	1			ACC				Load the address counter with a CG RAM address. Subsequent data is CG RAM data.	40 μs
DD RAM address set	0	0	1				ADD				Load the address counter with a DD RAM address. Subsequent data is DD RAM data.	40 μs
Busy flag/address counter read	0	1	BF				AC				Read busy flag (BF) and contents of address counter (AC).	0 μs
CG RAM/DD RAM data write	1	0					write data				Write data to CG RAM or DD RAM.	40 μs
CG RAM/DD RAM data read	1	1					read data				Read data from CG RAM or DD RAM.	40 μs
	I/D = 1: Increment, I/D=0: Decrement S = 1: Display shift on S/C = 1: Shift display, S/C=0: Move cursor R/L = 1: Shift right, R/L=0: Shift left DL = 1: 8-bit, DL=0: 4-bit N = 1: Dual line, N=0: Single line BF = 1: Internal operation, BF=0: Ready for instruction										DD RAM: Display data RAM CG RAM: Character generator RAM ACC : Character generator RAM Address ADD : Display data RAM Address AC : Address counter	

Note 1: Symbol "*" signifies a "don't care" bit.

Note 2: Correct input value for "N" is predetermined for each model. (see Table 10).

TABLE 11

8-bit data transfer, a single-line with logical dual-line addressing, 16-character display (using internal reset)

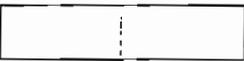
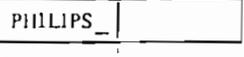
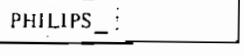
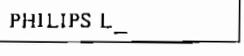
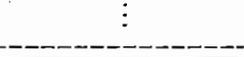
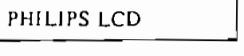
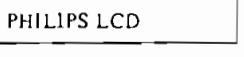
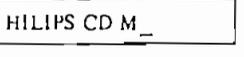
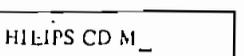
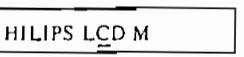
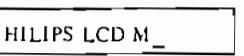
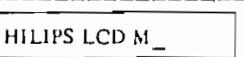
no.	instruction	display	operation
1	Power ON (internal reset circuit is triggered)		The module is initialized. No display.
2	Function set RS R/W D7 ~ D0 00001110**		Set for 8-bit data transfer and address type b. See "Functional blocks", and instruction set.
3	Display ON/OFF 00000001110		Turn on the display and cursor. After initialization, the DD RAM is filled with the "space" code.
4	Entry mode set 00000001110		Set the module to increment the address counter and shift the cursor to the right after each data transaction. The display does not shift.
5	CG RAM/DD RAM data write 1001010000		Write "P" into the DD RAM. The cursor shifts to the right.
6	⋮		⋮
7	CG RAM/DD RAM data write 1001010011		Write "S" into the DD RAM.
8	DD RAM address set 0011000000		Set DD RAM address to the first position on the right half of the display (character position 9, address 40H).
9	CG RAM/DD RAM data write 1001001100		Write "L" into the DD RAM.
10	⋮		⋮
11	CG RAM/DD RAM data write 1000100000		Write "space" into the DD RAM
12	Entry mode set 0000000111		Set the display to shift after each data write.
13	CG RAM/DD RAM data write 1001001101		Write "M" into the DD RAM. Right and left halves of display shift left one character.
14	Entry mode set 0000000110		Set the module to increment the address counter and shift the cursor to the right after each data transaction. The display does not shift.
15	DD RAM address set 0010001000		Set DD RAM address to the 8th position on the left half of the display (address 08H).
16	CG RAM/DD RAM data write 1001001100		Write "L" into the DD RAM.
17	DD RAM address set 0011000101		Set DD RAM address to the 5th position on the right half of the display (address 45H)
18	Entry mode set 0000000111		Set the display to shift after each data write.

Table 11 continued

no.	instruction	display	operation
19	⋮	⋮	
20	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1	LCD MODULE_	Write "E" into the DD RAM.
21	⋮	⋮	
22	Display/cursor home 0 0 0 0 0 0 0 1 *	PHILIPS LCD MODU	Restore the display and cursor to their initial positions.

TABLE 12
4-bit data transfer a single-line with logical dual-line addressing, 16-character display (using internal reset)

no.	instruction	display	operation
1	Power ON (internal reset circuit is triggered).		The module is initialized. No display.
2	Function set RS R/W D7 ~ D4 0 0 0 0 1 0		Set for 4-bit data transfer. This instruction is transferred in a single operation since up to this point the module is in the 8-bit mode.
3	Function set 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 * *		Set for 4-bit data transfer and address type b. See "Functional blocks". From this point on, data is transferred in two operations.
4	Display ON/OFF 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	—	Turn on the display and cursor. After initialization, the DD RAM is filled with the "space" code.
5	Entry mode set 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0	—	Set the module to increment the address counter and shift the cursor to the right after each data transaction. The display does not shift.
6	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0	P_	Write "P" into the DD RAM. The cursor shifts to the right.
7	⋮	⋮	
8	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1	PHILIPS_	Write "S" into the DD RAM.
9	DD RAM address set 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0	PHILIPS _	Set DD RAM address to the first position on the right half of the display (character position 9, address 40H).
10	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0	PHILIPS L_	Write "L" into the DD RAM.
11	⋮	⋮	

Table 12 continued

no.	instruction	display	operation
12	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0	PHILIPS LCD _	Write "space" into the DD RAM.
13	Entry mode set 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	PHILIPS LCD _	Set the display to shift after each data write.
14	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1	HILIPS CD M _	Write "M" into the DD RAM. Right and left halves of display shift left one character.
15	Entry mode set 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0	HILIPS CD M _	Set the module to increment the address counter and shift the cursor to the right after each data transaction. The display does not shift.
16	DD RAM address set 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0	HILIPS _CD M	Set DD RAM address to the 8th position on the left half of the display (address 08H).
17	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0	HILIPS LCD M	Write "L" into the DD RAM.
18	DD RAM address set 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1	HILIPS LCD M _	Set DD RAM address to the 5th position on the right half of the display (address 45H)
19	Entry mode set 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	HILIPS LCD M _	Set the display to shift after each data write.
20	⋮	⋮	⋮
21	CG RAM/DD RAM data write 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1	LCD MODULE _	Write "E" into the DD RAM.
22	⋮	⋮	⋮
23	Display/cursor home 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 *	PHILIPS LCD MODU	Restore the display and cursor to their initial positions.

TABLE 13
8-bit data transfer dual-line, 2 x 16-character display (using internal reset)

no.	instruction	display	operation
1	Power ON (internal reset circuit is triggered).		The module is initialized. No display.
2	Function set RD R/W D7 ~ D0 0 0 0 0 1 1 1 0 **		Set for 8-bit data transfer and address type a. See "Functional blocks".

Table 13 continued

no.	instruction	display	operation
3	Display ON/OFF 0000001110	—	Turn on the display and cursor. After initialization, the DD RAM is filled with the "space" code.
4	Entry mode set 0000000110	—	Set the module to increment the address counter and shift the cursor to the right after each data transaction. The display does not shift.
5	CG RAM/DD RAM data write 1001010000	P—	Write "P" into the DD RAM. The cursor shifts to the right.
6	⋮	⋮	⋮
7	Entry mode set 0000000111	PHILIPS LCD MOD_	Set the display to shift after each data write.
8	CG RAM/DD RAM data write 1001010101	HILIPS LCD MODU_	Write "U" into the DD RAM. Both lines shift to the left.
9	⋮	⋮	⋮
10	CG RAM/DD RAM data write 1000100000	LIPS LCD MODULE	Write "space" into the DD RAM.
11	DD RAM address set 0011000000	PHILIPS LCD MODU —	Set DD RAM address to the first position of the second line.
12	CG RAM/DD RAM data write 1001001100	PHILIPS LCD MODU L_	Write "L" into the DD RAM.
13	⋮	⋮	⋮
14	CG RAM/DD RAM data write 1001001111	PHILIPS LCD MODU LTN211R-10 :DO_	Write "O" into the DD RAM.
15	Entry mode set 0000000111	PHILIPS LCD MODU LTN211R-10 :DO_	Set the display to shift after each data write.
16	CG RAM/DD RAM data write 1001010101	HILIPS LCD MODUL TN211R-10 :DOU_	Write "U" into the DD RAM. Both lines shift to the left.
17	⋮	⋮	⋮
18	CG RAM/DD RAM data write 1001000101	IPS LCD MODULE 211R-10 :DOUBLE_	Write "E" into the DD RAM.
19	Display/cursor home 0000000010	PHILIPS LCD MODU LTN211R-10 :DOU	Restore the display and cursor to their initial positions.

MODULE DESCRIPTION

LTN211 is a 32 character LCD module, each character consisting of a 5 x 7 dot matrix and cursor. CMOS controller/driver integrated circuits are incorporated. The module reads 4-bit or 8-bit character and instruction codes to display a full range of fixed, and user defined, characters and symbols on the LCD. Instructions for editing and shifting text are also featured.

Complete information regarding the operation of this LCD module is available in Philips Technical Publication #238 [TP 238]. Please contact Amperex for a copy.

Several types are available, as follows :

- LTN211R-10 - Reflective.
- LTN211F-10 - Transflective (for use with EL backlight).
- LPH3511-1 - Black bezel.
- LP-3511-E - 12 o'clock viewing direction.

Type LTN211F-10 is designed to accommodate an electroluminescent [EL]-backlight lamp. The recommended EL lamp is available separately as Philips Type LXL211-G, or directly from the supplier as NEC Type NEL-5L-042-G. The recommended backlight power supply [DC-to-AC inverter] is NEC Type NEL-05-006.

QUICK REFERENCE DATA

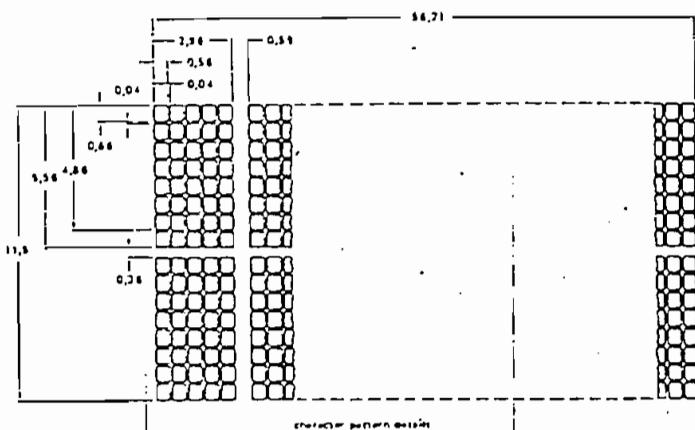
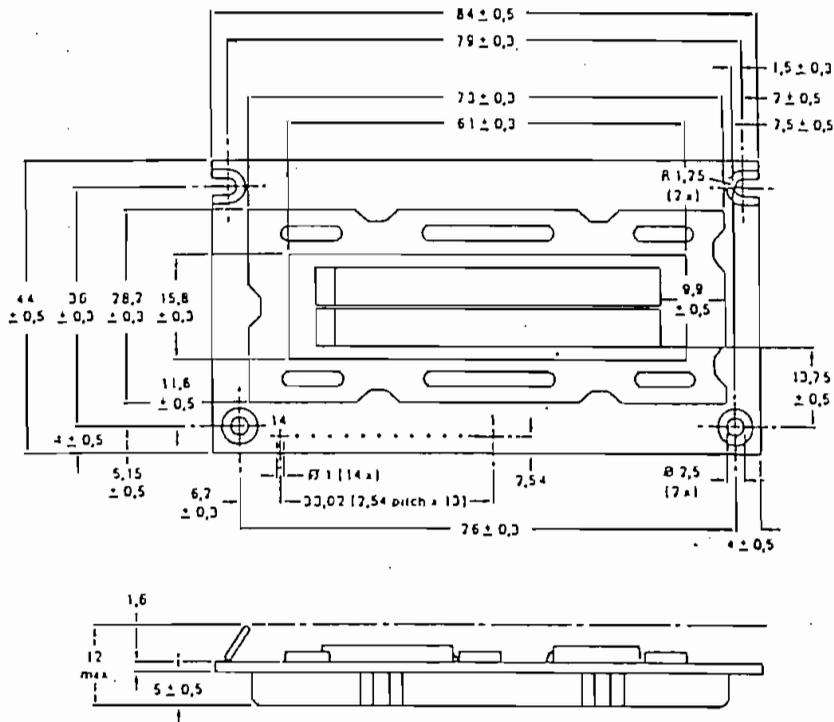
Outline Dimensions	84 x 44 x 12 mm
Viewing Area	61.0 x 15.8 mm
Character Format	5 x 7 dots and cursor
Character Size	4.86 x 2.96 mm
Dot Size [Spacing : 0.04 mm]	0.66 x 0.56 mm
Drive Method	Multiplex 1:16
Supply Voltage	+5 V
Power Consumption	8.0 mW [typ]
Viewing Mode	R-10 : Reflective
	F-10 : Transflective
Optimal Viewing Direction	6 O'clock
Data Interface	4- or 8-bit parallel
Character Generator	Built-in
Mass	≈ 28 g
Reliability Grade	Commercial

LTN211

2 Line by 16 Character LCD Module

MECHANICAL DATA

Dimensions in mm



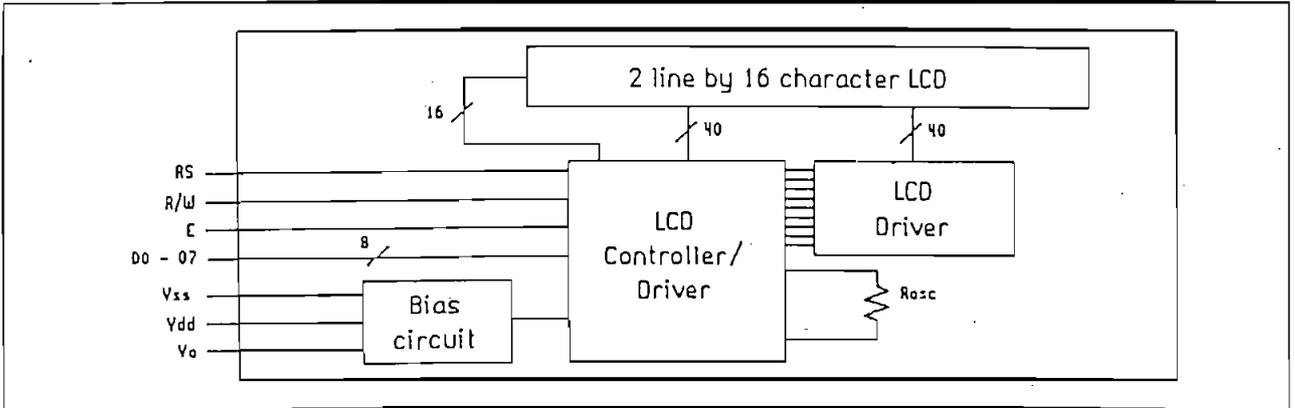
PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Name and Function
1	V _{ss}	Ground
2	V _{dd}	Power Supply
3	V _o	Contrast Adjustment Voltage
4	RS	Register Select
5	R/W	Read/Write Select
6	E	Enable (Data Latch)
7	D0	I/O Data LSB
8	D1	I/O Data 2nd Bit
9	D2	I/O Data 3rd Bit
10	D3	I/O Data 4th Bit
11	D4	I/O Data 5th Bit
12	D5	I/O Data 6th Bit
13	D6	I/O Data 7th Bit
14	D7	I/O Data MSB

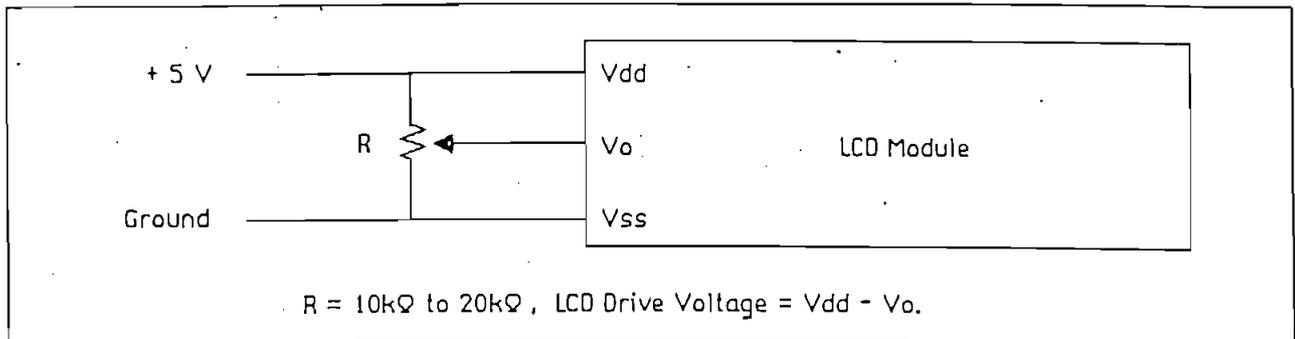
LTN211

2 Line by 16 Character LCD Module

LCD MODULE CIRCUIT DIAGRAM



CONTRAST ADJUSTMENT CIRCUIT



ADDRESSING SCHEME

Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Line 1	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
Line 2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

DDRAM Address (HEX)

This represents the unshifted display addressing. See TP 238 for details.

RATINGS Limiting values in accordance with Absolute Maximum System (IEC134).

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage (logic)	Vdd - Vss	- 0.3	-	7.0	V
Supply voltage (LCD)	Vdd - Vo	0	-	13.5	V
Input voltage	Vi	- 0.3	-	Vdd + 0.3	V
Storage temperature	Tstg	- 25	-	+ 70	°C
Operating ambient temperature	Tamb	0	-	+ 50	°C

OPERATING CHARACTERISTICS

Tamb = 25 °C unless otherwise stated.

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage (logic)	Vdd - Vss	4.75	5.0	5.25	V
Contrast adjustment voltage	Vo - Vss	-	0.6	-	V
LOW level input voltage	Vil	- 0.3	-	0.6	V
HIGH level input voltage	Vih	2.2	-	Vdd	V
LOW level output voltage (Note 1)	Vol	-	-	0.4	V
HIGH level output voltage (Note 2)	Voh	2.4	-	-	V
Input leakage current	Ii	-	-	1.0	µA
Internal oscillator frequency	fosc	-	250	-	kHz
Supply current (logic) (Note 3)	Idd	-	1.6	2.2	mA
Power dissipation (Note 3)	Pd	-	8.0	11.0	mW

Note 1 : Iol = 1.2 mA.

Note 2 : -Ioh = 0.205 mA.

Note 3 : Vdd = 5 V, Vo = 0 V.

ANEXO "D"

*Manual de la Tarjeta
MCPD51DA*

**CARACTERISTICAS TECNICAS
Y GUIA DE USO**

TARJETA MCPD51DA

**PARA DESARROLLO DE PROYECTOS CON
MICROCONTROLADORES INTEL MCS-51**

Preparado por:

Ing. Bolívar Ledema G.

Quito, Septiembre de 1992

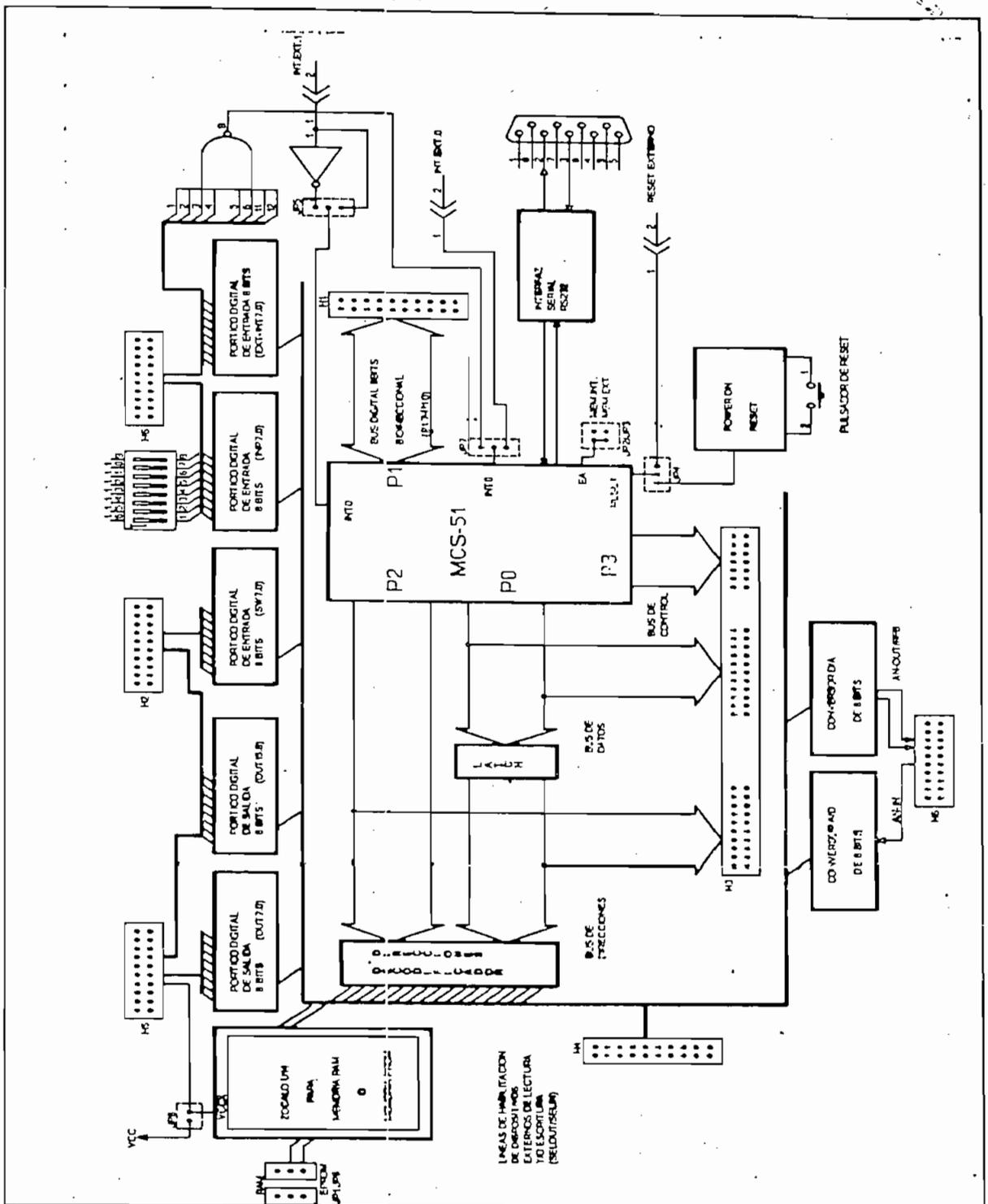


Fig. 1 DIAGRAMA DE BLOQUES TARJETA MCPD51A

La figura 1 muestra el diagrama de bloques simplificado de la tarjeta MCPD51DA, la misma que ha sido diseñada para permitir el desarrollo de proyectos y aplicaciones de carácter general, en base a los microcontroladores INTEL de la familia MCS-51.

La tarjeta pone a disposición del usuario los siguientes recursos:

- 1 pórtilco digital bidireccional de 8 bits (P1.7 a P1.0).
- 2 pórtilcos digitales de salida de 8 bits (OUT0 a OUT15).
- 1 pórtilco digitales de entrada de 8 bits (SW0 a SW7).
- 1 pórtilco digital de entrada de 8 bits con opción de colocar un dipswitch-8 en la tarjeta (INP0 a INP7).
- 1 pórtilco digital de entrada de 8 bits con opción de generar interrupción externa (EXT-INT0 a EXT-INT7).
- 1 entrada analógica (0 a 5 V) y conversor A/D de 8 bits.
- 1 salida analógica (0 a 5 V) proveniente de un conversor D/A de 8 bits.
- 1 pórtilco de comunicación serial RS232 (conector DB9).
- 1 Bus de datos del microcontrolador (D7 a D0).
- 1 Bus de direcciones del microcontrolador (A15 a A0).
- 1 Bus de señales de control del microcontrolador (RD, WR, T0, T1, ALE, PSEN, RESET, INT0, INT1).
- 1 Bus de señales de control para habilitación de dispositivos externos: 3 de entrada: SELIN5,6,7 y 4 de salida: SELOUT3,5,6,7.
- Memoria RAM de 2 Kbytes.
- Circuito de reset interno con pulsador.

CONFIGURACIONES:

La tarjeta MCPD51DA incluye toda la circuitería básica asociada a un microcontrolador MCS-51, permitiendo al usuario configurar la tarjeta para sus aplicaciones específicas. Para el efecto la tarjeta tiene 8 "jumpers" de configuración (JP1 a JP8) que permiten seleccionar las alternativas de la tabla No. 1.

La nomenclatura utilizada para los jumpers de dos puntos hace referencia a la colocación física del "jumper" cuando se tiene "ON" y su ausencia física cuando se tiene "OFF". Los jumpers de 3 puntos funcionan como switches de dos posiciones, donde el punto central es el común. Por ejemplo, JP6 es un jumper de 3 puntos donde los extremos se denominan "RAM" y "EPROM" respectivamente. Cuando la tabla No. 1 dice que JP6 = "RAM" ésto significa que se debe colocar un jumper entre el punto central de JP6 y el extremo "RAM".

JUMPERS	POSICION	FUNCION
JP1 y JP6	RAM	El microcontrolador trata a U14 como RAM (memoria de datos).
JP1 y JP6	EPROM	El microcontrolador trata a U14 como ROM (memoria de programa).
JP2 y JP3	JP2 = *ON* JP3 = *OFF*	El microcontrolador ejecuta el programa que reside en memoria externa.
JP2 y JP3	JP2 = *OFF* JP3 = *ON*	El microcontrolador ejecuta el programa que reside en su memoria ROM interna.
JP4	INT-RESET	El RESET del microcontrolador queda conectado al circuito "power on reset" y al pulsador internos.
JP4	EXT-RESET	El RESET del microcontrolador queda conectado a una entrada exterior del conector H3 (H3.3 EXRST).
JP5	0L-EX1	Interrupción externa 1 del microcontrolador activa con 0L, accesible desde conector H3.38 y H1.13.
JP5	1L-EX1	Interrupción externa 1 del microcontrolador activa con 1L, accesible desde conector H3.38 y H1.13.
JP7	0..7-EX0	Interrupción externa 0 del microcontrolador activa con 0L y accesible desde cualquier línea del pódico EXT-INT0..7, conector H6.
JP7	EXT-EX0	Interrupción externa 0 del microcontrolador activa con 0L y accesible desde conector H3.39.
JP8	*ON*	U14 se polariza con la fuente VCC de la tarjeta.
JP8	*OFF*	U14 recibe polarización externa VCCX desde el conector H5.20.

Tabla No. 1

Alrededor de la arquitectura de la tarjeta MCPD51DA se puede desarrollar proyectos de aplicación específica, utilizando componentes de la familia MCS-51 con memoria interna de programa, como el 8051 ó el 8751, en cuyo caso el zócalo U14 queda disponible para un chip de RAM de 2 Kbytes. Si se utiliza el microcontrolador 8031 que carece de memoria interna de programa, el zócalo U14 necesariamente deberá alojar una memoria de programa como la 2716 o 2732.

La tabla No. 2 muestra la manera de configurar la tarjeta en función del tipo de microcontrolador y de la disposición de la memoria de programa.

INTEL MCS-	JUMPERS	U14	DESCRIPCION
8051 ó 8751	JP3 = "ON" JP2 = "OFF" JP1 = "RAM" JP6 = "RAM"	RAM 2 Kb (6116)	El micro ejecuta el programa residente en su ROM interna. U14 puede alojar una memoria RAM o no ser utilizado.
8051 ó 8751	JP3 = "OFF" JP2 = "ON" JP1 = "EPROM" JP6 = "EPROM"	EPROM 4 Kb (2732)	El micro ejecuta el programa residente en la EPROM externa colocada en U14.
8051 ó 8751	JP3 = "OFF" JP2 = "ON" JP1 = "EPROM" JP6 conectado a "INT" de JP3.	RAM 2Kb (6116)	El micro ejecuta el programa residente en la RAM externa colocada en U14.
8031	JP3 = "OFF" JP2 = "ON" JP1 = "EPROM" JP6 = "EPROM"	EPROM 4 Kb (2732)	El micro ejecuta el programa residente en la EPROM externa colocada en U14.

Tabla No. 2

Por otro lado, la tarjeta puede utilizarse como un sistema de desarrollo y depuración de programas de aplicación que se pueden descargar a través del puerto serial, desde un computador personal hacia la memoria RAM de la tarjeta. Luego, se reconfigura la tarjeta para que ejecute el programa residente en RAM. De esta manera se agiliza la realización de pruebas de operación sin necesidad de borrar y reprogramar EPROMS. (1c)

MAPA DE MEMORIA:

Los microcontroladores Intel de la familia MCS-51 tienen posibilidad de direccionar 64 K localidades externas a través del bus de direcciones de 16 bits. En la tarjeta MCPD51DA se ha incluido toda la circuitería que se requiere para direccionar independientemente a 8 dispositivos de entrada y 8 dispositivos de salida, dividiendo los 64K en páginas de 8K. Las líneas decodificadas para habilitación de dispositivos de entrada (lectura) se denominan SELIN0 a SELIN7. Las líneas para habilitación de dispositivos de salida (escritura), se denominan SELOUT0 a SELOUT7. Para la decodificación del bus de direcciones y la correspondiente división en páginas de 8K, se han utilizado los tres bits más

significativos A15, A14 y A13 los cuales, en combinación con las señales READ y WRITE del micro, determinan la activación de la correspondiente señal de habilitación.

Por ejemplo, si A15, A14 y A13 tienen el valor 0L, cuando el micro ejecuta una instrucción de escritura en memoria externa (MOVX @DPTR, A), la línea que se habilitará será SELOUT0. Si el micro ejecuta una instrucción de lectura de memoria externa (MOVX A,@DPTR), la línea que se habilitará será SELIN0.

De las 8 líneas de habilitación de entrada y 8 de salida existentes, varias están utilizadas para los pórticos de entrada, salida, conversor A/D y otros recursos disponibles en la tarjeta. Las restantes están accesibles para el usuario a través del conector H4.

La tabla No. 3 muestra la distribución de memoria y las líneas disponibles para el usuario.

DIRECCIONES	HABILITACION	DISPOSITIVO DE ENTRADA (LECTURA)	DISPOSITIVO DE SALIDA (ESCRITURA)
0000H-1FFFFH	SELIN0/SELOUT0	Pórt.SW0-SW7	Pórt.OUT0-OUT7
2000H-3FFFFH	SELIN1/SELOUT1	Pórt.EXT-INT0 a EXT-INT7	Pórt.OUT8-OUT15
4000H-5FFFFH	SELIN2/SELOUT2	Pórt.INP0-INP7	Conv. D/A.
6000H-7FFFFH	SELIN3/SELOUT3	Conv. A/D.	DISPONIBLE
8000H-8FFFFH	SELIN4/SELOUT4	MEMORIA RAM	MEMORIA RAM
A000H-BFFFFH	SELIN5/SELOUT5	DISPONIBLE	DISPONIBLE
C000H-DFFFFH	SELIN6/SELOUT6	DISPONIBLE	DISPONIBLE
E000H-FFFFFH	SELIN7/SELOUT7	DISPONIBLE	DISPONIBLE

Tabla No. 3

DISTRIBUCION DE COMPONENTES DE LA TARJETA:

En la figura 2 se puede apreciar la distribución de los componentes en la tarjeta.

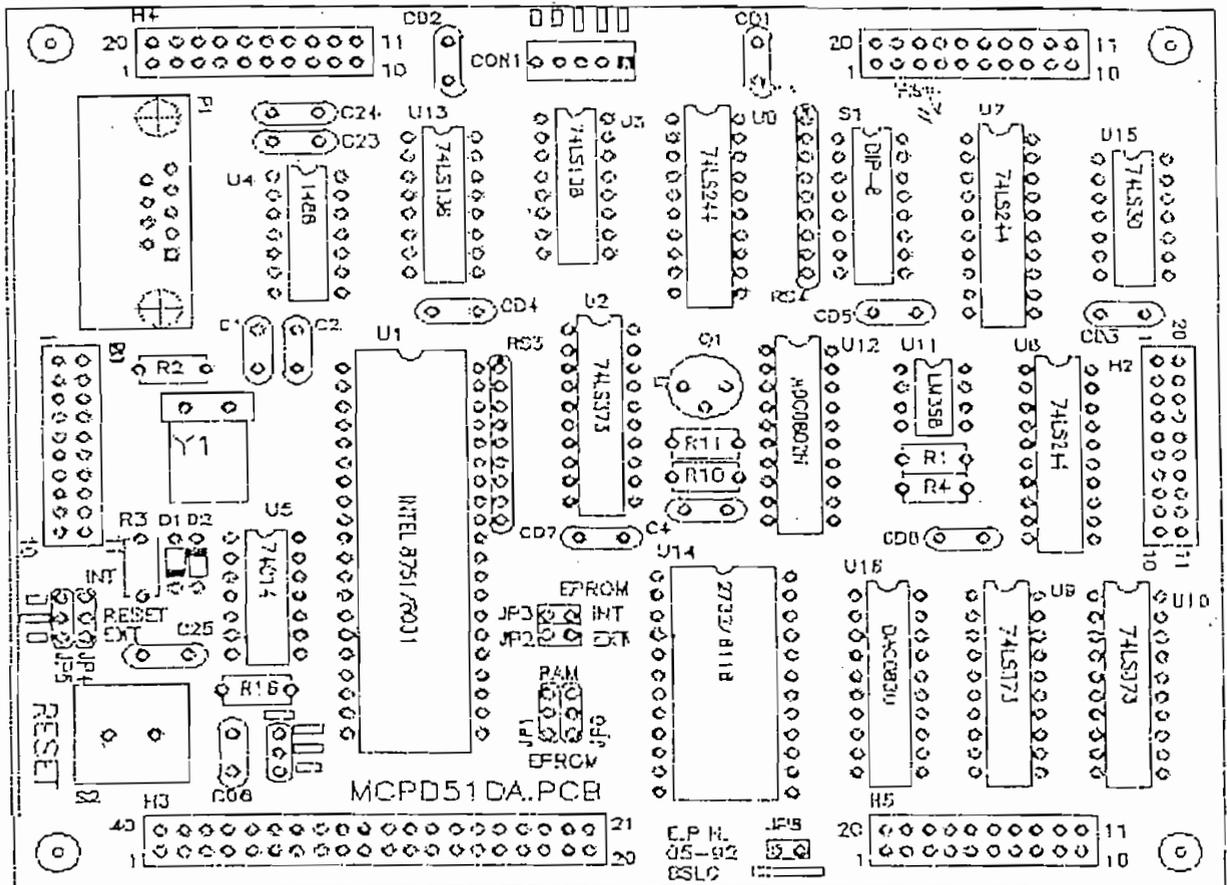


Fig. 2 TARJETA MCPD51DA.PCB

DISTRIBUCION DE SEÑALES EN LOS CONECTORES:

La tarjeta tiene seis conectores (H1 a H6) a través de los cuales entrega y recibe señales y datos. Prácticamente en todos los conectores se tiene acceso a las fuentes principales de polarización del circuito lógico a través de los pines VCC y VSS.

Existe un conector especial denominado "CON1" que sirve para conectar la tarjeta con la fuente de polarización principal, donde se tiene que:

VCC = + 5 V;
VSS = 0 V;
V+ = + 12 V;
V- = - 12 V.

CONECTOR H1:

P17..P10:	Pórtico P1 del microcontrolador (8 bits bidireccional).
EXINT0:	Acceso a la interrupción externa 0 del micro.
EXINT1:	Acceso a la interrupción externa 1 del micro.
T0:	Entrada al timer/counter 0 del micro.
T1:	Entrada al timer/counter 1 del micro.

CONECTOR H2:

SW7..SW0:	Pórtico digital de entrada de 8 bits.
OUT15..OUT8:	Pórtico digital de salida de 8 bits.

CONECTOR H3:

El conector H3 permite el acceso directo hacia el microcontrolador: el bus de datos, el bus de direcciones y todas las señales de control: ALE, READ, WRITE, PSEN.

D7..D0:	Bus de datos del micro.
A15..A0:	Bus de direcciones del micro.
T0:	Entrada al timer/counter 0 del micro.
T1:	Entrada al timer/counter 1 del micro.
EXRST:	Entrada para ingreso de señal de reset externo.
EXINT0:	Acceso a la interrupción externa 0 del micro.
EXINT1:	Acceso a la interrupción externa 1 del micro.

CONECTOR H4:

SELIN5,6,7:	Señales de habilitación para dispositivos externos de entrada (lectura).
SELOUT3,5,6,7:	Señales de habilitación para dispositivos externos de salida (escritura).
RXD:	Línea de recepción para comunicación serial del microcontrolador (niveles TTL).
TXD:	Línea de transmisión para comunicación serial del microcontrolador (niveles TTL).
RXIN:	Línea de recepción serial RS232 (conector DB9) de la tarjeta (niveles de voltaje $\pm 12V$).
TXOUT:	Línea de transmisión serial RS232 (conector DB9) de la tarjeta (niveles de voltaje $\pm 12V$).
T0PWM:	Señal de salida correspondiente al complemento lógico del pin T0 del microcontrolador y en niveles lógicos $\pm 12 V$.
T1PWM:	Señal de salida correspondiente al complemento lógico del pin T1 del microcontrolador y en niveles lógicos $\pm 12 V$.

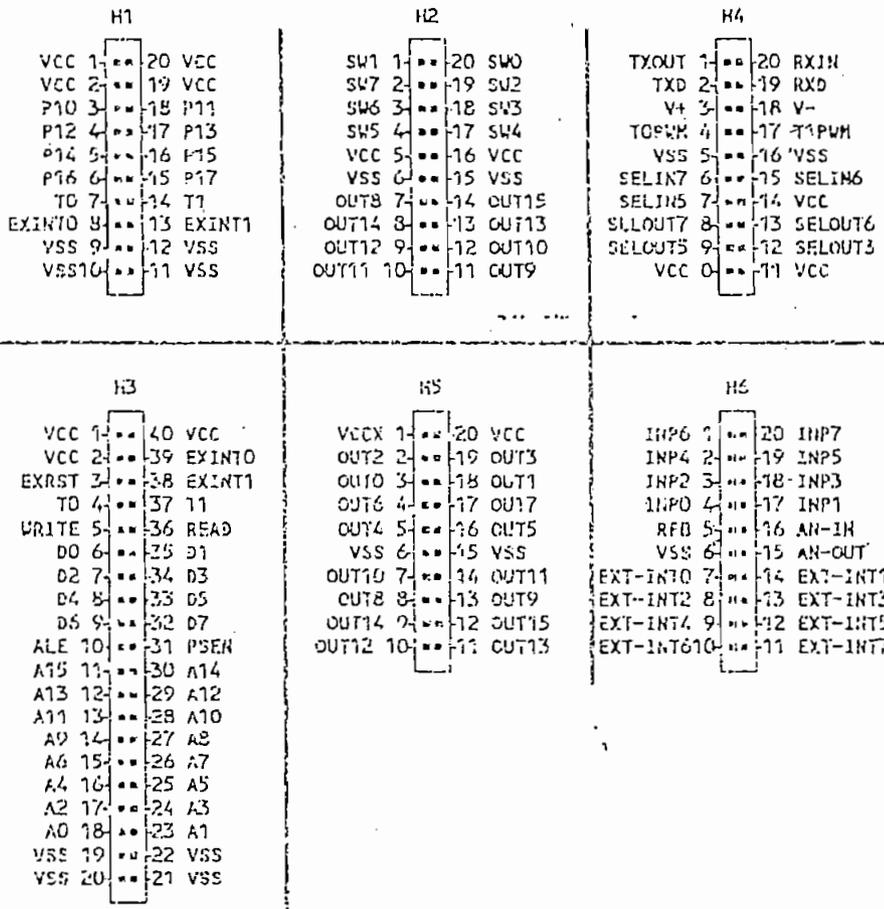
CONECTOR H5:

OUT7..OUT0:	Pórtico digital de salida de 8 bits.
OUT15..OUT8:	Pórtico digital de salida de 8 bits.
VCCX:	Entrada externa para polarización de U14.

CONECTOR H6:

EXT-INT7..EXT-INT0:	Pórtico digital de entrada de 8 bits con opción a generar interrupción externa 0 en el microcontrolador.
INP7..INP0:	Pórtico digital de entrada de 8 bits con opción de colocar un dip-switch 8 en la tarjeta.
AN-OUT:	Salida analógica (0 a +5V) proveniente del convertor D/A (DAC0830).
RFB:	Salida analógica (0 a -5V) correspondiente a la señal invertida que viene del convertor D/A.
AN-IN:	Entrada analógica (0 a +5V) hacia el convertor A/D (ADC0804).

ESQUEMA DE CONECTORES:



ESQUEMA CIRCUITAL TARJETA MCPD51DA:

