

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**MODERNIZACIÓN DE MESA PARA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA
ELECTROMECAÑICOS Y ELECTRÓNICOS.**

Mendoza Rodríguez, Juan Antonio.

Caracas, Enero del 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**MODERNIZACIÓN DE MESA PARA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA
ELECTROMECAÓNICOS Y ELECTRÓNICOS.**

**Trabajo presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Electricista
Por el Br: Mendoza Rodríguez, Juan Antonio.**

Caracas, Enero del 2004

CARTA DE APROBACIÓN

Ing. Mary Power., MSc.
Jurado.

Ing. Pedro Pinto., MSc.
Jurado.

Ing. Rafael Rivero N., MSc.
Prof. Guía.

Ing. Robustiano Fernández.
Tutor Industrial

DEDICATORIA

*Simplemente a
Mis padres
y a Mi hermana*

“Sin trabajo, nada se obtiene.”

Buda

“Todo lo que vive, no vive a solas ni tampoco por sí mismo.”

William Blake

“La eficiencia es hacer algo bien hecho, la eficacia es hacer lo que debe ser hecho.”

Lair Ribeiro

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Porque siempre es el mejor refugio, un refugio esperanzador, cuando todo lo demás nos parece absolutamente nada.

A mis padres Juan e Inés y a mi hermana Beatriz:

A quienes con su paciencia, y su amor de padres y de hermana, me apoyaron, moral y económicamente, durante toda la carrera.

A mi profesor guía académico: Ingeniero Rafael Rivero:

Quien me brindo toda su ayuda y su conocimiento cuando lo requerí, aportando soluciones sencillas.

A mi tutor industrial: Ingeniero Robustiano Fernández:

Quien facilito la realización del proyecto, dando todo el apoyo posible, tanto en la adquisición de las partes, así como, aportando las ideas practicas y sencillas para mejorarlo y culminarlo.

Al ingeniero asesor del laboratorio de medidores: Jean Jacques Pfister:

Quien apporto toda su ayuda con su conocimiento en mesas de calibración, facilitando su desarrollo, y dando toda su colaboración en la realización de la mesa calibradora.

Al personal del laboratorio de medidores:

A quienes le agradezco el buen trato y todo el apoyo brindado.

A la Universidad Central de Venezuela, escuela de Ingeniería Eléctrica:

Por su formación para hacernos profesionales, y la Electricidad de Caracas por permitir la realización de este tipo de proyectos y contribuir en nuestra formación.

A amigos, compañeros de estudio y a todas aquellas personas:

Que me brindaron su ayuda y consejos, haciendo más agradable la culminación de la carrera.

<u>Autor:</u>	Juan A. Mendoza R.
<u>Título Académico a Obtener:</u>	Ingeniero Electricista.
<u>Universidad:</u>	UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.
<u>Fecha:</u>	Enero 2004.
<u>Profesor Guía:</u>	Ing. Rafael E. Rivero N, M.Sc.
<u>Tutor industrial:</u>	Ing. Robustiano Fernández.
<u>Título del Trabajo de Grado:</u>	MODERNIZACIÓN DE MESA PARA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELECTROMECAÑICOS Y ELECTRÓNICOS.

RESUMEN

La Electricidad de Caracas AES, utiliza las mesas calibradoras de medidores de energía para verificar y/o ajustar los contadores asegurando que estos miden energía dentro del rango de error permitido.

La sección Laboratorio de Medidores decide diseñar una mesa para calibrar simultáneamente diez (10) medidores de energía monofásicos, diseño que no se completa por faltarle a la mesa la parte electrónica denominada calculador de error. El presente trabajo, diseña e implementa el calculador de error.

El calculador de error está compuesto de dos partes: una parte, son los circuitos electrónicos diseñados y la otra el software en el computadora personal (PC).

Los circuitos electrónicos diseñados tienen como función: contar las revoluciones o pulsos que el medidor patrón de energía emite por revolución del respectivo medidor en ajuste (revoluciones que en la ecuación de error representa los pulsos contados), y mantener comunicación serial con la interfaz o software en el computador personal, para enviar la cifra de los pulsos contados y para recibir el error que la interfaz (en el PC) calcula y le envía.

La interfaz o software en el PC, calcula las revoluciones o pulsos patrón que debe emitir el medidor patrón por vuelta del medidor en ensayo (revoluciones que en la ecuación de error representa los Pulsos patrón), controla la comunicación serial haciendo que la PC figure como maestro y los circuitos electrónicos como esclavos, y finalmente, calcula el error mediante la ecuación:

$$\% \text{ desviación} = (\text{Pulsos patrón} - \text{Pulsos contados}) * 100 / \text{Pulsos contados},$$

error que muestra en la pantalla del PC y envía a los circuitos electrónicos para que lo muestren en cuatro display siete-segmentos, y así, tener el calculador de error que requería la mesa.

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	9
OBJETIVOS.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
I PRELIMINARES. CONTADOR ELECTROMECAÁNICO, FUNCIONAMIENTO.....	13
I.1 Funcionamiento mecánico del contador.....	13
I.1.1 Igualdad de los momentos para el estado de equilibrio.....	15
I.1.2 Constante del medidor electromecánico.....	16
I.1.3 Indicación del valor de la medición en el aparato contador.....	17
I.2 Funcionamiento eléctrico del contador electromecánico.....	18
I.2.1 Medición de potencia en el contador.....	18
I.2.2 Generación del flujo de tensión.....	20
I.2.3 Generación del flujo de corriente.....	21
I.2.4 Corrientes inducidas en el disco.....	22
I.2.5 Generación del momento de giro en el disco contador.	23
I.2.6 Generación de la fuerza electromagnética de accionamiento: momentos parciales.....	24
I.2.7 Generación de par motor (Momento impulsor) por flujos de variación sinusoidal.....	26
I.2.8 El par motor como productos de dos flujos variables.....	27
I.2.9 El par motor es proporcional a la potencia.....	28
I.2.10 Par motor total.....	29
I.3 Normas de verificación y Método de calibración.....	30
I.4 Calibración.....	31
II MÉTODO DE LAS CONSTANTES O COMPARACIÓN DE PULSOS.....	35
II.1 Método de las constantes.....	35
II.2 Cálculo del error.....	37
II.2.1 Error respecto al valor real del método de comparación de pulsos.....	37
III ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA MESA	
CALIBRADORA.....	38
III.1 Funcionamiento de la mesa calibradora.....	40
III.2 Requerimiento principal, CALCULADOR DE ERROR.....	40

III.3 Cabeza lectora fotoeléctrica (SH10) marca MTE.....	42
III.3.1 Aplicación.....	42
III.3.2 Lectura del disco giratorio de contadores electromecánicos o de tipo Ferraris.....	43
III.3.3 Lectura de impulsos de LED en contadores electrónicos.....	43
III.3.4 Características eléctricas de la señal de salida (OUT).....	43
III.4 Medidor Patrón.....	44
III.4.1 Utilidad del medidor patrón.....	45
III.5 Ajuste de las ecuaciones que relacionan las revoluciones de los medidores según método de comparación de pulsos debido a la corriente o carga fija aplicada sobre el medidor patrón.....	46
III.6 Desviación del valor real de los pulsos teóricos calculados por las ecuaciones 3.4 y 3.5.	47
IV SOLUCIONES DE HARDWARE DEL CALCULADOR DE ERROR.....	49
IV.1 Circuito Acoplador.....	49
IV.2 Circuito acoplador de la señal proveniente del medidor patrón.	51
IV.3 Criterio de selección del microcontrolador.	51
IV.4 Circuitos integrados utilizados.	52
IV.4.1 Características eléctricas.	54
IV.5 Módulo individual de cada medidor de energía a calibrar.	55
IV.6 Módulo de carga y comunicación serial.....	56
IV.7 Circuitos impresos de los módulos resultantes realizados en el programa Orcad 9.2.....	57
IV.7.1 Características de diseño.....	57
IV.8 Descripción del software del módulo de calibración.....	58
IV.8.1 Conteo de pulsos y conversión a ASCII del número de pulsos contados.....	58
IV.8.2 Comunicación establecida entre los microcontroladores y el PC.....	59
IV.8.3 Comunicación serial entorno multiprocesador o maestro esclavo.....	60
IV.8.4 Recepción serial en el microcontrolador PIC16F84A.....	61
IV.8.5 Transmisión serial en el microcontrolador PIC16F84A.....	61
IV.9 Proceso de muestra de error en los cuatro siete segmentos.....	62
V DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EN EL PC QUE COMPLETA EL CALCULADOR DE ERROR.....	63

V.1 Interfaz en visual Basic.....	63
V.1.1 Criterio de selección del programa Visual Basic.....	63
V.2 Interfaz realizada.	64
V.2.1 Formulario uno o principal.	64
V.2.2 Segundo formulario.	65
V.2.3 Tercer formulario.	66
V.2.4 Módulo de la interfaz.	66
CONCLUSIONES.	69
RECOMENDACIONES.	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	72
APENDICE A: Esquema eléctrico de la gaveta de alimentación de la mesa.....	73
ANEXO A. Lista de componentes utilizados.	74
ANEXO B. Esquemáticos de los módulos diseñados.....	75
ANEXO C. Layout de los módulos diseñados.....	77
ANEXO D. Tarjetas de circuito impreso de los módulos diseñados.....	79
ANEXO E. Diagramas de flujo de las rutinas hechas para los microcontroladores PIC 16F84A.....	80
ANEXO F. Programas codificados en lenguaje ensamblador para rutinas de atención a los microcontroladores PIC 16F84A.	84
ANEXO G. Programas codificados en Visual Basic para las rutinas de la interfaz de usuario hecha en la PC para el CALCULADOR DE ERROR.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1:	Perfil de carga.	13
Figura 1.2:	Diagrama de energía.	14
Figura 1.3:	Accionamiento mecánico.....	15
Figura 1.4:	Constante del contador.	16
Figura 1.5:	Revoluciones del disco del contador electromecánico.	16
Figura 1.6:	Indicador de la Energía consumida en el aparato contador.	18
Figura 1.7:	Instalación del contador monofásico.	19
Figura 1.8:	Imagen de la tensión.	21
Figura 1.9:	Imagen de la corriente.	21
Figura 1.10:	Variación sinusoidal del flujo de tensión.	22
Figura 1.11:	Variación sinusoidal del flujo de corriente.	23
Figura 1.12:	Momento de giro en el disco contador.....	24
Figura 1.13:	Momentos parciales.....	25
Figura 1.14:	Diagrama fasorial de los momentos.....	26
Figura 1.15:	Variación sinusoidal del flujo.....	27
Figura 1.16:	Par motor proporcional a la potencia activa.....	28
Figura 3.1:	Estructura de mesa calibradora de medidores.....	38
Figura 3.2:	Estructura individual de un medidor en la mesa.....	39
Figura 3.3:	Cabeza lectora fotoeléctrica SH10 de MTE.....	42
Figura 3.5:	Medidor patrón parte de conexiones.	44
Figura 3.6:	Señal de salida del medidor del patrón.	46
Figura 3.7:	Desviaciones de los pulsos del patrón debido a la corriente.....	48
Figura 4.1.1:	Circuito acoplador.	49
Figura 4.1.2:	Ventana del circuito comparador.	50
Figura 4.1.3:	Reductor de tensión.	51
Figura 4.2.1:	Terminales del PIC 16F84A.....	53
Figura 4.3.1:	Despliegue de cifra de error.	53
Figura 4.4.1:	Módulo despliegue de error de cada medidor de energía a calibrar.....	55
Figura 4.4.2:	Módulo de carga, comunicación serial y medidor patrón.....	56
Figura 4.2.2:	Lectura de bits en recepción serial.....	61

Figura 5.1:	Errores de los medidores en calibración.....	65
Figura 5.2:	Constante de los medidores.....	66
Figura 5.3:	Resultado de calibración a hoja de Excel.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Contraste.	31
Tabla 3.1 Constante de impulsos para medidas de energía del medidor patrón.....	45

INTRODUCCIÓN

Los procesos que más frecuentemente se realizan en el Laboratorio de Medidores de La Electricidad de Caracas, son los de verificación, mantenimiento y calibración de Medidores de energía.

Generalmente a los medidores nuevos, sólo se les realiza la prueba de verificación, para determinar si estos cuentan la energía dentro del rango de error permitido, si no lo hacen dentro de ese rango, se devuelven a las empresas donde se adquirieron para que los cambie o los calibre, o se asume la responsabilidad de abrirlos y calibrarlos. A los medidores usados, les dan mantenimiento, los limpian, le chequean la continuidad de las partes eléctricas, y les reemplazan las partes mecánicas desgastadas, para que su disco gire con el menor roce posible, y finalmente los calibran hasta que midan la energía dentro del rango de error permitido.

Para verificar y calibrar los contadores de energía se utilizan las llamadas mesas de calibración de medidores de energía. Estas mesas, existen en diferentes tipos y modelos, pero su principal característica es que permiten calibrar simultáneamente, en algunos casos diez y en otros hasta veinte medidores.

El costo que actualmente tiene una mesa de calibración de medidores de energía es de aproximadamente 200.000 \$, siendo este un precio bastante elevado. También, otra de las dificultades para adquirir la mesa es que estas no se producen en Venezuela, y la necesidad de verificar y calibrar constantemente medidores de energía, hace que la sección Laboratorio de Medidores tome la decisión de diseñar una mesa para calibrar simultáneamente diez (10) medidores de energía monofásicos.

El Laboratorio adelantó el diseño de la mesa, haciendo la estructura metálica que sirve de soporte de los diez medidores y de los sensores, y también, diseña la gaveta de alimentación que suministra la energía que van a medir los medidores, pero no culmina el diseño de la mesa, porque para ello faltaba la parte electrónica del calculador de error. El presente trabajo culmina el diseño de la mesa realizando la parte faltante, diseña e implementa el calculador de error.

Se puede decir que el calculador de error lo determina la ecuación de desviación (Ec. 1):

$$\% \text{ Desviación} = \frac{\text{Pulsos patrón} - \text{Pulsos contados}}{\text{Pulsos contados}} \cdot 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Un software en el computador personal calcula mediante la ecuación 1 el error con el que un contador mide la energía. La ecuación 1 divide al calculador de error en dos procesos diferentes, uno que proporciona la cifra de pulsos patrón y el otro que le proporciona la cifra de pulsos contados.

Los circuitos electrónicos diseñados que involucra a los microcontroladores, se encargan de contar los pulsos que emite el medidor patrón o de precisión por revoluciones del medidor de energía en ensayo, proporcionando (en la ecuación 1) los Pulsos contados, que permite calcular la desviación de los medidores.

El proceso para calcular la desviación lo realiza la interfaz programada en el PC, esta interfaz, utiliza las ecuaciones del método de las constantes (capítulo II) para calcular las revoluciones que debe emitir el medidor patrón por vuelta del medidor en ajuste, que representan los pulsos patrón.

Así, la misma interfaz calculara definitivamente la desviación de cada medidor en ensayo, mediante la ecuación 1, utilizando los Pulsos patrón que ella misma calcula, y los Pulsos contados que cada circuito cuenta y le envía a la interfaz por la comunicación establecida (entre la interfaz y los diez módulos (Circuito electrónicos)), lo que definitivamente concreta el CALCULADOR DE ERROR.

En el siguiente trabajo se expone el proceso de diseño e implementación del calculador de error en los siguientes capítulos:

- **CAPÍTULO I. PRELIMINARES. CONTADOR ELECTROMECAÁNICO, FUNCIONAMIENTO. NORMAS DE VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN.** En este capítulo se presenta el funcionamiento mecánico y eléctrico de un medidor de energía electromecánico, se menciona los rango de errores permitidos en los proceso de verificación por la norma venezolana COVENIN y se describe el proceso de calibración utilizado por el Laboratorio de Medidores.

- **CAPÍTULO II. MÉTODO DE LAS CONSTANTES.** Este capítulo proporciona las ecuaciones que relacionan las revoluciones de un medidor patrón por vuelta de los medidores en ajuste usando las constantes de ambos medidores y proporciona también, la ecuación con la que se calcula la desviación que tienen los contadores en ensayo al medir la energía.
- **CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA MESA CALIBRADORA.** Este capítulo explica brevemente el funcionamiento de la mesa, describe los elementos transductores estableciendo su utilidad en el diseño de la mesa.
- **CAPÍTULO IV. SOLUCIÓN DE HARDWARE DEL CALCULADOR DE ERROR.** Aquí se presentan los circuitos electrónicos diseñados, usando microcontroladores que realizan una parte del trabajo del calculador de error. Estos módulos acoplan las señales provenientes de los sensores a niveles de tensión que pueda manejar el microcontrolador, para que éste pueda contar los pulsos, detectar la revolución del disco de un medidor, y además de mantener comunicación vía serial con la interfaz en el PC para enviar y recibir información.
- **CAPÍTULO V. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EN EL PC QUE COMPLETA EL DISEÑO DEL CALCULADOR DE ERROR.** Este capítulo describe la solución de software en un computador personal que en conjunto a los circuitos electrónicos diseñados forman el calculador de error. Este software se encarga de: manejar la comunicación serial donde el PC es el maestro, calcular los pulsos patrón que deben contar los microcontroladores de los módulos, del medidor patrón por vuelta del medidor en ajuste, de calcular los errores y de mostrarlos en un espacio asignado para cada medidor en la pantalla de la PC y enviar el error calculado al módulo respectivo.
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**
- **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**
- **ANEXOS.**

Objetivo General

Diseñar e implementar el calculador de error para mesa calibradora de medidores de energía monofásicos, que permita, simultáneamente verificar y ajustar diez medidores de energía.

Objetivos Específicos

- Diseñar para cada medidor en ajuste, un circuito electrónico (módulo) que: cuente los pulsos que emite el medidor patrón por vuelta del medidor en ensayo y presente en un visualizador la desviación con que su correspondiente medidor mide la energía.
- Establecer la comunicación de los diez módulos (uno por cada medidor en ajuste) con el software en el PC para que éste reciba de cada uno de ellos la cuenta de pulsos realizada por los módulos de cada medidor, para que posteriormente el PC le envíe el error respectivo a cada uno de los módulos para que los muestren.
- Calcular para cada medidor en ajuste los pulsos que el medidor patrón de energía debe emitir, los pulsos patrón.
- Calcular el error de medición de los diez medidores en ajuste aunque estos tengan constantes diferentes.
- Hacer que el suministro de información al sistema diseñado por parte del operador del mismo sea la mínima posible, como iniciar el sistema e introducir las variables que el sistema se le imposibilita saber como, por ejemplo son las constantes de cada uno de los diez medidores.
- Dar un reporte del error con el que quedan los medidores después de realizar la verificación o calibración de los mismos.

CAPÍTULO I
PRELIMINARES.
CONTADOR ELECTROMECAÁNICO, FUNCIONAMIENTO.

I.1 FUNCIONAMIENTO MECÁNICO DEL CONTADOR.

Antes de entrar en el funcionamiento mecánico y eléctrico del contador de energía electromecánico, se explicará, de manera breve y muy sencilla, a través, del perfil de carga y perfil de energía, como cuenta el medidor electromecánico la energía eléctrica que un usuario consume de la red de una empresa de suministro de energía eléctrica.

Perfil de carga.

La figura 1.1 muestra como un usuario consume o demanda de la red de energía una potencia (P_i) durante un intervalo de tiempo ΔT_i , lo cual, equivale a decir, que el usuario consumió la cantidad de energía $\Delta W_i = P_i \cdot \Delta T_i$, que está representada en el área sombreada de los rectángulos de la figura 1.1.

El contador eléctrico mide constantemente la energía consumida, es decir suma los rectángulos sombreados en la figura 1.1.

$$W = \sum P \cdot \Delta T \quad o \quad W = \int P \cdot dt \quad \text{Ec. 1.1}$$

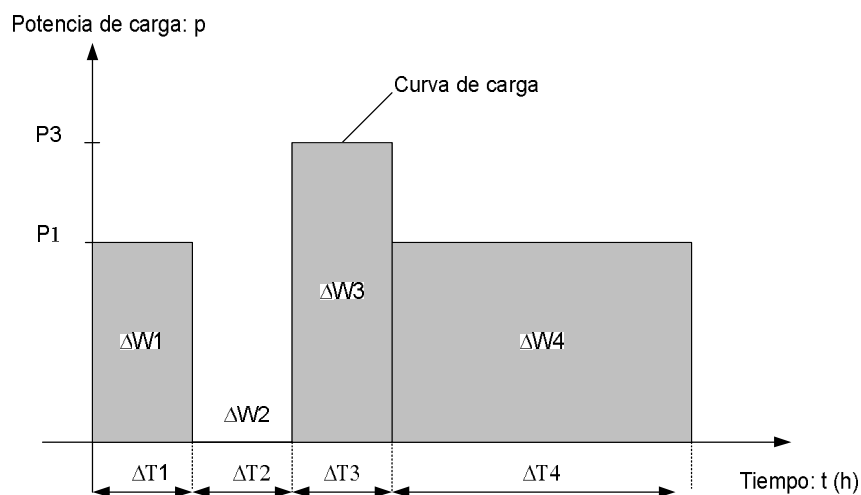


Figura 1.1: Perfil de carga.

Diagrama de energía.

Los medidores electromecánicos indican en una serie de tambores numerados la cantidad de energía que ha consumido un usuario, constantemente el medidor suma los nuevos consumos a los ya medidos e indica una cifra acumulativa de la energía usada por un consumidor, tal como puede verse en la figura 1.2. Para la facturación de la energía consumida por un usuario, la empresa toma lecturas de energía que tiene el medidor en dos instantes de tiempo diferentes y factura la energía consumida entre esos dos instantes de tiempo.

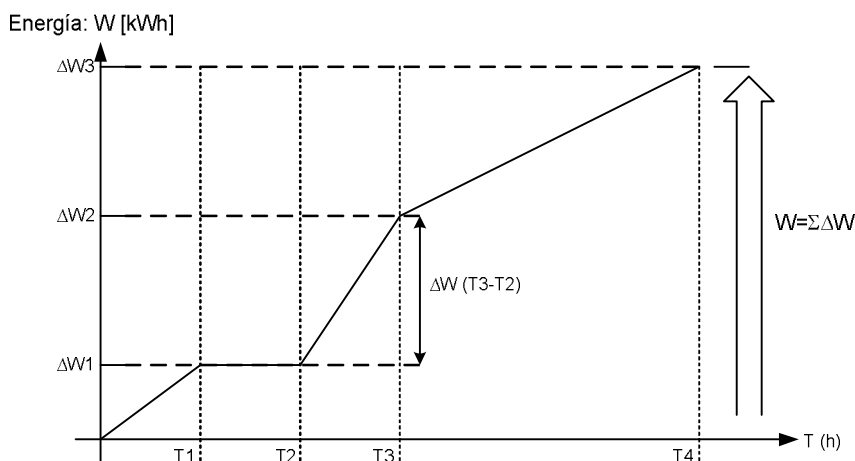


Figura 1.2: Diagrama de energía.

Sin entrar en los procesos de funcionamiento mecánico y eléctrico del medidor electromecánico, se ha descrito como mide la energía el contador electromecánico; lo hace en forma acumulativa y esta energía acumulada es la que muestra en su indicador (tambores numerados). En esta forma de medir la energía consumida por un usuario, interviene de manera implícita el disco del medidor electromecánico, pero para la verificación y calibración del medidor electromecánico, el disco es el elemento principal para averiguar el error con el que el contador realiza la medición de energía eléctrica.

Funcionamiento mecánico del contador electromecánico.

El elemento que tiene movimiento rotacional dentro del contador electromecánico es el disco. Este disco que generalmente es de aluminio, gira debido al momento que producen en él los campos

magnéticos que lo atraviesan. A este momento impulsor se le denomina par motor (M_D) y es proporcional a la potencia que se está demandando de la red eléctrica.

Contrario al par motor (M_D) en la figura 1.3.b, actúa un momento de frenado (M_B) (en el contador electromecánico), que es proporcional a la velocidad de giro del disco.

En estado de equilibrio, es decir, cuando no actúan otras fuerzas (ausencia de rozamiento) el par motor y el momento de frenado tienen el mismo valor [LANDIS & GIR 77], pero dirigidos en sentido contrario. Con esto la velocidad del disco es proporcional a la potencia y más específicamente la velocidad (ω) del disco aumenta con el aumento de la potencia, esto lo representa la Ec.1.3.

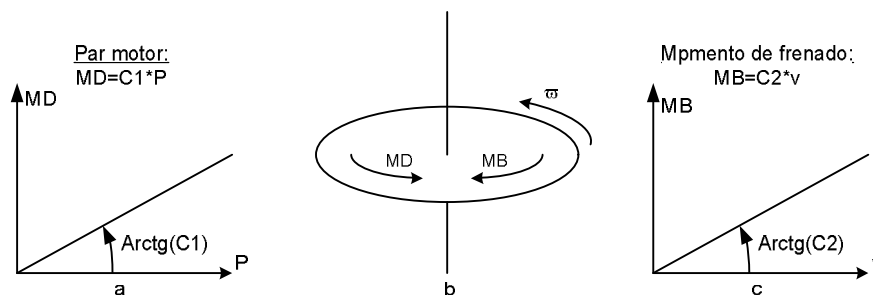


Figura 1.3: Accionamiento mecánico

I.1.1 Igualdad de momentos para el estado de equilibrio.

Par motor $M_D = M_B$ *Momento de frenado*

$$\text{De aquí se deduce que } w = \frac{C_1}{C_2} \cdot P \quad \text{Ec. 1.2}$$

C_1 : constante de proporcionalidad del momento M_D

C_2 : Constante de proporcionalidad del momento M_B

Primera igualdad principal del contador electromecánico o contador tipo Ferraris:

$$w = K \cdot P \quad \text{Ec. 1.3}$$

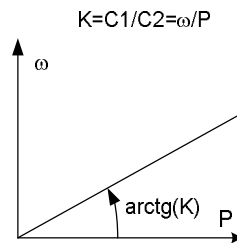


Figura 1.4: Constante del contador.

En la Ec. 1.3 la constante K , determina la relación entre la velocidad del disco (ω) y la potencia demandada de la red eléctrica (P), y como la velocidad tiene unidad de rev/min, la constante K tiene por unidad rev/kWh.

I.1.2 Constante del medidor electromecánico.

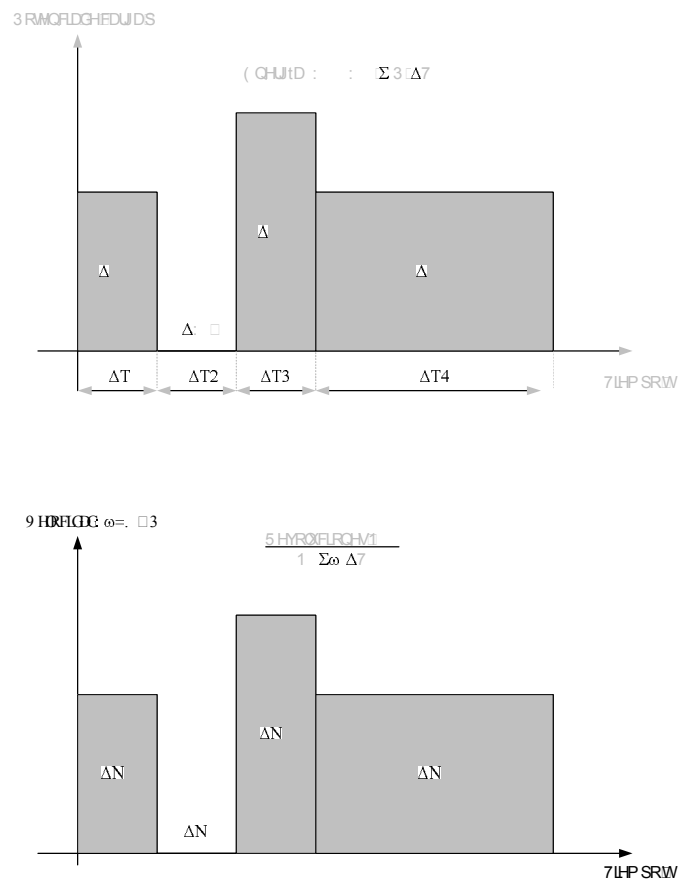


Figura 1.5: Revoluciones del disco del contador electromecánico.

La constante K es la constante del medidor, y es una magnitud muy importante del contador que siempre se indica en la placa de características del mismo. Partiendo de la figura 1.5 se puede replantear la constante K como la relación que hay entre la cantidad de revoluciones del disco y la cantidad de energía medida por el contador.

$$N = K \cdot W \qquad \text{Ec. 1.4}$$

Esta nueva ecuación representa la segunda igualdad principal del contador electromecánico o contador tipo Ferraris.

I.1.3 Indicación del valor de la medición en el aparato contador.

Para que el aparato indique sobre los tambores numerados la energía consumida y no las revoluciones (N) del disco debe reducirse la velocidad (v) del disco según la constante (K) del contador. Por eso se prevé en el contador una reducción a engranajes, entre el disco y el aparato contador que está determinada por la constante del contador (K), como puede verse en la figura 1.6.

Esta reducción se tiene que elegir de tal manera que el tambor numerado para indicar la unidad de la energía consumida, y que es impulsado directamente por el disco, efectúe 1/10 [LANDIS & GIR 77] de revolución para K revoluciones del disco contador (constante del medidor).

El aparato contador tiene seis tambores [LANDIS & GIR 77] que tienen impresos sobre la periferia de cada tambor en intervalos regulares los números: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. El primer tambor del lado derecho (tambor unidad) es impulsado directamente por el disco del contador a través de una transmisión.

Después de un décimo (1/10) de revolución de este tambor el número inmediato superior alcanza la abertura de la ventana en donde se hace visible. Cuando se produce el cambio de número de “9” a “0” se impulsa hacia delante, 1/10 de revolución al siguiente tambor de la izquierda (tambor correspondiente a la decena de kWh), y aparece en la abertura o ventana la cifra 10 kWh. Así de manera similar se impulsan los otros tambores, de esta manera se podrá contar con estos aparatos desde “000000 kWh” hasta “999999 kWh”.

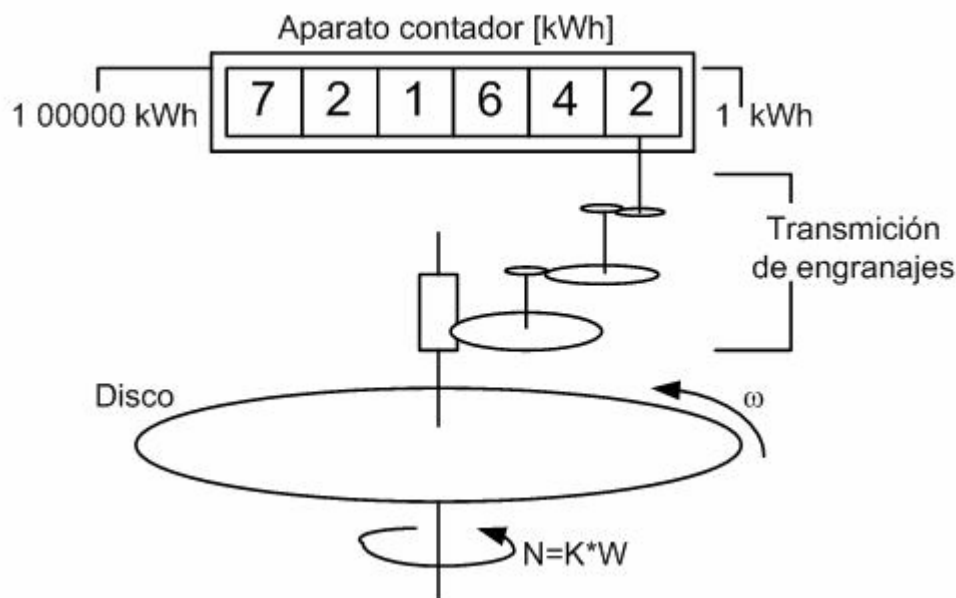


Figura 1.6: Indicador de la Energía consumida en el aparato contador.

I.2 Funcionamiento eléctrico del contador electromecánico.

Básicamente el contador tiene que efectuar una operación de multiplicación para determinar la potencia activa que está midiendo.

Como imágenes de las dos magnitudes a las que hay que multiplicar, se generan en el contador dos flujos magnéticos: flujo de tensión y flujo de corriente. El proceso de multiplicación se concreta en el momento impulsor del disco, el cual es proporcional a la potencia demanda de la red, como lo dice la Ec. 1.12.

I.2.1 Medición de potencia en el contador.

Elementos de tensión y corriente en el contador.

Para la medición de potencia se tiene que distinguir separadamente en el contador la tensión de la red (U), y la corriente de carga (I) del consumidor, teniendo en cuenta el desfase de la corriente ($\cos\phi$) para que el par motor (M_D) sea proporcional a la potencia activa (P).

Como puede verse en la figura 1.7, la corriente activa se mide haciéndola pasar a través de la bobina del electroimán amperimétrico del contador, bobina que está conectada en serie con la carga del consumidor siempre sobre el conductor de fase. Para la medición de la tensión (U) se conecta una segunda bobina (bobina de tensión en el contador) a la tensión de la red, entre el conductor de fase (Fase) y el conductor de neutro (Neutro), ver figura 1.7.

Dentro del contador se llevan los extremos de las bobinas hasta los bornes y se conectan a ellos los cables y conductores de la red y el consumidor se conecta a los bornes 3 y 4 de la bornera como puede verse en la figura 1.7. Un puente (figura 1.7; punto 1 y punto 2), que también se llama conexión de contrastado, sirve para la separación de los circuitos de corriente y de tensión en las pruebas y contraste del contador.

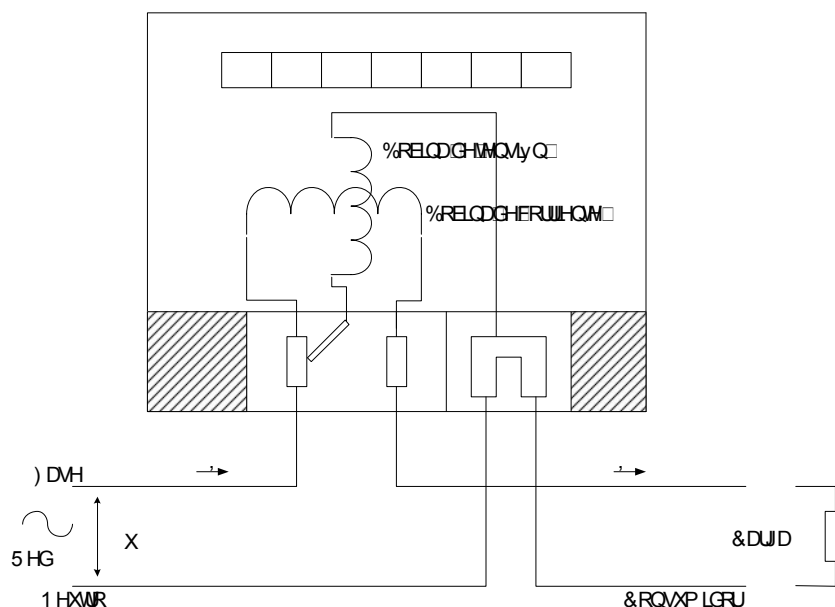


Figura 1.7: Instalación del contador monofásico.

Construcción del aparato de medición.

El aparato de medición contiene esencialmente:

1. Elemento de tensión: con bobina de tensión, núcleo de tensión y el polo o puente shunt.
2. Elemento de corriente: con bobina de corriente, y núcleo de corriente.
3. Imán de frenado o freno magnético.
4. Disco contador como rotor.

El elemento de tensión genera un flujo magnético debido a la tensión (ϕ_U), que atraviesa al disco contador, al igual que el elemento de corriente genera un flujo magnético debido a la corriente (ϕ_I), que también, atraviesa al disco contador dos veces y el imán de frenado genera un flujo magnético de frenado (ϕ_B), que también atraviesa al disco contador.

En el disco contador se generan: el par motor (M_D) como consecuencia de los flujos de tensión (ϕ_U) y de corriente (ϕ_I) que atraviesan el disco y son imagen de la potencia de carga P y el momento de frenado (M_B) como consecuencia del flujo de frenado (ϕ_B) producido por el imán de freno que también atraviesa el disco contador y es proporcional a la velocidad de rotación del disco contador (ω).

1.2.2 Generación del flujo de tensión.

La “bobina de tensión” genera un flujo (ϕ_S), cuyo valor es proporcional a la tensión, esta bobina tiene un número elevado de vueltas, de alambre fino para elevar su resistencia y está sostenida por un núcleo magnético en forma de “m”, el cual, está provisto de un polo.

Se utiliza un núcleo magnético de hierro de altas permeabilidad, para producir un campo magnético lo más intenso posible, cuando una corriente (I_U) circula en la bobina (corriente debida a la tensión). El flujo (ϕ_S) en la figura 1.8, no se puede utilizar directamente para la generación del par motor, debido a su desfase. El núcleo de tensión y el polo están contruidos de manera tal que el flujo (ϕ_S) se divide en:

- .- Dos flujos secundarios (alrededor de la bobina hacia la derecha y hacia la izquierda).
- .- El flujo de tensión (ϕ_U) en la figura 1.8, que atraviesa el disco contador en el entrehierro, entre el núcleo de tensión y el polo, para unirse después con los flujos secundarios en el núcleo de tensión (parte de arriba) para dar el flujo ϕ_S .

Propiedades principales del flujo de tensión (f_U).

- ϕ_U atraviesa al disco contador.
- El valor de (ϕ_U) es proporcional al valor de la tensión (U) de la red.
- (ϕ_U) atrasa 90° a la tensión (U).

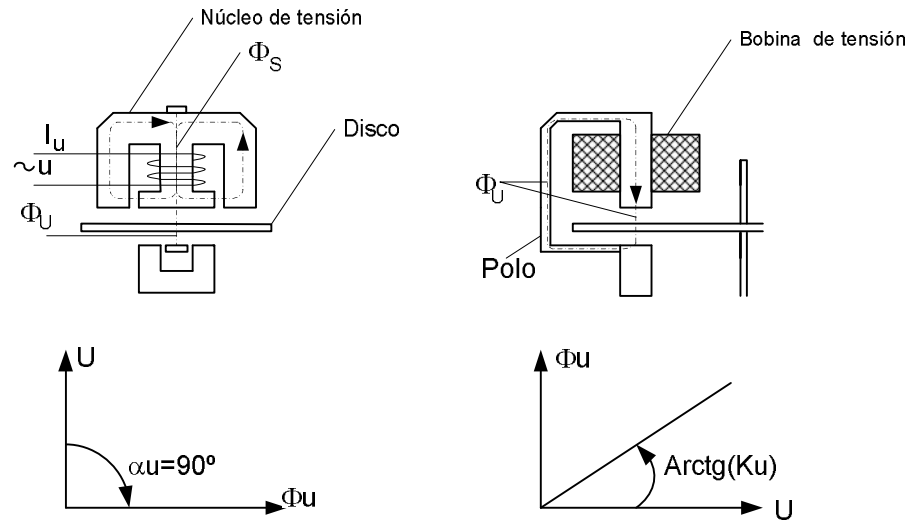


Figura 1.8: Imagen de la tensión..

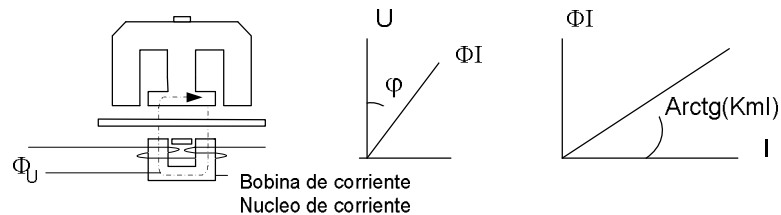
$$f_u = k_u \cdot U \quad \text{Ec. 1.5}$$

I.2.3 Generación del flujo de corriente.

Un núcleo magnético en forma de U (el núcleo de corriente) como se muestra en la figura 1.9, sostiene a la bobina de corriente, compuesta de dos partes (con pocas espiras de alambre grueso). Esta bobina genera el flujo de corriente (Φ_I), que atraviesa al disco en dos lugares. El camino del flujo de corriente pasa en parte por el núcleo de tensión.

Propiedades principales del flujo de corriente (Φ_I).

- Φ_I atraviesa al disco contador, dos veces
- El valor de (Φ_I) es proporcional al valor de la corriente (I) de la red.
- Φ_I esta en fase con la corriente (I).



$$f_I = k_{mI} \cdot U \quad \text{Ec. 1.6}$$

I.2.4 Corrientes inducidas en el disco.

Si se varía la magnitud del flujo magnético, que atraviesa el disco contador, se inducen corriente de Foucault en el disco de aluminio que es buen conductor. Estas corrientes recorren trayectorias cerradas y de forma circular, alrededor del flujo magnético que varía sinusoidalmente.

Para una frecuencia constante del flujo magnético (velocidad de la variación del flujo), el valor de la corriente inducida es proporcional al flujo. Sin embargo, la corriente inducida atrasa 90° respecto del flujo magnético; para simplificar se resumirá a las corrientes de Foucault en una corriente de disco (I_s), que circula en una trayectoria media con una resistencia media.

El flujo de tensión (ϕ_U) varía sinusoidalmente, ya que depende de la tensión de la red (U). Al atravesar al disco contador, el flujo de tensión (ϕ_U) induce una corriente de disco (I_{su}), sinusoidal, cuyo valor es proporcional al flujo de tensión (ϕ_U). Como está representado en el diagrama fasorial (figura 1.10) la corriente del disco (I_{su}) atrasa 90° del flujo de tensión (ϕ_U) y 180° de la tensión (U).

El flujo de corriente (ϕ_I) varía sinusoidalmente ya que depende de la corriente de carga (I), éste flujo de corriente atraviesa dos veces el disco: una vez a la izquierda desde abajo ($\cdot$) y una vez a la derecha desde arriba ($\times$). Al atravesar el disco contador, el flujo de corriente (ϕ_I) induce una corriente de disco (I_{si}), sinusoidal, cuyo valor es proporcional al flujo de corriente (ϕ_I). Como está representado en el diagrama fasorial (figura 1.11) la corriente del disco (I_{si}) atrasa 90° del flujo de corriente (ϕ_I) y de la corriente (I).

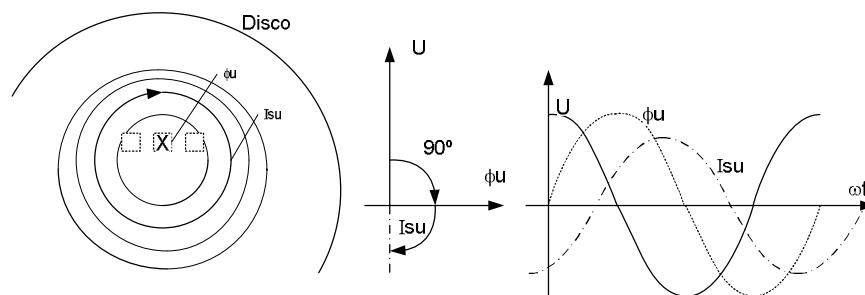


Figura 1.10: Variación sinusoidal del flujo de tensión.

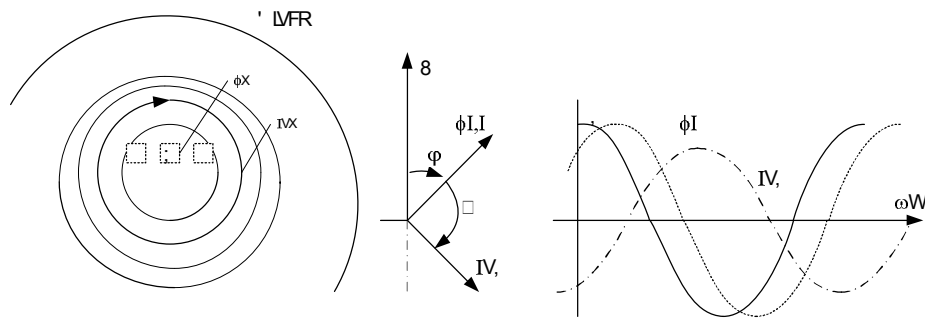


Figura 1.11: Variación sinusoidal del flujo de corriente.

I.2.5 Generación del momento de giro en el disco contador.

Sobre todo conductor dentro de un campo magnético, y atravesado por una corriente, actúa una fuerza electromagnética. La porción del disco contador que se encuentra en el entrehierro de dos polos magnéticos, lo atraviesa un flujo magnético (ϕ), y si ese mismo lugar del disco es recorrido por una corriente (i_s), entonces se generará una fuerza electromagnética (F), figura 1.12.

La magnitud de la fuerza (F) queda determinada por: el valor de la corriente de disco (i_s), el valor de la densidad de campo magnético (B), también llamado inducción, y por la longitud (l) de la trayectoria de la corriente que se encuentra dentro del campo magnético, con el campo magnético repartido uniformemente, siendo el flujo magnético (ϕ) el producto de:

$$f = B \cdot A$$

Densidad de campo (B), superficie del polo (A).

Siendo el momento de giro:

$$\text{Momento de giro} = \text{Fuerza} \cdot \text{Radio}$$

El momento de giro queda determinado por:

- Una constante (c) que depende únicamente de las dimensiones (l, A, Radio) del contador.
- Del producto: flujo magnético · corriente del disco.

En el par motor, este producto es la base de la operación de multiplicación:

$$\text{Tensión} \cdot \text{corriente.}$$

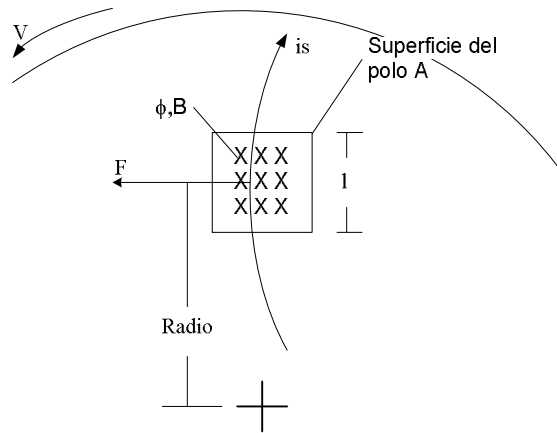


Figura 1.12: “Momento de giro en el disco contador.”

De la figura 1.12 se tienen las siguientes ecuaciones [LANDIS & GIR 77]:

$$\text{Fuerza:} \quad F = B \cdot l \cdot i_s \quad B = \frac{f}{A} \quad F = \frac{l}{A} \cdot f \cdot i_s$$

$$\text{Momento de giro:} \quad M = F \cdot Radio \quad M = \frac{l}{A} \cdot Radio \cdot f \cdot i_s = c \cdot f \cdot i_s$$

$$M = c \cdot f \cdot i_s \quad \text{Ec. 1.7}$$

El momento de giro es proporcional al producto: Flujo magnético · corriente de disco.

Las direcciones de referencia se fijan como sigue:

1. Flujos magnéticos: (ϕ) se consideran positivos si atraviesan el disco contador de arriba hacia abajo, así el flujo negativo será el que atravesase el disco de abajo hacia arriba.
2. Corrientes del disco: (i_s) se consideran positivos si circulan en el sentido de las agujas del reloj.
3. Momento de giro: (M_D) se cuentan como positivos si actúan en la dirección de giro del disco (ω) dibujada y que está normalizada internacionalmente.

I.2.6 Generación de la fuerza electromagnética de accionamiento: momentos parciales.

Los flujos que atraviesan el disco son el flujo debido a la tensión (ϕ_u), y el flujo debido a la corriente (ϕ_I), como estos flujos son variables, es decir, son producidos por una tensión alterna y una corriente alterna, inducen corrientes de disco alrededor de los flujos magnéticos.

En la figura 1.13, para igual dirección de flujo (ϕ_u , ϕ_I), las corrientes inducidas (i_{SU} , i_{SI}), tienen el mismo sentido de circulación y atraviesan el campo electromagnético restante en dirección contraria, debido al flujo de la bobina de corriente que atraviesa el disco de arriba hacia abajo:

.- La corriente de disco (i_{SI}) inducida por el flujo de corriente (ϕ_I) atraviesa el campo magnético (ϕ_u) según la dirección: centro del disco hacia la periferia, y genera una fuerza (F_1) electromagnética y un momento de giro (M_1) dirigido hacia la izquierda.

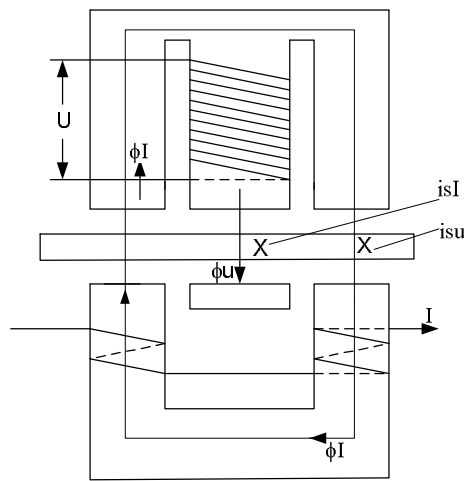


Figura 1.13: Momentos parciales

.-La corriente de disco (i_{SU}) inducida por el flujo de tensión (ϕ_U) atraviesa el campo magnético (ϕ_I) en dirección: borde del disco hacia el centro, y genera una fuerza (F_2) electromagnética y un momento de giro (M_2) dirigido hacia la derecha.

El par motor está compuesto (M_D) por los dos componentes: Momento parcial (M_1) y Momento parcial (M_2). Siendo el par motor (M_D) resultado de la diferencia entre los dos momentos parciales.

$$M_D = M_1 - M_2. \quad \text{Ec. 1.8}$$

$$M_1 = C \cdot f_U \cdot i_{SI} \quad M_2 = C \cdot f_I \cdot i_{SU} \quad \text{Ec. 1.9}$$

I.2.7 Generación de par motor (Momento impulsor) por flujos de variación sinusoidal.

Si se conoce la amplitud y el desfase de la tensión (U) de la red y la corriente (I), se pueden ubicar en un diagrama fasorial (figura 1.14) los flujos magnéticos (ϕ_U , ϕ_I) y las corrientes de disco (i_{SI} , i_{SU}).

Situación de funcionamiento del contador:

- La corriente y la tensión son funciones sinusoidales del tiempo.
- La corriente (I) atrasa a la tensión (U) en un ángulo (φ).
- El flujo de corriente (ϕ_I) está en fase con la corriente (I).
- El flujo de tensión (ϕ_U) atrasa al flujo de corriente (ϕ_I) en un ángulo (ψ).

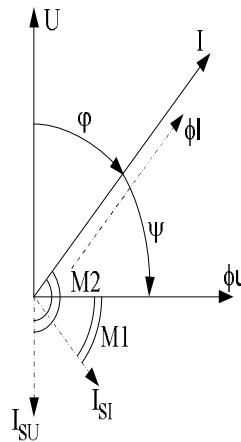
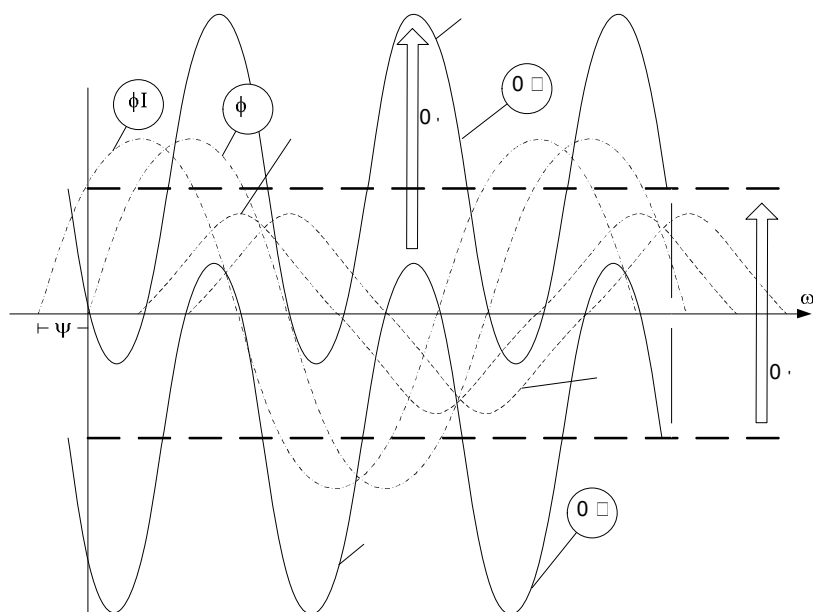


Figura 1.14: Diagrama fasorial de los momentos.

Del diagrama fasorial de la figura 1.14 y basados en la forma sinusoidal de la tensión y las corriente, se pueden dibujar las formas de ondas de: el flujo de tensión (Ec. 1.5), del flujo de corriente (Ec. 1.6) y las de las corrientes de Foucault inducidas por estos flujos, dando como resultado la figura 1.15. En esta misma figura también se puede dibujar los momentos producidos sobre el disco (Ec. 1.9).

De la Ec. 1.8 y de la figura 1.15 se deduce que el par motor o impulsor es constante (M_D), donde las componentes dinámicas se cancelan y quedan solo las componentes constantes del momento, independientemente de su variación en el tiempo.



Tercera igualdad principal del contador electromecánico o de tipo Ferraris.

Utilizando los valores instantáneos de los flujos y de las corrientes inducidas en el disco de la figura 1.15, se obtiene la ecuación sinusoidal e imagen de la potencia eléctrica medida.

$$\begin{aligned}
 f_U &= \sqrt{2} \cdot \Phi_U \cdot \text{sen} \omega t & f_I &= \sqrt{2} \cdot \Phi_I \cdot \text{sen}(\omega t + y) \\
 i_{SU} &= -\frac{\omega}{R_S} \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_U \cdot \cos \omega t & i_{SI} &= -\frac{\omega}{R_S} \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_I \cdot \cos(\omega t + y) \\
 M_1 &= C \cdot f_U \cdot i_{SI} & M_2 &= C \cdot f_I \cdot i_{SU} & M_1 &= c \cdot f_U \cdot i_{SI} & M_2 &= c \cdot f_I \cdot i_{SU} \\
 \text{Si } M_1 &= 0, \text{ entonces } & M_D &= M_1 - M_2 & M_D &= -M_2 \\
 M_D &= -M_2 = -c \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_I \cdot \text{sen}(\omega t + y) \cdot \left(-\frac{\omega}{R_S} \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_U \cdot \cos \omega t \right) \\
 M_D &= c \cdot 2 \cdot \frac{\omega}{R_S} \cdot \Phi_I \cdot \Phi_U \cdot \text{sen} y \\
 M_D &= c_m \cdot \Phi_I \cdot \Phi_U \cdot \text{sen} y
 \end{aligned}$$

Ec. 1.12

1.2.9 El par motor es proporcional a la potencia.

Si el seno del ángulo (ψ) entre los dos flujos es igual al coseno del ángulo (ϕ), entre la tensión de la red (U) y la corriente de carga (I), el par motor (M_D) se hace proporcional a la potencia activa (P).

Como el flujo de tensión (ϕ_U , ϕ_I), siempre se mantiene desfasado 90° grados respecto de la tensión (U), y el flujo de corriente (ϕ_I) está en fase con la corriente (I), el ángulo (ψ) constantemente complementa al ángulo (ϕ) para formar 90° (figura 1.16).

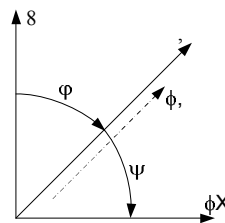


Figura 1.16 Par motor proporcional a la potencia activa.

$$M_D = c_m \cdot \Phi_I \cdot \Phi_U \cdot \cos j \quad \text{Ec. 1.12.1}$$

Atraso del flujo de tensión: $a_U = 90^\circ$.

Se conoce que el núcleo de la bobina de tensión tiene forma de M, y que la corriente (I_U) que circula por la bobina de tensión y el flujo generado (ϕ_S) por ella, están en fase.

Con el núcleo magnético en forma de M y el polo o puente shunt se divide el flujo (ϕ_S) en dos flujos desfasados entre si, precisamente en forma vectorial ($\phi_S = \phi_N + \phi_U$). Siendo el flujo adyacente (ϕ_N) el que recorre el núcleo en forma de M sobre las trayectorias izquierdas y derecha, y el flujo (ϕ_U) el que atraviesa el disco a través del polo o shunt.

El flujo (ϕ_U) es fuertemente influenciado por las corrientes del disco, se atrasa con respecto al flujo de la bobina (ϕ_S). Con una elección adecuada del recorrido de los flujos, (ϕ_U) atrasa 90° de la tensión (U).

I.2.10 Par motor total.

En la figura 1.13, se puede ver como el flujo de corriente atraviesa al disco contador dos veces. Para la simplificación no se tuvo en cuenta el efecto del flujo de corriente en el lado izquierdo. Saliendo del lado izquierdo del núcleo de corriente, el flujo de corriente (ϕ_{IL}) atraviesa al disco contador de abajo hacia arriba. La corriente en el disco (I_{SU}), inducida por el flujo de tensión atraviesa también este campo magnético y genera otro momento parcial (M_{2L}) que está dirigido hacia la derecha. Este momento (M_{2L}) es igual en magnitud y en dirección al momento parcial (M_{2R}).

El hecho es que el flujo de corriente atraviesa al disco contador dos veces y esto no tiene influencia sobre las relaciones básicas en el contador vistas anteriormente y lo único que varía es el par motor (M_D), que es dos veces mayor que el anteriormente deducido.

Imán de freno.

Es un imán permanente que se utiliza para la producción del momento de frenado.

En todo conductor que se mueve en un campo magnético constante, se inducen tensiones y corrientes.

Este imán permanente produce un campo magnético constante y sin variar en el tiempo, llamado flujo de frenado (ϕ_B), este flujo atraviesa el disco que se encuentra entre las caras polares del imán de freno. Con el giro del disco se producen corrientes de Foucault en la zona atravesada por el flujo del imán de freno o zona de frenado. Estas corrientes recorren trayectorias cerradas a ambos lados del polo magnético y en sentido contrario a las agujas del reloj, que se puede resumir en una sola corriente (I_{SB}).

$$I_{SB} = C_B \cdot B \cdot w \quad \text{Ec. 1.13.}$$

Esta corriente atraviesa el campo magnético (ϕ_B) y produce de esa forma la fuerza de frenado y el momento de frenado:

$$F_B = c_K \cdot f_B \cdot I_{SB} \quad M_B = c_K \cdot R_B \cdot f_B \cdot I_{SB}$$

De donde:

$$M_B = C_2 \cdot w \quad \text{Ec. 1.13.1}$$

C_2 representa la constante de frenado.

El momento de frenado siempre va en contra de la velocidad y es proporcional a esta.

1.3 Normas de verificación y Método de calibración.

Verificación.

La verificación es un ensayo al que se somete un medidor de energía para determinar el error con que mide la energía y comprobar si el error está dentro del margen permitido.

Las normas existentes ya sean, COVENIN, IEC, ANSI sólo aplican a las pruebas de VERIFICACIÓN de los medidores; para cada una de las pruebas del proceso de verificación las normas indican los márgenes de error que deben cumplir los medidores para poder contarle el consumo de energía eléctrica a un usuario del servicio y que en definitiva, son las normas implícitas para el proceso de calibración de los medidores de energía eléctrica.

Proceso de verificación de la medición de energía de los medidores según la norma venezolana COVENIN. Norma 964-90.

“Contadores de energía eléctrica activa de inducción monofásicos, clase 0,5 , 1 y 2.”

De esta norma se menciona lo que corresponde al proceso que verifica la exactitud con la que debe medir la energía un contador durante las tres pruebas a las que se someten los medidores en el proceso de verificación:

- 1.-Plena carga: corriente nominal , tensión nominal y factor de potencia igual a uno.
- 2.-Carga inductiva: Tensión nominal, corriente nominal y factor de potencia en 0,5.
- 3.-Pequeña carga: Tensión nominal y 10 % de corriente nominal con factor de potencia igual a uno.

Márgenes de ajustes y Exactitud del contador (contraste):

El contador a ser ensayado deberá tener como error en el contraste los que muestra la tabla 1.1, errores bajo los cuales debe medir la energía eléctrica y que dependen de la clase del medidor.

TABLA 1.1. Contraste.

Condición	% Vn	% In	Factor de potencia	% Error admisible		
				Clase 0,5	Clase 1	Clase 2
Pequeña carga	100	10	1	± 0,5	± 1,0	± 2,5
Plena carga	100	100	1	± 0,5	± 1,0	± 2,5
Carga inductiva	100	100	0,5 ind	± 0,5	± 1,0	± 2,5

I.4 Calibración.

El proceso de **calibración** es el que se realiza en los elementos de ajuste de los medidores para darle así la exactitud recomendada, de manera que registre la energía eléctrica a medir dentro de los errores admisibles.

El proceso de calibración lo recomienda cada fabricante en los manuales de cada uno de sus medidores de disco.

Ellos indican los efectos que tiene (la resolución) cada elemento de ajuste en la calibración, así como la influencia de un ajuste sobre los ajustes hechos anteriormente, y además indican la exactitud o error con que se debe realizar la calibración y que generalmente son los recomendados por las normas. Los medidores actuales de disco sólo permiten tres ajustes que son los que indican las normas y que se llaman:

- a) Carga nominal (CN)
- b) Carga pequeña (CP)
- c) Carga inductiva (CI)

Estos ajustes se realizan actuando directamente sobre los dispositivos de ajuste (tornillos o pernos) haciéndolos girar en un sentido o en otro, aumentando o disminuyendo en determinada cantidad el factor que se desea calibrar o ajustar.

En la sección Laboratorio de medidores del centro de servicio (c/s) chacao de LA ELECTRICIDAD DE CARACAS AES, el proceso de calibración de los medidores se realiza hasta que en cada ensayo la mesa calibradora indique una desviación del 0,2 %; siendo el orden en el proceso de calibración el siguiente:

a) Carga nominal con factor de potencia 1:

Es la primera calibración que se le hace al medidor o contador de energía (a plena carga, es decir, el 100 % de la carga nominal y con un factor de potencia igual a 1 ($\cos\phi=1$)). Esto equivale al ajuste grueso del medidor porque actúa directamente sobre uno de los componentes del principio de funcionamiento del contador electromecánico o de tipo Ferraris, actúa en el par de frenado.

b) Carga inductiva o $\cos\phi=0.5$.

La segunda prueba a someter el medidor es igualmente a plena carga pero con factor de potencia 0,5, que representa el promedio entre factor de potencia 1 y un factor de potencia 0, y debido a que las cargas conectadas generalmente por el consumidor son resistivas-inductivas.

Este ajuste se realiza actuando sobre el elemento de ajuste denominado CI (carga inductiva) y regula la energía que es activa para el consumidor. Aquí se regula:

La fase entre la carga y el voltaje aplicado, actuando sobre el flujo inducido por la bobina de corriente en el par de giro, esto se hace variando la resistencia de desviación del flujo de la bobina de corriente, ajustando así el factor de potencia.

c) Carga pequeña.

La tercera y última prueba es lo que corresponde a un ajuste fino y se hace sometiendo al contador de energía al 10 % de la carga, a voltaje nominal y con factor de potencia uno, aquí se actúa variando el efecto del flujo del circuito de voltaje.

Al hablar de verificación se debe aclarar que los medidores electrónicos en el laboratorio de medidores de la C.A LA ELECTRICIDAD DE CARACAS AES, no se calibran, simplemente se verifica que cumpla con las normas de contrastado, y si las cumple se les da uso, de lo contrario se les envía a la empresa fabricante para que los calibre, esto se hace por diversas razones como:

a) La mayoría de los medidores electrónicos están hechos con algún circuito integrado programable, con un software que los hace funcionar y calibrarlos es adquirir ese software que representan un costo adicional al del medidor en si, además existen muchas marcas, para adquirir los software de todos los medidores usados.

b) También influye el hecho de que cada medidor electrónico es alrededor de siete veces más costoso (aproximadamente cuestan 350 \$) que un medidor electromecánico o de tipo Ferraris.

Otro método para calibrar: Cálculo del tiempo de giro.

Si no se dispone de un medidor patrón se tiene que calcular el tiempo de giro que necesita el disco para efectuar una determinada cantidad de vueltas para una carga constante. Siendo esto básicamente el mismo cálculo de error del medidor patrón pero con el tiempo en vez del número de vueltas, se calcula el tiempo teórico para que el disco del contador gire determinada cantidad de vueltas

y se compara con el tiempo real que emplea el disco para realizar la misma cantidad de vueltas dando el error correspondiente.

Ejemplo:

Tensión nominal: 220 V. Corriente nominal: 10 A. Constante del contador: $K = 480 \text{ rev/kWh}$.

Si $\cos\phi = 1$ entonces la velocidad del disco es:

$$v = K \cdot P = K \cdot V \cdot I = 480 \cdot 220 \cdot 10 = 17,6 \text{ rev/min}.$$

Siendo el tiempo teórico para girar 10 rev:
$$T = \frac{\Delta N}{V} = \frac{10 \text{ rev}}{17,6 \text{ rev/min}} = 34,09 \text{ s}$$

Cálculo del error para método de tiempo de giro.

$$\% \text{ DESVIACIÓN} = \frac{\text{TIEMPO TEÓRICO} - \text{TIEMPO REAL}}{\text{TIEMPO REAL}} \times 100$$

CAPÍTULO II

MÉTODO DE LAS CONSTANTES O COMPARACIÓN DE PULSOS.

II.1 Método de las constantes.

Este método permite calcular la desviación con la que un instrumento contador mide la energía, para ello utiliza un instrumento de precisión como elemento de control (patrón) y las constantes de los medidores. Así, el método relaciona los pulsos del medidor de precisión por revolución de un medidor en verificación, involucrando las constantes de los medidores y el hecho de que por ambos medidores circula la misma energía.

Constante del medidor.

Esta constante, relaciona las revoluciones que da el disco del contador debido a la cantidad de energía que este mide. Esta constante se indica en la placa de características del medidor y es expresada de dos maneras, según la procedencia del medidor, si son europeos o americanos y franceses.

Constante europea “C” o “c”:

Se expresa en: [rev / kWh].

Constante Americana y francesa “K” o “k”:

Se expresa en: [Wh / rev]

La energía también se puede indicar por medio de las constantes [Pfister 76].

a) Medidor europeo:

$$E[kWh] = \frac{n}{c} \quad \text{Ec. 2.1}$$

n: giros del disco del medidor.

c: (rev / kWh.).

b) Medidor americano y francés:

$$E[kWh] = \frac{n \cdot k}{1000} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde k: (Wh / rev)

Obteniendo, así dos formas de medir la energía:

$$E[kWh] = \frac{n}{c} = \frac{n \cdot k}{1000} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Nuevamente, en las pruebas de verificación y calibración, la energía que circula por el medidor de precisión y por los medidores en ajuste es la misma, de esta manera se puede obtener teóricamente los pulsos que emite un medidor de precisión por revolución del medidor en ajuste, igualando las ecuaciones 2.1 y 2.2 o 2.1 con 2.1, con ella misma, si ambos medidores tienen el mismo tipo de constante. Como en el proyecto de la mesa el medidor de precisión tiene constante de tipo europea, los dos casos que pueden ocurrir para determinar teóricamente los pulsos del patrón son los siguientes:

I^{er} caso: **Prueba de un contador de energía europeo con un patrón europeo.**

N: revoluciones del medidor patrón n: revoluciones del medidor en ajuste

$$E = \frac{N}{C} = \frac{n}{c} \quad \text{C: constante del medidor patrón.} \quad \text{c: constante del medidor en ajuste}$$

$$\text{Despejando N:} \quad N = \frac{C \cdot n}{c} \quad \text{Ec. 2.4}$$

II^{do} caso: **Prueba de un contador de energía americano con un patrón europeo.**

$$E = \frac{N}{C} = \frac{n \cdot k}{1000} \quad \text{k: Constante del medidor (Wh / rev).}$$

$$\text{Despejando N:} \quad N = \frac{C \cdot k \cdot n}{1000} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Estos dos casos determinan o calculan los pulsos que emite el medidor patrón de energía por el número de vueltas que se elijan del medidor en ajuste.

Físicamente, el medidor patrón y los medidores bajo ensayo miden la misma energía solo que adicionalmente debe haber un contador que registre los pulsos del medidor patrón por vuelta del medidor bajo ensayo, de esta manera se determinan los pulsos contados del patrón que se comparan con los pulsos calculados del contador patrón referidas al contador bajo ensayo, determinando así el error que tiene un medidor de energía.

II.2 CÁLCULO DEL ERROR.

$$\% \text{ Desviación} = \frac{\text{Pulsos patrón} - \text{Pulsos contados}}{\text{Pulsos contados}} \times 100 \quad \text{Ec. 2.6}$$

El calculador de error se basa en el método de comparación de pulsos y para realizarlo se debe tener el dispositivo contador y un software en el PC que calcule, los pulsos patrón mediante las ecuaciones 2.4 y 2.5 y finalmente calcule el error o desviación que tiene todos los contadores de energía instalados en la mesa mediante la ecuación 2.6, para lo cual, solo es necesario que los módulos envíen al PC las revoluciones o pulsos registrados.

II.2.1 Error respecto al valor real del método de comparación de pulsos.

Las vueltas patrón o pulsos patrón tienen una desviación respecto al valor verdadero siendo este valor para la ecuación 2.4 y 2.5 los siguientes:

$$\Delta N = \frac{n}{c} \cdot \Delta C + \frac{n \cdot C}{c^2} \cdot \Delta c \quad \text{Ec. 2.7} \quad \Delta N = \frac{k \cdot n}{1000} \cdot \Delta C + \frac{n \cdot C}{1000} \cdot \Delta k \quad \text{Ec. 2.8}$$

Con $n=1$, el primer término de las ecuaciones 2.7 y 2.8 tiene el mayor peso en la determinación de la desviación teórica de las vueltas respecto del valor real, es decir, en el segundo término de las ecuaciones 2.7 y 2.8 interviene el error del medidor en proceso de calibración, que es el que desea reducir por este método y que haciéndole los ajustes necesarios en la calibración se puede hacer que este gire con el valor de la constante que el indica. La desviación de las vueltas teóricas depende del error que tiene el medidor patrón en su constante (primer término de las ecuaciones 2.7 y 2.8) siendo este de precisión y por tener una clase 0.05 % (según fabricante), las desviaciones serán como sigue:

Si $c=833,333 \text{ rev/kWh}$, $C=12 \times 10^6 \text{ rev/kWh}$, $k=1,2 \text{ Wh/rev}$ y $n=1$ entonces:

Para ambas ecuaciones (2.7 y 2.8) $\Delta N = \pm 7,2$

Esto implica que se tiene un error o desviación del valor real del $\pm 0,05 \%$ para la calibración del medidor, adicional al que se indique en el proceso de calibración.

CAPÍTULO III
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA MESA
CALIBRADORA.

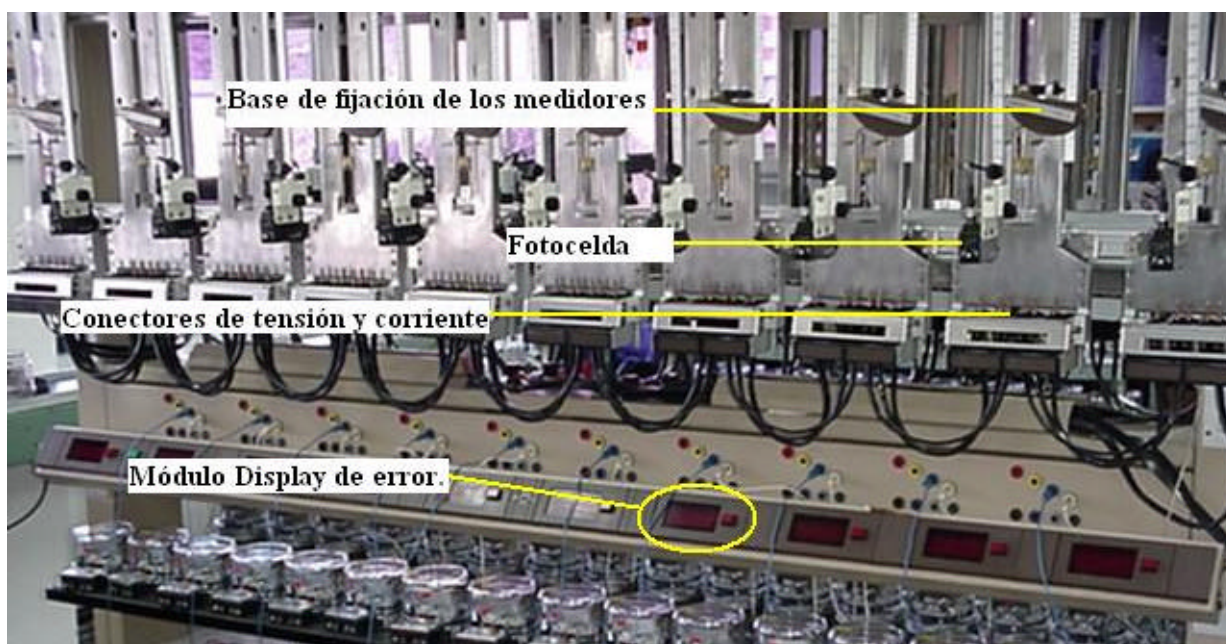


Figura 3.1: Estructura de mesa calibradora de medidores.

La figura 3.1 muestra como está construida una mesa para calibrar medidores, consta de una estructura donde están colocados: las base para fijar los medidores, justo sobre los conectores de tensión y corriente; el sensor de contraste del disco para ubicarlos delante del sitio de colocación de los medidores y el riel donde se colocan los módulos de display que muestran el error de cada medidor.

La figura 3.2 muestra una sección de la mesa correspondiente a un solo medidor, en esta figura pueden verse los conectores que entran en la bornera del medidor por los cuales se les suministra la energía (tensión y la corriente) a medir por el medidor, también, muestra como se indica el error de cada medidor en proceso de ajuste en su visualizador de error individual.

La mesa conecta en serie, las bornas correspondiente a la corriente de todos los medidores bajo ensayo y en paralelo las bornas correspondientes a la tensión, así, se le presenta simultáneamente la misma energía eléctrica a todos los medidores.

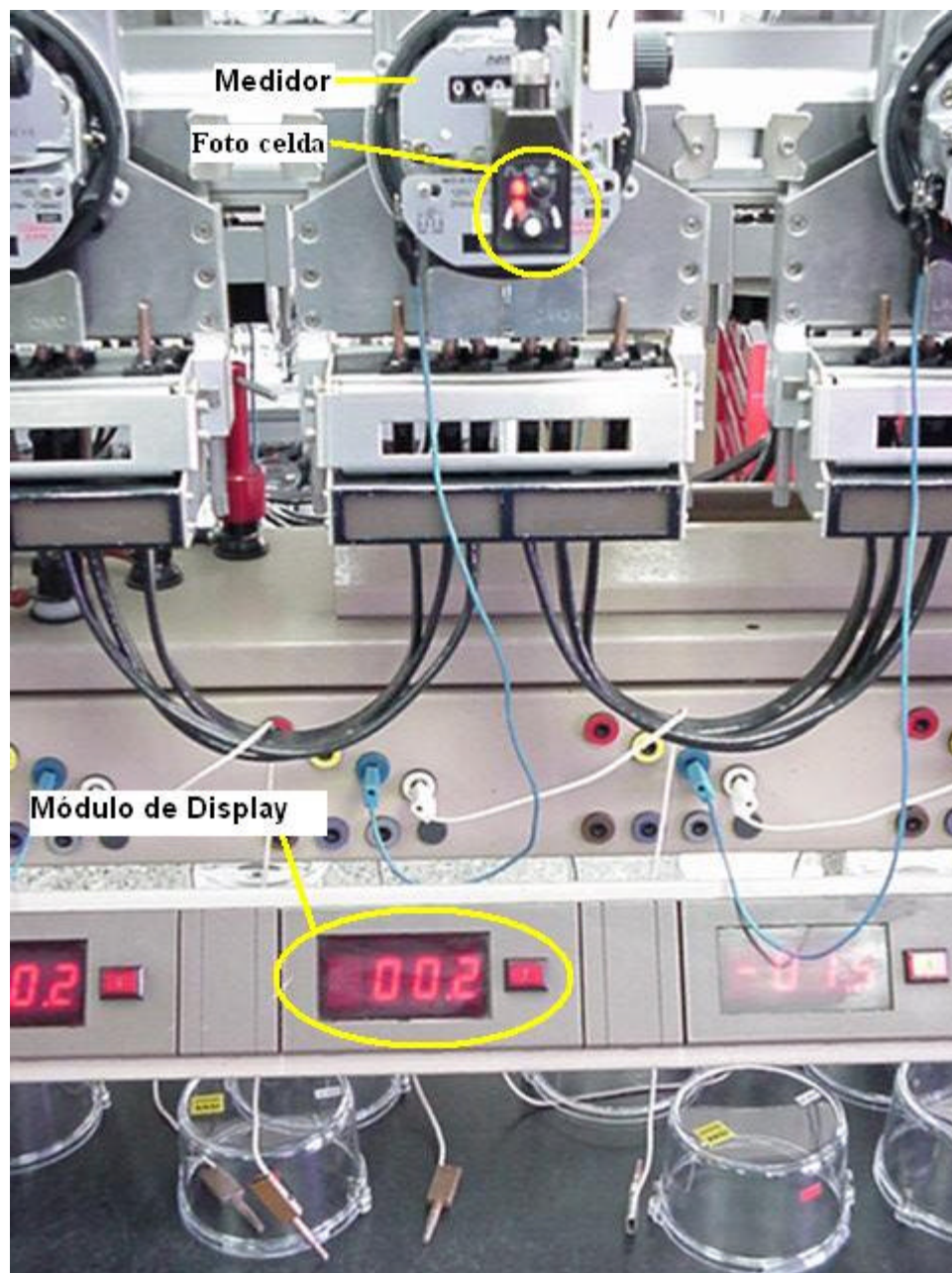


Figura 3.2: Estructura individual de un medidor en la mesa.

La gaveta de alimentación es capaz de suministrar tensiones en el rango de 0 a 150V, corrientes de 0,5 A, 1 A, 2 A, 5 A, 10 A, 20 A y 50 A y con factor de potencia de 1 ó 0,5.

Para mas detalles sobre la construcción y características de la mesa calibradora en cuanto a la gaveta de alimentación, se sugiere al lector el análisis de sus diagramas esquemáticos eléctricos, cuyo diseño e implementación fue realizado por el personal del laboratorio de medidores del C/S Chacao. Dicho diagrama puede apreciarse en el apéndice A.

III.1 Funcionamiento de la mesa calibradora.

En la gaveta se ajusta la tensión (120 V), se selecciona y se ajustan, la corriente y el factor de potencia que se le suministran a todos los medidores, produciendo el giro en sus discos, giro que es detectado por el sensor de contraste (celda fotoeléctrica) cuando la marca negra (generalmente) del disco entra en contacto con el haz de luz del sensor; esta energía también es medida por el medidor patrón, que emitirá en su salida una cantidad de pulsos por los kWh suministrados.

Para el objetivo de este trabajo, el calculador de error desarrollado contará la cantidad de pulsos emitidos por el medidor patrón en cada vuelta del medidor en ensayo, cuenta que envía a el PC para los compare con los pulsos patrón calculados por él según el método de las constantes, y determinando así, la desviación que tiene el medidor de energía en ensayo. La cifra de desviación relativa es enviada al circuito electrónico diseñado para mostrarla, en la mesa, en un lugar cercano al medidor correspondiente, como se muestra en la figura 3.2 y también, la cifra de desviación se muestra en la pantalla del PC.

III.2 Requerimiento principal CALCULADOR DE ERROR.

La mesa calibradora disponía de los sensores de contraste o celdas fotoeléctricas, del medidor patrón de energía y de la gaveta que suministra la energía eléctrica a todos los medidores durante los ensayos, faltándole a la mesa sólo el **calculador de error**.

El **calculador de error** se basa en el método de las constantes, el cual, calcula la desviación que tienen los medidores bajo ensayo, comparando los pulsos que se cuentan del medidor patrón (medidor de precisión) por cada revolucione de los medidores bajo ensayo, con los pulsos patrón calculados

(también, por el método de las constantes) y determinar, la desviación que tienen los pulsos efectivos contados, de los pulsos patrón calculados. Finalmente se muestra el error con el que el medidor en ajuste está midiendo la energía.

Para realizar el **calculador de error** se necesita:

1. Un circuito que determine la cantidad de energía medida por el medidor patrón en el intervalo de tiempo que dure el ensayo, duración que está determinada por la culminación de un número predeterminado de vueltas del disco del medidor bajo ensayo.
2. Que el mismo circuito sea capaz de detectar del sensor (celda fotoeléctrica), las revoluciones del medidor bajo ensayo.
3. Que el modulo de Display le suministre la alimentación a la celda fotoeléctrica.
4. Que cada módulo estableciera una comunicación con el PC para enviarle a éste la cuenta que hizo de los pulsos del medidor patrón por las revoluciones seleccionadas del medidor en calibración.
5. El programa en el PC deberá obtener de los módulos las cuentas representativas de la energía medida por cada medidor, así mismo, deberá obtener la medida del medidor patrón y establecer la desviación relativa de las medidas de cada contador con respecto a la del patrón. Finalmente devolverá en el formato adecuado las desviaciones a los módulos de Display.
6. El módulo de Display debe recibir la cifra de error para mostrarla en cuatro display siete segmentos.
7. El calculador de error debe detectar, tanto el valor de la corriente como el valor del factor de potencia suministrados en los distintos para enviarlos al PC y mostrarlos en una sección de su pantalla y utilizarlos en los cálculos teóricos.
8. Cada módulo de Display necesita un botón de inicio local permitiéndole al operador, hacer el ajuste y ver más rápidamente el error del ajuste realizado.
9. Se necesita diez módulos de Display, uno para cada medidor en ensayo. Permitiendo indicar el error que tiene cada uno de ellos durante el ensayo.
10. El sistema requiere de un botón de inicio general que recomience simultáneamente los once módulos que requiere la mesa.
11. Además de los diez módulos que manejan las variables del cálculo del error de cada medidor, se necesita un circuito adicional que maneje la comunicación de los diez circuitos (y este mismo) con la PC y se encargue de detectar de la gaveta la corriente que ésta está suministrando.

12. Se necesita dar un reporte del resultado del proceso de calibración realizado.
13. Se requiere también que una vez comprobado el correcto funcionamiento los circuitos diseñados, estos quedaran en tarjetas de circuito impreso y poder empotrarlos en un riel debajo de los diez medidores donde coincidan estos con su respectivo margen de ajuste.

III.3 Cabeza lectora fotoeléctrica (SH10) marca MTE.

La cabeza lectora fotoeléctrica, es un sensor óptico que reconoce los cambios de contrastes o niveles de claro a oscuro. Figura 3.3.

III.3.1 Aplicación.

La cabeza lectora es apta tanto para el uso con contadores electrónicos (con emisión de pulsos luminosos de LED) como para contadores electromecánicos. La selección de lectura del disco o lectura de pulsos luminosos de LED se realiza mediante un selector. Está provista de lentes ópticos de precisión y calidad que hacen a la cabeza lectora casi insensible a luces ajenas al sistema.



Figura 3.3: Cabeza lectora fotoeléctrica SH10 de MTE.

III.3.2 Lectura del disco giratorio de contadores electromecánicos o de tipo Ferraris.

Con un haz luminoso de color verde, la foto-celda consigue un reconocimiento óptimo de los diferentes contrastes (colores claros y oscuros) de marcas del disco, incluyendo rojo o negro y dentro de estas categorías de colores mate o brillo. El disco en si puede ser áspero, liso o pulido y además con marcas estroboscópicas. La salida que la cabeza suministra es un pulso, desde el comienzo y hasta el final de la marca del disco.

III.3.3 Lectura de impulsos de LED en contadores electrónicos.

Las señales de pulsos ópticos de contadores electrónicos pueden ser recibidas y evaluadas por la cabeza lectora SH10. Las características que debe tener la salida del contador electrónico deben ser las siguientes:

1. La longitud de impulso debe ser mayor a 100 μ s y la pausa del impulso ha de ser mayor que 600 μ s.
2. El cambio de oscuro a claro debe efectuarse en un tiempo menor a 20 μ s y el cambio de claro a oscuro en un tiempo menor a 100 μ s.
3. Pulsos cortos o pulsos con una relación de 1:1 (sin modulación o con un tiempo de conexión modulado de 8 khz.) pueden ser leídos hasta una frecuencia de 800 Hz.
4. La longitud de onda de la señal recibida tiene que estar dentro del rango 500 – 900 nm.

La salida de pulsos de la cabeza lectora genera un impulso positivo de aproximadamente 0,5 ms por encima de la duración de la señal LED recibida.

III.3.4 Características eléctricas de la señal de salida (OUT).

Conexión de salida:	NPN
Tensión alta:	Us-0,7 V (sin carga)
Tensión baja:	≤ 2 V
Señales de salida:	Marca / LED on = ALTO ; Disco / LED off = BAJO
Intensidad de salida:	< 100 mA, protegida contra corto circuitos.

La selección de la carga (fija para la mesa) de 5 A se debe a que en este rango el medidor tiene el menor error, como lo muestra la figura 3.7, según la curva suministrada por el fabricante. Se escoge la salida RA/3 que genera 12×10^6 PULSOS/kWh., porque ésta permite que el microcontrolador usado en el proyecto, cuente los pulsos con el tiempo suficiente entre ellos para almacenar la nueva cifra de los pulsos contados, sin perder la cuenta de alguno de ellos brindando así, una buena precisión en el cálculo del error.

Tabla 3.1 Constante de pulsos para medidas de energía del medidor patrón.

Tensión nominal [V]	Corriente nominal [A]	Potencia máxima [W]	Constante en PULSOS./ kWh.		
			Salida 1 RA/12	Salida 2 RA/3	Salida 3 RA
120	1	240	15×10^3	60×10^6	180×10^6
80-160	5	1200	3×10^3	12×10^6	36×10^6

III.4.1 Utilidad del medidor patrón.

Como lo indica el método de comparación de las constantes, el medidor patrón es el elemento de control que permite el ajuste de los medidores, simplemente, el método usa las constantes de ambos medidores para determinar cuantas revoluciones o pulsos patrón debe emitir el medidor patrón por revolución del medidor en ajuste; estos pulsos patrón se comparan con los pulsos efectivos contados del medidor patrón por vuelta del medidor en ajuste, obteniéndose el error con que un medidor mide la energía.

Recordando las ecuaciones del método:

$$Emc = Emp \quad \frac{n}{c} = \frac{N}{C}$$

$$N = \frac{n \cdot C}{c}$$

Ec. 3.1

n: Vueltas del medidor a calibrar

c: Constante del medidor a calibrar.

N: Vueltas del medidor patrón.

C: Constante del medidor patrón.

En la ecuación. 3.1 las constante de ambos medidores son constantes dadas en las unidades de rev/kWh., lo que se conoce como constante europea.

Con los pulsos patrón obtenidos de la ecuación 3.1 y los contados por el microcontrolador (para el calculador de error diseñado) se obtiene el error del medidor a calibrar, utilizándose la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Pulsos patrón} - \text{Pulsos contados}}{\text{Pulsos contados}} \times 100 \quad \text{Ec. 3.2}$$

La señal de salida del patrón es un tren de pulsos de amplitud 17,2 Volts sin componente continua, es decir, que varia desde 0,2 Volts hasta 17,2 Volts, tal como lo muestra la figura 3.6.

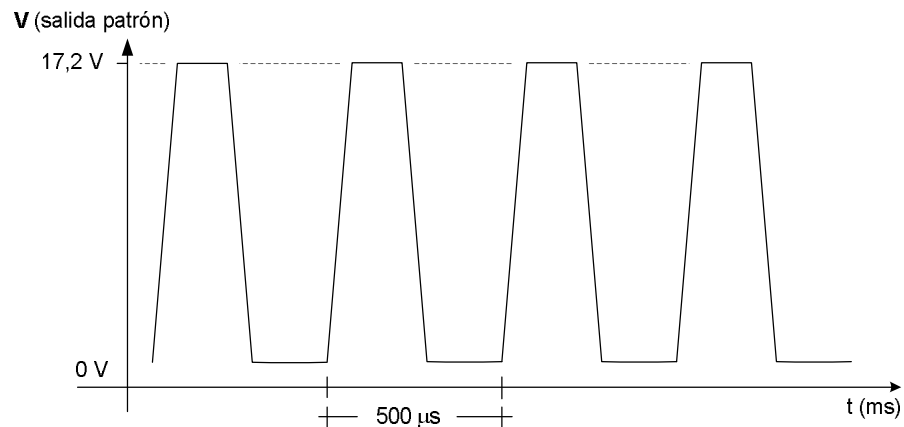


Figura 3.6: Señal de salida del medidor del patrón.

III.5 Ajuste de las ecuaciones que relacionan las revoluciones de los medidores según método de comparación de pulsos debido a la corriente o carga fija aplicada sobre el medidor patrón.

La frecuencia con la que genera los pulsos el medidor patrón varía con la carga aplicada, para la mesa la corriente es constante y de valor 5 A, valor donde el medidor patrón tiene el mínimo error. Siendo de esta manera, hay que realizar un ajuste en el cálculo de pulsos teóricos generados por el patrón, ya que la energía medida no será igual en todos los casos de las pruebas, que consisten en variar la carga (corriente). Refiriendo la energía que mide el patrón a la que miden los medidores en ensayo se determinan los pulsos patrón ajustados como lo indica en la ecuación 3.4

$$E = V \cdot 5 \cdot T \quad E_{ajustada} = V \cdot 5 \cdot \left(\frac{I}{5}\right) \cdot T \quad \text{Ec. 3.3}$$

Quedando la ecuación de pulsos como sigue:

$$N = \frac{n \cdot C}{c} \cdot \left(\frac{5}{I}\right) \quad \text{Ec. 3.4}$$

N representa en la ecuación 3.4 la cantidad de pulsos patrón que genera el medidor patrón por n vueltas del medidor en calibración, cantidad de pulsos que debería contar el microcontrolador en una diferencia de $\pm 0.2 \%$ (según indicación de la mesa) para que el medidor en calibración quede calibrado.

Si la constante del medidor en proceso de calibración es Americana, la ecuación ajustada queda como sigue:

$$N = \frac{n \cdot C \cdot k}{1000} \cdot \left(\frac{5}{I}\right) \quad \text{Ec. 3.5}$$

III.6 Desviación del valor real de los pulsos teóricos calculados por las ecuaciones 3.4 y 3.5.

La incertidumbre deseada para la desviación en la medición es:

$$\Delta N = N_c - N_p = 0 \quad \text{ó} \quad \Delta N_c = \Delta N_p \quad \text{Ec. 3.6}$$

Siendo N_c los pulsos calculados teóricamente y N_p los pulsos efectivos contados del medidor patrón.

$$\Delta N_c = \frac{5 \cdot C}{I \cdot c} \cdot \Delta n + \frac{5 \cdot n}{c \cdot I} \cdot \Delta C + \frac{5 \cdot C \cdot n}{c^2 \cdot I} \cdot \Delta c + \frac{5 \cdot C \cdot n}{c \cdot I^2} \cdot \Delta I \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$\Delta N_c = \frac{0,005 \cdot C \cdot k}{I} \cdot \Delta n + \frac{0,005 \cdot k \cdot n}{I} \cdot \Delta C + \frac{0,005 \cdot C \cdot n}{I} \cdot \Delta k + \frac{0,005 \cdot C \cdot k \cdot n}{I^2} \cdot \Delta I \quad \text{Ec. 3.8}$$

En las ecuaciones 3.7 y 3.8 el primer termino del lado derecho de ambas ecuaciones se desprecia, porque por el método de comparación de constantes n es cero, quedando la desviación del valor real determinada por la precisión del error del medidor de patrón, la precisión o exactitud del amperímetro.

El medidor patrón tiene un error de 0,05 % y la corriente es medida por un amperímetro de clase 1,5 %, así, la desviación del valor real del medidor en ensayo en la medición de la energía queda, según ecuaciones 3.4, 3.6 y 3.7:

$$\Delta N_p = \frac{5 \cdot n \cdot C}{c \cdot I} \cdot \left(\frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta I}{I} \right) \quad \text{Ec. 3.9}$$

Despejando de la ecuación 3.9 la incertidumbre correspondiente al medidor en ensayo:

$$\frac{\Delta c}{c} \cdot 100 = \pm \left(\frac{\Delta N_p}{N_p} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta I}{I} \right) \cdot 100 \quad \text{Ec. 3.10}$$

De la incertidumbre determinada a través de ecuación 2.1, se tiene:

$$\Delta E = \frac{\Delta n}{c} + \frac{n}{c^2} \cdot \Delta c \quad \text{Ec. 3.11}$$

El primer término de la ecuación 3.11 es cero debido al método quedando la ecuación 3.11 como sigue:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta c}{c} \quad \text{Ec. 3.12}$$

De las ecuaciones 3.10 y 3.12 se concluye que la desviación del valor real con que un contador en ensayo mide la energía es:

$$\frac{\Delta E}{E} \cdot 100 = \pm \left(\frac{\Delta N_p}{N_p} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta I}{I} \right) \cdot 100 \quad \text{Ec. 3.13}$$

Por lo que, si $n=1$, $\Delta N_p=1$, la precisión del patrón de 0,05 y la clase del amperímetro de 1,5 %, se puede concluir de la ecuación 3.13 que, la desviación del valor real de un contador al medir la energía es de 1,55 %.

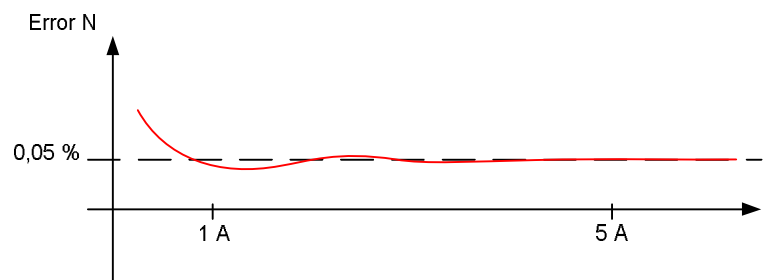


Figura 3.7: Desviación de las revoluciones del patrón por intensidad seleccionada.

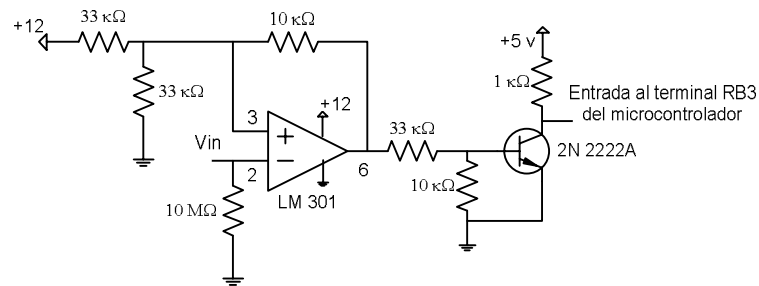
CAPÍTULO IV

SOLUCIÓN DE HARDWARE DEL CALCULADOR DE ERROR.

IV.1 Circuito Acoplador.

La señal de salida del sensor o célula fotoeléctrica es un pulso cuya amplitud depende del rango de tensión de alimentación seleccionada, la tensión de alimentación recomendada por el fabricante está en el intervalo entre 10V a 30V. Se selecciona como alimentación 12V, de esta manera, la señal de salida de la célula será en su nivel alto de (12V - 0,7V según fabricante) 11,3V cuando el sector del disco del medidor electromecánico, que generalmente es de color negro, entra en contacto con la luz del sensor, en la restante superficie del disco la célula emitirá una señal de salida de 0 V.

La señal proveniente del sensor debe adaptarse a niveles TTL de tensión (nivel bajo: cero (0 a 0,8) V, y nivel alto: (2-5) V) para que el microcontrolador pueda manejarla como una señal de entrada. Adaptada la señal, ésta se coloca para generar al microcontrolador una interrupción por cambio de nivel, indicándole, que comienza o termina una revolución del disco del medidor, y según sea el caso empiece o termine de contar los pulsos emitidos por el medidor patrón, cantidad de pulsos necesaria para calcular el error de calibración de cada uno de los diez medidores.



acoplador, que corta o satura al transistor 2N2222A (transistor que es mas costoso comparado con otros y se uso porque ya se encontraba en la empresa). El colector del transistor tiene una resistencia Pull Up de valor 1 kΩ que se encarga de colocar cinco 5V en corte y 0V en saturación, obteniendo así la señal acoplada a niveles TTL para ser la entrada al respectivo terminal del microcontrolador.

El transistor en saturación tiene una corriente de colector de aproximadamente 5 mA, lo que indica que la corriente de base es 33 μA, lo más importante es colocar en el terminal correspondiente del microcontrolador los niveles de tensión adecuados, es decir, menor a 0,8V para nivel bajo y mayor a 2 V para nivel alto, así que, **el mayor énfasis** se hizo en la tensión baja, haciendo que la tensión colector-emisor sea menor a 0,8 V. La hoja característica del transistor indica que la tensión colector-emisor es 0,3 V, para una corriente de base de 15 mA.

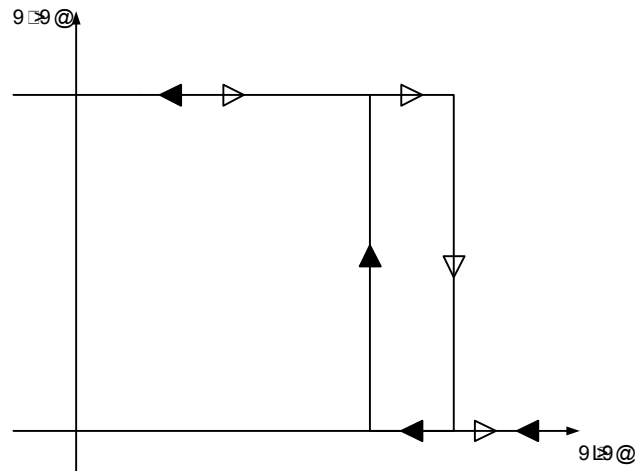


Figura 4.1.2: Ventana del circuito comparador.

El comparador de ventana o de histéresis, tiene una tensión de apagado de 9,7 V y una tensión de encendido de 7,4 V, siendo el ancho de la ventana de 2,2 V, valores calculados por las siguientes ecuaciones:

$$V_{UH} = V_{SAT}^+ \frac{33k\Omega // 33k\Omega}{33k\Omega // 33k\Omega + 10k\Omega} + V_{REF} \frac{33k\Omega // 10k\Omega}{33k\Omega // 10k\Omega + 33k\Omega} = 9,7V$$

Ec. 4.0

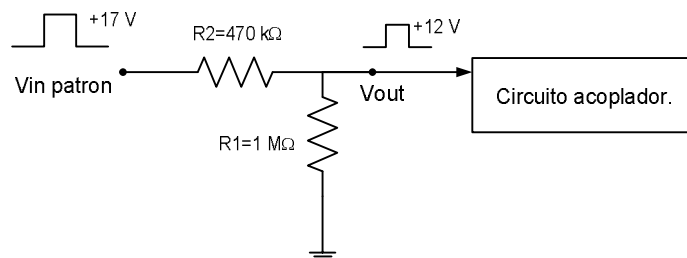
$$V_{UL} = V_{SAT}^+ \frac{33k\Omega // 33k\Omega}{33k\Omega // 33k\Omega + 10k\Omega} + 0 = 7,4V$$

Como puede verse en la figura 4.1.2 cuando la tensión de entrada se incrementa desde cero hasta 9,7 V (en el comparador) se tiene una tensión de salida de +12V, lo que implica que el transistor esta en saturación, o sea, 0,3V en su salida. Para una tensión mayor o igual a 9,7V en la señal de entrada (en el comparador) y hasta llegar a la tensión umbral de la señal de 12 V se tiene, en la salida del comparador 0V de tensión y 5V de tensión en el colector del transistor 2N2222A, entrada al microcontrolador.

De esta manera una señal cuadrada de cero a doce 0V – 12V se convierte en una señal acoplada a niveles TTL (0V-5V), para que sea la entrada a unos de los terminal del microcontrolador.

IV.2 Circuito acoplador de la señal proveniente del medidor patrón.

La señal que genera el contador patrón es un tren de pulsos cuyo valor mínimo es menor a 0,5 V, y su valor máximo o valor cresta es de 17,2 V aproximadamente. Para acoplar esta señal se utilizo el mismo circuito acoplador de señal anterior con una variación en la entrada, esta variación fue un reductor de tensión como la muestra la Figura 4.1.3 de 17,2 V de la señal a 11,5 V para que fuese la entrada al circuito acoplador de la Figura 4.1.1. Circuito acoplador.



La selección del uso de sus terminales no presentó mayor inconveniente, y se determinó por las interrupciones usadas, como la interrupción externa para la recepción en la comunicación serial y la interrupción de cambio de nivel para detectar el pulso de la señal proveniente de la vuelta del disco. La mayor desventaja en el desarrollo fue que este microcontrolador no está provisto de un UART, o de un protocolo de comunicación I²C, u otro **entorno** de comunicación esclavo maestro.

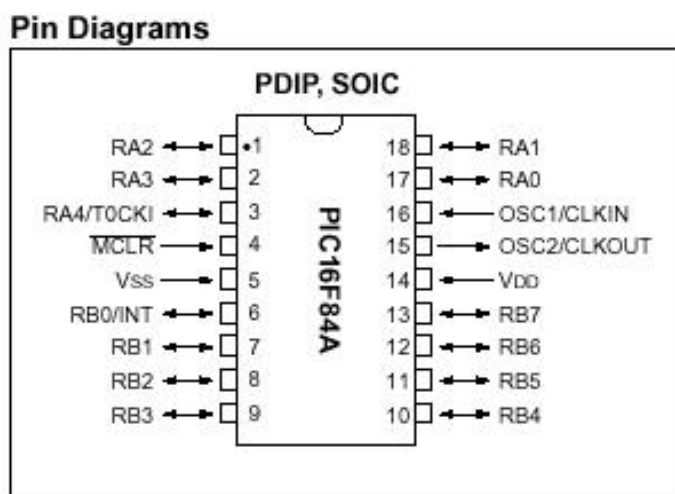


Figura 4.2.1: Terminales del PIC 16F84A

IV.4 Circuitos integrados utilizados.

Para mostrar el porcentaje de error de calibración de cada medidor se contempló en el diseño del módulo individual, la colocación de cuatro dígitos siete segmentos ánodo común, para mostrar una cifra numérica (en porcentaje) del error que varia en un intervalo que va desde -99,9 hasta 99,9, [-99,9; 99,9].

Cada módulo de Display (microcontroladores) recibe del computador personal el error correspondiente al medidor que representa, el microcontrolador del módulo almacena esta cifra de error en un buffer y luego la convierte de código ASCII a código BCD. Después, el microcontrolador del módulo pasa a una rutina que se encarga de ir sacando en el orden correspondiente los bytes de la cifra de error por cuatro de sus terminales del puerto A, hacia el circuito integrado MC14543B (convertidor de código BCD a código siete segmentos), de la casa

Motorola y de tecnología CMOS; y así, este CI coloca en su salida el código siete segmento que enciende los segmentos correspondientes al numero decimal se desea mostrar en el siete segmento correspondiente.

Tres de los cuatros dígitos 7-segmentos usados tienen una conexión en paralelo como lo muestra la figura 4.3.1, conectando en los tres 7-segmentos los segmentos iguales (menos el punto decimal), que a su vez se conectan a las siete líneas de salida del convertidor BCD a código siete segmentos.

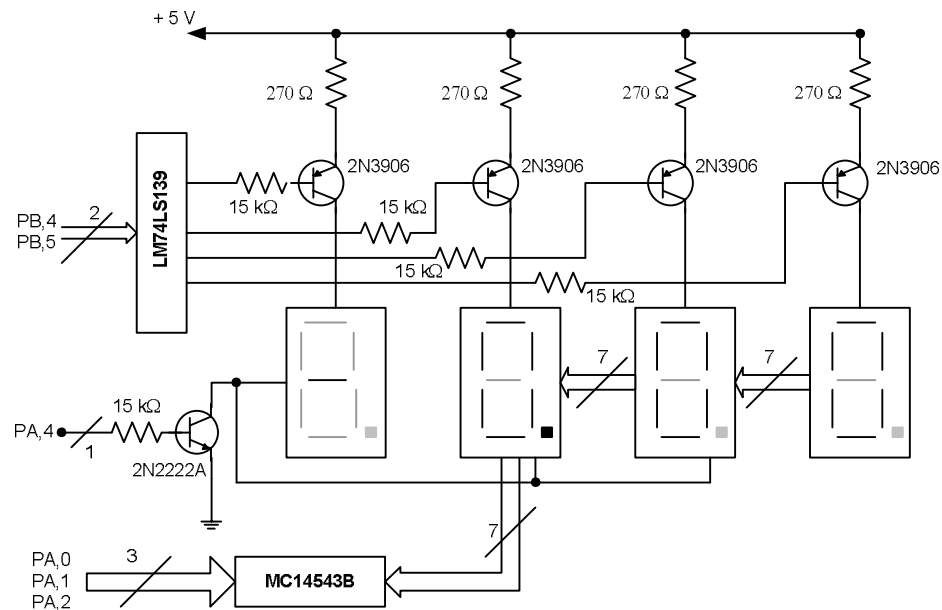


Figura 4.3.1: Despliegue de cifra de error.

Para mostrar el número que corresponde a cada uno de los 7-segmentos conectados en paralelo y el signo de la cifra, se usa el decodificador de dos a cuatro (2-4) DM74LS139 de la casa FAIRCHILD, que activa el 7-segmento correspondiente. La selección del siete segmento que se desea encender lo proporciona el microcontrolador y lo hace colocando en los terminales PB,4 y PB,5 el código correspondiente a cada siete segmento. La salida seleccionada satura el transistor 2N3906 correspondiente indicándole así cual display 7-segmentos debe estar activado cuando se envía el número que corresponde a ese 7-segmentos, haciendo el proceso de refrescar la cifra del error.

El display siete segmentos mas a la izquierda en la figura 4.3.1, se usa para mostrar el signo del error cuando este es negativo, encendiendo únicamente el segmento g. A su vez este segmento g esta conectado en paralelo con el punto decimal de los dos siete segmentos del medio para así encender el punto decimal de estos cuando corresponda.

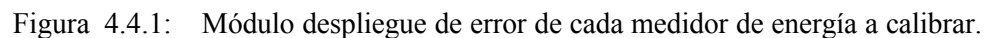
El convertidor BCD a 7-segmentos MC14543B no contempla el uso del punto decimal, así el microcontrolador se encarga de apagar y encender (por software) el punto decimal, esto lo hace mediante el terminal 4 del puerto A (PA,4) cortando o saturando un transistor 2N2222A, enciende o apaga el signo menos o el punto decimal del siete segmento seleccionado (figura 4.3.1).

IV.4.1 Características eléctricas.

El BCD-7segmento soporta una entrada máxima de corriente de 10 mA, para el proyecto se utiliza una resistencia de 270 Ω y una alimentación de 5V, lo que da una corriente de 18 mA para cada display 7-segmentos, pero como el mínimo número de segmento que se prenden corresponden al numero 1 esto distribuye una entrada de corriente de 9mA aproximadamente al terminal correspondiente del BCD-siete segmentos (MC14543B), sin causar daño alguno por exceso de corriente.

Para el display siete segmentos más significativo el de la izquierda en la figura 4.3.1 tendrá a lo sumo 9 mA correspondiente a la activación del segmento del signo menos o al punto decimal, corriente que es absorbida por el transistor 2N2222A, cuyo valor está muy por debajo del valor máximo de corriente de colector permitida (800 mA en DC a 25° C). Estas son las características más críticas que se cuidaron en mantener por debajo de los límites máximos, teniendo a su vez la ventaja de que no es continuo ese suministro de corriente sobre el circuito integrado MC14543B debido al proceso de refrescamiento de cada número en los display siete segmentos. Los transistores usados cumplen una función de interruptor, colocan o quitan los +5V sobre el ánodo de los respectivos siete segmentos, tal como se muestra en la figura 4.3.1.

En cuanto a la corriente de base esta tiene un valor de aproximadamente 330 μ A. El decodificador DM74LS139 tiene nivel lógico activo cero a su salida por esa razón se utiliza transistores PNP (2N3906) para poner activo los display siete segmentos.



Cada módulo dispone de un botón de reposición local y como sistema una línea de reposición general que lo inicia junto a los otros módulos desde el modulo de carga. A cada módulo de Display le llegan tres líneas de alimentación, dos líneas de comunicación serial, la línea que trae los pulsos del medidor patrón y por último la línea que inicia (Reset general) todos los módulos al mismo tiempo. Los módulos de display son idénticamente iguales, siendo su única diferencia el identificador de la comunicación serial grabado en cada microcontrolador PIC. La conexión entre los módulos de despliegue es paralela, esto permite la capacidad de funcionamiento del sistema sin

uno o más de ellos. También, cualquier módulo se puede ubicar en cualquier posición de la conexión, modificando el identificador que está grabado en el programa del microcontrolador PIC.

IV.6 Módulo de carga y comunicación serial

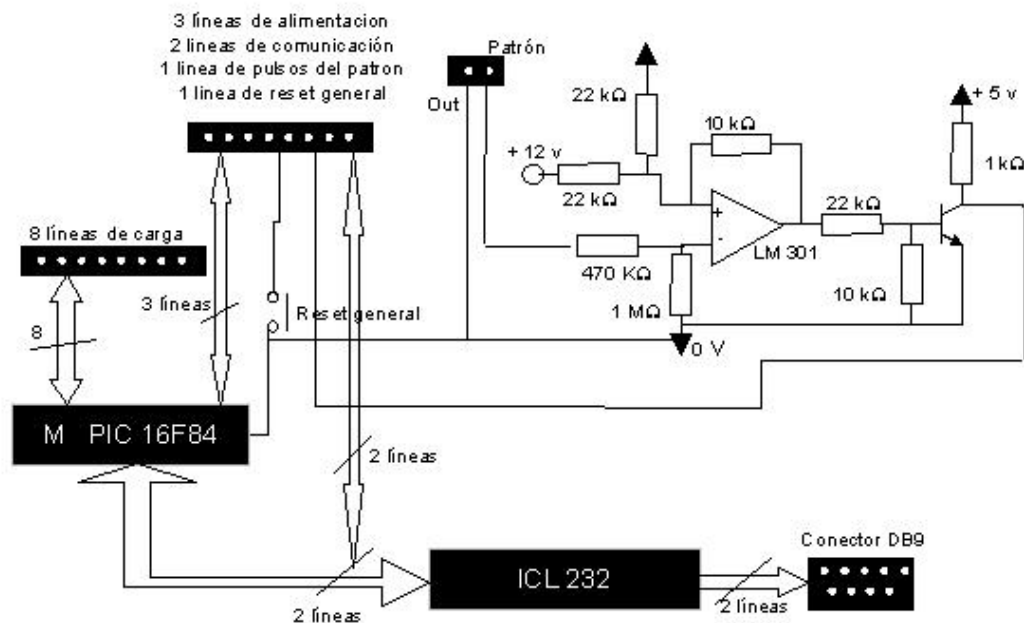


Figura 4.4.2.: Módulo de carga, comunicación serial y medidor patrón.

En este módulo se encuentran un microcontrolador PIC16F84A que se encarga de explorar la carga aplicada y el factor de potencia seleccionado para los contadores en ensayo, así como el circuito acoplador de la señal proveniente del medidor patrón y por último el driver RS232CPE encargado de manejar la comunicación serial mediante el circuito integrado ICL 232 de la casa INTERSIL.

Este módulo de comunicación y carga permite reponer (inicio general) el sistema completo, es decir, de él mismo junto con los diez módulos de despliegue de la desviación, para mejor referencia se recomienda ver las figuras del anexo B.

IV.7 Circuitos impresos realizados en el programa Orcad 9.2 de los dos módulos resultantes.

Una vez obtenidos resultados satisfactorios con los circuitos implementados en la placa de prueba, se pasa a cumplir otro de los objetivos, la realización de los circuitos impresos.

El diseño del circuito impreso fue realizado en el programa de CADENCE DESING SYSTEM, el ORCAD 9.2, paquete de software que permite realizar el diagrama esquemático, simular el comportamiento del circuito diseñado, y por último diseñar el circuito impreso, paquete de software que tiene la EDC.

IV.7.1 Características de diseño.

Después de hacer el diagrama, se procedió a hacer el layout con las siguientes características: las tarjetas de doble cara, con el menor tamaño de tarjeta posible, haciendo que los componentes quedaran lo más cercanos unos de otros (mínima pista), además y se eligió el mayor ancho de pistas, 0.76 mm (0.030") de ancho.

La distribución de los componentes en el layout es muy parecida a la del esquemático para seguir, así un orden al realizar el trabajo, por ejemplo: en el módulo de despliegue de error de la figura 4.4.3, a la izquierda en la tarjeta quedó el circuito acoplador, en el centro de la tarjeta quedaron, el microcontrolador con los restantes circuitos integrados como el convertidor de BCD a 7 SEGMENTOS y el MULTIPLEXOR y más a la derecha y abajo los cuatro display siete segmentos que muestran la cifra del error.

En el módulo de carga, también se distribuyeron los componentes de manera muy parecida a como se colocaron en el esquemático, siguiendo las mismas directrices de diseño del layout anterior, mismo ancho de pista, colocando los componentes lo más cercanos posible, mínimo tamaño de tarjeta, etc.

El resultado es una tarjeta de 10,16 x 7,62 cm (4 x 3 in) para los módulos del display y para el módulo de comunicación y carga su tamaño fue de 10.22 x 7,68 cm (4.025" x 3.025"). Como lo muestran las series de figuras del anexo C.

IV.8 Descripción del software del módulo de calibración.

IV.8.1 Conteo de pulsos y conversión a ASCII del número de pulsos contados.

El microcontrolador en el módulo de display debe contar los pulsos que emite el medidor patrón durante una vuelta del disco del medidor de energía en calibración, lo cual, implica que debe saber cuando comienza y cuando termina una vuelta. Esta vuelta está determinada por la señal acoplada proveniente de la celda fotoeléctrica; y el tiempo que dura una vuelta es el tiempo que tarda la señal en producir dos pulsos consecutivos. El comienzo de la vuelta es detectado mediante una interrupción generada por cambio de nivel en la señal de la celda foto-eléctrica. Dicha interrupción indicará cuando empezar a contar en la rutina principal los pulsos que emite el medidor patrón (cuenta que se hace leyendo el terminal tres (3) del puerto B del PIC 16F84A) y, también, cuando deberá parar de contar, para esto existen banderas indicativas del comienzo y final de la vuelta, estas banderas se activarán en la rutina de servicio a la interrupción correspondiente (interrupción por cambio de nivel). Ver diagramas de flujo en el anexo B.

En la rutina principal, la parte que se encarga de contar los pulsos del medidor patrón de energía, tiene asignado para almacenar la cuenta de los pulsos, un buffer de 4 bytes de tamaño, cantidad suficiente para contar hasta 4.294.967.295 pulsos (decimales).

Los pulsos que el medidor patrón emite, se cuentan leyendo los niveles altos de esta señal en el terminal 3 del puerto B del microcontrolador. La cuenta se incrementa en el buffer, cada vez que ocurre un flanco de subida de esta señal o lo que es lo mismo cuando en el terminal ocurre un cambio de nivel de bajo a alto, de otra manera la cuenta se mantiene igual.

Una vez completada la vuelta, el microcontrolador en su rutina principal convierte esa información (cuenta) a código ASCII, para luego esperar que el computador personal se comuniquen con él pidiéndole esa información (cuenta). La conversión de hexadecimal a ASCII se realiza mediante el uso de tablas, el PC recibe la cuenta en ASCII del número que está en base hexadecimal y la interfaz (en el PC) se encarga de convertir ese número a base decimal.

IV.8.2 Comunicación establecida entre los microcontroladores y la PC.

La comunicación establecida entre el computador personal y los once microcontroladores (módulos) es serial, en un entorno multiprocesador o maestro esclavo(s). La interfaz realizada en Visual Basic en el PC maneja la comunicación serial (PC es Maestro en la comunicación) y se encarga de pedir a cada uno de los microcontroladores (esclavos) su información (cuenta), si el microcontrolador correspondiente está esperando enviar y le llega su código de identificación, éste inmediatamente pasa a enviar a una velocidad de 9600 bps la correspondiente cuenta y su identificador por el terminal uno (1) del puerto B del microcontrolador.

El microcontrolador atiende la recepción serial por su interrupción externa en el terminal cero del puerto B (PB, 0). Esta interrupción está programada para detectar el BIT de Start de la recepción en la comunicación serial (se activa con falling edge) y la rutina de atención a esta interrupción lo primero que hace es almacenar el byte que le llega e inmediatamente verifica que sea su identificador el enviado, si es su identificador, entonces se activa una bandera que le indica que cuando vuelva a ocurrir esta interrupción pase a almacenar la data que recibe, y si no es su identificador pasa a esperar un tiempo prudente a que otro microcontrolador haga lo mismo.

Si es con el micro seleccionado con quien la PC estableció la comunicación, este activa la bandera correspondiente, se sale de la rutina de interrupción, vuelve al programa principal indicándole a este, con la bandera activada, que pase a enviar la información de la cuenta que almaceno, para luego (en el programa principal) esperar que la PC le envíe la información a preentar en la pantalla de visualización, el microcontrolador, nuevamente atiende la interrupción (recepción), recibe el error en código ASCII, y una vez terminada la recepción de la información, se sale de la rutina que atiende esta interrupción y pasa nuevamente al programa principal donde este sabrá que ya termino de recibir, luego, pasa a hacer la conversión de código ASCII, con que llego el error, y lo convierte a código BCD, permitiéndole pasar al contador de programa a la sección de refrescar el display siete segmentos, esto lo hace durante dos vueltas del disco del medidor de energía en calibración, donde una vez detectadas estas dos vueltas el contador de programa saltara a la parte del programa principal donde vuelve a contar los pulsos durante una vuelta. Este es el ciclo de trabajo del microcontrolador.

IV.8.3 Comunicación serial entorno multiprocesador o maestro esclavo.

La comunicación serial utilizada en el proyecto tiene las siguientes características:

- .- 1 bit de Start,
- 8 bits de data,
- .- 1 bit de stop
- .- Velocidad de 9600 bps

La comunicación entre el PC y los once módulos (once microcontroladores) es manejada por el driver de comunicación ICL232CPE de la casa INTERSIL.

Como puede verse en las características eléctricas del PIC 16F84A, no se dispone de unidades de recepción-transmisión (UART), dificultando el proceso de comunicación. La comunicación se realizó a base de programación (simulando el UART) escogiendo dos terminales del microcontrolador uno para recibir data y otro terminal para enviar data.

La comunicación del sistema es en un entorno multiprocesador donde el computador personal como maestro les pide información a los once módulos (microcontroladores), la procesa y le envía el resultado, el error calculado. El PC figura como EL MAESTRO y los once microcontroladores como LOS ESCLAVOS.

Para que cada microcontrolador sepa con quién se quiere comunicar el PC, estos tienen un identificador grabado en una posición de su memoria de datos, identificador que envía la PC, así, los PIC comparan el identificador recibido con el suyo y si es igual atiende, y si no espera o realiza otra labor. El que tiene que establecer la comunicación se prepara para enviar su cuenta y espera para recibir el error y almacenarlo en su respectivo buffer. Ver Anexo B diagrama de flujo de la rutina denominada CUSIERD.

Un punto delicado fue la transmisión, en donde los terminales de los microcontroladores escogidos para transmitir están como salida y conectados a la misma línea de transmisión, al momento que le toca enviar a uno de ellos, este escribirá uno o cero (1 o 0) en los terminales de los otros pudiendo quemar ese terminal, así, esta posibilidad no ocurrirá ya que cuando le toque transmitir a alguno de ellos los terminales de los otros estarán como entradas.

IV.8.4 Recepción serial en el microcontrolador PIC16F84A

Se implementó la recepción con la interrupción externa del microcontrolador del terminal cero (0) del puerto B, la interrupción se inicia por una caída de nivel (se activa la interrupción), el bit de Start, la rutina de servicio a esta interrupción lee lo que está en el terminal 0 del puerto B cada 104.2 μs , este bit es colocado en el acumulador de bit (el CARRY), y se guarda en una variable mediante la rotación lógica hacia la derecha de ella, que al final almacena el byte correspondiente contando hasta ocho los bits de data que recibe en el terminal PB,0 y es cuando termina la recepción del byte, esta es la rutina de recepción de un byte de información, ver figura 4.5.2.

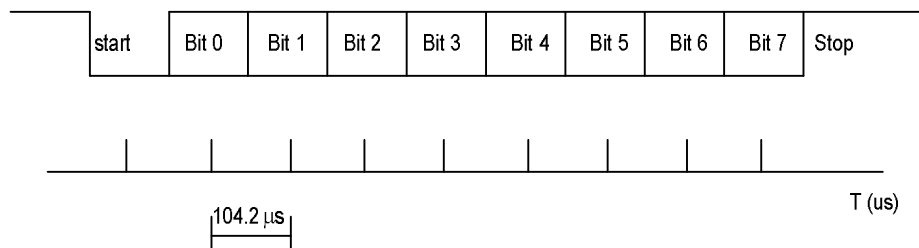


Figura 4.5.2: Lectura de bits en recepción serial.

IV.8.5 Transmisión serial en el microcontrolador PIC16F84A.

Para transmisión serial se seleccionó el terminal 1 del puerto B del microcontrolador, este terminal se colocó como salida (sólo cuando le toca al PIC en cuestión enviar, de lo contrario se mantiene como entrada) para enviar la información correspondiente. Primero se coloca el bit de Start (cero lógico), durante un tiempo de 104,2 μs para luego hacer una rotación lógica a la derecha a través del CARRY de la variable que contiene el byte a enviar y se coloca el bit que se encuentra en el CARRY en el terminal uno (1) del puerto B y se espera nuevamente 104,2 μs y así hasta contar los ocho (8) bit del byte, para finalmente colocar un uno (el bit de Stop) durante 104,2 μs como mínimo para culminar la transmisión serial de un byte de data desde el microcontrolador PIC16F84A. En esta transmisión se envía junto con la data el identificador del microcontrolador que la transmite y así estar sobre seguro de la comunicación entre un esclavo y su maestro.

IV.9 Proceso de muestra de error en los cuatro siete segmentos.

Para refrescar los 7-segmentos con la cifra del error se seleccionaron los terminales 0, 1, 2, 3 del puerto A del PIC16F84A como bus de información, para enviar el código BCD de el número a mostrar en cada siete-segmento, de esta manera, el convertidor de BCD a siete segmentos MC14543B, activara los correspondiente segmentos a encender del número (en BCD) original.

También se destinaron dos terminales más del microcontrolador para seleccionar cual dígito se mostrará o activará, estos dos terminales son las entradas al DECODIFICADOR o DEMULTIPLEXOR DM74LS139 (2-4), quien según código de entrada activará los transistores que colocan la tensión de +5 Volts en los ánodos de los dígitos siete segmentos, y son los terminales 4, 5 del puerto B. El terminal cuatro (4) del puerto A activa un transistor el 2N2222A que se encarga de encender el signo menos (segmento g del 7-segmento más significativo) y el punto decimal flotante.

La cifra de error se almacena en un buffer de cinco (5) bytes, tres corresponden a números enteros, y dos de ellos para signo, y punto o la coma decimal. Todo en el orden que indica la cifra completa. La cifra de error que llega del PC está en ASCII y la forma de convertirlos a BCD es mediante tablas, pero, el signo y la coma tienen conversión a BCD?, no tienen, pero en nuestra tabla particular se le asigna un número hexadecimal: a la coma le toca el número hexadecimal B, al punto le corresponde el A, al signo menos el número C y finalmente al signo + el número D. Con esta manera particular de convertir el error a BCD y hexadecimal, en el programa para refrescar los 7-segmentos se conoce cuando el byte extraído se va colocar en la entrada del convertidor BCD a 7 SEGMENTOS (es un número) o se activa el transistor que enciende el punto decimal o el signo menos. Quedando implícito que también se coloca en la entrada del decodificador DM74LS139 el valor de entrada que selecciona al 7-segmento que corresponde al número y/o punto decimal que se desea mostrar. Para mejor referencia ver diagrama de flujo de rutina que refresca los 7-segmentos en el anexo B, y ver también, Figura 4.3.1

Si se desea tener mayor claridad en la forma como se realizaron las rutinas de los PIC 16F84A, tanto para el módulo de despliegue de error, como para el modulo de CARGA, se recomienda ver los diagramas de flujo realizados en anexo B, o ver el anexo C, donde se encuentran los programas codificados en ensamblador para el PIC 16F84A.

CAPÍTULO V

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EN EL PC QUE COMPLETA EL CALCULADOR DE ERROR.

V.1 Interfaz en visual Basic.

V.1.1 Criterio de selección del programa Visual Basic.

La necesidad de manejar la comunicación serial con los circuitos diseñados, calcular el error correspondiente a cada medidor en calibración, mostrar el error en la pantalla de la PC y de dar un reporte de calibración (formato de Excel), fue lo que determinó la escogencia de hacer la interfaz en el lenguaje de programación Visual Basic.

Se escogió el lenguaje de programación Visual Basic, debido a su compatibilidad con Microsoft Windows 95, sistema operativo instalado en el PC asignado al proyecto, reduciendo los conflictos que puede haber entre la interfaz hecha y el sistema operativo instalado en el PC. La empresa posee el paquete de software, el cual, es una edición empresarial de Visual Studio 6.0 que maneja componentes dirigidos hacia las empresas, como es el caso que necesitaba el proyecto para manejar el puerto serial. La versión empresarial maneja el componente MScomm, encargado de tener acceso a la información del puerto serial de la PC y sus distintas propiedades.

Este lenguaje está orientado a objetos, proporcionando una interfaz de usuario agradable, amigable y que además por estar los operadores de las mesas de calibración familiarizados con los sistemas operativos de Microsoft (Windows 95, Office, etc.), tendrán mayor facilidad al usar la interfaz diseñada sin ningún inconveniente.

La interfaz permite dar un reporte de calibración a través de un formato hecho en una hoja de Microsoft Excel de Office, programa que ya tiene el computador personal asignado, y que, además se vincula fácilmente a las aplicaciones realizadas en Visual Basic, y con esto se le da, todas las ventajas que ofrece el uso de una hoja de Excel para cualquier cálculo que se desee realizar.

V.2 Interfaz realizada.

La interfaz realizada en Visual Basic, consta de tres formularios y un módulo.

1. Formulario principal, formulario I: “Errores de los medidores en calibración”
2. Formulario de las constantes de los medidores, formulario II: “Constante de los medidores.”
3. Formulario del reporte o vínculo con Excel, formulario III: “Resultado de calibración a hoja de Excel.”
4. Modulo 1.

V.2.1 Formulario uno o principal.

El primer formulario (figura 5.1) se muestra al abrir la interfaz y se encarga de:

1. En la etiqueta del menú llamada PUERTO, habilitar el puerto serial, avisando en este mismo formulario con una etiqueta (PORT ON o PORT OFF) y un círculo rojo pequeño al lado de la etiqueta (simulando un led encendido.) cuando esta habilitado el puerto serial.
2. Seleccionar si las constantes de los diez medidores a calibrar son iguales o diferentes, chequeando en iguales o diferentes respectivamente y cargando el Formulario II en ambos casos.
3. Muestra el error de cada medidor en la pantalla del PC en este mismo formulario en el cuadro correspondiente a cada medidor.
4. También muestra en la pantalla del PC el factor de potencia y la corriente seleccionada o activada en la gaveta de alimentación, Energía activa que estan midiendo los medidores.
5. Inicia el sistema con el software programado, presionando el botón llamado “INICIO”, pidiendo la cuenta de los pulsos hecha por cada modulo de medidor y calcular su respectivo error.
6. Permite desde una etiqueta en el menú denominada “SALIR”, salir de la interfaz realizada.
7. Permite desde el menú archivo en la etiqueta “GUARDAR”, acceder a una hoja de Excel para guardar los errores resultantes del proceso de calibración realizado.

El software de este primer formulario se encarga básicamente de atender la comunicación serial preparando los parámetros de la comunicación como son:

- .- un solo bit de start, 8 bit de data,
- .- un bit de stop,
- .- velocidad de 9600 bps.

Este formulario I se encarga principalmente de: realizar una exploración de los once módulos del sistema diseñado enviando los identificadores correspondientes para preguntarle si tienen información que enviarle (cuenta de pulsos del patrón), para recibirla y procesarla (calcular el error) y una vez obtenido el error lo envía al PIC correspondiente para que este lo muestre en los display 7-segmentos.

Errores de Medidores en calibración.

Archivo Puerto

La Electricidad de Caracas
Laboratorio de Medidores
Centro de servicio Chacao
Mesa Calibradora de Medidores Monofásicos

una empresa **AES**

Constantes
☐ Iguales ☒ Diferentes

● Puerto ON

Carga [A]	Factor de Potencia	Data recibida
10	1	7215

Medidor # 1	Medidor # 2	Medidor # 3	Medidor # 4	Medidor # 5
-0,61	0,57	1,07	-0,16	-2,17
-0,26	-0,09	0,24	0,27	0,69
Medidor # 6	Medidor # 7	Medidor # 8	Medidor # 9	Medidor # 10

2:10:15 p.m.

Iniciar

Figura 5.1: Errores de los medidores en calibración.

V.2.2 Segundo formulario.

El segundo formulario de la figura 5.2: Constante de los medidores, se encarga de almacenar los valores de las constantes de los medidores de energía a calibrar, destinando para ello un lugar donde escribir el valor de la constante y permitiendo distinguir el tipo de constante entre la europea [rev/kWh.] y la americana [Wh/rev]. El software en este formulario se encarga de activar banderas como resultado del chequeo, al tener una constante del tipo americana, para que cuando se calcule el error, el programa sepa que tipo de constante tiene cada medidor.

En el caso en el que los diez medidores tienen constantes iguales, el valor de la constante se escribe en el cuadro de texto del medidor # 1 y se chequea si su tipo es americana.

The screenshot shows a window titled "Constante de los medidores." with a header "La Electricidad de Caracas AES" and "Laboratorio de Medidores, Centro de servicio Chacao." Below this is a table with 10 rows, each representing a meter. Each row has three columns: the meter number, a text box for the constant, and a checkbox for the type "Americana [Wh/rev]".

Medidor #	Constante	Tipo
Medidor # 1	1.2	☒ Americana [Wh/rev]
Medidor # 2	833.333	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 3	833.333	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 4	833.333	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 5	1350	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 6	833.333	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 7	1.2	☒ Americana [Wh/rev]
Medidor # 8	833.333	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 9	833.333	☐ Americana [Wh/rev]
Medidor # 10	1.2	☒ Americana [Wh/rev]

Figura 5.2: Constante de los medidores.

V.2.3 Tercer formulario.

El tercer formulario, el de la figura 5.3, se encarga de hacer el vínculo con la hoja de Excel y permite traer desde el primer formulario los errores de calibración actuales y colocarlos en un controlador de texto para luego llevar esa información a la hoja de Excel.

V.2.4 Modulo de la interfaz.

Este módulo es el que se encarga de almacenar todas las rutinas para el cálculo del error, se encarga también, de hacer públicas todas las variables utilizadas y definir su tipo.



Figura 5.3: Resultado de calibración a hoja de Excel.

Las rutinas realizadas en este módulo son las siguientes:

1. Asigna. Es el programa principal del módulo y se encarga de llamar a las restantes rutinas en el orden seleccionado para obtener, enviar y mostrar el error.
2. Calcula. Se encarga de calcular los pulsos patrón que debe generar el medidor patrón según la carga aplicada y con la constante del medidor de energía actual, usando, las ecuaciones 2.4 y 2.5 del capítulo II y las ecuaciones del capítulo 3, ecuación 3.4 si la constante del medidor es de tipo europeo y la ecuación 3.5 si es americana.
3. Muestra. Se encarga de colocar en el espacio de la pantalla el error del medidor correspondiente (el error del medidor que esta actualmente en comunicación o que envió su data).
4. Difere. Si las constantes son diferentes se encarga de buscar el valor de la constante que corresponde y definir su tipo.
5. CA_ERROR. Se encarga de calcular el error con los pulsos patrón ya calculados y los contados por el microcontrolador correspondiente (información recibid por la interfaz a través del puerto), para esto usa la ecuación de error porcentual del capítulo 2 , ecuación 2.6.

6. CARGA. Se encarga de identificar el código de la carga enviado vía serial (que corriente se le suministra a los medidores en proceso de calibración), se encarga también de identificar el factor de potencia, de mostrar el valor de carga y factor de potencia actuales en los espacios de la pantalla correspondiente a la carga y al factor de potencia.

Hasta ahora se ha dado una breve descripción de lo que realiza cada rutina, esto es porque básicamente cada una realiza cosas simples que en conjunto, logran el calculador de error y dar una muestra visual de los errores de cada medidor en la pantalla del PC.

Si se desea ver un poco más en detalle las rutinas realizadas, el anexo D que contiene los programas codificados en Visual Basic de la interfaz realizada.

CONCLUSIONES.

Cuando un procedimiento es simple pero resulta ser el más importante en un proceso todo ese proceso debe referirse a ese procedimiento para que este se realice de manera casi perfecta para que el resultado que arroje ese procedimiento tenga la menor incertidumbre posible (y si se puede incertidumbre de 0). Para el caso del proyecto, el proceso de contar los pulsos emitidos por el medidor patrón es el que se tiene que realizar con mayor cuidado y es el más importante en el diseño del calculador de error. Contar los pulsos emitidos por el medidor patrón de energía, represento en la realización del software del microcontrolador un buen reto ya que es la parte del sistema que puede introducir errores en el resultado debido al diseño del calculador, así, el microcontrolador debe realizar todos los procesos asignados a él sin perder la cuenta de pulsos o lo que es lo mismo, debe introducir el mínimo error de diseño posible que es, en nuestro caso, perder la cuenta de sólo y solo uno de los pulsos.

Una comunicación clara, ordenada, respetuosa del turno de expresión de cada individuo sin ser interrumpido, y también siendo este individuo respetuoso y conciente del turno que tiene para expresarse, permite establecer una comunicación efectiva del grupo, logrando la solución al problema de manera eficiente y oportuna. En este caso se logra, mostrar la cifra de error del proceso de calibración. En este proyecto se simulo un UART y se ensambló una comunicación en un entorno maestro (PC) esclavo de ONCE microcontroladores con el PC lo cual permitió obtener el error de cada uno de los diez medidores en proceso de calibración.

Usando los recursos disponibles y utilizándolos de manera optima, se logran soluciones simples y confiables que proporcionen los resultados deseados, en nuestro caso, los módulos (circuito electrónico diseñado) que muestran el error de cada medidor, usan un mínimo numero de circuitos integrados (4) (los circuitos integrados son los recursos disponibles que se encontraban en el Laboratorio de Medidores), con ellos se realizan los procesos requeridos obteniendo los resultados esperados como son: adecuar la señal proveniente de la fotocelda, realizar la cuenta de los pulsos, hacer la conversión a código ASCII, simular un UART para tener comunicación con el PC, (envió de la cantidad de pulsos contados y el identificador de quien los envía, la recepción de la cifra de error desde el PC) y finalmente, mostrar la cifra de error en los display 7- segmentos, de cada uno de los diez módulos correspondientes a los diez medidores ajuste.

La incertidumbre que tiene una variable determina la confiabilidad o la precisión de la misma en los valores que esta proporciona, siendo así, en el proyecto se busco que los elementos involucrados en el control de la medición de la energía estuviesen dentro del rango de medición en donde tuviesen la mayor precisión, para el caso del medidor patrón, el rango de medición de energía en donde el medidor patrón tiene el menor error es con una entrada fija de corriente de 5A, pero al hacer esto, cuando se calculan los pulsos patrón introduciendo el ajuste se añade (irónicamente) un nuevo factor de error, que en el caso del proyecto es determinante en la incertidumbre del error que da la mesa para cada medidor. La incertidumbre del error dado por la mesa es de 1,55 %, suma de la incertidumbre del amperímetro (1,5 %) mas la incertidumbre del medidor patrón (0,05 %), causando que la incertidumbre este cercana al limite de del margen de error dado por las normas; en el Laboratorio de Medidores se ajustan los medidores hasta que la máquina indique 0,2 %, lo cual permite que los medidores queden midiendo la energía dentro del margen de error permitido por las normas.

Aprender otras virtudes como la paciencia, el compromiso, la responsabilidad, manejar situaciones de retraso y mantener el deseo de alcanzar el objetivo, son cosas que permiten obtener la solución al problema planteado (el calculador de error) , esto es, porque se tienen que resolver muchos otros tipos de problemas que aunque están ligados al proyecto, no son los que lo llevan a su culminación, pero determinan su logro (tiempo real que se tarda en lograr el objetivo), y la situación deja de ser solamente, solucionar el problema original (ELECTRÓNICO) con los conocimientos de la especialidad en las que nos formamos.

RECOMENDACIONES.

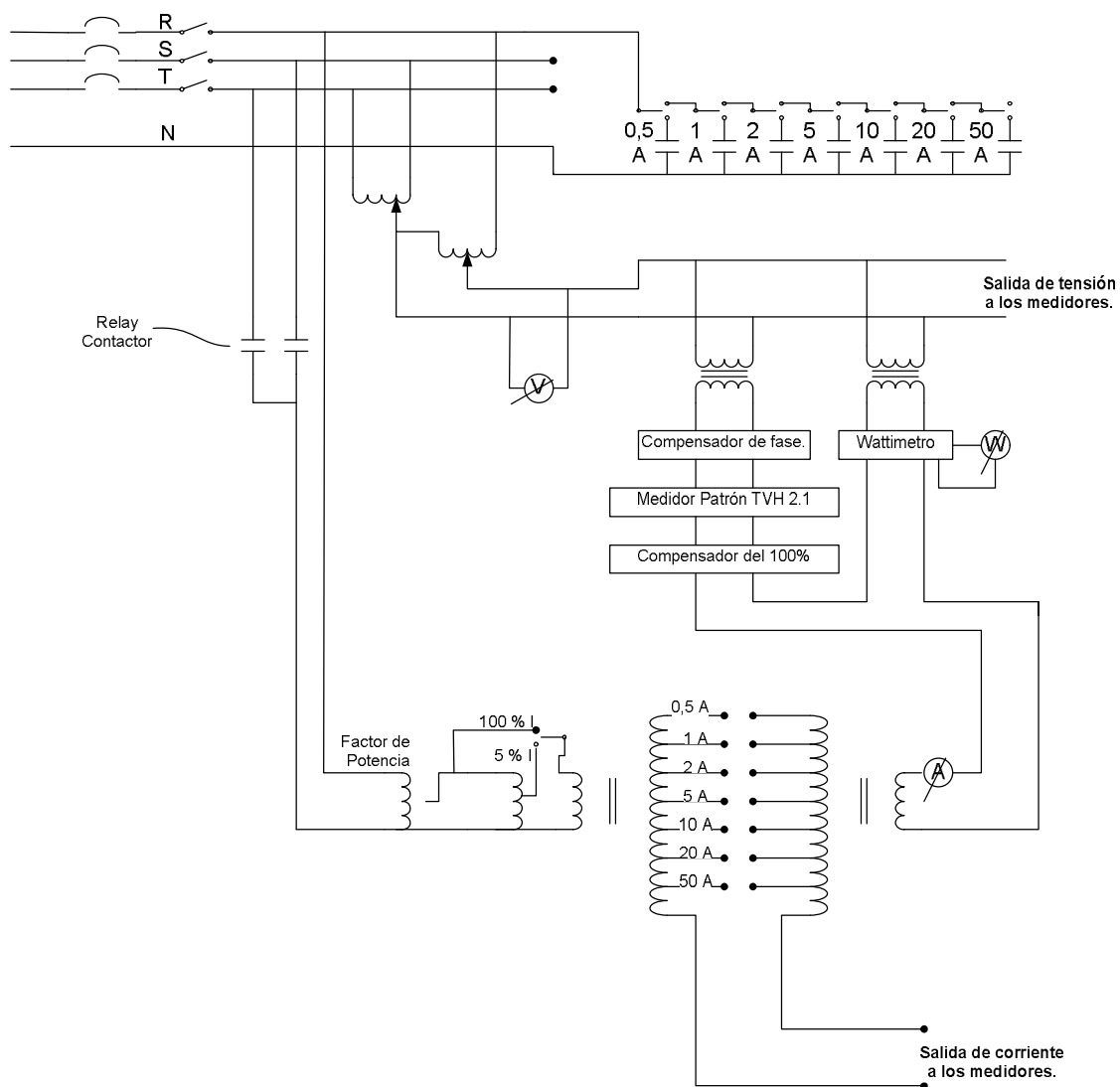
Buscar mecanismos que permitan mostrar todo el tiempo el error en los display siete segmentos de cada módulo de medidor, como por ejemplo: agregar otro microcontrolador mas en cada módulo de manera que éste se dedique únicamente a recibir la cifra de error y refrescarla en los display siete segmentos de su respectivo módulo, así se tendrá visible el error en todo momento. Esta solución tiene la ventaja de que agrega un solo circuito integrado mas al modulo y no varios de ellos que aumentan el consumo de energía y deterioran la confiabilidad del circuito diseñado.

Se recomienda usar en la gaveta de alimentación un amperímetro de precisión o un amperímetro cuya clase no exceda al 0,5 %, para poder dar una desviación del valor real del error mostrado por la mesa con la menor incertidumbre posible y hacer de esta forma mas confiable la verificación y calibración de los contadores de energía. Esto es porque el amperímetro usado actualmente en la mesa tiene una clase de 1,5 %. De esta manera se reduciría la desviación del valor real de 1,55 % (incertidumbre actual) a un valor inferior, además de que honraría la precisión del medidor patrón que es de 0,05 %. Las normas de verificación tienen como máximo error el 2 % y en el Laboratorio de Medidores se calibran estos hasta alcanzar según las mesas de calibración una desviación del 0,2 % en la energía medida, con lo que aún teniendo nuestra mesa una incertidumbre de 1,55 % (introducida por la precisión del amperímetro) se logra estar dentro del margen de error dictados por las normas de verificación de ± 2 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. [http:// www.vb-world.net](http://www.vb-world.net).
2. [http:// www.Microchip.com](http://www.Microchip.com).
3. [http:// www.mte.ch](http://www.mte.ch)
4. Microsoft Visual Basic versión 5.0. Publicado por McGraw Hill
5. Programación avanzada con visual Basic. Editado por McGraw Hill. Autor Bruce McKinney.
6. Enciclopedia C.E.A.C de Electricidad e instalaciones de baja tensión y cálculos de Líneas eléctricas. “Contadores de Corriente Alterna.”
7. Hojas de datos PDF del Microcontrolador PIC16F84A.
8. MPLAB TM. IDE, SIMULADOR, EDITOR USER’S GUIDE. 1998 MICROCHIP TECHNOLOGY.
9. Manuales de medidores de la casa suiza LANDIS & GIR.
10. Contador electrico: publicado pro la casa suiza LANDIS & GIR. Autor: H.G. Zublin 1977.
11. Manual del TVH 2.1. Medidor patrón o contador de precisión publicado por la casa suiza LANDIS & GIR.
12. Norma Venezolana COVENIN 864-90.
13. [Pfister, 1970], Método de las constantes.
14. [Landis & gir, 1977], el contador electromecánico.

APENDICE A
ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA GAVETA DE ALIMENTACIÓN DE LA MESA.

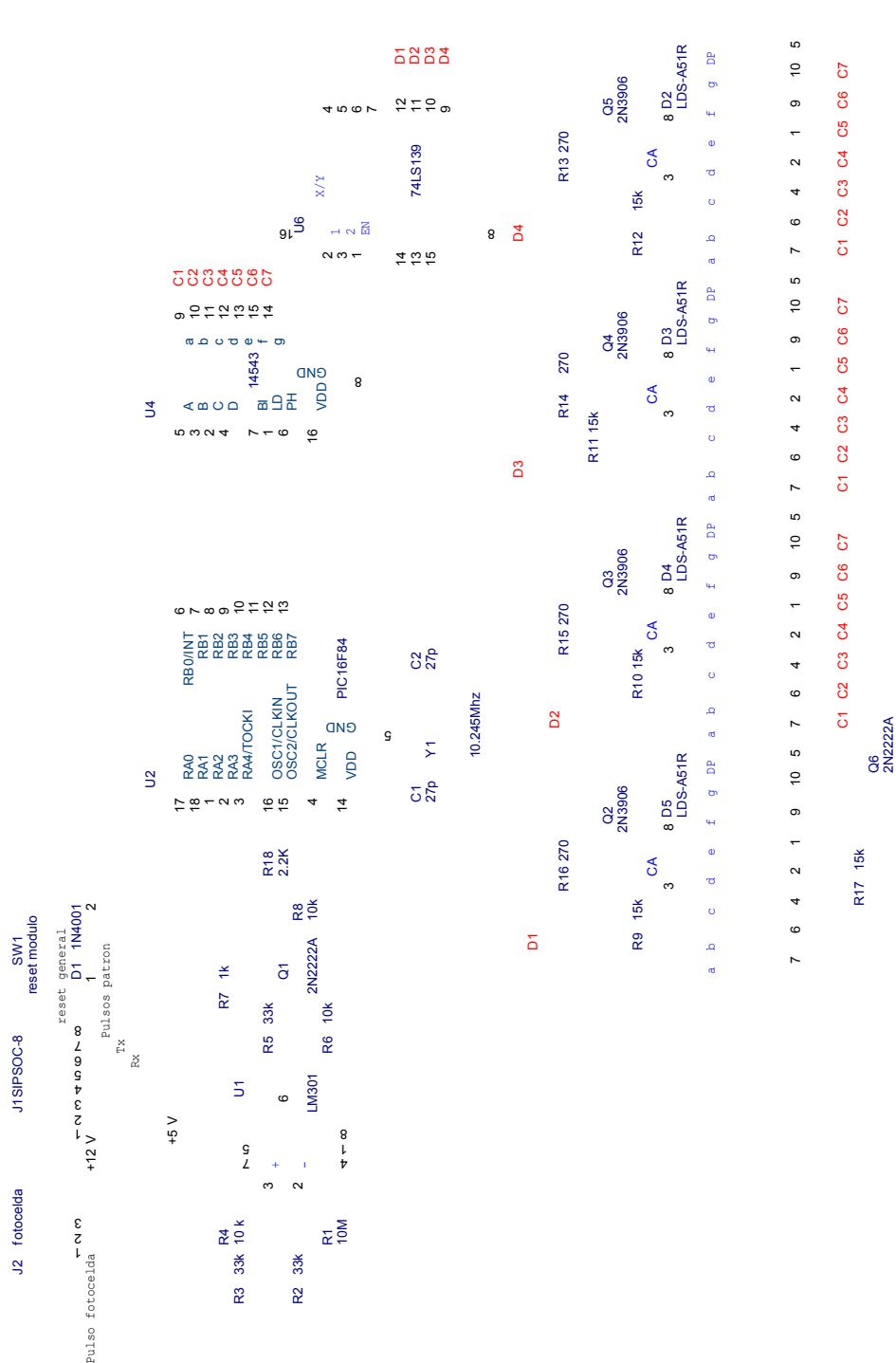


ANEXO A
LISTA DE COMPONENTES UTILIZADOS.

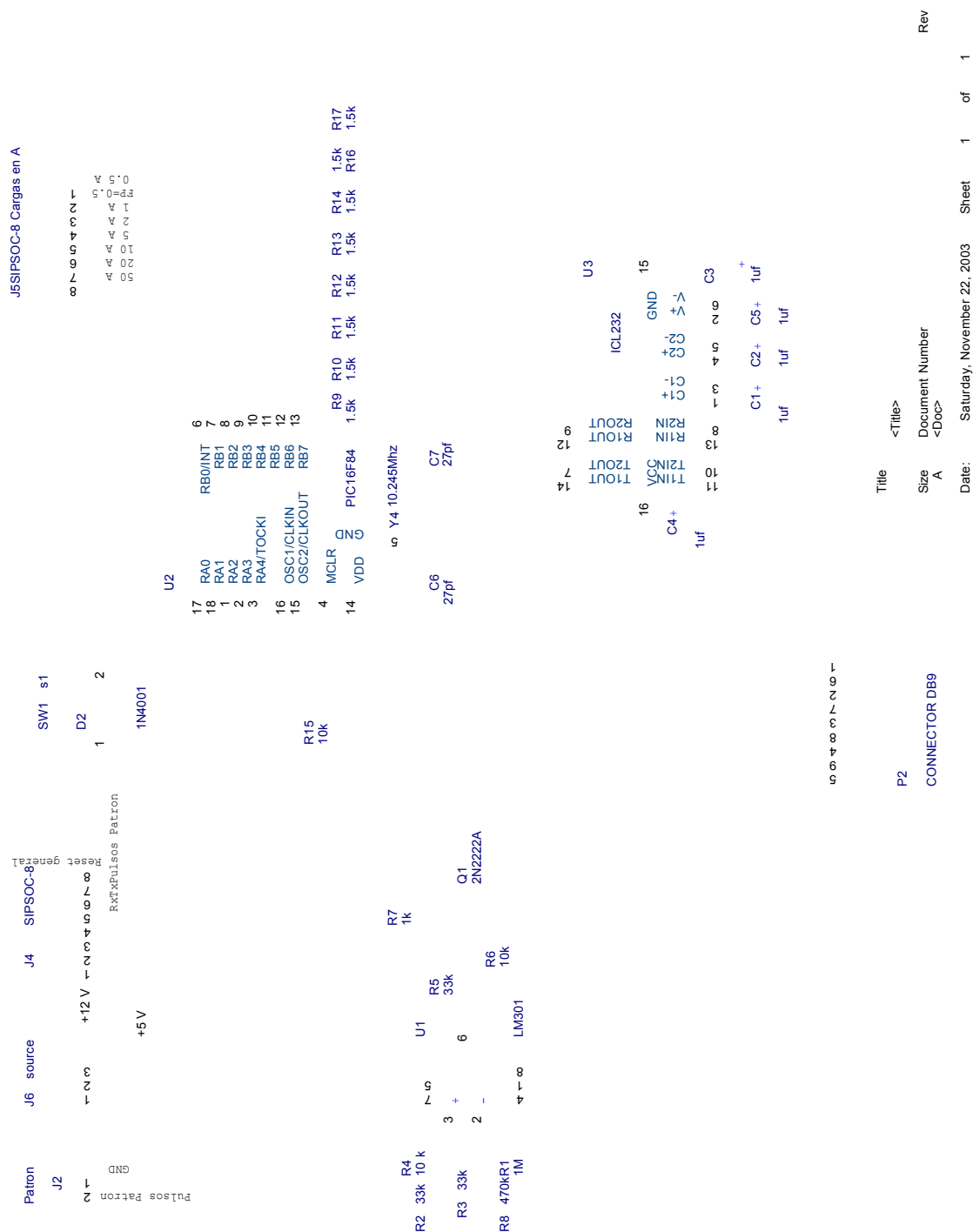
1. Microcontroladores **PIC 16F84A**, MICROCHIP.
2. Amplificadores **LM301AP**, NATIONAL semiconductors.
3. Demultiplexores **DM74ILS139N**, NATIONAL semiconductors
4. Convertidor BCD to 7 SEGMENT **MC14543B**, MOTOROLA.
5. Transistor **2N2222A**.
6. Transistor **2N3906**.
7. Diodos **1N4001**.
8. Cristal oscilador 10.245 Mhz.
9. Condensadores de 27 pF.
10. Led 7 segmentos DD-561A.
11. Driver RS-232, **ICL232CPE**, INTERSIL.
12. Condensadores electrolíticos de 1uF, mayor 10 V.
13. Resistencias de 5% : 270,330,1000,1500,2200,10000,15000,33000 O y 10 MO.
14. Pulsadores normalmente abiertos.
15. Cable conector DB9.
16. Fuente de poder de tensiones +5 V y +12 V; 13 A y 4 A respectivamente.
17. Sensor celda fotoeléctrica **SH10** de LANDIS & GIR.
18. Medidor patrón monofásico **TVH 2.1** de LANDIS & GIR.
19. Tarjeta de circuitos impresos de módulos diseñados.
20. Conectores simples macho y hembra de 3 y 8 terminales.
21. Relays.

ANEXO B

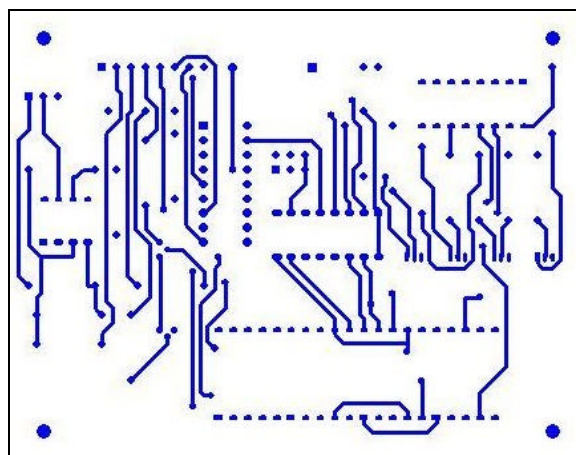
ESQUEMÁTICOS DE LOS MÓDULOS DISEÑADOS.



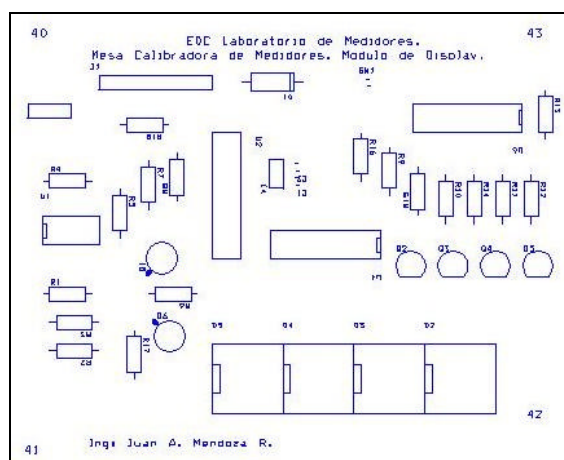
Esquemático de Módulo despliegue de error.



Esquemático de Módulo de comunicación.

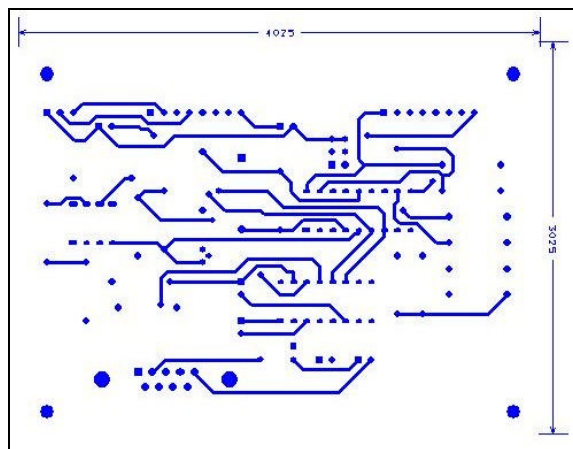


Cara de soldadura.

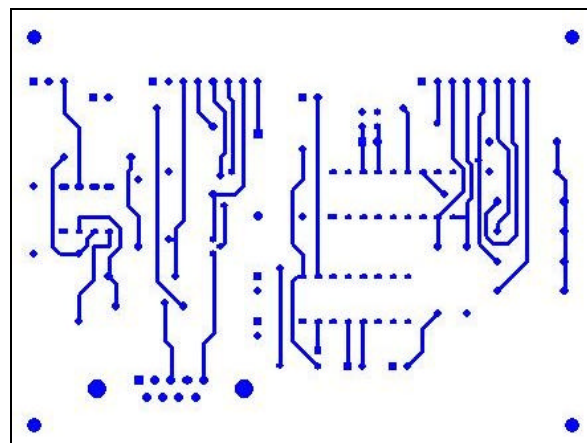


siklscreen del módulo de Display

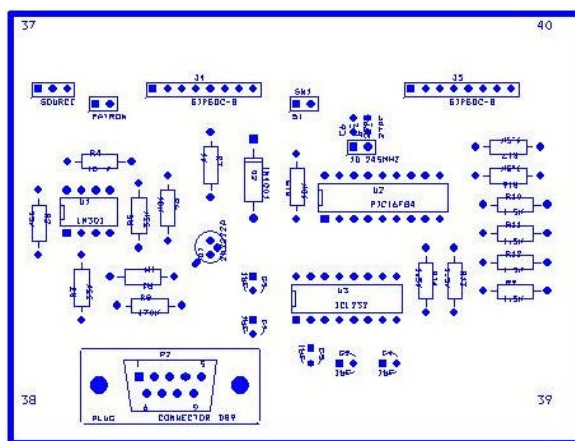
Layout del módulo de Carga.



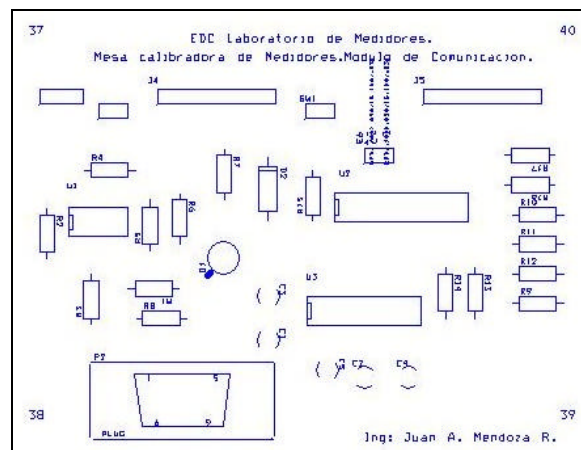
Cara de componentes.



Cara de soldadura.



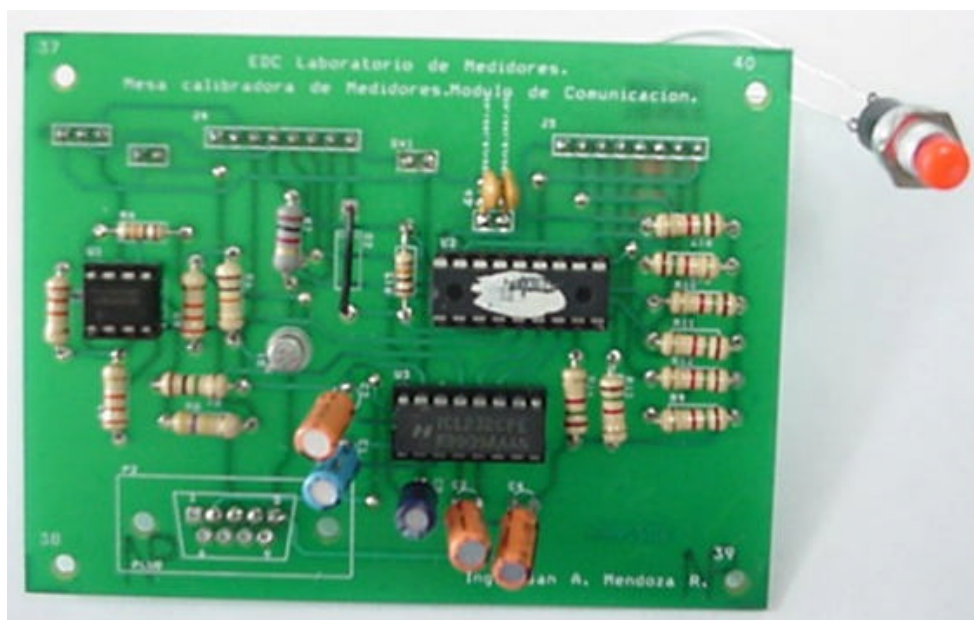
Footprint de componentes



siklscreen del módulo de carga

ANEXO D.

Tarjetas de circuito impreso resultantes.



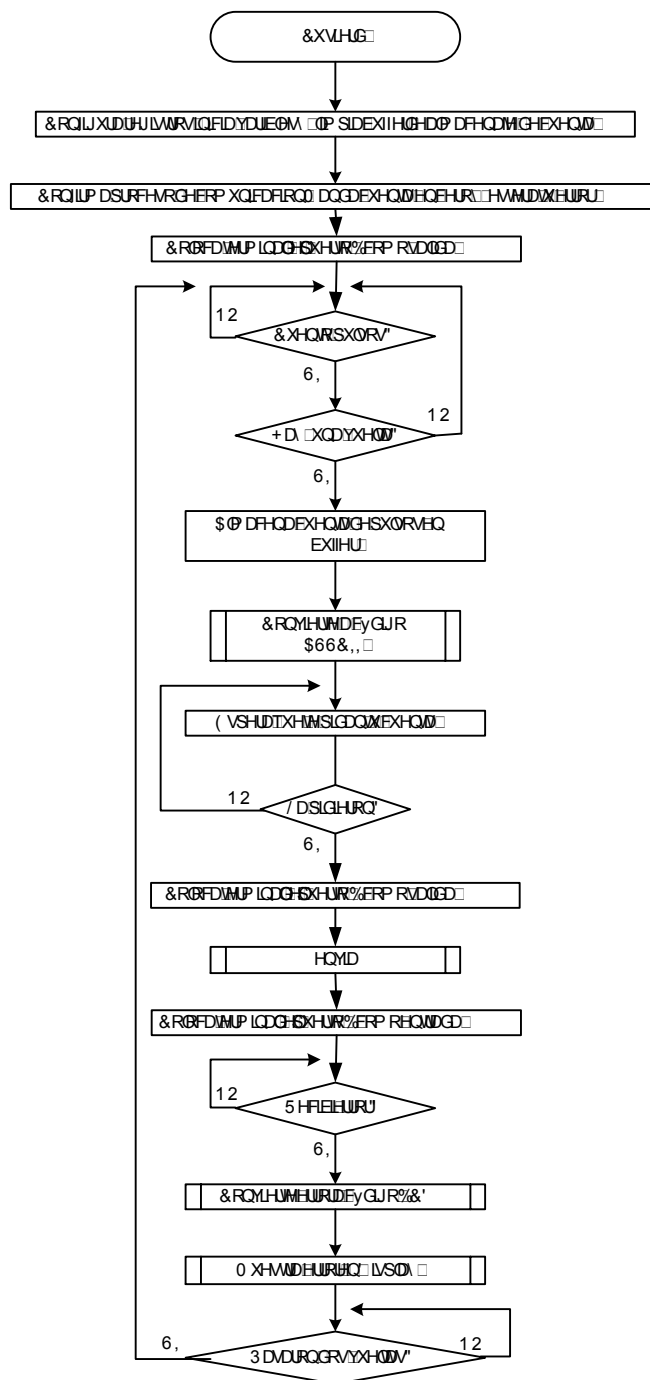
Tarjeta del módulo de comunicación.

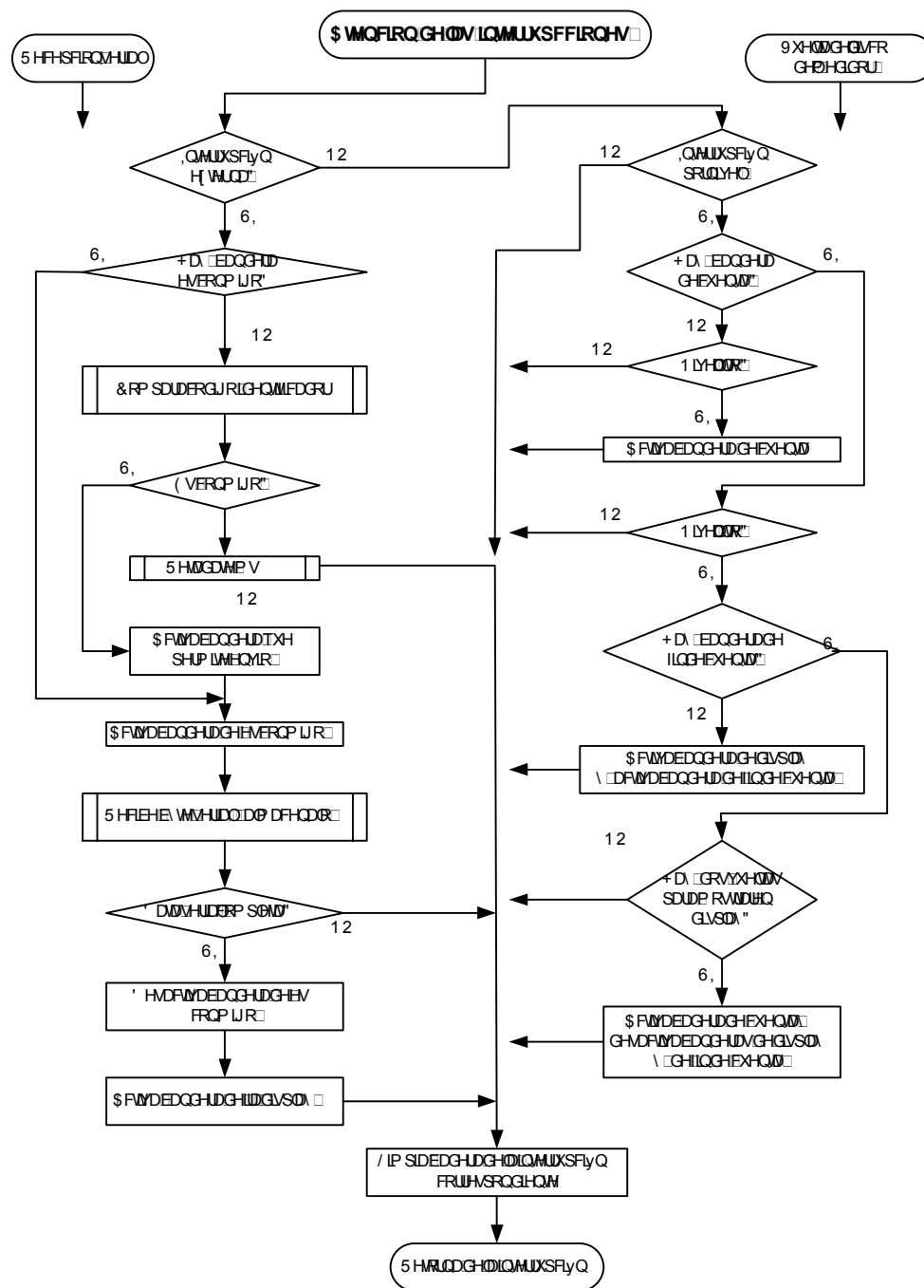


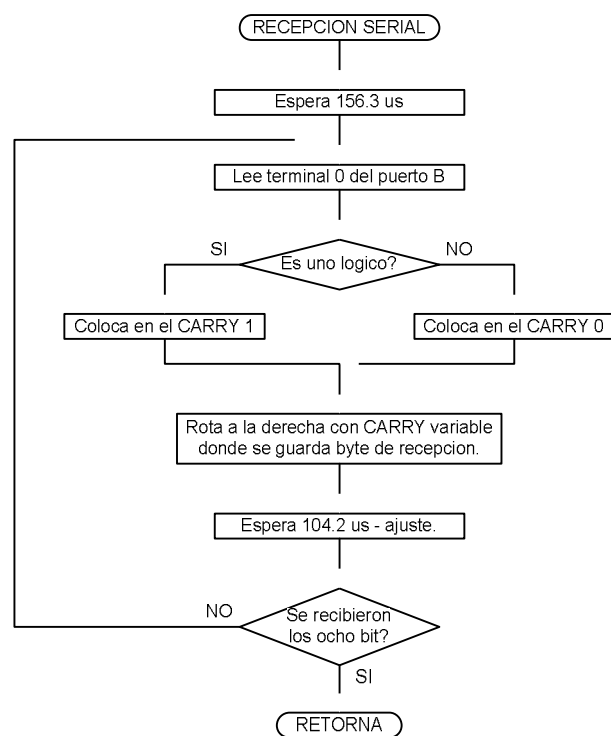
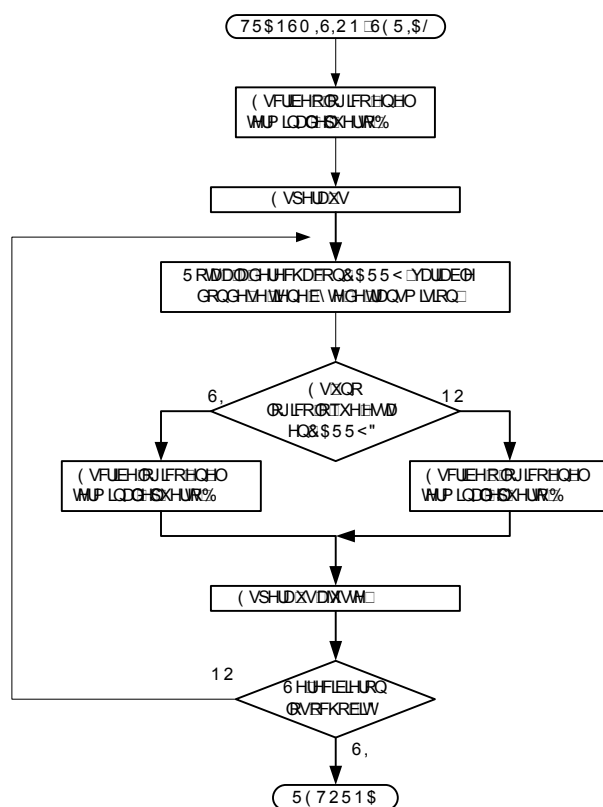
Tarjeta del módulo de display de error.

ANEXO E.

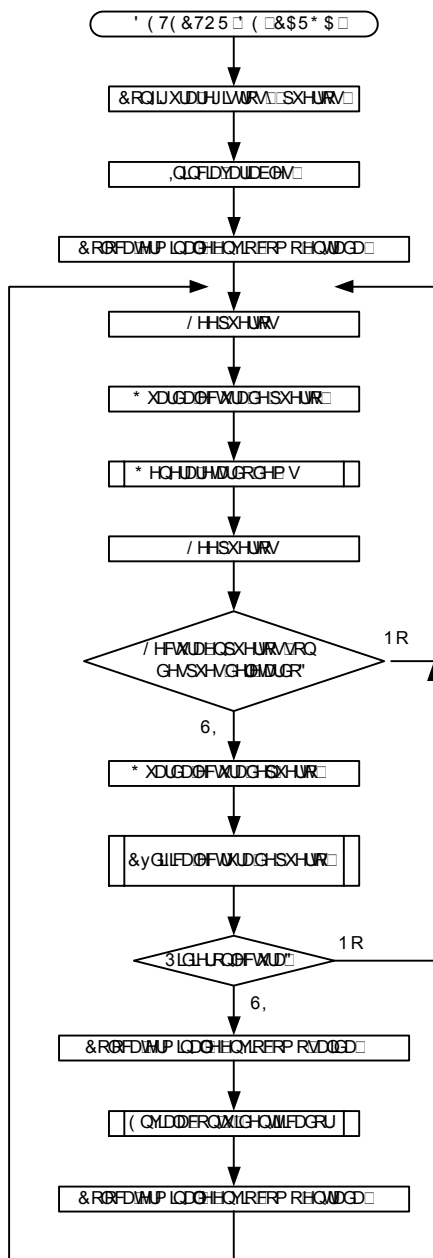
**DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS RUTINAS HECHAS PARA LOS
MICROCONTROLADORES PIC 16F84A.**







Programa del módulo detector de carga.



ANEXO F.

PROGRAMAS CODIFICADOS EN LENGUAJE ENSAMBLADOR PARA RUTINAS DE

ATENCIÓN A LOS MICROCONTROLADORES PIC 16F84A.

Modulo de despliegue de error.

```

list    p=16F84
include <p16F84.inc>
;-----
;      Juan A. Mendoza R.
;      C.A LA ELECTRICIDAD DE CARACAS AES.
;      LABORATORIO DE MEDIDORES.
;      CENTRO DE SERVICIO CHACAO.
;
;      Proyecto: "Mesa para calibracion de medidores electromecanicos
;                  y verificacion de medidores electronicos
;                  monofasicos."
;
;      Rutina:      "Display de error".
;      Caracas 13/05/2002
;-----
;-----
;      ***  Declaracion de variables  ***
;-----
D1      equ      0x0C    ; Variable temporal en la direccion 0x0c
CONTB   equ      0x0D    ; Variable temporal en la direccion 0x0d
D4      equ      0x0E    ; Variable temporal en la direccion 0x0e
D7      equ      0x0F    ; Variable temporal en la direccion 0x0f
D9      equ      0x10    ; Variable temporal en la direccion 0x10
D10     equ      0x11    ; Variable temporal en la direccion 0x11
D11     equ      0x12    ; Contador de vueltas de medidor.
D12     equ      0x13    ; Contador de vueltas del medidor.
D31     EQU      0x18
D21     equ      0x1E    ; variable de uso temporal.
D23     EQU      0x1F    ; variable de uso temporal.
DATO    EQU      0x20    ; variable de uso temporal.
flagd   equ      0x21    ; variable de uso temporal.
FLG     EQU      0x22    ; Variable con banderas temporales.
GUDV    EQU      0x23    ; Variable de uso temporal.
DISV    EQU      0x24    ; Variable de uso temporal.
PORR    EQU      0x25
FLH     EQU      0x26
FLF     EQU      0x27
;-----
;      ***  VECTOR DE DIRECCION DE PROGRAMAS  ***
;-----
      org      0x00    ; Coloca direccion base de memoria en reset vector
      goto     inicio  ; Envia el pc a la direccion de programa deseada

      org      0x04    ; Direccion del vector de interrupciones
      goto     inttt   ; Ve a direccion del prog. d atencion a a int.

      org      0x20    ; Direccion de inicio de programas construidos.
;-----
TAASCII ADDWF    PCL,1
      RETLW     '0'

```

```

RETLW '1'
RETLW '2'
RETLW '3'
RETLW '4'
RETLW '5'
RETLW '6'
RETLW '7'
RETLW '8'
RETLW '9'
RETLW '.'
RETLW ','
RETLW '-'
RETLW '+'

;-----
;
;-----
TCASCI
ADDWF PCL,1
RETLW '0'
RETLW '1'
RETLW '2'
RETLW '3'
RETLW '4'
RETLW '5'
RETLW '6'
RETLW '7'
RETLW '8'
RETLW '9'
RETLW 'A'
RETLW 'B'
RETLW 'C'
RETLW 'D'
RETLW 'E'
RETLW 'F'

;-----
;          *** PROGRAMA INICIAL ***
;          Inicia variables y registros
;-----
inicio
BSF     STATUS,RP0      ; Banco de registros 01: TRISX
MOVLW  B'111100000'     ; Pin 4 como entrada.
MOVWF  TRISA            ; PORTA como salida.
MOVLW  B'11001011'      ; Pin 7,3,1,0 como entrada.
MOVWF  TRISB
MOVLW  B'00000000'      ; Contador externo preescaler 256
MOVWF  OPTION_REG
BCF     STATUS,RP0      ; Banco de registros 00: PORTX
CLRF   D7               ; Inicia Var. en valor 0
CLRF   CONTB
CLRF   flagd
CLRF   FLG
CLRF   FLF
CLRF   FLH
BCF     PORTB,2

inici   CALL  LIPVARCU
MOVLW  B'10000000'      ; Habilita interrupciones.
MOVWF  INTCON
CLRF   flagd            ; Limpia bandera.
MOVLW  'A'
MOVWF  D31              ; Coloca identificador del modulo
CLRF   PORTA
CLRF   PORTB
GOTO   IDENTIFI        ; Confirma comunicacion.
inici   GOTO   PRINCI    ; Cuenta, envia, recibe y muestra error.

;-----
;          *** IDENTIFICA EL PIC E INICIA COMUN. SERIAL ***
;-----
IDENTIFI
MOVLW  0x00             ; Limpia buffer de almacenaje de cuenta

```

```

MOVWF D9
MOVWF D10
MOVWF D11
MOVWF D12
CALL CONVA          ; Convierte a ASCII
BCF  INTCON,RBIF
BCF  INTCON,RBIE
BSF  INTCON,INTE    ; Habilita interrupcion externa.
BSF  FLF,2
RECEP2 BTFSS FLF,7
      GOTO RECEP2
      BSF STATUS,RP0    ; Prepara terminal de transm. como salida.
      BCF TRISB,1
      BCF STATUS,RP0
      BSF PORTB,1
      CALL RETARDOOO
      CALL ENVSE        ; Resp: Si.
      BSF STATUS,RP0    ; Terminal de transm. como in.
      BSF TRISB,1
      BCF STATUS,RP0
      BCF INTCON,RBIF

RECEP1 BTFSS FLH,1      ; Se recibio error?
      GOTO RECEP1      ; Resp: No.
      BCF FLH,1        ; Resp: Si.
      BCF INTCON,INTE  ; Desabilita interrupcion externa.
      BCF FLF,2
      CALL ASCIIBCD    ; Convierte a BCD error.
      MOVLW 0XEA
      MOVWF flagd      ; Proxima vuelta a contar.
      MOVLW 0X01
      MOVWF FLF        ; Hay error recibido.
      MOVLW 0X08
      MOVWF FLH        ; Prepara para iniciar cuenta
      BCF INTCON,RBIF  ; Limpia bandera de interrupcion de vuelta
      BSF INTCON,RBIE  ; Habilita interrupcion serial.
      CALL LIPVARCU    ; Limpia buffer de almacenar cuenta.
      GOTO DISPL      ; Muestra error.

;-----
;          *** PROGRAMA PRINCIPAL ***
;          Inicia variables y registros
;-----
PRINCI

SEGU   BTFSS flagd,1    ; Cuento impulsos?
      GOTO SEGU1      ; Resp: No
      BTFSS PORTB,3    ; Resp: Si. Es nivel alto?
      GOTO ESCER      ; Resp: No
      BTFSS FLH,7      ; El anterior era nivel alto?
      GOTO INCCU      ; Resp: No
      GOTO SEGU       ; Resp: Si

SEGU1  BTFSC FLH,0      ; Termino Cuenta?
      GOTO CONVA1     ; Resp: Si
      GOTO SEGU

ESCER  BCF  FLH,7      ; Lectura actual cero
      GOTO SEGU

INCCU  INCF  D12,1      ; Lleva la cuenta
      BTFSS STATUS,2   ; la almacena en el buffer
      GOTO RETOA      ; con las variables asignadas
      INCF  D11,1      ; a la direccion de memoria
      BTFSS STATUS,2   ; del buffer.
      GOTO RETOA
      INCF  D10,1
      BTFSS STATUS,2
      GOTO RETOA
      INCF  D9,1

```

```

RETOA  BSF    FLH,7          ; Lectura de pulso nivel alto.
       GOTO   SEGU

CONVA1
       BCF    INTCON,RBIE    ; Deshabilita interrupcion por vuelta.
       BCF    FLH,0          ; Indica fin de cuenta.
       CALL   CONVA          ; Rutina para conv. a ASCII cuenta
       BSF    INTCON,INTE    ; Habilita recepcion. Interupcion externa.
       BSF    FLF,2          ; Recepcion serial permitida.

ENV1   BTFSS  FLF,7          ; Envio?
       GOTO   ENV1          ; Resp: No.
       BSF    STATUS,RP0     ; Prepara terminal de transm. como salida.
       BCF    TRISB,1
       BCF    STATUS,RP0
       BSF    PORTB,1
       CALL   RETARDOOO
       CALL   ENVSE          ; Resp: Si.
       BSF    STATUS,RP0     ; Terminal de transm. como in.
       BSF    TRISB,1
       BCF    STATUS,RP0
       CALL   LIPVARCU       ; Limpia buffer de cuenta de impulsos.

RECEP  BTFSS  FLH,1          ; Se recibio error?
       GOTO   RECEP         ; Resp: No.
       BCF    FLH,1          ; Resp: Si.
       BCF    INTCON,INTE    ; Desabilita interrupcion externa.
       BCF    FLF,2
       CALL   ASCIIBCD       ; Convierte a BCD error.
       BSF    flagd,5         ; Muestra en display.
       BSF    flagd,1
       BCF    INTCON,RBIF
       BSF    INTCON,3
       GOTO   DISPL

;-----
;      ***      INICIA VARIABLE DE CUENTA DE IMPULSOS      ***
;-----
LIPVARCU      ; Limpia buffer donde se almacena la cuenta de pulsos.
       CLRF   D9
       CLRF   D10
       CLRF   D11
       CLRF   D12
       CLRF   DATO
       MOVLW  '1'
       MOVWF  D21
       MOVLW  0X1D
       MOVWF  GUDV
       BCF    FLH,1
       BCF    FLH,2
       RETURN

;-----
;      ***      Rutina de atencion a las interrupciones.      ***
;-----
inttt
       btfss  INTCON,INTF     ; Es interrupcion externa (Recepcion)?
       goto   MEDCA
       BTFSS  FLF,2          ; Permiso recepcion?
       GOTO   linf
       CALL   RECIBE         ; Resp:Si, Recibe data de error.
       BTFSS  FLF,7          ; Es conmigo ?
       GOTO   LINF1          ; Resp:no se averigua
       BTFSS  FLH,2          ; Resp: si se recibio todo?
       CALL   GUDARE         ; Resp: no Guarda en buffer de recepcion.

```

```

linf    bcf      INTCON,INTF    ; Sal de interrupcion.
retor   retfie
LINFL1  CALL     COMPANUP
        GOTO     linf

MEDCA   BTFSS    INTCON,RBIF    ; Es por cambio en terminal?
        GOTO     retor          ; Resp: no retorna.
        MOVF     PORTB,0        ; Resp: si
        ANDLW    0X80
        XORWF    PORR,1
        BTFSC    PORR,7        ; Es por cambio en terminal 6?
        GOTO     MC7           ; Resp: Si
        GOTO     retorMC       ; Resp: No retorna.
;-----
MC7      ;BSF     INTCON,3
        BTFSC    flagd,1        ; Hay banderas de segunda vuelta?
        GOTO     MEDC2
        BTFSS    PORTB,7        ; Es vuelta para contar?
        GOTO     retorMC       ; Resp: No retorna.
        BSF      flagd,1        ; Resp: cuenta.
        BCF      FLH,3          ; Limpia banderas de cuenta de vueltas.
        BCF      flagd,5
        CALL     LIPVARCU      ; Limpia buffer de almacenar cuenta.
        GOTO     retorMC
MEDC2    BTFSC    flagd,7        ; Fin de la vuelta de cuenta?
        GOTO     CARUMU
        BSF      flagd,7        ; Resp: no
        GOTO     retorMC
;-----
CARUMU   ;BCF     INTCON,5
        BTFSC    FLF,0          ; Es comienzode lra vuelta para mostrar error?
        GOTO     DISPD2V       ; Resp: no.
        BSF      FLF,0          ;resp: si
        BCF      flagd,1
        BSF      flagd,3        ; Cuenta lista para enviar.
        BSF      FLH,0          ; Bandera para indicar fin de cuenta
        BSF      FLH,3          ;
        ;BCF     INTCON,3
        GOTO     retorMC

DISPD2V  BTFSS    FLF,1          ; Es comienzo de 2da vuelta para error?
        GOTO     TDI2V         ; Resp: no. indica que si comenzo 2da vuelta
        BTFSC    flagd,6        ; Es final de 2da vuelta?
        GOTO     MEDC3         ; Resp: si
        BSF      flagd,6        ; Resp: no.
        GOTO     retorMC
MEDC3    BTFSS    PORTB,7        ; es momento de contar pulsos?
        GOTO     TDI2V
        BCF      flagd,2        ; Resp: si limpia banderas d vuelta de med.
        BCF      flagd,7
        BCF      flagd,6
        BCF      flagd,5
        CLRF     FLF
        GOTO     retorMC
TDI2V    BSF      FLF,1
        GOTO     retorMC
;-----

retorMC  MOVF     PORTB,0        ; Lee puerto B.
        ANDLW    0X80
        MOVWF    PORR          ; Guarda estado actual la vuelta B.
        BCF      INTCON,RBIF
        GOTO     retor
;-----
;          *** Envio de data serial ***
;-----

```

```

ENVSE
    MOVLW    10H          ; Direccion de inicio de data a enviar.
    MOVWF    FSR
    ;BCF     flagd,2
ENVESE
    MOVF     INDF,0       ; saca el byte de direccion indicada.
    MOVWF    DATO        ; Guardalo en variable de envio.
    CALL     TRANSM       ; Transmite byte.
    MOVLW    18H         ; Direccion final de envio.
    BCF      STATUS,2
    XORWF    FSR,0       ; Termino transmision?
    BTFSC    STATUS,2
    RETURN   ; Resp: si.
    INCF     FSR,1       ; resp: no, direccion de proximo byte.
    GOTO     ENVESE

;-----
;   Transmission serial de datos, 1 bit de start, 1 bit stop
;-----

TRANSM
    MOVLW    09H         ; Numero de bit a rotar.
    MOVWF    CONTB
    GOTO     TCERO       ; Envia bit de START.
TRANS1
    RRF      DATO,1       ; Proximo bit a enviar.
    BTFSS    STATUS,C    ; Es un uno?
    GOTO     TCERO       ; Resp: No
    GOTO     TUNO        ; Resp: Si.
TCERO
    BCF      PORTB,1     ; Coloca cero en terminal.
    GOTO     TRANS2      ; Espera 104.5 us.
TUNO
    BSF      PORTB,1     ; Coloca uno en terminal.
    GOTO     TRANS2      ; Espera 104.5 us.
TRANS2
    CALL     RETAR
    CALL     RETAR
    DECFSZ   CONTB,1     ; Terminaste de enviar byte?
    GOTO     TRANS1      ; Resp: No, sigue enviando bit.
    GOTO     TRAA        ; Resp: Si.
TRAA
    GOTO     TRAB
TRAB
    GOTO     TRAC
TRAC
    BSF      PORTB,1     ; Coloca bit de STOP.
    CALL     RETAR
    CALL     RETAR
    RETURN

;-----
;   *** data serial ***
;   RUTINA DE RETARDO PARA GENERAR 9600 BAUDIOS
;-----

RETAR
    MOVLW    0X29
    MOVWF    D1
TIEMB
    DECFSZ   D1,1
    GOTO     TIEMB
    RETURN

;-----
;   *** Recepcion de data serial ***
;-----

RECIBE
    MOVLW    0X08       ; Numero de bit a recibir.
    MOVWF    CONTB
    CALL     RETAR       ; Espera 156.3 us.
    CALL     RETAR
    CALL     RETAR
    GOTO     RECI2
RECI2
    GOTO     RECI3
RECI3
    GOTO     RECI

```

```

RECI    BTFSS    PORTB,0      ; Es uno logico?
        GOTO     RCERO        ; Resp: no.
        GOTO     RUNO         ; Resp: Si.
RCERO    BCF      STATUS,C    ; Coloca bit en variable de bit.
        GOTO     RECY
RUNO     BSF      STATUS,C    ; Coloca bit en variable de bit.
        GOTO     RECY
RECY     RRF      DATO,1       ; Rota variable construyendo byte.
        DECFSZ   CONTB,1      ; Termine de construir byte?
        GOTO     RECY2        ; Resp: no.
        GOTO     RECI1        ; Resp: si.
RECY2    CALL     RETAR
        CALL     RETAR
        GOTO     RECI
RECI1    RETURN

;-----
;      *** Rutina que compara que identifica pic para ***
;      establecer comunicacion con este
;-----
COMPANUP
        MOVF     DATO,0        ; Saca uno de los valores a comparar.
        BCF      STATUS,Z
        XORWF    D31,0         ; Compara valor con mi identificador.
        BTFSS    STATUS,Z      ; Es conmigo?
        GOTO     COMPANU
        BSF      FLF,7         ; Resp: si indicalo.
        RETURN
COMPANU  CALL     RETAROOU
        RETURN

;-----
;      *** Retardo de 17 ms ***
;-----
RETAROOU
        MOVLW    0XAA
        MOVWF    D21
RETAROU1
        CALL     RETAR
        CALL     RETAR
        DECFSZ   D21,1
        GOTO     RETAROU1
        RETURN

;-----
;      *** Rutina para guardar dato de la recepcion serial EL ERROR ***
;-----

GUDARE
        MOVF     GUDV,0
        MOVWF    FSR           ; Direccion de inicio para guardar.
        BTFSS    FLG,0         ; Es primer byte del error?
        GOTO     GUDA1
        DECF     FSR,1         ; Resp: no.
        GOTO     GUDA2
GUDA1    BSF      FLG,0         ; Resp: si
        BCF      FLAGD,5
GUDA2    MOVF     DATO,0
        MOVWF    INDF          ; Salva bit de error en direccion de buffer.
        MOVLW    19H
        BCF      STATUS,Z
        XORWF    FSR,0
        BTFSS    STATUS,Z      ; Termino de llegar el error?
        GOTO     GUDA3        ; Resp: no sigue guardando.
        BSF      FLAGD,2       ; Resp: si,puedes mostrar error en 7-seg.
        BSF      FLAGD,5
        BCF      FLG,0
        MOVLW    0X1D
        MOVWF    GUDV

```

```

        BSF     FLH,1
        BSF     FLH,2           ; Bandera p indicar que se recibio data
        BCF     FLF,7
        RETURN
GUDA3   MOVF     FSR,W           ; Proxima direccion para guardar byte de error.
        MOVWF   GUDV
        RETURN

;-----
;      ***   RUTINA PARA CONVERTIR NUMEROS EN CODIGO ASCII A BCD   ***
;-----
ASCIIBCD
        MOVLW   0X05           ; Cant. de  numeros a convertir.
        MOVWF   D1
        MOVLW   0X19           ; Direccion inicio de numeros a conver.
        MOVWF   FSR
ASCII2   CLRF    CONTB
        MOVLW   0X0E           ; Cantidad de caracteres en tabla de con.
        MOVWF   DATO
ASCII3   MOVF    CONTB,0        ; limpia contador
        CALL    TAASCII        ; Tabla de conversion.
        BCF     STATUS,Z
        XORWF   INDF,W         ; son iguales los codigos?
        BTFSS   STATUS,Z
        GOTO    ASCII1         ; Resp: no
        BCF     STATUS,0       ; Resp: si
        MOVF    CONTB,0
        MOVWF   INDF           ; Guarda numero convertido.
        INCF    FSR,1           ; proximo numero a convertir.
        DECFSZ  D1,1           ; Decrementa cant. de numeros conv.
        GOTO    ASCII2         ; Comienza comparacion del siguiente num.
        RETURN
ASCII1   INCF    CONTB,1        ; Posicion siguiente de busq. en la tabla.
        DECFSZ  DATO,1         ; Fin de tabla?
        GOTO    ASCII3
        ;GOTO   DISPL          ; Resp: si
        RETURN

;-----
;      ***   MUESTRA ERROR EN DISPLAY   ***
;-----

DISPL   BTFSS   flagd,5        ; Muestro error?
        GOTO    inicDIS        ; Resp:no.
        BCF     flagd,4        ; Resp: si.apaga punto decimal.
        BCF     PORTA,4
        MOVLW   0X19           ; Direccion de data a mostrar.
        MOVWF   FSR

        MOVF    INDF,0         ; Numero a mostrar en 7-segmento LS.
        MOVWF   PORTA          ; Coloca numero en dispositivo 7-segmento
        BSF     PORTB,4        ; Enciende 7-segmento menos significativo.
        BSF     PORTB,5
        CALL    RETAR

        INCF    FSR,1           ; Siguiente al menos signi. con punto dec.
        MOVF    INDF,0         ; Numero a mostrar en display de decima.
        CALL    DISPL1
        BTFSS   flagd,4
        GOTO    DIS3
        MOVF    INDF,0
        MOVWF   PORTA
        CALL    BANDERA
        BCF     PORTB,4
        CALL    RETAR
        BCF     PORTA,4

```

```

        GOTO    DIS4

DIS3    MOVF    INDF,0          ; Siguiendo al menos signifi. sin punto dec.
        MOVWF   PORTA
        BCF     PORTB,4
        CALL    RETAR
        GOTO    DIS5

DIS4    INCF     FSR,1          ; Numero siguiente del signo.
        MOVF     INDF,0        ; Numero a mostrar en display de centesima.
        MOVWF    PORTA
        BSF      PORTB,4
        BCF      PORTB,5
        CALL     RETAR
        GOTO     SIGNO

DIS5    INCF     FSR,1          ; Siguiendo al signo aqui puede estar dec.
        MOVF     INDF,0        ; Numero a mostrar en display de decima.
        CALL     DISPL1
        BTFSS    flagd,4
        GOTO     DIS6
        MOVF     INDF,0        ; Numero a mostrar en display de centesima.
        MOVWF    PORTA

        CALL     BANDERA
        BSF      PORTB,4
        BCF      PORTB,5
        CALL     RETAR
        BCF      PORTA,4
        GOTO     SIGNO

DIS6    MOVF     INDF,0          ; Siguiendo al signo sin decimal
        MOVWF    PORTA
        BSF      PORTB,4
        BCF      PORTB,5
        CALL     RETAR
        GOTO     SIGNO

SIGNO   INCF     FSR,1
        MOVF     INDF,0
        CALL     DISPL1
        BTFSS    flagd,4
        GOTO     DIS2
        CALL     BANDERA
        BCF      PORTB,4
        BCF      PORTB,5
        CALL     RETAR

DIS2    GOTO     DISPL          ; Sigue refrescando los displays 7-segmento.

DISPL1  BCF      PORTA,4        ; Apaga punto decimal y signo menos.
        BCF      flagd,4
        BCF      STATUS,Z
        MOVWF    D23
        MOVLW    0X0A
        XORWF    D23,0
        BTFSC    STATUS,Z        ; Es punto decimal?
        GOTO     DISPL11        ; Resp: si.
        BCF      STATUS,Z
        MOVLW    0X0B
        XORWF    D23,0
        BTFSC    STATUS,Z        ; Es punto decimal?
        GOTO     DISPL11        ; Resp: si.
        BCF      STATUS,Z
        MOVLW    0X0C

```

```

        XORWF    D23,0
        BTFSC    STATUS,Z      ; Es signo -?
        GOTO     DISPL11      ; Resp: Si
        RETURN
DISPL11 BSF      flagd,4        ; Activa indicador de punto decimal.
        INCF     FSR,1
        RETURN
BANDERA BSF      PORTA,4
        RETURN

inicDIS
        BCF      flagd,4        ; Limpia indicadores de sino y decimal
        BCF      flagd,2        ; limpia bandera indicando debe recibir
        BCF      FLH,1          ; nuevo error.
        BCF      FLH,2

DPLI    BCF      PORTA,4        ; Apaga los 7 segmentos.
        BCF      PORTB,4
        BCF      PORTB,5
        GOTO     PRINCI

; -----
;      ***      CONVIERTE A ASCII NUMERO HEXADECIMAL      ***
; -----

CONVA    MOVLW    04H
        MOVWF    D4
        MOVLW    0X13
        MOVWF    FSR
CONCA1   CALL     CONCl
        SWAPF    INDF,1        ; Intercambia nibble
        DECF     D4,1          ; Bytes que faltan por conv.
        CALL     CONCl        ; ASCII correspondiente a nibble bajo
        MOVLW    10H          ; Addr. de ultimo byte a conv.
        BCF      STATUS,2
        XORWF    FSR,0
        BTFSC    STATUS,2      ; Es el ultimo?
        GOTO     CONCA2      ; Resp: si
        DECF     FSR,1        ; Resp: no
        GOTO     CONCA1
CONCA2   RETURN

CONCl    MOVLW    B'00001111'
        ANDWF    INDF,0
        CALL     TCASCIi
        MOVWF    D1
        MOVF     D4,0
        ADDWF    FSR,1
        MOVF     D1,0
        MOVWF    INDF
        MOVF     D4,0
        SUBWF    FSR,1
        RETURN

; -----
RETARDOO
        MOVLW    0X14
        MOVWF    D21
RETOOO   CALL     RETAR
        DECFSZ   D21,1
        GOTO     RETOOO
        RETURN

; -----
END

```

Programa del módulo detector de carga.

```

list    p=16F84
include <p16F84.inc>

;-----
;      Juan A. Mendoza R.
;      C.A LA ELECTRICIDAD DE CARACAS AES.
;      LABORATORIO DE MEDIDORES.
;      CENTRO DE SERVICIO CHACAO.
;
;      Proyecto: "Mesa para calibracion de medidores electromecanicos
;                  y verificacion de medidores electronicos
;                  monofasicos."
;
;      Rutina:      "Display de error".
;      Caracas 13/05/2002
;-----

;-----
;                  ***  Declaracion de variables  ***
;-----

D1      equ      0x0C    ; Variable temporal en la direccion 0x0c
CONTB   equ      0x0D    ; Variable temporal en la direccion 0x0d
D4      equ      0x0E    ; Variable temporal en la direccion 0x0e
D7      equ      0x2F    ; Variable temporal en la direccion 0x0f
D9      equ      0x10    ; Variable temporal en la direccion 0x10
D10     equ      0x11    ; Variable temporal en la direccion 0x11
D11     equ      0x12    ; Contador de vueltas de medidor.
D12     equ      0x13    ; Contador de vueltas del medidor.
D17     EQU      0x17
D31     EQU      0x18
D21     equ      0x1E    ; variable de uso temporal.
D23     EQU      0x1F    ; variable de uso temporal.
DATO    EQU      0x20    ; variable de uso temporal.
flagd   equ      0x21    ; variable de uso temporal.
D22     EQU      0x22    ; Variable con banderas temporales.
GUDV    EQU      0x23    ; Variable de uso temporal.
DISV    EQU      0x24    ; Variable de uso temporal.
PORR    EQU      0x25
FLH     EQU      0x26
FLF     EQU      0x27

;-----
;                  ***  VECTOR DE DIRECCION DE PROGRAMAS  ***
;-----

org      0x00    ; Coloca direccion base de memoria en reset vector
goto     inicio  ; Envia el pc a la direccion de programa deseada

org      0x04    ; Direccion del vector de interrupciones
goto     inttt   ; Ve a direccion del prog. d atencion a a int.

org      0x20    ; Direccion de inicio de programas construidos.

;-----
;
;-----
TCASCII
ADDWF    PCL,1
RETLW    '0'
RETLW    '1'
RETLW    '2'
RETLW    '3'
RETLW    '4'
RETLW    '5'
RETLW    '6'

```

```

    RETLW '7'
    RETLW '8'
    RETLW '9'
    RETLW 'A'
    RETLW 'B'
    RETLW 'C'
    RETLW 'D'
    RETLW 'E'
    RETLW 'F'
;-----
;-----
TABLCAR
    ADDWF PCL,1
    RETLW 0X00
    RETLW 0X01
    RETLW 0X02
    RETLW 0X03
    RETLW 0X04
    RETLW 0X05
    RETLW 0X08
    RETLW 0X09
    RETLW 0X10
    RETLW 0X11
    RETLW 0X20
    RETLW 0X21
    RETLW 0X40
    RETLW 0X41
    RETLW 0X80
    RETLW 0X81
;-----
;          *** PROGRAMA INICIAL ***
;          Inicia variables y registros
;-----
inicio
    BSF    STATUS,RP0      ; Banco de registros 01: TRISX
    CLRW
    MOVWF  OPTION_REG
    BCF    STATUS,RP0      ; Banco de registros 00: PORTX
    CLRF   D7              ; Inicia Var. en valor 0
    CLRF   CONTB
    CLRF   flagd
    CLRF   FLF
    CLRF   FLH

inici    CALL  LIPVARCU
    MOVLW  B'10010000'     ; Habilita interrupciones.
    MOVWF  INTCON
    CLRF   flagd           ; Limpia bandera.
    MOVLW  'B'
    MOVWF  D31

inic     GOTO  PRINCI
;-----
;          *** Programa principal ***
;-----
PRINCI
    CALL  PRINCIRE          ; Lee en cual terminal hay carga
    MOVF  D7,0             ; Trae carga actual
    MOVWF  PORR            ; Salva carga actual
    CALL  RETARDOOO        ; Espera a que se estabilice relays
    CALL  RETARDOOO
    CALL  PRINCIRE          ; vuelve a leer la carga aplicada.
    BCF   STATUS,Z
    MOVF  PORR,0
    XORWF D7,0             ; Es la misma carga?
    BTFSS STATUS,Z
    GOTO  PRINCI           ; Resp: no.
    MOVLW 0X00             ; Resp: si.
    BCF   STATUS,Z
    XORWF D7,0

```

```

CALL    BUSCONV      ; Busca codigo igual al actual en tabla
CALL    TCASCII      ; Extrae de tabla codigo para interfaz VB.
MOVWF   D17          ; Guardalo en variable de envio.
GOTO    PRINCI

;-----
;          ***      Rutina que busca carga seleccionada      ***
;-----
PRINCIRE
    MOVF    PORTB,0      ; Lee carga en puerto B
    MOVWF   D7           ; Salva lo leido en puerto B
    MOVLW   0XFC         ; Solo los terminales de carga
    ANDWF   D7,1
    BTFSS   PORTA,0      ; El factor de potencia es 0.5?
    GOTO    PRINCI2AA    ; Resp: no.
    BSF     D7,0         ; Resp: si.
    GOTO    PRINCI2A
PRINCI2AA
    BCF     D7,0         ; FP es 1
PRINCI2A
    BTFSS   PORTA,1      ; La carga es de 0.5 A?
    GOTO    PRINCI1A    ; Resp: no
    BSF     D7,1         ; Resp: si
    GOTO    PRINCI1
PRINCI1A
    BCF     D7,1         ; La carga no es 0.5 A
PRINCI1
    RETURN
;-----
ENV1
    BSF     STATUS,RP0   ; Prepara terminal de transm. como salida.
    BCF     TRISB,1
    BCF     STATUS,RP0
    BSF     PORTB,1
    CALL    RETARDOOO
    CALL    ENVSE        ; Resp: Si.
    BSF     STATUS,RP0   ; Terminal de transm. como in.
    BSF     TRISB,1      ; Coloca terminal d envio como entrada
    BCF     STATUS,RP0
    RETURN
;-----
;
;-----
BUSCONV
    MOVLW   0X0F         ; Coloca inicio de busqueda en tabla.
    MOVWF   D22
BUSCON   CALL    TABLCAR  ; Extrae dato que hay en direccion de tabla
    BCF     STATUS,Z
    XORWF   D7,0         ;Codigo leido en puerto igual al de tabla?
    BTFSS   STATUS,Z
    GOTO    INCTA        ; Resp: no
    MOVF    D22,0        ; Resp: si
    RETURN
INCTA    DECFSZ   D22,1   ; Sigue buscando en direccion siguiente en tabla.
    GOTO    INCTA1       ; Coloca direccion de busqueda en tabla
    MOVF    D22,0        ; Carga aplicada es cero.
    CALL    TABLCAR
    RETURN
INCTA1   MOVF     D22,0
    GOTO    BUSCON       ; Busca con esta nueva direccion en tabla
;-----
;          ***      INICIA VARIABLE DE CUENTA DE IMPULSOS      ***
;-----
LIPVARCU
    MOVLW   10H          ; Limpia buffer donde se almacena el codigo

```

```

MOVWF FSR          ; ASCII de la carga detectada
LIPVAR MOV LW      '0'
MOVWF INDF
MOVLW 17H
BCF STATUS,2
XORWF FSR,0
BTFSC STATUS,2
RETURN
INCF FSR,1
GOTO LIPVAR
CLRF DATO
BCF FLH,1
BCF FLH,2
RETURN

;-----
;      *** Rutina de atencion a las interrupciones. ***
;-----
intttt
      btfss INTCON,INTF      ; Es interrupcion externa (Recepcion)?
      GOTO linf
      CALL RECIBE           ; Resp:Si, Recibe data de error.
LINF1 CALL COMPANUP

linf   bcf INTCON,INTF      ; Sal de interrupcion.
retor  retfie              ; Interrupcion atendida.cont.

;-----
;      *** Envio de data serial ***
;-----
ENVSE
      MOVLW 10H             ; Direccion inicio de data a enviar
      MOVWF FSR
ENVESE MOVF INDF,0          ; Saca byte data a enviar.
      MOVWF DATO           ; Colocalo en variable de envio
      CALL TRANSM          ; Envia byte
      MOVLW 18H
      BCF STATUS,2
      XORWF FSR,0
      BTFSC STATUS,2       ; Termino el envio de data?
      RETURN              ; Resp: si
      INCF FSR,1           ; Resp: no. direccion de proximo byte
      GOTO ENVESE         ; a enviar.

;-----
;      Transmision serial de datos, 1 bit de start, 1 bit stop
;-----

TRANSM
      MOVLW 09H
      MOVWF CONTB          ; Numero de bit a transmitir.
      GOTO TCERO           ; Envia bit de Start.
TRANS1 RRF DATO,1          ; Bit a enviar.
      BTFSS STATUS,C       ; El bit a enviar es 1?
      GOTO TCERO           ; Resp; no es bit cero.
      GOTO TUNO            ; Resp; si es bit uno.
TCERO  BCF PORTB,1         ; Envia bit cero.
      GOTO TRANS2          ; Espera 104.3 us
TUNO   BSF PORTB,1         ; Envia bit uno.
      GOTO TRANS2          ; Espera 104.3 us
TRANS2 CALL RETAR
      CALL RETAR
      DECFSZ CONTB,1       ; Enviastes todo el byte?
      GOTO TRANS1         ; Resp: no
      GOTO TRAA           ; Resp: si
TRAA   GOTO TRAB
TRAB   GOTO TRAC

```

```

TRAC    BSF      PORTB,1      ; Coloca bit d Stop.
        CALL     RETAR
        CALL     RETAR
        RETURN

;-----
;          *** data serial ***
;          RUTINA DE RETARDO PARA GENERAR 9600 BAUDIOS
;-----

RETAR
        MOVLW    0X29
        MOVWF    D1
TIEMB   DECFSZ   D1,1
        GOTO     TIEMB
        RETURN

;-----
;          *** Recepcion de data serial ***
;-----

RECIBE
        MOVLW    0X08          ; Numero de bit a recibir.
        MOVWF    CONTB
        CALL     RETAR          ; Espera primer bit de byte.
        CALL     RETAR
        CALL     RETAR
        GOTO     RECI2
RECI2   GOTO     RECI3
RECI3   GOTO     RECI
RECI    BTFSS    PORTB,0        ; Bit recibido es uno logico?
        GOTO     RCERO          ; Resp: no es cero logico.
        GOTO     RUNO
RCERO   BCF      STATUS,C        ; Coloca cero logico en carry.
        GOTO     RECY
RUNO    BSF      STATUS,C        ; Coloca uno logico en carry.
        GOTO     RECY
RECY    RRF      DATO,1          ; Contruye el byte.
        DECFSZ   CONTB,1        ; Byte recibido?
        GOTO     RECY2          ; Resp:no
        GOTO     RECI1          ; Resp: si retorna
RECY2   CALL     RETAR          ; espera 104.3 us
        CALL     RETAR
        GOTO     RECI          ; Ve e recibir proximo bit.
RECI1   RETURN

;-----
;          *** Rutina que compara que identifica pic para ***
;          establecer comunicacion con este
;-----

COMPANUP
        MOVF     DATO,0          ; Guarda identificador enviado.
        BCF      STATUS,Z
        XORWF    D31,0          ; Es conmigo?
        BTFSS    STATUS,Z
        GOTO     COMPANU        ; Resp: no retorna.
        CALL     ENV1          ; Resp: si envia codigo de carga
        RETURN                ; Retorna.
COMPANU CALL RETAROOU
        RETURN

;-----
;          *** Retardo de 17 ms ***
;-----

RETAROOU
        MOVLW    0XAA
        MOVWF    D21
RETAROU1

```

```
CALL    RETAR
CALL    RETAR
DECFSZ  D21,1
GOTO    RETAROU1
RETURN

;-----
RETARDOOO
    MOVLW  0X14
    MOVWF  D21
RETOOO  CALL    RETAR
        DECFSZ  D21,1
        GOTO    RETOOO
        RETURN

;-----
END
```

ANEXO G

Programas codificados en Visual Basic para las rutinas de la interfaz de usuario hecha en la PC para el CALCULADOR DE ERROR.

Programa principal. Formulario I o principal.

```

Private Sub Command1_Click()
    Dim AA, BB, dummy As Variant
    Text13.Text = 5                                'Corriente aplicada por defecto.
    Timer1.Interval = 1000                         'Frecuencia con la que debe cambiar el reloj.
    Timer1.Enabled = True                          'Habilita el control Timer.
    MSComm1.InBufferCount = 0                      'Vacía buffer de llegada de la data.
    Do                                              'Lazo que explora los microcontroladores del circuito.
        dummy = DoEvents()                        'Permite salir del lazo y hacer otra cosa.
        For J = 1 To 11                           'Numero de microcontroladores a explorar.
            da$ = Hex(J)
            MSComm1.OutBufferCount = 0
            If FLF = False Then MSComm1.Output = da$ 'Si el puerto esta abierto envia.
            AAA = 0
            MSComm1.InBufferCount = 0
            retardooo                               'Espera recibir la data completa antes de explorar otro micro.
            If MSComm1.InBufferCount = 9 Then       'Data completa?
                MSComm1.InputLen = 8               'Resp: si. Extrae solo data.
                AA = CDec("&H" & MSComm1.Input)) 'Conviertela a decimal.
                AA1 = AA                           'Crea copia para usar.
                Text12.Text = AA1
                MSComm1.InputLen = 1               'Extrae identificador del microcontrolador que envia.
                BB = CDec("&H" & MSComm1.Input)) 'Convierte numero del identifiador a decimal.
                BB1 = BB                           'Crea copia de identificador para usarla.
                If BB1 = 11 Then                   'Es el micro de detección de la carga.?
                    CARGA                         'Resp: si. Ve a decodificar la carga.
                Else: ASIGNA                      'Resp: no. Calcula error.
                    da$ = SG                      'Convierte el valor del error a código ASCII.
                    MSComm1.OutBufferCount = 0     'Limpia buffer de transmisión.
                    MSComm1.Output = da$          'Transmite el error.
                End If
            End If
        Next J
    Loop Until MSComm1.InBufferCount > 30         'Ciclo sin fin.

End Sub

Private Sub Desabilita_Click()                   'Deshabilita puerto serial.
    MSComm1.PortOpen = False

```

Programas codificados en Visual Basic para interfaz en la PC que culmina el calculador de error.

```

Shape3.Visible = False           'Apaga el led simulado.
Label13.Visible = True          'Haz visible etiqueta de port off.
FLF = True                      'Indica al lazo que el puerto esta apagado.
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Form1.Caption = "Errores de Medidores en calibracion."
    Shape3.Visible = False
    Label13.Visible = True
End Sub

Private Sub Guardar_Click()
    Form3.Show
End Sub

Private Sub Habilita_Click()
    'Habilita puerto serial.
    MSComm1.PortOpen = True
    Shape3.Visible = True        'Enciende el led simulado.
    Label13.Visible = False      'Haz visible etiqueta de port on.
    FLF = False                  'Indica al lazo que el puerto esta abierto.
End Sub

Private Sub Option1_Click()
    'Formulario dos visible.
    FLAG = True                  'Constantes de medidores iguales.
    Form2.Enabled = True
    Form2.Show
End Sub

Private Sub Option2_Click()
    'Formulario dos visible.
    FLAG = False                 'Constantes de medidores diferentes.
    Form2.Enabled = True
    Form2.Show
End Sub

Sub retardooo()
    'Genera tiempo de espera para que el micro que envia termine de hacerlo.
    Do
        dummy = DoEvents
        AAA = AAA + 1
    Loop Until AAA = 950
End Sub

Private Sub Salir_Click()
    'Cierra la interfaz.
    MSComm1.PortOpen = False     'Apaga el puerto.
    Shape3.Visible = False        'Apaga led simulado.
    Label13.Visible = True        'Coloca etiqueta de puerto off.
    FLF = True                    'Indica al lazo que el puerto esta apagado.
    Form2.Enabled = False         'Cierra formulario 2.
    Form3.Enabled = False

```

```
End
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    Label12.Caption = Time                'Coloca hora actual.
End Sub
```

Programa codificado del formulario II.

```
Private Sub Check1_Click()
    If fl1 = True Then
        fl1 = False
    Else: fl1 = True                      'Tipo de contante del medidor 1 es americana.
    End If
End Sub

Private Sub Check10_Click()
    If fl10 = True Then
        fl10 = False
    Else: fl10 = True                    'Tipo de contante del medidor 10 es americana.
    End If
End Sub

Private Sub Check2_Click()
    If fl2 = True Then
        fl2 = False
    Else: fl2 = True                    'Tipo de contante del medidor 2 es americana.
    End If
End Sub

Private Sub Check3_Click()
    If fl3 = True Then
        fl3 = False
    Else: fl3 = True                    'Tipo de contante del medidor 3 es americana.
    End If
End Sub

Private Sub Check4_Click()
    If fl4 = True Then
        fl4 = False
    Else: fl4 = True                    'Tipo de contante del medidor 4 es americana.
    End If
End Sub

Private Sub Check5_Click()
```

Programas codificados en Visual Basic para interfaz en la PC que culmina el calculador de error.

```

If fl5 = True Then
    fl1 = False
Else: fl5 = True                'Tipo de contante del medidor 5 es americana.
End If
End Sub

```

```

Private Sub Check6_Click()
    If fl6 = True Then
        fl6 = False
    Else: fl6 = True            'Tipo de contante del medidor 6 es americana.
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Check7_Click()
    If fl7 = True Then
        fl7 = False
    Else: fl7 = True            'Tipo de contante del medidor 7 es americana.
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Check8_Click()
    If fl8 = True Then
        fl8 = False
    Else: fl8 = True            'Tipo de contante del medidor 8 es americana.
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Check9_Click()
    If fl9 = True Then
        fl9 = False
    Else: fl9 = True            'Tipo de contante del medidor 9 es americana.
    End If
End Sub

```

Programa codificado del formulario III.

```

Private Sub Command2_Click()
    error_medidores(1) = Form1.Text1.Text    'Copia valor del error del medidor 1 en variable tipo matrix.
    error_medidores(2) = Form1.Text2.Text    'Copia valor del error del medidor 2 en variable tipo matrix.
    error_medidores(3) = Form1.Text3.Text    'Copia valor del error del medidor 3 en variable tipo matrix.
    error_medidores(4) = Form1.Text4.Text    'Copia valor del error del medidor 4 en variable tipo matrix.
    error_medidores(5) = Form1.Text5.Text    'Copia valor del error del medidor 5 en variable tipo matrix.
    error_medidores(6) = Form1.Text6.Text    'Copia valor del error del medidor 6 en variable tipo matrix.
    error_medidores(7) = Form1.Text7.Text    'Copia valor del error del medidor 7 en variable tipo matrix.
    error_medidores(8) = Form1.Text8.Text    'Copia valor del error del medidor 8 en variable tipo matrix.
    error_medidores(9) = Form1.Text9.Text    'Copia valor del error del medidor 9 en variable tipo matrix.

```

```

error_medidores(10) = Form1.Text10.Text      'Copia valor del error del medidor 10 en variable tipo matrix.
Cls
Text1.Text = ""
For i% = 1 To 10
Text1.Text = Text1.Text & error_medidores(i%) & vbTab 'Escribe los errores en cuadro de texto de este formulario.
Next i%

End Sub

Private Sub Command3_Click()
    Form3.Visible = False                    'Hace visible el formulario 3.
End Sub

```

Programa codificado del Módulo I d la interfaz en Visual Basic.

```

Public A, B, C, D, E, F As Double
Public J As Integer
Public FLAG, Ameri, FLF, fl1, fl2, fl3, fl4, fl5, fl6, fl7, fl8, fl9, fl10 As Boolean
Public AA1, AAA, BB1, IC, FP, CA1, DD1, SG, error_medidores(10) As Variant

Sub ASIGNA()
    E = AA1      'Vueltas patron
    If FLAG = True Then 'Constantes iguales
        If fl1 = True Then 'Constantes Americana
            Ameri = True
        End If
    B = BB1      'Numero del medidor
    A = Val(Form2.Text1.Text) 'Constante medidor
    CALCULA      'Calcula pulsos teoricos
    CA_ERROR     'Calcula error
    MUESTRA      'Muestra error
    Else: B = BB1 'Constantes de medidores diferentes
    DIFERE       'Busca constante de medidor actual
    CALCULA
    CA_ERROR
    MUESTRA
    End If
End Sub

Sub CALCULA()
    IC = Val(Form1.Text13.Text)
    If IC = 0 Then IC = 5
    If Ameri = True Then
        D = A * 60000 / (IC) 'Calcula pulsos teoricos con formula americana
        Ameri = False
    Else: D = 60000000 / ((IC) * A) 'Calcula pulsos teoricos con formula europea

```

Programas codificados en Visual Basic para interfaz en la PC que culmina el calculador de error.

```
End If
End Sub
Sub MUESTRA()
Select Case B
Case 1
Form1.Text1.Text = DD1  'Medidor 1.
Case 2
Form1.Text2.Text = DD1  'Medidor 2.
Case 3
Form1.Text3.Text = DD1  'Medidor 3.
Case 4
Form1.Text4.Text = DD1  'Medidor 4.
Case 5
Form1.Text5.Text = DD1  'Medidor 5.
Case 6
Form1.Text6.Text = DD1  'Medidor 6.
Case 7
Form1.Text7.Text = DD1  'Medidor 7.
Case 8
Form1.Text8.Text = DD1  'Medidor 8.
Case 9
Form1.Text9.Text = DD1  'Medidor 9.
Case 10
Form1.Text10.Text = DD1  'Medidor 10.
End Select
End Sub
Sub DIFERE()
Select Case B
Case 1
A = Val(Form2.Text1.Text) 'Constante de medidor 1.
If fl1 = True Then
Ameri = True          'Constante americana.
End If
Case 2
A = Val(Form2.Text2.Text) 'Constante de medidor 2.
If fl2 = True Then
Ameri = True          'Constante americana.
End If
Case 3
A = Val(Form2.Text3.Text) 'Constante de medidor 3.
If fl3 = True Then
Ameri = True          'Constante americana.
End If
Case 4
A = Val(Form2.Text4.Text) 'Constante de medidor 4.
If fl4 = True Then
```

```

Ameri = True      'Constante americana.
End If
Case 5
A = Val(Form2.Text5.Text) 'Constante de medidor 5.
If fl5 = True Then
Ameri = True      'Constante americana.
End If
Case 6
A = Val(Form2.Text6.Text) 'Constante de medidor 6.
If fl6 = True Then
Ameri = True      'Constante americana.
End If
Case 7
A = Val(Form2.Text7.Text) 'Constante de medidor 7.
If fl7 = True Then
Ameri = True      'Constante americana.
End If
Case 8
A = Val(Form2.Text8.Text) 'Constante de medidor 8.
If fl8 = True Then
Ameri = True      'Constante americana.
End If
Case 9
A = Val(Form2.Text9.Text) 'Constante de medidor 9.
If fl9 = True Then
Ameri = True      'Constante americana.
End If
Case 10
A = Val(Form2.Text10.Text) 'Constante de medidor 10.
If fl10 = True Then
Ameri = True      'Constante americana.
End If
End Select
End Sub
Sub CA_ERROR()
C = (D - E) * 100 / D      'Fórmula de porcentaje de error.
CC1 = Format(C, "#0.#0")   'Formato inicial del numero resultado.
DD1 = CC1
If CC1 >= 0 And CC1 < 10 Then 'Es mayor a 0 y menor a 10?
SG = "+" & DD1             'Agrega signo +al formato inicial.
End If
If CC1 >= 10 And CC1 < 100 Then 'Es positivo ,mayor a 10y menor a 100
CC1 = Format(CC1, "#0.0")   'Colocale el siguiente +ab.c
DD1 = CC1
SG = "+" & DD1
End If

```

```

If (CC1) >= 100 Then      'Es mayor a 100.
SG = "+99.9"
DD1 = "99.9"            'coloca el numero +99.9
End If
If CC1 < 0 And CC1 > -10 Then 'Es negativo y mayor a -10
SG = DD1                'Sacalo en formato inicial
End If
If CC1 <= -10 Then      'Es menor a -10
DD1 = Format(CC1, "#0.0") 'Saca el numero con el formato -ab.c
SG = DD1
End If
If CC1 <= -99.9 Then
DD1 = "-99.9"
SG = "-99.9"
End If
End Sub

Sub CARGA()              'Decodifica valor enviado de carga y factor de potencia.
CA1 = AA1
Select Case CA1
Case 0
Form1.Text13.Text = "0"  'No hay carga.
Form1.Text11.Text = "1"
Case 1
Form1.Text13.Text = "0"  'No hay carga aplicada al banco de medidores.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 2
Form1.Text13.Text = "0.5" 'Carga aplicada es 0.5 A.
Form1.Text11.Text = "1"   'Factor de potencia aplicado es 1.
Case 3
Form1.Text13.Text = "0.5" 'Carga aplicada es 0.5 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 4
Form1.Text13.Text = "1"   'Carga aplicada es 1 A.
Form1.Text11.Text = "1"   'Factor de potencia aplicado es 1.
Case 5
Form1.Text13.Text = "1"   'Carga aplicada es 1 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 6
Form1.Text13.Text = "2"   'Carga aplicada es 2 A.
Form1.Text11.Text = "1"   'Factor de potencia aplicado es 1.
Case 7
Form1.Text13.Text = "2"   'Carga aplicada es 2 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 8
Form1.Text13.Text = "5"   'Carga aplicada es 5 A.
Form1.Text11.Text = "1"   'Factor de potencia aplicado es 1.

```

```
Case 9
Form1.Text13.Text = "5"  'Carga aplicada es 5 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 10
Form1.Text13.Text = "10" 'Carga aplicada es 10 A.
Form1.Text11.Text = "1"  'Factor de potencia aplicado es 1.
Case 11
Form1.Text13.Text = "10" 'Carga aplicada es 10 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 12
Form1.Text13.Text = "20" 'Carga aplicada es 20 A.
Form1.Text11.Text = "1"  'Factor de potencia aplicado es 1.
Case 13
Form1.Text13.Text = "20" 'Carga aplicada es 20 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.
Case 14
Form1.Text13.Text = "50" 'Carga aplicada es 50 A.
Form1.Text11.Text = "1"  'Factor de potencia aplicado es 1.
Case 15
Form1.Text13.Text = "50" 'Carga aplicada es 50 A.
Form1.Text11.Text = "0.5" 'Factor de potencia seleccionado es 0.5.

End Select
End Sub
```