



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN RELEVADOR
DIGITAL CON FUNCIONES DE MEDICIÓN,
CONTROL Y PROTECCIÓN**

**TÉSIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

CÉSAR MENDOZA MEDINA



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. AUGUSTO OCTAVIO HINTZE VALDÉZ**

MEXICO D.F.

JUNIO 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Agradezco a mi Dios por las bendiciones derramadas
sobre mis seres queridos.*

A mis padres por su amor incondicional.

A mi esposa Yolanda por ser mi compañera eterna.

A mi abuelita Enriqueta.

A mis hermanos, suegros y amigos.

*La vida es un frenesí, una ilusión, una ficción;
donde cualquier bien es pequeño, porque la vida es
un sueño y los sueños. . . sueños son.*

¡Vivamos nuestro sueño!

Ing. César Mendoza Medina

Miembros del jurado:

Ing. Augusto Octavio Hintze Valdéz.

Ing. Hugo Alfredo Grajales Román.

Ing. Alejandro Sosa Fuentes.

Ing. Juan Manuel Hernández Osnaya.

Ing. Joaquín Jorge Téllez Lendeck.

ÍNDICE	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
1 ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES.....	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 OBTENCIÓN DE CORRIENTES Y TENSIONES.....	5
1.3 ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES.....	8
1.4 FILTRO ANTI-ALIASING.....	12
1.5 CONVERSIÓN ANALÓGICO-DIGITAL.....	16
2 ALGORITMOS DE MEDICIÓN Y PROTECCIÓN.....	19
2.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.....	19
2.2 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE (50).....	27
2.3 PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO (51).....	29
2.4 PROTECCIÓN DE TENSIÓN MÁXIMA (59) Y TENSIÓN MÍNIMA (27).....	31
3 CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA MADRE.....	33
3.1 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	33
3.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	43
3.3 PERIFÉRICOS DE ENTRADA Y SALIDA.....	45
3.4 PROGRAMA MONITOR.....	53
3.5 CIRCUITO IMPRESO.....	81
3.6 LISTA DEL PROGRAMA EN ENSAMBLADOR.....	91
4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	165
4.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.....	165
4.2 AJUSTE Y OPERACIÓN DE LAS PROTECCIONES PROGRAMADAS.....	167
5 INTRUCTIVO DE OPERACIÓN.....	170
5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	170
5.2 CONEXIONES.....	171
5.3 VISUALIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	173
5.4 INTERFAZ CON EL USUARIO.....	174
5.5 MANTENIMIENTO Y AJUSTE.....	174
5.6 USO DEL SOFTWARE.....	175
CONCLUSIONES.....	184
BIBLIOGRAFÍA.....	185

Introducción

En la década de 1960 apareció en el mercado el primer relevador basado en plataforma de microprocesador¹, aunque su costo y desempeño no podían compararse con los diseños electromecánicos más complejos. Su evolución ha sido extraordinaria, a tal grado que en la actualidad la preferencia por el uso de este tipo de sistemas va en aumento, aún cuando los relevadores convencionales siguen funcionando correctamente.

Las ventajas de los sistemas de medición, control y protección basados en plataforma de microprocesador sobrepasan a las ofrecidas por los sistemas electromecánicos. Su adaptabilidad, capacidad de comunicación con otros equipos remotos y la facilidad de incorporar todas las funciones en un solo módulo son un ejemplo de las características que poseen.

Es un hecho que en un futuro no muy lejano, los sistemas de monitoreo en las subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional sean completamente substituidos por estos equipos novedosos. Por tal motivo, el estudio del funcionamiento de las nuevas técnicas de protección, aunque se basan en los mismos principios, es necesario en la formación del Ingeniero Eléctrico Electrónico.

El lugar idóneo para lograr la comprensión y análisis de las nuevas técnicas de medición son los Laboratorios de La Facultad de Ingeniería, donde se cuenta con equipo para realizar las prácticas necesarias en cada asignatura, es el sitio donde los conocimientos teóricos se llevan a su comprensión y evidencia experimental.

El laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia cuenta con un esquema de protección muy completo con los diferentes relevadores electromecánicos convencionales en los que destacan el relevador de sobre corriente, relevador de sobre corriente de tiempo inverso y relevadores direccionales. Todos integrados en un panel donde las pruebas se realizan en forma conjunta o individual. Ciertamente, implementar un nuevo esquema de protección con sistemas digitales existentes en el mercado resultaría complicado y sobre todo costoso, siendo más conveniente diseñar e implementar un dispositivo que posea las características de diseño principales como son el acondicionamiento de las señales de voltaje y corriente, técnicas de procesamiento analógico y digital, así como técnicas avanzadas de Software. En este caso el uso de un microcontrolador en el que su programación y arquitectura es motivo de estudio en la formación académica del Ingeniero Eléctrico Electrónico, resulta más que conveniente necesario.

El prototipo que se propone en este trabajo reúne las características de diseño y principios de funcionamiento de las nuevas generaciones de sistemas de medición, control y protección de sistemas eléctricos, principios que pueden ser comprobados experimentalmente en el laboratorio y comparados con los equipos electromecánicos convencionales. Se diseñan e implementan las diferentes etapas que conforman la arquitectura de un sistema basado en plataforma de microprocesador; desde la obtención y acondicionamiento de las señales de corriente y voltaje, filtros analógicos y como parte final el procesamiento digital. En este último proceso se analiza la aplicación de

¹ Comúnmente llamado relevador digital o relevador numérico

una herramienta matemática poderosa llamada Transformada Discreta de Fourier (TDF), con la que se obtienen las magnitudes fasoriales de las señales de entrada. Es la base teórica que hace posible el entendimiento y desarrollo de este sistema.

Los conocimientos que se aplican son diversos, mismos que se adquieren en las diferentes asignaturas que forman parte de la formación del Ingeniero Eléctrico Electrónico. El Diseño Analógico y Digital, Métodos Numéricos, Programación, Sistemas Eléctricos de Potencia, Diseño de sistemas con Microprocesadores entre otros, se complementan para lograr la realización del proyecto.

Las posibilidades de actualización y mejoramiento a futuro son grandes ya que se proporcionan todos los elementos de diseño y listados de programación que pueden ser modificados o mejorados.

1. ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES

1.1 Introducción.

Es de suma importancia conocer el comportamiento de un sistema eléctrico en cualquier momento, por eso la necesidad de dotarlo con equipos capaces de medir parámetros eléctricos como son voltaje y corriente principalmente.

Por naturaleza el sistema eléctrico que se protege es analógico y es necesario que las señales de corriente y voltaje obtenidas de las diferentes líneas o equipos sean convertidas a niveles apropiados, para que posteriormente los sistemas de medición y adquisición de datos puedan procesarlas y realizar los cálculos necesarios, así como tomar las decisiones pertinentes según el programa monitor. Este problema se resuelve comúnmente induciendo magnitudes proporcionales a las originales pero con niveles más seguros. Los dispositivos indicados para este trabajo son los transformadores de medida o de protección, los cuales se clasifican según su aplicación como transformadores de corriente (TC's) y transformadores de potencial (TP's). Estos elementos realizan dos funciones importantes, la primera es ampliar el rango de medición y la segunda es aislar los instrumentos de las líneas de energía de alta tensión.

Los niveles inducidos en el secundario de los transformadores son adecuados para algunos sistemas de protección electromecánicos pero no para este sistema de medición, ya que los niveles de tensión y corriente siguen siendo elevados para aplicarlos directamente a los circuitos digitales de adquisición de datos, razón por la cual se tiene la necesidad de acondicionar dichos parámetros para su manejo seguro y poder procesarlos sin el riesgo que en sí implican tanto para el ser humano como para los componentes electrónicos.

Muchas consideraciones técnicas deben ser estudiadas cuando se diseñan subsistemas de acondicionamiento de señales en un sistema de medición, aquí sobresale la precisión, resolución, linealidad y estabilidad. Los factores de error resultante por cambios de temperatura, el tiempo de conversión y características de estabilidad en la fuente de alimentación también deben ser estudiados cuidadosamente. La naturaleza de la señal de entrada debe ser completamente entendida, incluyendo los niveles relativos de ruido con el fin de determinar el tipo de sistema de acondicionamiento de señal apropiado. De igual manera, las señales de salida deben ser conocidas con el fin de diseñar sistemas de interconexión con otros equipos.

La figura 1.1 muestra la arquitectura principal de un sistema de medición basado en plataforma de microprocesador, comúnmente llamado relevador digital o relevador numérico. El microprocesador es la parte central del diseño y es el responsable de la ejecución de los programas que gestionan los algoritmos de medición, control y protección. Se encarga del mantenimiento de varias funciones de temporización (tareas en función del tiempo) y comunicación con otros equipos periféricos. La arquitectura general del sistema tiene las funciones bien definidas y es la base del principio de funcionamiento de los relevadores digitales y sistemas de medición modernos.

El microprocesador, con ayuda de periféricos especiales, tiene una notable capacidad de obtener y procesar muestras de señales de tensión o corriente según sea el caso, muestras que previamente han sido acondicionadas, filtradas y convertidas a formato digital, a una frecuencia elevada. Manipula los datos mediante el uso de algoritmos matemáticos para obtener las mediciones de tensión, corriente, fase y frecuencia de la línea de transmisión. Almacena la información y desarrolla funciones de auto verificación del sistema, gestiona la comunicación con otros dispositivos externos e inclusive con otros equipos que forman parte de la misma arquitectura o a una central de monitoreo a distancia.

Con múltiples dispositivos electromecánicos o de estado sólido operando de manera concurrente, la coincidencia de tiempo no es problema dada la alta velocidad de procesamiento. Sin embargo, un microprocesador literalmente puede realizar solo una tarea a la vez. Por ejemplo, en la obtención de muestras de tensiones y corrientes de un sistema trifásico, éstas se obtienen una tras otra de modo que no tienen coincidencia de tiempo. El programa monitor debe considerar ese tipo de peculiaridades y proporcionar caminos para que las tareas se inicien en el orden adecuado y se realicen las comparaciones de los parámetros correctos, además de considerar la corrección del error asociado al manejo de datos.

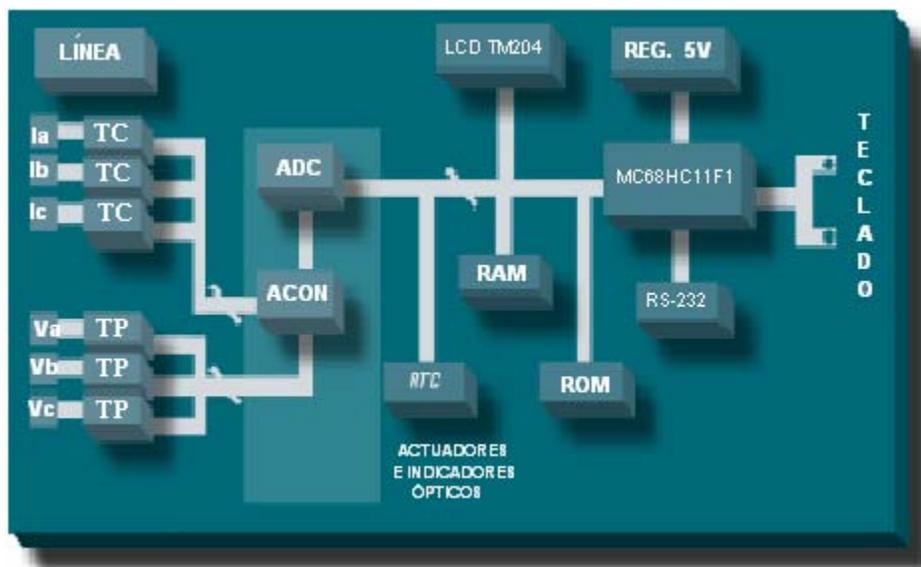


Figura 1.1 Arquitectura general de un sistema de medición basado en plataforma de microprocesador.

Como se observa en la figura 1.1, las señales de corriente y tensión obtenidas de los transformadores de medición son llevadas al módulo de acondicionamiento, donde se convierten y ajustan a niveles de voltaje adecuados para el dispositivo convertidor Analógico-Digital. Para mantener las muestras de las diferentes señales de entrada el tiempo suficiente para su conversión, un circuito de muestra y retención “sample-and hold” es comúnmente usado en este proceso, un “multiplexor” se encarga de seleccionar el canal de entrada y de esta manera se hace uso de una etapa de conversión.

El microprocesador necesita que la información esté presente en formato binario¹. El proceso de conversión de una señal analógica a una señal digital lo realiza el convertidor Analógico-Digital. La frecuencia de muestreo² y la cantidad de bits necesarios para representar los diferentes niveles de tensión determinan la elección de un diseño en particular.

El microprocesador acepta el dato “muestra” (proveniente del convertidor A/D) y lo almacena temporalmente en la memoria RAM³, posteriormente los datos en grupos definidos son usados por diferentes procesos según los algoritmos matemáticos de medición, control y protección o comparaciones definidas por el programa monitor alojado en la memoria ROM⁴.

Otro elemento de suma importancia en la arquitectura es la memoria EEPROM⁵. Su comportamiento es similar a la memoria ROM, los datos no se pierden cuando falla la alimentación, pero a diferencia de ésta, la memoria EEPROM puede ser reprogramada incluso en el tiempo de ejecución del programa.

La capacidad de comunicación es una de las características importantes en los relevadores digitales. Los puertos de comunicación serie (RS-232), paralelo, óptico, USB, etc. son incorporados para la interconexión con otros equipos periféricos. La forma de comunicación se establece por medio de un protocolo que se programa según los requerimientos establecidos.

Los periféricos de entrada y salida de interfaz con el usuario son otro aspecto relevante en la arquitectura. El teclado, pantalla y dispositivos ópticos son la forma de interacción usuario-sistema, a través de los cuales se pueden realizar tareas de mantenimiento y ajustes necesarios al equipo o bien para determinar el modo de operación.

Por último cabe hacer mención que los “actuadores” de salida, encargados de proporcionar la potencia necesaria para accionar los diferentes interruptores del sistema de potencia, es el último paso y la culminación de la arquitectura del relevador digital. El éxito del diseño recae en el correcto y oportuno funcionamiento de la medición y protección del sistema eléctrico.

1.2 Obtención de Corrientes y Tensiones.

El primer paso en la protección de un sistema eléctrico es asegurar la información proveniente de las líneas o equipos, un proceso típicamente realizado mediante el uso de transformadores de corriente y transformadores de potencial como ya se explicó anteriormente. El empleo de estos transformadores es de vital importancia en la industria

¹ Código binario 1 ó 0, comúnmente en palabras de 8 ò 16 bits.

² Cantidad de muestras por ciclo.

³ Random Access Memory, memoria de acceso aleatorio.

⁴ Read Only Memory, memoria de solo lectura.

⁵ Electrically Erasable Programmable Read-Only-Memory, memoria de solo lectura programable que se borra eléctricamente.

eléctrica, son indispensables para proteger los grandes sistemas eléctricos, vigilar las variaciones de corriente y voltaje, así como para medir con exactitud el consumo de energía. Por lo que los transformadores de medición tienen una función de gran responsabilidad y deben seleccionarse apropiadamente. Por esta razón es necesario conocer sus características principales como son: funcionamiento, precisión, errores, método de conexión y polaridad.

Los transformadores de medición proporcionan un aislamiento dieléctrico entre los circuitos de alta tensión y los instrumentos de medición, reducen las tensiones y corrientes a valores normalizados y facilitan la medición conservando la proporcionalidad y el ángulo de fase entre los vectores de corriente y voltaje originales.

1.2.1 Transformador de corriente.

Es el transformador diseñado para suministrar la corriente adecuada a los instrumentos de medición como amperímetros, voltímetros, etc., así como a los aparatos de protección donde la corriente en el devanado secundario es proporcional a la corriente que circula en el devanado primario con un corrimiento de fase entre ambos cercano a cero grados.

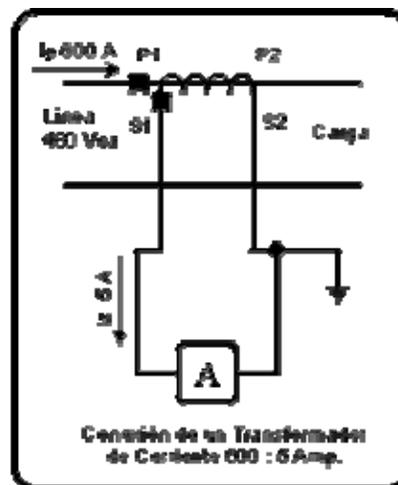


Figura 1.2 Transformador de corriente.

El transformador de corriente (TC) se construye con un devanado secundario y un devanado primario. En la mayoría de los casos, el primario es un simple conductor conectado en serie con la carga cuya corriente se va a medir. La relación de transformación la determina la corriente máxima en el primario que está normalizada dependiendo la aplicación, así como la corriente de salida que generalmente es de 5 Amperes a plena carga, ver el ejemplo de la figura 1.2.

Las marcas de polaridad indican el sentido en el que fluye la corriente de entrada y salida, característica que debe ser tomada en cuenta al conectarlos en configuraciones “delta” o “estrella” en sistemas trifásicos. En la figura anterior se observa la forma típica de conexión de un transformador de corriente.

1.2.2 Transformador de potencial.

El transformador de potencial convierte la alta tensión en su primario a un valor proporcional más bajo adecuado para la conexión directa a equipos de medición y protección. El valor de la tensión en el secundario del transformador generalmente es de 120 Volts. Los valores en el primario son normalizados para medir el potencial en líneas de transmisión comunes. La capacidad de carga debe tomarse en cuenta ya que depende principalmente de la potencia que consuman los equipos conectados en el secundario.

El método de conexión es sencillo, las terminales del devanado primario se conectan a las dos líneas del sistema donde se necesita medir la tensión y los instrumentos de medición se conectan en paralelo a las terminales del secundario como lo muestra la figura 1.3.

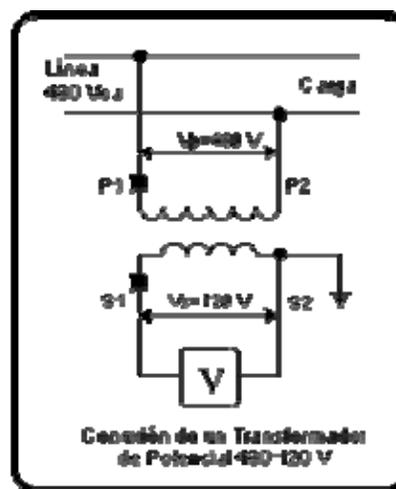


Figura 1.3 Transformador de potencial.

El transformador debe satisfacer ciertas características de diseño, las cuales incluyen la exactitud en la relación de vueltas, baja corriente de magnetización y una caída de potencial mínima en la carga. Los aislamientos entre devanados primario y secundario deben soportar grandes diferencias de potencial, por consiguiente los requerimientos de los dieléctricos son muy elevados.

Existen diferentes clasificaciones en los transformadores que dependen principalmente del uso que se les da, característica íntimamente ligada a la precisión y relación de transformación. En aplicaciones de protección la precisión no es un factor de mayor relevancia como lo es para aplicaciones de medición y control, aunque en ciertas condiciones los transformadores de protección suelen alimentar circuitos de medición.

Con las características estudiadas, resulta sencillo el diseño del circuito de acondicionamiento de las diferentes señales provenientes de los transformadores de medición, ya que los niveles de corriente y voltaje máximos en los devanados secundarios están bien definidos. Esta situación nos ofrece la ventaja de compatibilidad de interconexión con otros equipos y facilita la comparación de su desempeño en condiciones de operación similares.

1.3 Acondicionamiento de las señales.

Como se mencionó anteriormente, a pesar de utilizar transformadores de medición en un sistema eléctrico de potencia, los niveles obtenidos en los secundarios resultan muy elevados para introducirlos directamente a los circuitos de conversión Analógico-Digital. El escalamiento es necesario con el fin de obtener niveles de tensión adecuados.

Dos circuitos diferentes e independientes de escalamiento deben diseñarse, uno para la tensión y el otro para la corriente provenientes de los transformadores de medición. En la figura 1.4 se muestran los circuitos típicos de escalamiento utilizados en la medición.

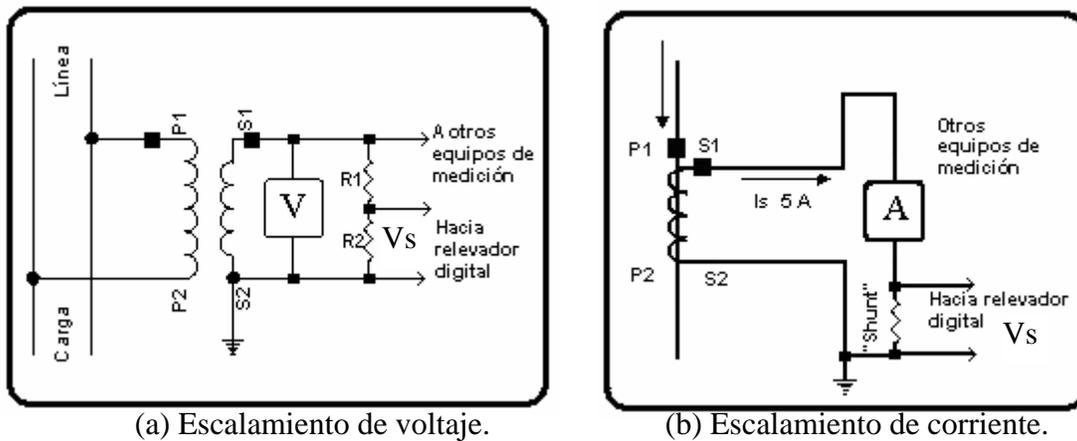


Figura 1.4 Circuitos típicos de escalamiento.

Como se puede observar en la figura 1.4 (a), el escalamiento de tensión se realiza por medio de un divisor de tensión formado por las resistencias R_1 y R_2 . La tensión de salida V_s está determinado por la ecuación 1.1.

$$V_s = IR_2 \quad , \text{ donde } I = \frac{V_i}{R_T}$$

$$R_T = R_1 + R_2, \text{ finalmente la tensión de salida es } V_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i \dots \text{ ec. 1.1}$$

La elección de los valores de R_1 y R_2 se determina conociendo el voltaje máximo de entrada V_i y la tensión máxima de salida V_s .

El escalamiento de corriente no resulta tan sencillo, puesto que el convertidor Analógico-Digital hace conversiones de niveles de tensión y no de corriente, por tal motivo es necesario hacer una conversión corriente-tensión. Para tal fin la técnica más utilizada es colocar un elemento de bajo valor resistivo conocido como "SHUNT", esto se muestra en la figura 1.4 (b), donde la tensión reflejada se calcula mediante la ley de ohm.

$V_s = IR$, donde R es la resistencia "SHUNT" con un valor del orden de centésimas de ohm.

La tensión obtenida es proporcional a la corriente, según la ley de ohm. En este caso es necesario amplificar la señal a un nivel apropiado debido a que la diferencia de potencial en el “SHUNT” es muy pequeña para poder ser medida por el sistema digital.

Los convertidores Analógico-Digital tienen la capacidad de convertir niveles analógicos de tensión (en intervalos de 0 a 15 V, -15 a 15 V, -5 a 5 V, 0 a 5 V, etc.) a cantidades digitales en palabras de 8, 10, 12 ó 16 bits. En este caso en particular, el convertidor Analógico-Digital es de 8 bits con un intervalo de conversión de 0 a 5 V.

Es de gran importancia asegurar que los niveles de tensión que se suministran al convertidor A/D no excedan los niveles establecidos por el fabricante del dispositivo con el fin de evitar daños irreversibles al sistema. En esta etapa se deben observar cuidadosamente las características de linealidad, precisión y efectos de la temperatura en los circuitos acondicionadores de tensión y corriente, para disminuir en lo posible errores de medición y calibración.

1.3.1 Acondicionamiento de Tensión.

En la figura 1.5 se muestra de manera gráfica el proceso de acondicionamiento de tensión.

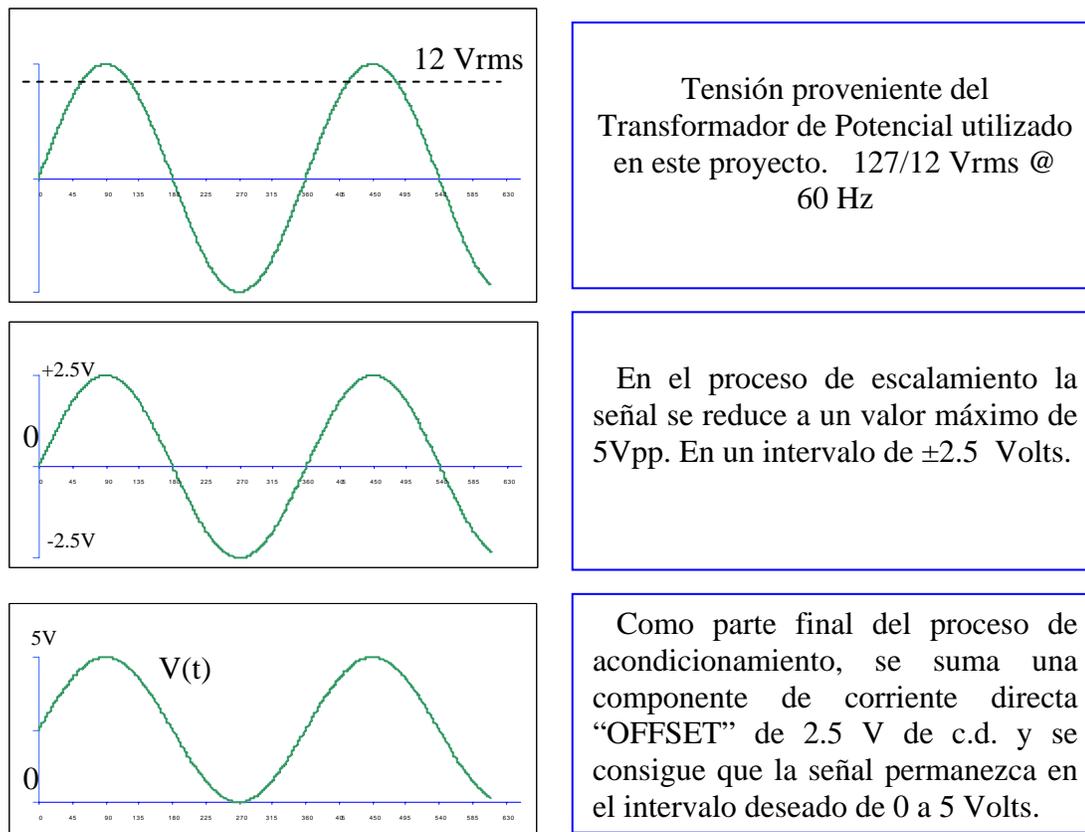


Figura 1.5 Proceso de acondicionamiento de tensión.

Para determinar los valores de los componentes del divisor de tensión, se debe precisar la tensión máxima de entrada y salida, como se puede apreciar en el esquema anterior, la diferencia de potencial considerada es de pico a pico o cresta a valle.

La tensión máxima de salida está bien definida (5Vpp), calculando la tensión de entrada se obtiene

$$V_{pp} = 2 * 12 * \sqrt{2}$$

$$V_{pp} = 33.94 \text{ Volts}$$

Sustituyendo en la ecuación 1.1.

$$5V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} 33.941V, \text{ se propone el valor de } R_2 = 10 \text{ K ohms}$$

$$R_1 = \frac{R_2 * 33.94V}{5V} - R_2, \text{ sustituyendo el valor de } R_2, R_1 = 57,880 \text{ ohms}^6$$

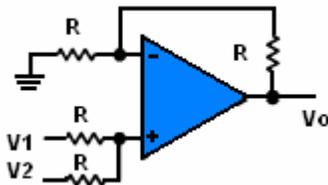


Figura 1.6.
Sumador no inversor

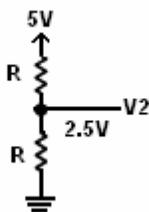


Figura 1.7.
Referencia 2.5 Volts

Ahora solo resta sumar la componente de corriente directa, para tal fin se recurre al uso de un Amplificador Operacional en la configuración de sumador no inversor, como se muestra en la figura 1.6

La ganancia del amplificador, para este caso en particular es igual a uno $G = 1$ (donde $G = \text{Ganancia}$), la razón es que la señal de entrada no necesita ser amplificada.

$$V_0 = V_1 + V_2, G = 1 \text{ si } R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \dots \text{ ec. 1.2}$$

Las tensiones de entrada son V_1 y V_2 , donde $V_1 = V_s$ y V_2 es la componente de corriente directa de 2.5 V obtenida a partir de un divisor de tensión como el que se muestra en la figura 1.7. La tensión de 5 V es tomada de

la fuente de alimentación regulada principal, con lo que se asegura la estabilidad de la tensión en el divisor.

Existen dos razones importantes por las que se utiliza un circuito sumador, la primera y más importante es asegurar los niveles adecuados de tensión en el convertidor Analógico-Digital, la segunda es evitar el uso de una fuente de alimentación simétrica, con lo que se simplifica el diseño y se reduce significativamente la cantidad de elementos adicionales.

⁶ Considerando que la entrada es de 12 V rms, se utiliza una resistencia variable de 0 a 100 K ohms.

1.3.2 Acondicionamiento de corriente.

En el acondicionamiento de corriente se sigue un proceso similar al anterior, con la diferencia de que aquí si es necesario amplificar la diferencia de potencial que se obtiene en los extremos del resistor “SHUNT”. El proceso de acondicionamiento se describe a continuación:

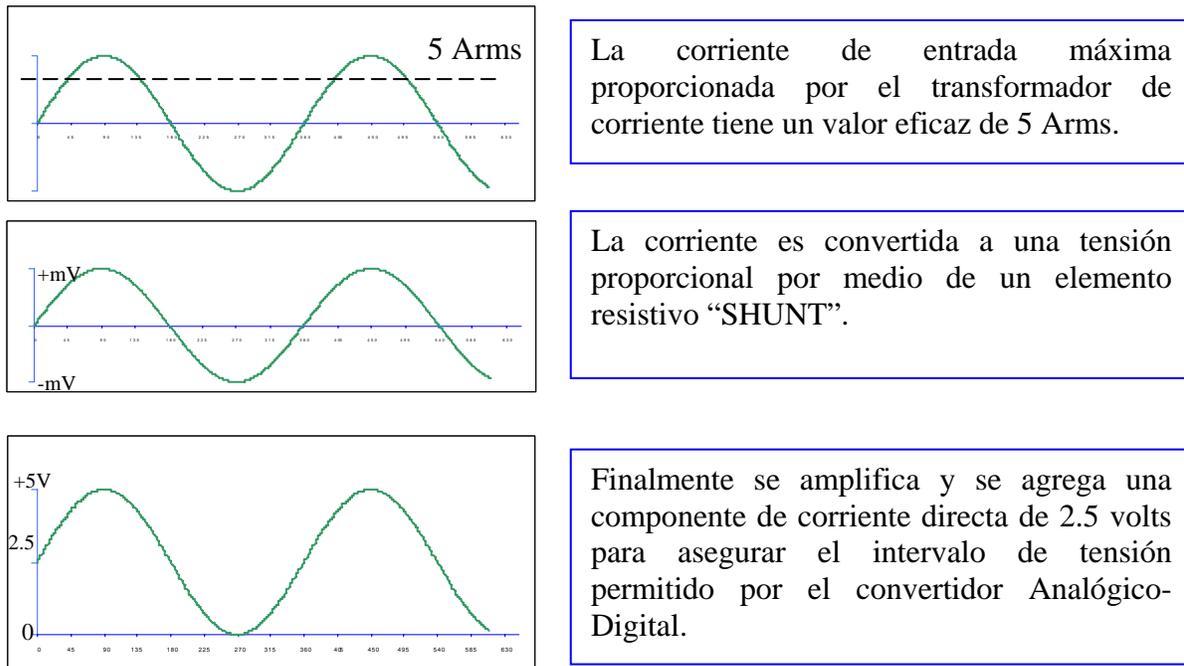


Figura 1.8 Proceso de acondicionamiento de corriente.

El “SHUNT” es un elemento de bajo valor resistivo (0.05 ohms en este caso), de esta manera la corriente que circula a través de él se traduce en una diferencia de potencial que se calcula de la siguiente manera.

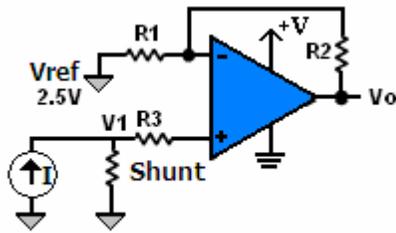
$V_{SHUNT} = IR$, donde R es el valor resistivo del SHUNT, en este caso 0.05 ohms.

$V_{PP} = 2 * \sqrt{2} * I_{máxima} \bullet R$, $I_{máxima}$ tiene un valor eficaz de 5 Amperes.

$V_{PP} = 0.7071$ Volts, en un intervalo de -0.3535 V a + 0.3535 V.

Ahora solo resta amplificar la señal de tensión de entrada y sumarle una componente de corriente directa de 2.5 Volts. Para tal fin se hace uso de un amplificador operacional en configuración no inversor como se muestra en la figura 1.9.

La ganancia se determina por medio de la ecuación 1.3.



$$V_o = V_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \dots \text{ec. 1.3}$$

$V_o = V_1 G$ Donde G debe tener un valor aproximado a 7 para cumplir con el intervalo máximo de 0 a 5 Volt, tal como se explicó en la figura 1.8.

Figura 1.9. Acondicionamiento de

Se utiliza una referencia a 2.5 volts para que finalmente la salida del circuito acondicionador de corriente quede determinada por la ecuación 1.4.

$$V_o = V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + 2.5V \dots \text{ec. 1.4}$$

1.4 Filtro Anti-aliasing.

1.4.1 ¿Por qué la necesidad de un filtro?

Las señales de entrada que se obtienen desde el sistema eléctrico de potencia son esencialmente periódicas. Idealmente en un sistema en estado estable son señales senoidales puras a una frecuencia de 60 Hz. Algunos dispositivos (como son transformadores de potencia, inversores, convertidores y otras cargas no lineales) crean una distorsión armónica en la forma de onda fundamental. La naturaleza de esas señales parásitas repercute significativamente en el funcionamiento de los algoritmos de protección basados en técnicas de muestreo.

La introducción de armónicas al sistema crea un serio problema en el proceso de muestreo conocido como error de "aliasing", que se manifiesta en la obtención de frecuencias bajas donde no deberían existir. En la figura 1.10 se observa de manera más clara cómo se presenta este fenómeno.

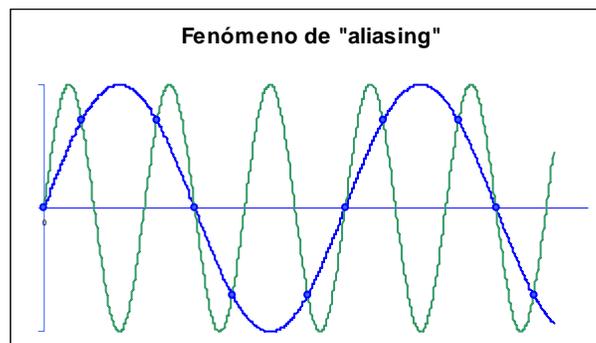


Figura 1.10 Fenómeno de "aliasing"

Este problema ocurre cuando las muestras se toman a una frecuencia muy baja y al momento de reproducir nuevamente la señal original resulta algo diferente. Aquí cabe hacer mención al teorema de Nyquist que dice: para que una señal pueda ser reproducida nuevamente la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos el doble de la frecuencia de la señal fundamental. Esto es $f_m \geq 2f$. Este teorema no se cumple en el ejemplo de la figura anterior y como resultado se observa una señal de baja frecuencia.

El propósito principal del filtro anti-aliasing es eliminar o atenuar a niveles insignificantes las armónicas que pudiera contener la señal de entrada. Principalmente las armónicas de tercer y quinto orden que suelen ser las más perjudiciales en un sistema eléctrico, haciendo que la señal a ser medida se introduzca al sistema con la mínima distorsión posible.

1.4.2 Diseño del filtro.

El diseño del filtro anti-aliasing impone ciertas condiciones.

- Idealmente debe dejar pasar las componentes inferiores a la frecuencia de muestreo f_m .
- Debe atenuar las demás frecuencias a niveles mínimos.
- No debe introducir distorsión de fase.

Es difícil satisfacer estas características mediante un diseño analógico. Sin embargo, es fácil disminuir las restricciones si se aumenta la frecuencia de muestreo, esto permite que la transición entre la banda de paso y la banda de corte del filtro sea más gradual.

Se puede incursionar en la teoría extensa de filtros activos o pasivos y diseñar un filtro con función de transferencia de mayor orden (filtro Butterworth, Chebyshev, Bessel, etc.), pero en este caso en particular las exigencias de diseño pueden ser satisfechas mediante un simple filtro pasivo (RC) de primer orden. Con lo que se obtienen ventajas importantes en la construcción del sistema, la cantidad de dispositivos se reduce y por consiguiente, el costo y complejidad.

De los diferentes tipos de filtros existentes, el filtro paso-bajas es el de mayor interés por lo que será el motivo de estudio y diseño en este capítulo.

Para determinar la frecuencia de muestreo, es necesario conocer el número de muestras de la señal obtenidas por cada ciclo y multiplicarlas por la frecuencia fundamental. El sistema de medición obtiene 16 muestras por ciclo de la señal senoidal con frecuencia fundamental de 60 Hz, con lo que se obtiene una frecuencia de muestreo de 960 Hz. que satisface por completo el teorema de Nyquist.

1.4.3 Filtro paso-bajas.

El comportamiento del filtro se modela por medio de una función de transferencia, que se hace más compleja en tanto se aumenta el grado de ésta. Existe otra razón de peso por la que un filtro de primer orden satisface las necesidades de diseño; mientras el orden del filtro aumenta, la frecuencia de corte es más pronunciada, situación que es buena en un filtro, pero también aumenta el retraso de la señal provocando un corrimiento de fase mayor.

Por supuesto que se puede diseñar un filtro activo de primer orden con cierta ganancia, pero la etapa anterior de amplificación hace innecesaria esta consideración. La figura 1.11 muestra el comportamiento del filtro RC en comparación con el de un filtro ideal.

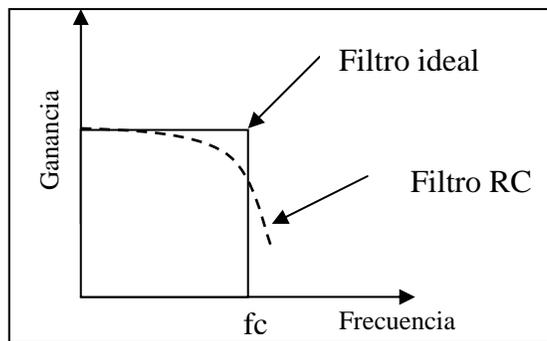


Figura 1.11 Respuesta de un filtro ideal vs. respuesta de un filtro RC.

La línea continua representa el comportamiento de un filtro ideal mientras que la línea punteada muestra el comportamiento real del filtro RC. La frecuencia de corte determina el valor de los componentes a partir de la función de transferencia asociada.

La frecuencia de corte del filtro se establece como la mitad de la frecuencia de muestreo del convertidor Analógico-Digital, si dicha frecuencia es de 960 Hz (16 veces la frecuencia fundamental), la frecuencia de corte $f_c = 480$ Hz. Teniendo esta información, los elementos del filtro pueden determinarse por medio de la función de transferencia.

1.4.4 Función de transferencia del filtro RC de primer orden.

La función de transferencia es la relación que existe entre la señal de salida y la señal de entrada.

La magnitud se mide en decibeles (dB) por medio de la ecuación:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right), \quad V_i = \text{Tensión de entrada y } V_o = \text{Tensión de salida}$$

En la figura 2.12 se muestra la configuración del filtro RC, su análisis se realiza utilizando las leyes de voltaje de Kirchoff y ley de ohm de la siguiente manera:

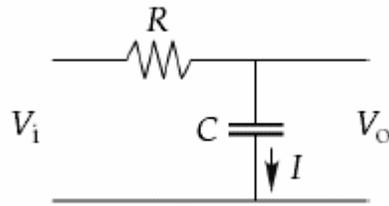


Figura 2.12 Filtro RC primer orden

$$V_o = IZ_c \quad \dots \text{ ec. 1.5}$$

Donde Z_c es la impedancia del capacitor.

$Z_c(j\omega) = \frac{1}{j\omega C}$, para aplicar la transformación de Laplace, se sustituye $S = j\omega$ quedando

de la forma $Z_c(S) = \frac{1}{SC}$.

$$\omega = 2\pi f, \quad f = 60\text{Hz}$$

$$I = \frac{V_i}{R + Z_c} \quad \dots \text{ ec. 1.6}$$

Sustituyendo la ecuación 1.6 en 1.5.

$V_o = \frac{Z_c V_i}{R + Z_c}$, la función de transferencia H está dada por la relación $H = \frac{V_o}{V_i}$, donde H puede estar en función de $j\omega$ o S , según convenga.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}, \quad \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} * \frac{1}{j\omega C}$$

Finalmente

$$\text{Función de transferencia} \quad H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad \dots \text{ ec. 1.7}$$

$$\text{Módulo} \quad |H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\omega RC)^2} \quad \dots \text{ ec. 1.8}$$

La frecuencia de corte f_c del filtro paso-bajo se establece a 3 decibeles por debajo de la amplitud máxima como se muestra en la figura 1.13.

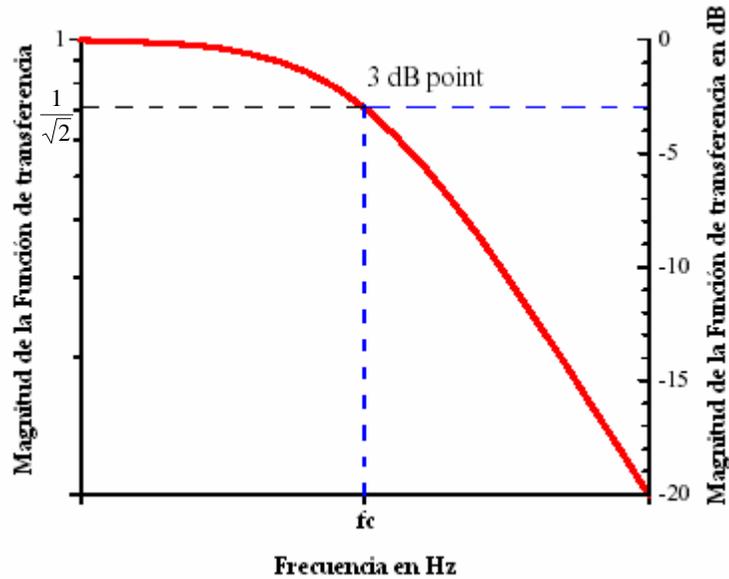


Figura 1.13. Frecuencia de corte.

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}}, \text{ para una frecuencia de corte } f_c, \text{ donde } \omega = 2\pi f_c$$

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{1+(2\pi f_c RC)^2}, \quad \frac{1}{2} = \frac{1}{1+(2\pi f_c RC)^2}, \quad 1+(2\pi f_c RC)^2 = 2$$

$$\text{Despejando } RC = \frac{1}{2\pi f_c}$$

Sólo resta proporcionar un valor de R o C para obtener el otro parámetro. Por ejemplo, si R= 10,000 ohms, C= 33.15 pF @ $f_c = 480$ Hz.

1.5 Conversión Analógico-Digital.

Esta etapa es la última en el proceso de acondicionamiento y procesamiento de las señales, en cuanto a su forma analógica se refiere. Los niveles de tensión de las muestras son convertidos a formato digital, en palabras de ocho bits que posteriormente son almacenados en la memoria del sistema y, en el momento oportuno, utilizados por el microprocesador para obtener la información deseada.

Aquí se debe prestar especial atención a características como son resolución y error de conversión. Propiedades íntimamente ligadas a la cantidad de bits utilizados para representar una cantidad de voltaje.

1.5.1 Principio de funcionamiento.

Un convertidor Analógico-Digital obtiene una muestra de tensión analógica y, después de un cierto tiempo, produce un código digital a la salida que representa el valor de la muestra, este proceso se observa de manera detallada en la figura 1.14.

Dado que el número de bits que utiliza el convertidor para representar una cantidad es finito, el código de salida deberá ser siempre el correspondiente al valor más cercano al que se puede cuantificar mediante el número N de bits, acotando este valor entre dos niveles consecutivos cuya diferencia es precisamente la resolución del convertidor.

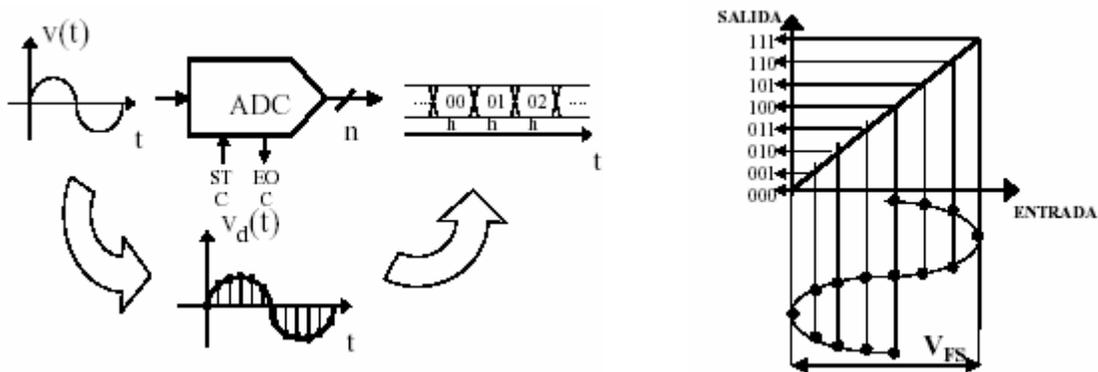


Figura 1.14 Proceso de conversión Analógico-Digital.

En este ejemplo se emplean tres bits para convertir la señal de entrada, donde la resolución es muy pobre dado que sólo se pueden obtener 8 niveles o escalones para representar a la señal original. Con un convertidor Analógico-Digital de 8 bits, la cantidad de niveles para representar a una señal de entrada es de $2^8 = 256$.

1.5.2 Resolución.

La resolución está directamente relacionada a la cantidad de bits utilizados para representar una cantidad por medio de la ecuación:

$$\text{Resolución} = \frac{1}{2^n} * 100$$

La siguiente tabla muestra la resolución para 8, 12 y 16 bits en un intervalo de tensión (VFS) de 0 a 5 Volts.

bits	Resolución	$V_{FSR}=5V$
8	0.39 %	19 mV
12	0.024 %	1.22 mV
16	0.0015 %	0.076 mV

Al aumentar la cantidad de bits la resolución es más pequeña, el resultado de la conversión es más preciso y el error de cuantificación es menor. En este diseño, el convertidor Analógico-Digital es de 8 bits, con lo que se obtiene una resolución de 19 mV en un intervalo de conversión de 0 a 5 V y es aceptable para el fin que se persigue.

2. ALGORITMOS DE MEDICIÓN Y PROTECCIÓN

Uno de los atractivos del área de medición, control y protección por sistemas basados en plataforma de microprocesador es la rica combinación de conocimientos. Además de las técnicas convencionales de protección en sistemas eléctricos de potencia, el diseño de sistemas con microprocesadores se complementa con el conocimiento de elementos digitales, programación, protocolos de comunicación y métodos de procesamiento digital de señales. Para comprender los algoritmos de medición es necesario analizar herramientas matemáticas como la transformada de Fourier en su forma discreta, con la cual es posible determinar la componente fundamental de la forma de onda senoidal.

2.1 Medición de parámetros eléctricos.

¿Qué es lo que miden los relevadores?

Los sistemas de protección electromecánicos convencionales producen un torque que es proporcional al flujo magnético provocado por la corriente, estos mecanismos responden a dicha corriente o al producto de ellas obtenidas en la entrada. Algunos relevadores de estado sólido están diseñados para responder a valores rms (valor eficaz), utilizan también circuitos lineales y detectores de nivel que responden a valores pico de la señal de entrada previamente ajustados. Los relevadores digitales pueden incluir ambas técnicas de protección, muchos de ellos usan filtros digitales para extraer sólo la componente fundamental y eliminar o atenuar a valores insignificantes las componentes armónicas.

Los sistemas de medición y protección están diseñados para operar con una forma de onda senoidal a una frecuencia de 50 ó 60 Hz. y contemplan los efectos de la distorsión de la señal causada por armónicas introducidas al sistema por cargas no lineales.

2.1.1 Transformada discreta de Fourier.

Las nuevas técnicas de medición emplean la Transformada Discreta de Fourier (TDF) para calcular las cantidades fasoriales a partir de una cantidad finita de muestras tomadas de la forma de onda de entrada en intervalos de tiempo bien definidos. Es decir, con el uso de métodos numéricos se extrae la componente fundamental de la forma de onda periódica y, si son necesarias, las componentes armónicas que pudiera contener.

El microprocesador ejecuta algoritmos matemáticos y utiliza características analíticas que pueden ser descritas de una forma precisa por medio de ecuaciones, estas herramientas permiten calcular la respuesta de cualquier forma de onda especificada. La clave de la operación del sistema de medición es el uso de la TDF como filtro digital. A través del tiempo, muchos métodos matemáticos han sido desarrollados y utilizados en sistemas digitales de medición, pero éste ha prevalecido gracias a su fácil manejo por lo que la programación resulta menos complicada y se obtiene un mejor desempeño.

Las ecuaciones que describen a la Transformada de Fourier en su forma discreta son las siguientes:

$$Real = \sum_{K=1}^N S_K \operatorname{sen} \frac{2\pi K}{N}$$

Donde N = Número de muestras.

$$Imag = \sum_{K=1}^N S_K \cos \frac{2\pi K}{N}$$

Sk es la magnitud de la muestra K.

Como puede observarse, la representación matemática es una sumatoria finita que depende del número de muestras tomadas por cada ciclo de la forma de onda de la señal. Es importante definir la frecuencia fundamental de operación del sistema, la cual para este caso es de 60 Hz. El ángulo y magnitud del fasor se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$Magnitud = \sqrt{Real^2 + Imag^2}$$

$$\text{Ángulo} = \arctan g \left(\frac{Imag}{Real} \right)$$

La TDF se determina por medio de una “ventana de datos” de medio ciclo o ciclo completo. El término “ventana de datos” se refiere al intervalo de tiempo o alternativamente al número de muestras usadas en la sumatoria. El cálculo es recursivo, en tanto aparece un nuevo dato el proceso debe repetirse con la muestra reciente desechándose la anterior. Esto se puede observar de manera más clara en la figura 2.1.

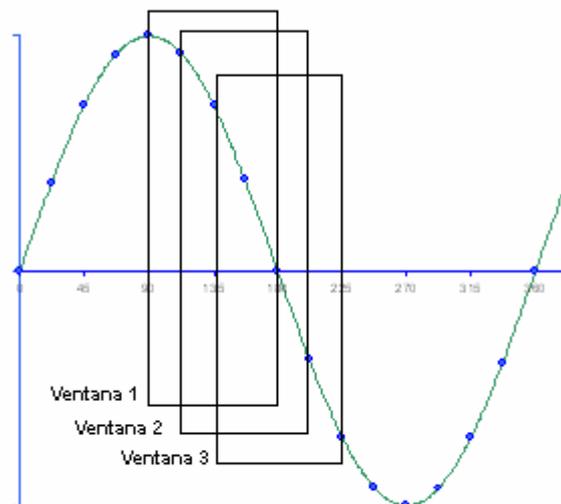


Figura 2.1 Ventana de datos.

En esta figura las ventanas contienen tan sólo cinco datos, suficientes para obtener una buena estimación del comportamiento de la señal. Como se ha explicado anteriormente, en este proyecto se utilizan 16 muestras por un ciclo, una cantidad con la que se obtiene una exactitud en la medición muy aceptable, esto quiere decir que para definir una ventana de medio ciclo, bastaría con tomar ocho muestras.

Como se demostrará posteriormente, al utilizar una ventana de datos de ciclo completo el efecto de la componente de corriente directa en la señal es casi nulo, no siendo así cuando se utiliza una ventan de medio ciclo donde se observa una alteración

considerable en el resultado. Dado que esta componente de corriente directa se presenta en casos anormales de operación o fallas en un sistema eléctrico, es más conveniente utilizar todos los datos.

El uso de una ventana de ciclo completo implica mayor tiempo en el procesamiento de datos para el microprocesador, en aplicaciones de protección de sobre corriente instantánea, donde la respuesta debe ser inmediata, el tiempo de operación debe ser menor o igual a 16 ms, tiempo equivalente a un ciclo de la señal y suficiente para asegurar la protección del sistema eléctrico.

A continuación se simula el cálculo de magnitud y fase de tensión o corriente, según sea el caso, por medio de la Transformada Discreta de Fourier haciendo uso de una ventana de ciclo completo.

Sea la función $Y(t)$ definida por la ecuación:

$$V_k = 1.5 \text{sen} \left[2 * \pi * \frac{K}{N} + \frac{\pi}{4} \right], \text{ donde } V_k \text{ son las muestras de la onda senoidal.}$$

$$N = 16, \quad K = 0, 1, \dots, 15$$

K	Vk
0	1.061
1	1.386
2	1.5
3	1.386
4	1.061
5	0.574
6	0
7	-0.574
8	-1.061
9	-1.386
10	-1.5
11	-1.386
12	-1.061
13	-0.574
14	0
15	0.574
0	1.061

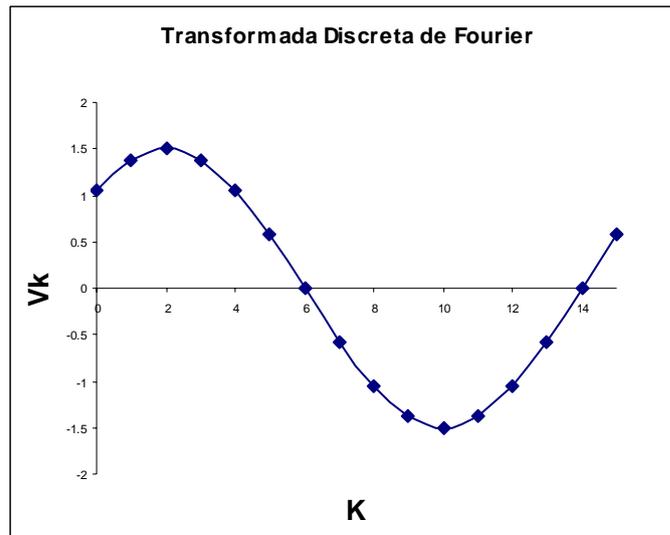


Fig. 2.2 TDF ciclo completo.

Aplicando las ecuaciones respectivas a la TDF se obtiene:

$$\text{Real} = 1.001$$

$$\text{Imag} = 1.061$$

$$\text{Módulo} = 1.5 \quad \text{y el ángulo} = 45 \text{ grados}$$

Se puede observar que los valores obtenidos son los esperados según la ecuación que describe a la forma de onda.

Pero ¿qué pasa cuando una componente de corriente directa se encuentra presente?, esta pregunta se contesta enseguida.

La siguiente ecuación define los valores de las muestras obtenidas de una señal de corriente con componente de corriente directa.

$$i_k = \text{sen}\left[2\pi\frac{K}{N} - 90\frac{\pi}{180}\right] - \text{sen}\left[-90\frac{\pi}{180}\right]e^{-\left[\frac{K}{N \cdot 60 \cdot T}\right]}$$

$$N = 16, \quad K = 0, 1, \dots, 15, \quad T = 0.303191$$

K	iK
0	0
1	0.042
2	0.226
3	0.519
4	0.872
5	1.225
6	1.521
7	1.71
8	1.76
9	1.658
10	1.416
11	1.068
12	0.662
13	0.257
14	-0.089
15	-0.327

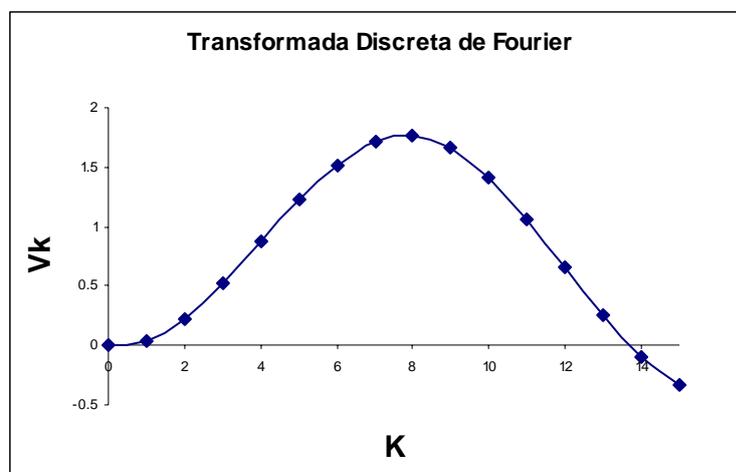


Figura 2.3 TDF ciclo completo con componente de corriente directa.

Los valores obtenidos por medio de las ecuaciones correspondientes son:

$$\text{Real} = 0.132$$

$$\text{Imag} = -0.962$$

$$\text{Módulo} = 0.971 \quad \text{ángulo} = -82.194 \text{ grados}$$

$$\text{Módulo actual} = 1 \quad \text{ángulo actual} = -85 \text{ grados}$$

Los valores se ven ligeramente afectados por la componente de corriente directa, pero son aceptables para la protección de un sistema eléctrico, además de que sólo se presentan en disturbios y no en condiciones de estado estable.

Los dos últimos cálculos se han realizado haciendo uso de una ventana de datos de ciclo completo; con fines de comparación, se realizará el cálculo del ejemplo anterior usando una ventana de medio ciclo.

Donde ahora $N = 8$,

$$K = 0,1,2,\dots,7$$

$$T = 0.303191$$

K	iK
0	0
1	0.042
2	0.226
3	0.519
4	0.872
5	1.225
6	1.521
7	1.71

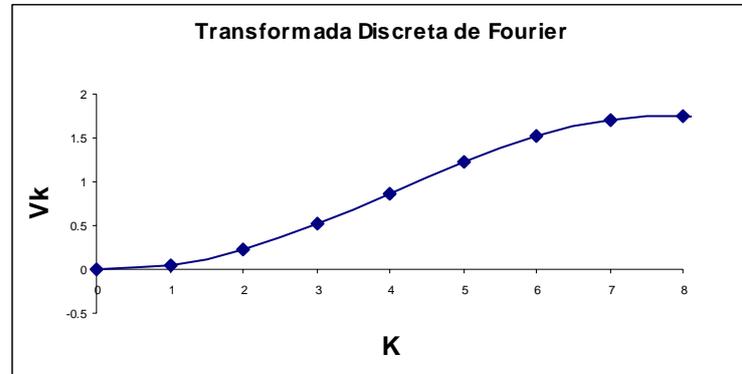


Figura 2.4 TDF medio ciclo.

Aplicando las ecuaciones de la TDF con los nuevos datos obtenemos:

$$\text{Real} = 1.097$$

$$\text{Imag} = -0.682$$

$$\text{Módulo} = 1.292, \text{ y el ángulo} = -81.843$$

$$\text{Módulo actual} = 1 \quad \text{ángulo actual} = -85 \text{ grados}$$

Como puede observarse al comparar los resultados obtenidos en los dos ejemplos, se puede llegar a la conclusión de que el uso de una ventana de datos de ciclo completo es más conveniente cuando se presenta una componente de corriente directa.

También se deduce que el ángulo depende directamente al instante donde las muestras empiezan a ser cuantificadas, por lo que deben ser sincronizados perfectamente el punto de inicio de toma de muestras con la señal de entrada, no siendo así para el módulo que solo depende de la amplitud de la forma de onda (valor pico). Es por eso que debe tenerse especial cuidado en los posibles corrimientos de fase de la señal que pudieran introducir los filtros analógicos, el procesamiento digital y el sistema de sincronización.

2.1.2 Cálculo de potencia y factor de potencia.

Con los valores fasoriales de tensión y corriente trifásicos se determinan otros parámetros eléctricos como el factor de potencia, potencia activa y reactiva, valores de secuencia, etc. Los resultados obtenidos al aplicar la TDF están en forma polar, donde la amplitud representa el valor pico de la señal; es importante destacar esta característica dado que, para los cálculos siguientes es necesario transformar los resultados a su valor eficaz o rms.

La figura 2.5 muestra la conexión física del sistema de medición con el sistema trifásico. Las tensiones que se miden son entre fase y tierra, por medio de transformadores de potencial con relación 127/12 V. Las corrientes son por fase.

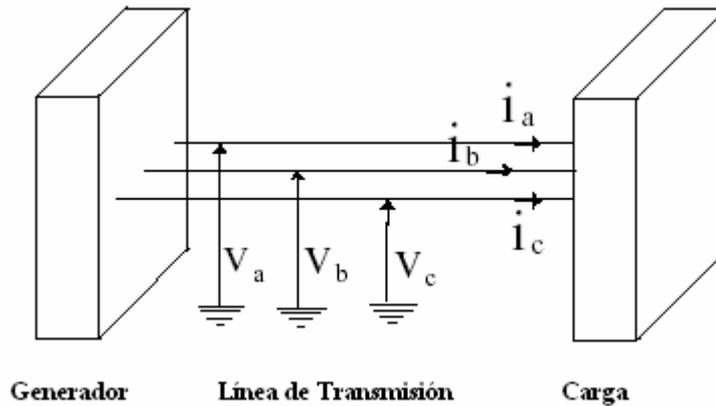


Figura 2.5 Sistema de potencia trifásico.

Los resultados obtenidos por medio de la TDF se representan de la siguiente manera:

Forma fasorial:

$$\begin{aligned}\bar{V}_a &= V_a \angle \vartheta_1, & \bar{I}_a &= I_a \angle \theta_1 \\ \bar{V}_b &= V_b \angle \vartheta_2, & \bar{I}_b &= I_b \angle \theta_2 \\ \bar{V}_c &= V_c \angle \vartheta_3, & \bar{I}_c &= I_c \angle \theta_3\end{aligned}$$

Dominio en el tiempo:

$$V_a(t) = V_m \text{sen}(\omega t - \vartheta_1) \quad I_a(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \theta_1)$$

$$V_b(t) = V_m \text{sen}(\omega t - \vartheta_2) \quad I_b(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \theta_2)$$

$$V_c(t) = V_m \text{sen}(\omega t - \vartheta_3) \quad I_c(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \theta_3)$$

$$\omega t = 2\pi f t$$

El ángulo de la tensión de la fase “a” se toma como referencia por lo tanto $\vartheta_1 = 0$ grados.

En un sistema balanceado el valor de los ángulos se determina como:

$$\begin{aligned}\vartheta_1 &= 0^\circ & \theta_1 &= -\phi \\ \vartheta_2 &= -120^\circ & \theta_2 &= -120 - \phi \\ \vartheta_3 &= -240^\circ & \theta_3 &= -240 - \phi\end{aligned}$$

Donde ϕ es el ángulo de desfase entre tensión y corriente, utilizado para obtener la potencia trifásica activa y reactiva del sistema. Dado que el sistema de medición obtiene de forma independiente los valores de módulo y ángulo de las diferentes señales de entrada, el cálculo de estos parámetros no es tan simple y debe realizarse de forma independiente como si se tratara de un sistema no balanceado. Esto quiere decir que el desfase entre las señales de tensión o corriente no es necesariamente 120 ó 240 grados, ni la magnitud de dichos parámetros son iguales; tomando en cuenta estas consideraciones el cálculo de la potencia se realiza separadamente. Para poder definir con claridad el concepto de potencia activa y reactiva es necesario analizar el comportamiento de un sistema monofásico como el mostrado en la figura 2.6, donde la tensión y la corriente se deducen de las ecuaciones:

$$V_a(t) = V_m \text{sen}(\omega t) \quad I_a(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \theta)$$

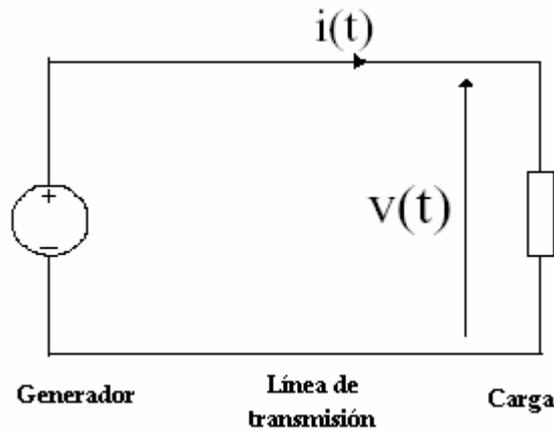


Figura 2.6 Sistema elemental de transmisión de energía.

Sea la tensión en la carga y la corriente en el circuito, respectivamente, fácilmente se puede demostrar que la potencia instantánea absorbida por la carga está definida por la siguiente expresión.

$$P = V(t) * I(t) = V_m I_m \text{sen}(\omega t) \text{sen}(\omega t - \theta)$$

Aplicando identidades trigonométricas.

$$P = V(t) * I(t) = V_m I_m \text{sen}(\omega t) [\text{sen}(\omega t) \cos(\theta) - \cos(\omega t) \text{sen}(\theta)]$$

$$P = V(t) * I(t) = V_m I_m [\text{sen}^2(\omega t) \cos(\theta) - \text{sen}(\omega t) \cos(\omega t) \text{sen}(\theta)]$$

Finalmente:

$$P = V(t) * I(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta) [1 - \cos(2\omega t)] - \frac{V_m I_m}{2} \text{sen}(\theta) \text{sen}(2\omega t)$$

Introduciendo los valores efectivos definidos por las ecuaciones (2.1) y (2.2), se puede re escribir, después de un desarrollo trigonométrico de la siguiente manera.

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots \text{ec. 2.1}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \dots \text{ec. 2.2}$$

$$p(t) = p_a(t) + q_r(t)$$

$$\text{Donde, } p_a(t) = VI \cos(\theta) [1 - \cos(2\omega t)]$$

$$q_r(t) = -VI \sin(\theta) \sin(2\omega t)$$

Nótese que la potencia se ha descompuesto en dos secciones identificadas como $p_a(t)$ y $q_r(t)$, la primera nunca es negativa y tiene un valor promedio $VI \cos(\theta)$ y recibe el nombre de potencia activa instantánea. A la segunda se le denomina potencia reactiva instantánea, tiene un valor promedio nulo y su valor máximo es $VI \sin(\theta)$.

Se puede escribir la ecuación de la forma:

$$p(t) = P[1 - \cos(2\omega t)] - Q \sin(2\omega t)$$

Donde $P = VI \cos(\theta)$ y $Q = VI \sin(\theta)$ se denominan potencia real y potencia reactiva, respectivamente

De la demostración anterior se pueden hacer las siguientes observaciones:

La potencia real P se define como el valor promedio de $p_a(t)$ y, por lo tanto, físicamente significa la potencia convertida en trabajo útil en la carga (transmitida). Su magnitud depende del factor de potencia en la carga. La potencia reactiva Q es por definición el valor máximo de aquella componente que viaja hacia delante y hacia atrás a través de la línea de transmisión sin producir trabajo útil en la carga ya que tiene un valor promedio nulo. Puesto que la mayoría de las cargas en un sistema de potencia son de naturaleza inductiva, se ha adoptado la convención de que ellas absorben o consumen potencia reactiva ($Q > 0$).

Se puede concluir que la corriente a través de los conductores de un sistema de transmisión y las pérdidas del sistema, dependen de las características de la carga a la que se suministra energía y principalmente al ángulo de fase de su impedancia, lo que a su vez se apoya en las siguientes consideraciones.

- Los equipos que requieren de energía eléctrica para su funcionamiento se fabrican para que operen a unos valores de tensión normalizados (110 ó 120 V, por ejemplo), es decir, V puede considerarse constante. Una vez construido el equipo eléctrico, el porcentaje de energía que absorbe y se transforma en trabajo útil (P) es constante.

- El uso que se le da al equipo determina el valor de la potencia real P . Así por ejemplo, para un ascensor el número de pasajeros, peso promedio de la cabina y la velocidad que se requiere determina la potencia necesaria.
- Cuando el factor de potencia de la carga es muy pequeño, las pérdidas de transmisión son excesivas produciéndose sobrecalentamiento en los conductores y posiblemente en el generador, razón por la cual las compañías suministradoras de energía suelen exigir un factor de potencia mínimo a cada usuario (0.8).

El factor de potencia es simplemente el nombre que se le ha dado a la relación de potencia activa utilizada en un circuito (expresada en Watts) y la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación (expresada en Volt-Ampere VA). En la figura siguiente se muestra el triángulo de potencias donde se aprecia el ángulo existente entre la potencia activa y la aparente.

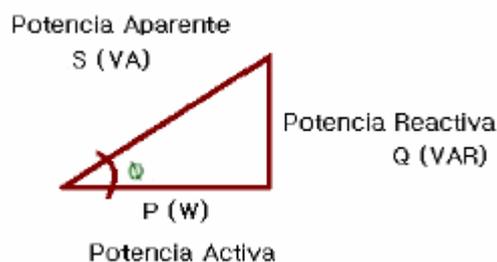


Figura 2.7 Triángulo de potencias.

Donde

S: Se define como Potencia Compleja Aparente cuya magnitud se expresa en [VA].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

P: Se define como Potencia Promedio Real o Útil expresada en [Watts].

Q: Se define como Potencia Reactiva debida a elementos inductivos o capacitivos, expresada en [VAR]

El factor de potencia se define como:

$$FP = \cos(\phi) = \frac{P}{S}$$

2.2 Protección de sobre corriente instantánea (50).

Un sistema de protección salvaguarda a un sistema eléctrico de efectos destructivos producidos por fallas. Una falla significa en muchos de los casos un corto circuito, pero generalmente se refiere a condiciones anormales de operación del sistema eléctrico. Si algún elemento (línea, bus, transformador, etc.) no es aislado rápidamente al ocurrir un disturbio, ésta puede causar inestabilidad al sistema. El trabajo de una protección es

remover el elemento fallado tan rápido como sea posible. Cuando la falla ocurre en un sistema de potencia la corriente presente (corriente de falla) es siempre más grande que la corriente de carga (prefalla) en cualquier elemento. Una forma simple y efectiva de protección es el uso de la magnitud de corriente como un indicador de falla.

Los relevadores de sobre corriente se utilizan para proteger prácticamente cualquier componente del sistema (líneas de transmisión, transformadores, generadores, motores, etc.). La figura 2.8 muestra el ejemplo típico de línea de transmisión utilizado para explicar el principio de funcionamiento.

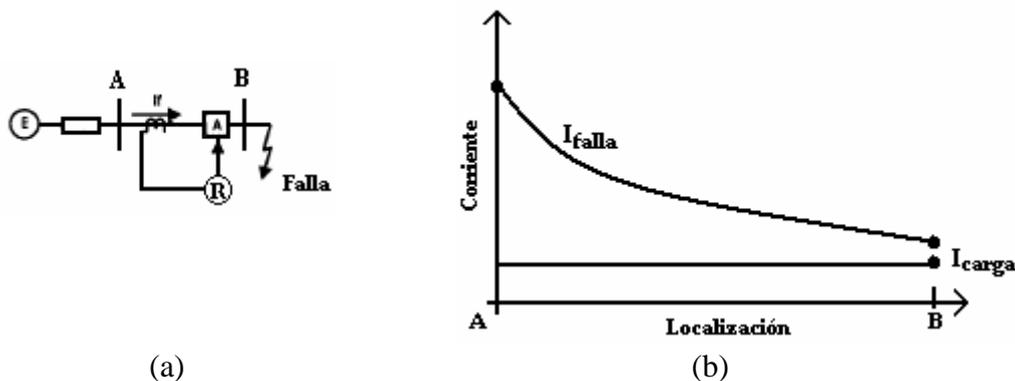


Figura 2.8 Protección de sobre corriente (50) de líneas de transmisión. (a) Sistema de protección radial, (b) Corriente de falla como función de la localización de la falla.

Para un disturbio localizado dentro de la zona de protección, la corriente de falla es más pequeña al alejarse del punto en conflicto. Asumiendo que la línea en cuestión es radial, como se muestra en la figura 2.8 (a). Si la corriente de falla mínima dentro de la zona de protección es más grande que la corriente de carga máxima, es posible definir el principio de operación de un relevador de la siguiente manera:

Si $|I| \geq I_p$, falla en la zona. Disparo.

$|I| < I_p$, no existe falla en la zona. No disparo ... ec 2.3

Donde I es la magnitud de la corriente medida e I_p es un parámetro que se describe a continuación: Cabe hacer mención que la magnitud de corriente se obtiene de una forma de onda de corriente alterna que puede contener una componente de corriente directa la cual depende del instante en que ocurre la falla. La figura 2.8 (b) es una representación de la variación de corriente en estado estable (conocida como corriente de falla simétrica con localización de falla). La característica del relevador dada por la ecuación 2.3 está definida en términos de la corriente de falla simétrica. La cantidad I_p es conocida como el punto de ajuste del relevador (pickup setting). La ecuación correspondiente describe la operación de un relevador ideal como se muestra en la figura 2.9. El dispositivo no opera mientras la corriente se mantenga por debajo del punto de ajuste, pero si esta excede dicho valor la operación toma un tiempo T_{min} para cerrar los contactos. A este tipo de relevador se le conoce como relevador de sobre corriente instantáneo. En los sistemas digitales a este tiempo se agrega un tiempo de operación T_{op} , tiempo que toma el microprocesador para realizar las operaciones correspondientes (cálculo de la TDF, comparaciones y toma de decisiones), para el sistema en cuestión el tiempo de operación es menor a 30 ms por fase.

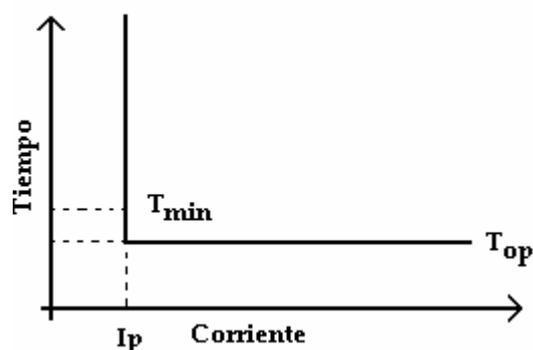


Figura 2.9 Operación de la protección de sobre corriente (50).

El sistema de protección digital compara los valores de corriente medidos por fase con los puntos de ajuste previamente definidos. Como puede deducirse, el ángulo de fase que pudiera tener con respecto a la referencia no es tomado en cuenta en este tipo de protección.

El único ajuste del relevador para la protección de sobre corriente instantánea (50) es el parámetro $|\bar{I}_p|$, que es el módulo de la corriente máxima o “PICKUP” de disparo.

2.3 Protección de sobre corriente de tiempo inverso (51).

Frecuentemente es deseable tener el tiempo de operación en función de la magnitud de la corriente, siendo este pequeño cuando la corriente del sistema es grande como se observa en la figura 2.10. A esta característica se le conoce como respuesta de tiempo inverso.

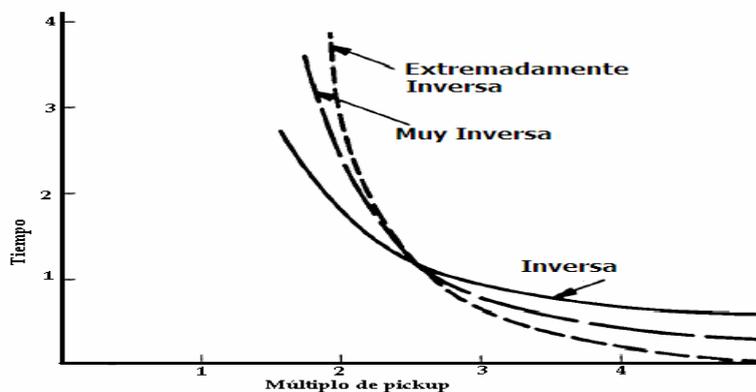


Figura 2.10 Operación del relevador de sobre corriente de tiempo inverso.

En la práctica, I_p se selecciona para quedar entre la máxima corriente de carga y la mínima corriente de falla con el fin de asegurar que la protección opere correctamente.

La figura 2.11 muestra las diferentes curvas de respuesta de un relevador electromecánico convencional, donde los ajustes se realizan por medio de una palanca (dial time setting) y tornillos de ajuste (múltiplos del punto de ajuste I_p). En el relevador digital la respuesta se modela matemáticamente ajustándose a curvas de tipo inverso, muy inverso y extremadamente inverso dependiendo de la aplicación.

Los sistemas digitales son tan versátiles que incluso pueden ser programados los dos tipos de protección (50) y (51) operando simultáneamente, con ajustes previamente definidos.

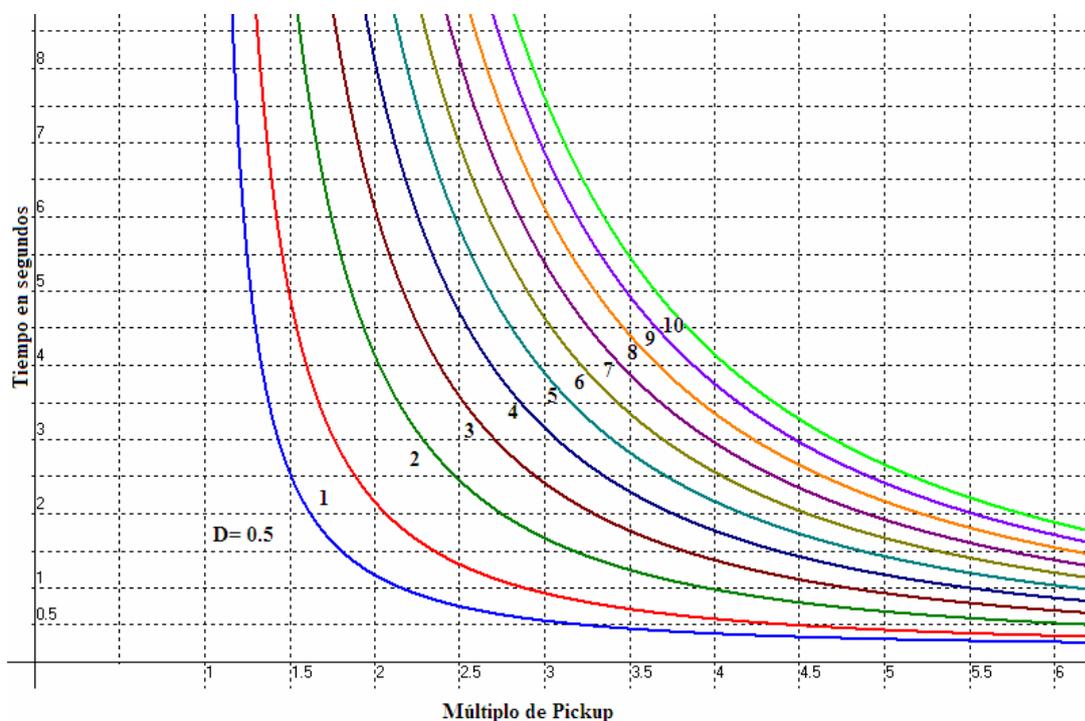


Figura 2.11 Curva característica del relevador de sobre corriente de tiempo inverso.

Las curvas se definen mediante un modelo matemático, mismo que es incluido en el programa monitor del relevador digital, que puede ser modificado adaptándolo así a una aplicación en especial. Las curvas que se observan en figura 2.11 las define la ecuación 2.4, donde los valores de las constantes se establecen dependiendo el tipo de curva deseada.

$$t = \left(\frac{\beta * D}{\left(\frac{I_p}{I_m} \right)^\alpha - 1} + L \right) \dots \text{ec. 2.4}$$

Donde:

“D” = 0.5, 1, 2, 3, 4 ... 10. En los relevadores electromecánicos este parámetro se refiere a la palanca de tiempo “TIME DIAL” que selecciona la curva.

“Im” es la corriente mínima de operación “PICKUP” e Ip es la corriente suministrada al sistema.

Los valores de α , β y L se seleccionan para obtener la curva característica inversa, muy inversa o extremadamente inversa. En la tabla siguiente se establecen las constantes según estándares internacionales.

Idmt	Estándar	α	β	L
Moderadamente Inversa	IIEEE	0.02	0.515	0.114
Muy Inversa	IIEEE	2.0	19.61	0.491
Extremadamente Inversa	IIEEE	2.0	28.2	0.1217
Inversa	US-C08	2.0	5.95	.18
Inversa Tiempo Corto	US-C02	0.02	.02394	.01694
Inversa estándar	IEC	0.02	.14	-----
Muy Inversa	IEC	1.0	13.5	-----
Extremadamente Inversa	IEC	2.0	80	-----
Inversa de Tiempo Largo	UK	1	120	-----

En este proyecto se utilizan los parámetros $\alpha = 2$, $\beta = 5.95$ y $L = 0.18$ para obtener una curva inversa bajo el estándar IIEEE.

Si viene siendo cierto que en teoría este proceso se ve sencillo, en la práctica se requieren de muchas líneas de programación para implementar la curva mostrada y que la respuesta se ajuste al tiempo indicado. Para mayor comprensión basta con observar el listado del programa en ensamblador en el capítulo correspondiente.

2.4 Protección de tensión máxima (59) y tensión mínima (27).

La regulación de tensión es importante en un sistema eléctrico, la calidad del servicio está íntimamente relacionada con esta característica. Ante la presencia de una carga la magnitud de ésta se ve afectada, es de gran importancia mantener este parámetro lo más estable posible.

El sistema de medición digital implementado se encarga de comparar la magnitud de la tensión de línea $|V_L|$ con un ajuste previo $|V_{T\text{Máxima}}|$ y $|V_{T\text{Mínima}}|$, como se observa en la figura 2.12, si éste sale de un umbral establecido se disparan las señales correspondientes, que a su vez pueden ser acopladas a sistemas de regulación de tensión.

La aplicación es versátil y variada, desde la selección de “taps” o pasos en un transformador de potencia, hasta la elección de cargas inductivas o capacitivas, simulando un Compensador Estático de Vars (CEV).

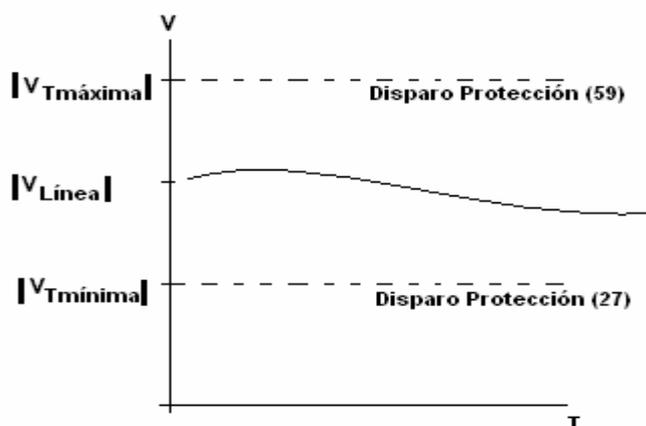


Figura 2.12 Protección de Tensión Máxima (59) y Tensión Mínima (27)

Estas protecciones son poco conocidas, pero son muy útiles en la regulación de un sistema eléctrico. Los únicos parámetros de ajuste en el sistema son $|V_{TMáxima}|$ y $|V_{TMinima}|$ los cuales se seleccionarán según las necesidades de control o protección.

Las protecciones explicadas en el presente capítulo son implementadas en el relevador digital; la programación de cada una de ellas se detalla en el listado de programación mismo que es susceptible a modificaciones, ya sea para implementar nuevas funciones, curvas de respuesta u optimización en el rendimiento del sistema en general.

3. CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA MADRE

El diseño propuesto tiene la arquitectura general de los relevadores digitales basados en plataforma de microprocesador. La figura 3.1 muestra la arquitectura final del sistema desarrollado. Etapas de acondicionamiento de señales y escalamiento han sido analizadas en los capítulos correspondientes, los módulos de expansión de memoria, alimentación y conexiones generales se estudiarán en el presente capítulo.

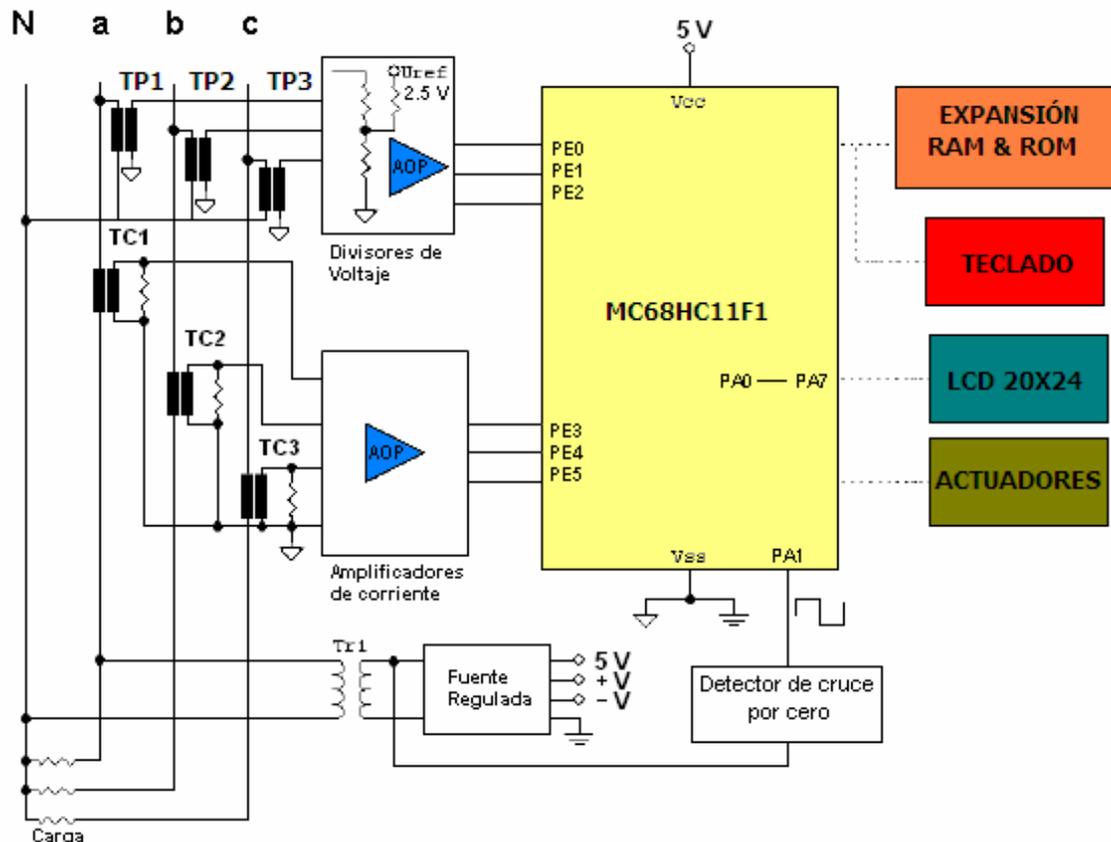


Figura 3.1 Arquitectura general del sistema de medición, control y protección.

3.1 Selección del microcontrolador.

Un microcontrolador (MCU) es un circuito integrado que incorpora una unidad central de proceso y una serie de recursos internos. La CPU permite que el microcontrolador pueda ejecutar instrucciones almacenadas en la memoria. Los recursos internos son memoria RAM, memoria ROM, memoria EEPROM, puerto serie, puertos de entrada/salida, temporizadores, comparadores, capturadores de entrada y salida, etc. Se puede decir que es una evolución del microprocesador, al añadirle a este último las funciones que antes era necesario implementar externamente con ayuda de circuitos adicionales. El ejemplo típico está en los puertos de entrada/salida y en la memoria RAM. En los sistemas con microprocesadores es necesario desarrollar una lógica de control y anexar circuitos para implementar las funciones anteriores, con el uso de un microcontrolador se elimina esta necesidad ya que estos recursos están incorporados en el mismo circuito integrado, además de que en el caso de tener la necesidad de ampliar el sistema, resulta sencillo ya que ofrece características mejoradas que facilitan la tarea. En resumen, un microcontrolador es un circuito integrado independiente que, de no ser necesario, no necesita memoria ni puertos externos adicionales, facilita el desarrollo del

diseño y reduce el espacio, traduciéndose todo esto en una aplicación final más económica y confiable.

Existe una cantidad impresionante de microcontroladores en el mercado, muchos de ellos fabricados especialmente para el procesamiento digital de señales como el DSP (Procesador Digital de Señales) y otros de uso general con características similares que pueden aplicarse en este diseño.

Para esta aplicación, el uso de un microcontrolador es más conveniente gracias a su flexibilidad y desempeño. Circuitos de decodificación de memoria, decodificación de puertos de entrada/salida y comunicación entre otros, no son necesarios ya que como se explicó anteriormente, vienen integrados en la arquitectura del microcontrolador y están listos para su uso.

Se elige el microcontrolador fabricado por Motorola MC68HC11F1CFN2 en primer lugar por ser un dispositivo muy popular entre los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y por su facilidad de programación sin la necesidad de equipo especial. Los programas se desarrollan en una computadora personal e incluso simularse con programas como son PCBUG11, ASMHC11, etc., que son de manejo sencillo.

La popularidad del microprocesador y su facilidad de programación son pues las razones más importantes consideradas, ya que lo que se pretende es que se comprenda el principio de funcionamiento de los nuevos sistemas utilizados en la industria eléctrica, además de ofrecer mayor facilidad de implementación.

En la figura 3.2 se muestra el diagrama a bloques de la arquitectura del microcontrolador, pueden observarse todas y cada una de las partes que lo conforman claramente.

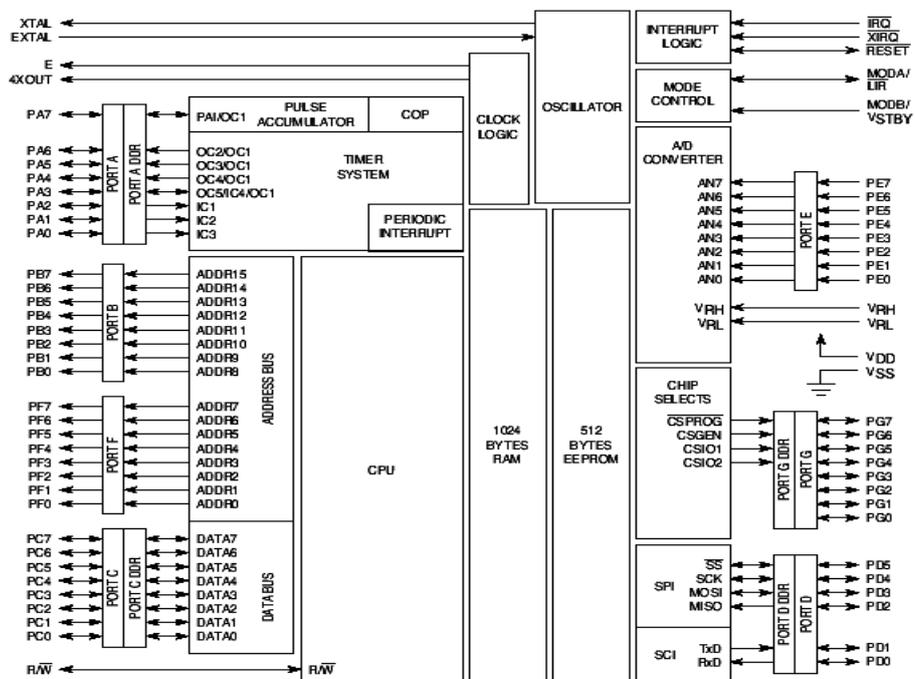


Figura 3.2. Diagrama a bloques del MC68HC11F1.

Características principales.

- Unidad central de procesos.
- 512 Bytes EEPROM.
- 1024 Bytes RAM.
- Bus de datos y direcciones no multiplexados.
- Temporizador de 16 bits.
- Tres capturadores de entrada.
- Cuatro comparadores de salida.
- Acumulador de pulsos de 8 bits.
- Circuito de interrupción en tiempo real.
- (COP) Watchdog.
- Interfaz de comunicación asíncrona (SCI), no regreso a cero (NRZ).
- Periférico de interfaz serial síncrona.
- Convertidor A/D de ocho canales y 8 bits de resolución
- Cuatro selectores de Chip.
- Encapsulado PLCC de 68 pines, ver Figura 3.3.

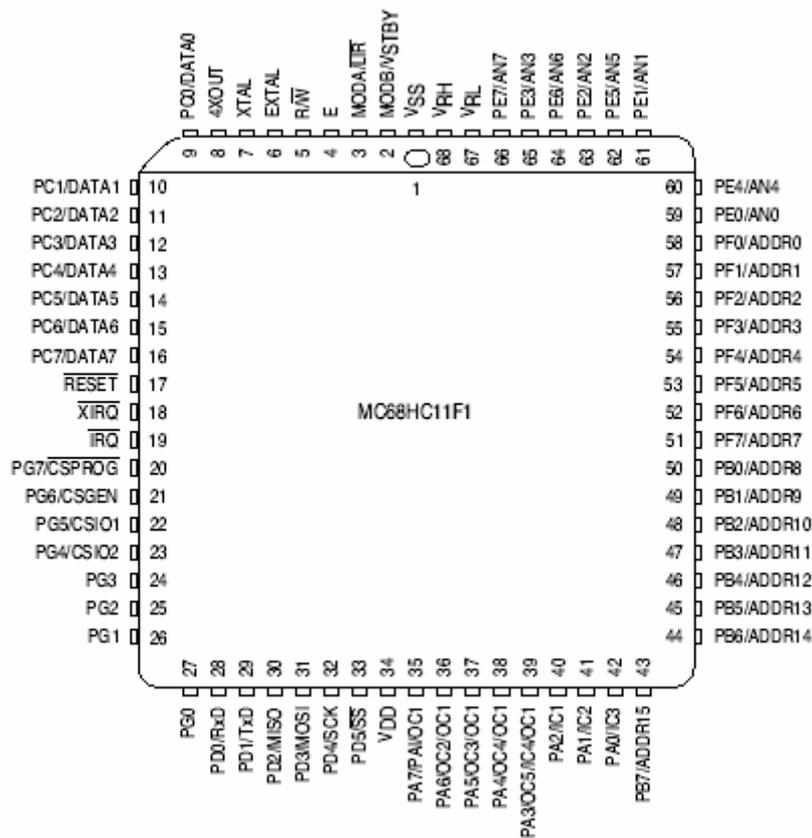


Figura 3.3 Asignación de “pines” (patillas) en encapsulado PLCC-68.

La arquitectura mostrada contiene todos los elementos necesarios para el desarrollo del sistema de medición; el espacio se reduce considerablemente haciendo más atractivo su diseño.

3.1.1 Descripción general del hardware del microcontrolador MC68HC11.

Si bien el fabricante advierte que este microcontrolador no ha sido diseñado para funcionar implantado en organismos vivos bajo ningún aspecto, así como en cualquier dispositivo que tenga relación directa con el sustento de la vida (marcapasos, etc...), se hace hincapié en que se trata de un dispositivo “seguro”. El que los microcontroladores se utilicen de forma mayoritaria en aplicaciones de control, obliga a estos dispositivos a prestar mucha atención a la característica de seguridad. En los sistemas de control profesionales hay que evitar cualquier inestabilidad ya que en su caso se puede producir una catástrofe. Sistemas de este tipo son los utilizados en la industria eléctrica, aeronáutica, sistemas de seguridad, etc. Por esta razón fue necesaria la inclusión de sofisticados sistemas COP, que tienen por objetivo velar por la fiabilidad del chip. Las acciones que realiza son las de verificar que la ejecución de las instrucciones se mantenga en sincronía con el reloj, que este último mantenga la frecuencia correcta sin variaciones, etc. Asociado a su vez a temas de control y en particular el control en tiempo real, se encuentra el llamado temporizador general (main timer), que no sólo provee de interrupciones en tiempo real sino que gestiona todo el funcionamiento del integrado y periféricos adicionales.

Para poder definir la CPU desde un punto de vista hardware se puede decir que se trata de una arquitectura LOAD/STORE (se trabaja con registros intermedios), y que por costumbre de su diseñador mantiene una arquitectura de memorias del tipo Princeton (las memorias de datos y código no están separadas,...). A partir de aquí es importante destacar que el microcontrolador 68HC11, contiene una serie subsistemas internos que lo ponen entre los más completos del mercado actual.

3.1.2 Descripción de las conexiones del MC68HC11F1.

El MC68HC11F1 (MCU), dispone de 98 funciones de entrada y/o salida, las cuales se ven representadas por 68 patas (pines) en el caso de un encapsulado del tipo PLCC-68. Además, dependiendo del modelo de MCU, se cuenta con diferentes tipos y tamaños de memoria (ROM, RAM, EPROM, EEPROM).

Debido al diseño de los circuitos internos del microcontrolador, muchas de las señales de salida son de **colector abierto**. El fabricante recomienda colocar una resistencia de pull-up de 4700 ohms. Cuando se monta un sistema digital basado en microcontrolador, existe siempre el peligro de que un mal diseño provoque no solo un mal funcionamiento sino un daño irreparable de los circuitos. Esto se debe a que a diferencia de la lógica digital habitual, los microcontroladores en general trabajan con varios tipos de señales, conversores A/D, salidas PWM, líneas de transmisión y un largo etcétera, lo que provoca que una mala conexión pueda tener graves consecuencias. El 68HC11 tiene varios de sus pines dotados de circuitos internos de protección. Igualmente este tipo de soluciones tienen sus propias limitaciones por lo que nunca se debe bajar la guardia; en especial en este caso, donde la función principal es proteger una línea de alta tensión, por lo que una anomalía en el diseño provocaría comportamientos inesperados.

Primero se clasifican todos los pines del microcontrolador en grupos de acuerdo a las funciones de los mismos, siendo estas agrupaciones las siguientes:

1. Alimentación: VDD, VSS.
2. Reloj: EXTAL, XTAL, E.
3. Reset: RESET.
4. Transmisión serie asíncrona: TxD, RxD.
5. Petición de interrupciones hardware: IRQ, XIRQ, IC1-3, PAI, STRA.
6. Modos de arranque: MODA, MODB.
7. Comparadores: OC1-5.
8. Capturadores: IC1-3, PAI.
9. Transmisión serie síncrona: SCK, MISO, MOSI, SS.
10. Puertos: PA0-7, PB0-7, PC0-7, PD0-3, PE0-3.
11. Conversores: AN0-7.
12. Buses: AD0-7, A0-15, AS, R/W.

Con esta clasificación, se intenta dar una vista general de todos los subsistemas del hardware que conforman el microcontrolador y que tienen salida directa al exterior a través del encapsulado. Las descripciones son resumidas ya que para su mayor comprensión, se recomienda consultar los manuales técnicos del microcontrolador proporcionados por Motorola. En este capítulo solo se hará mención a los pines que son utilizados.

3.1.3 Pines del reloj.

•**EXTAL** y **XTAL**: Son las conexiones de entrada para la introducción de una señal de reloj. El microcontrolador está diseñado para trabajar con osciladores de cristal conectados de la forma que muestra la figura 3.4.

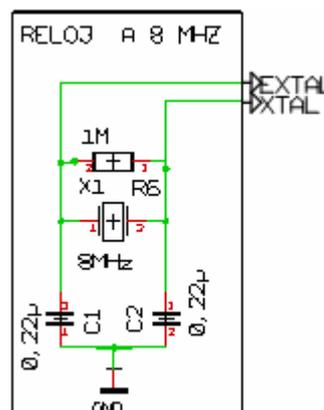


Figura 3.4 Circuito de reloj para frecuencias mayores a 1 MHz.

La frecuencia de reloj introducida en el MCU, se encarga de regir el funcionamiento interno de los subsistemas que lo componen, por lo que no hay que confundirla con la señal de reloj de sus buses de datos ya sean internos o externos. La frecuencia máxima aconsejable por el fabricante está en torno a los 8Mhz. Se recomienda trabajar a esta frecuencia ya que de esta manera se consigue que el dispositivo disponga de valores de escalamiento compatibles para las transmisiones asíncronas como los típicos 9600 baudios por segundo utilizados en la conexión RS232.

Los valores propuestos por el fabricante para los componentes del circuito de reloj son: $R=1-10\text{ M}\Omega$ y $C1=C2=5-25\text{ pF}$.

3.1.4 Pines de alimentación

- VDD**: Es el pin de alimentación positiva, el cual debe tener el valor estándar de cinco volts (el margen aceptado es de 4.5 a 5.5 volts).

- VSS**: Es la masa o tierra del MCU. Para asegurar una buena inmunidad contra el ruido, es conveniente la conexión de un par de condensadores en paralelo entre VDD y VSS, con el fin de que estos anulen los posibles rizados provenientes de la fuente de alimentación, provocados por las conmutaciones internas del microcontrolador. Dichos condensadores deben estar físicamente lo más cerca posible al chip. Los valores recomendados por el fabricante para estos componentes son de 1 y 0.01 microfaradios.

3.1.5 Pines de reset.

- RESET**: Esta señal se activa a nivel bajo y es bidireccional. El 68HC11 está preparado no sólo para recibir señales de “reset”, sino también el propio dispositivo es capaz de generar dicha señal para todos los periféricos que conformen el sistema.

Generar un “reset” admite una gran cantidad de diseños diferentes. Dependiendo del tipo de sistema digital es el tipo de sistema de reset. Uno de los más utilizados en las tarjetas entrenadoras y que se utiliza en este diseño, es la conexión de un simple pulsador que al presionarlo habilite un camino a tierra al pin RESET. En la figura 3.5 se muestra un ejemplo de este circuito.

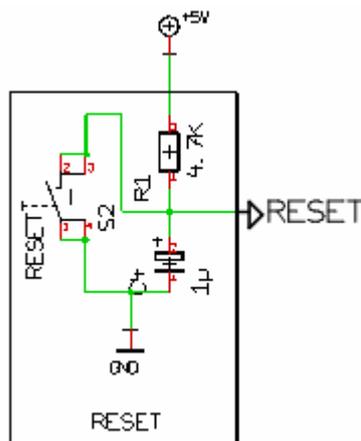


Figura 3.5 Circuito de reset.

Por último es importante mencionar que este pin es de colector abierto y para deshabilitarlo (que no sea un “reset” constante) debe tener una resistencia en pull-up.

3.1.6 Pines de transmisión serie asíncrona (Puerto de comunicaciones).

- TxD** y **RxD**: Son los pines de transmisión y recepción de datos serie asíncronos. El 68HC11 trabaja con niveles TTL, por lo que es necesario un circuito de adaptación si se quiere comunicar con un dispositivo que utilice la RS-232C. El dispositivo que realiza esta adaptación es el MAX232. En la figura 3.6 se muestra el diagrama a bloques de la conexión del 68HC11 a una PC y en la figura 3.7 se muestra cómo se debe configurar el

MAX232 para que realice correctamente la función de adaptación. Los condensadores empleados son electrolíticos de 22 μ F a 25 V.

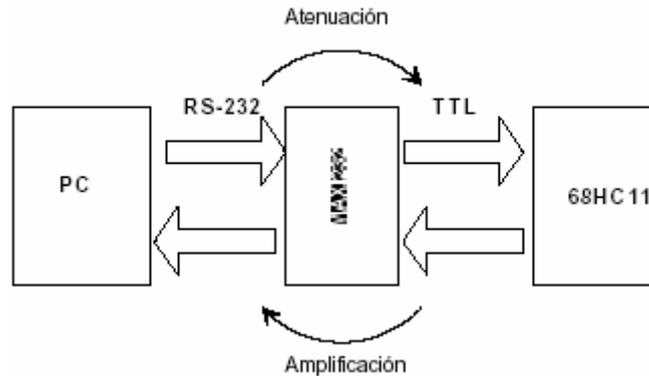


Figura 3.6 Funcionamiento del integrado MAX232.

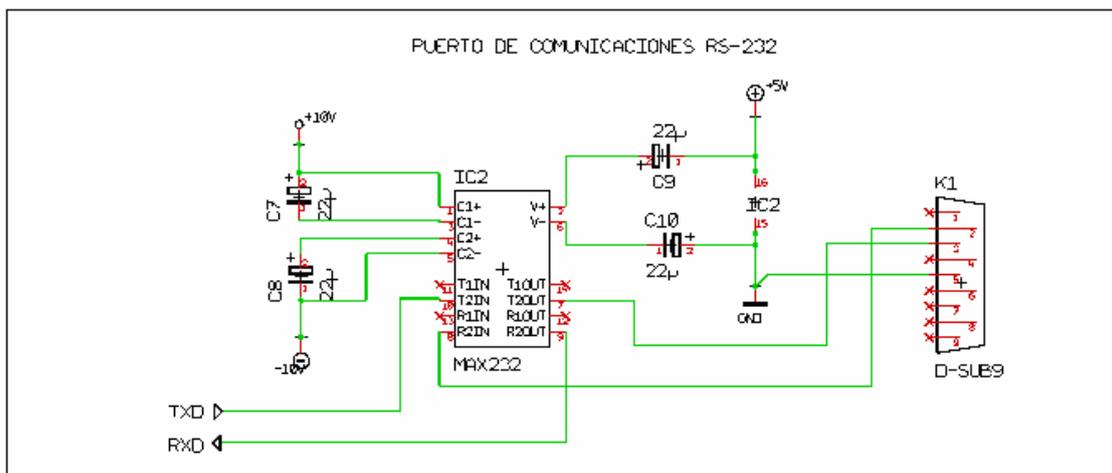


Figura 3.7. Configuración del MAX232, conexión 68HC11 a PC (norma RS-232C).

Una de las ventajas de este dispositivo o similares es que no hacen uso de alimentaciones externas diferentes a las habituales en estos sistemas (5V), evitando de esta manera aumentar la complejidad de la fuente de alimentación.

3.1.7 Pines de los capturadores.

- **IC1, IC2 e IC3:** Estos tres pines representan las tres entradas de los tres capturadores independientes que incorpora el 68HC11. Mediante ellos, es posible detectar cualquier cambio de nivel que se produzca externamente.

- **PA1:** Este pin representa la entrada a un acumulador de pulsos, mediante el cual es posible medir su duración y contar flancos activos de señales externas al microcontrolador. Se utiliza para sincronizar la obtención de las muestras del convertidor Analógico-Digital y calcular la frecuencia de los pulsos provenientes del detector de cruce por cero.

3.1.8 Pines de petición de interrupciones externas.

•**IRQ**: Este pin provee al microcontrolador de una entrada de interrupción enmascarable, se activa a nivel bajo y es de colector abierto lo que permite conectar varios dispositivos a la vez. Debe permanecer conectada a una resistencia en pull-up.

•**XIRQ**: Del mismo modo que el pin anterior, este permite producir todas las peticiones de interrupción con la salvedad de que estas son no enmascarables. Uno de los usos más comunes de esta entrada es activar alguna rutina de servicio referente a caída de la alimentación del sistema, o cualquier otra función de carácter prioritario.

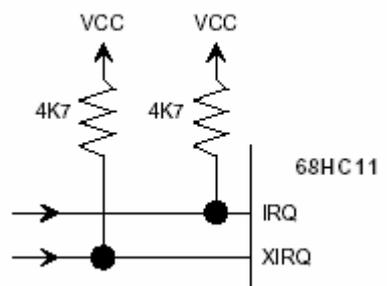


Figura 3.8. Peticiones de interrupción externas.

3.1.9 Pines de configuración de los modos de arranque.

•**MODA** y **MODB**: Estas dos señales son tomadas en cuenta por el MCU únicamente durante los primeros ciclos de reloj. Según el nivel al que se encuentren, el 68HC11 se configurará en alguno de los 4 modos que dispone, mediante software es posible cambiar de uno a otro. La siguiente tabla muestra los diferentes modos de operación del microcontrolador.

MODA	MODB	Modo de arranque
0	0	Especial Bootstrap
0	1	Normal
1	0	Especial extendido (Test)
1	1	Normal extendido

Al iniciar el MCU primero se configura en modo expandido, asignando el mapa de memoria y configuración de puertos, posteriormente inicia desde una localidad de memoria externa. Para mayor comprensión, este procedimiento se explica detalladamente en capítulos subsecuentes.

3.1.10 Pines de los comparadores.

• **OC2, OC3, OC4 y OC5**: Estos cuatro pines representan las respectivas salidas hardware de cuatro de los cinco comparadores internos de los que está provisto el MCU. Una vez comparado un valor previamente almacenado en un registro de 16 bits con el valor del temporizador principal, en el caso de producirse la igualdad y cuando las salidas hardware estén habilitadas, el pin correspondiente al comparador activado muestra a la salida el nivel para el cual esté configurado.

- **OC1:** Si bien posee un solo nombre, aquí se ven representados nada menos que cinco pines de salida. Del mismo modo que en el caso anterior se trata de un comparador, pero que su salida hardware no es de un solo canal, sino de ¡cinco!

3.1.11 Pines de transmisiones serie síncrona.

- **SCK:** Este pin se refiere a la señal de reloj que comanda cualquier transmisión síncrona. Puede ser tanto de salida como de entrada, según si el MCU trabaja como maestro o esclavo respectivamente.

- **MISO y MOSI:** (Master In Slave Out) (Master Out Slave In), estos dos pines son las dos vías por donde van a fluir los datos. Para el caso en que se configure el MCU para trabajar como Maestro frente a otro dispositivo, el cual hace de esclavo, el pin MOSI es el que funciona como salida de datos desde el maestro al esclavo y el pin MISO es la vía contraria, es decir por donde el maestro recibe los datos del esclavo. En la figura 3.9 se muestra el estado de los pines del SPI cuando el 68HC11 funciona como maestro y como esclavo.

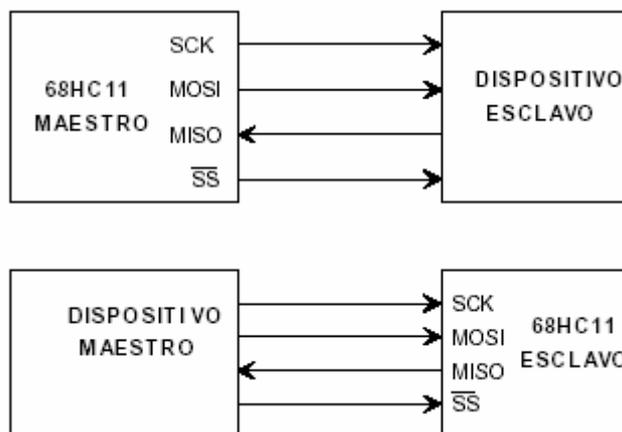


Figura 3.9 El 68HC11 funcionando como maestro y como esclavo.

- **SS:** Señal que se activa a nivel bajo y que tiene diferentes funciones según se haya configurado el micro como Maestro o Esclavo.

3.1.12 Pines de los puertos de E/S.

La integración y la potencia de este microcontrolador obliga a un alto grado de multiplexado de las funciones que soporta, por tanto, si bien la cantidad de puertos existentes en el chip es grande y variada, estos se ven a veces inhabilitados ya que son utilizados con otros fines tales como comparadores, capturadores, control de transmisiones asíncronas, etc. De tal manera que el número de puertos netos puede hasta resultar escaso para algunas aplicaciones. El microcontrolador MC68HC11F1 utilizado en el diseño, contiene 54 pines distribuidos en seis puertos de 8 bits, A, B, C, D, E, F y G, y uno de seis bits, puerto D. Cada uno ellos tienen una función de entrada o salida específica que depende del modo de operación del dispositivo. Los puertos B, C y F están disponibles para funciones de entrada/salida sólo en configuraciones de operación normal y bootstrap. Los pines de los puertos A, C, D y G son completamente bidireccionales. Los puertos B y F son exclusivamente de salida. El puerto E es de

entrada que, con una configuración adecuada, sirve como entrada al convertidor A/D. Para mayor información observar la tabla 3.1.

El puerto G es de especial interés, en el modo de operación expandido los pines PG4, PG5, PG6 y PG7 hacen el papel de decodificadores de direcciones, programados mediante registros internos del microcontrolador que modifican el mapa de memoria según las necesidades.

Port/Bit	Single-Chip and Bootstrap Mode	Expanded and Special Test Mode
PA0	PA0/IC3	
PA1	PA1/IC2	
PA2	PA2/IC1	
PA3	PA3/OC5/IC4/OC1	
PA4	PA4/OC4/OC1	
PA5	PA5/OC3/OC1	
PA6	PA6/OC2/OC1	
PA7	PA7/PAI/OC1	
PB[7:0]	PB[7:0]	ADDR[15:8]
PC[7:0]	PC[7:0]	DATA[7:0]
PD0	PD0/RxD	
PD1	PD1/TxD	
PD2	PD2/MISO	
PD3	PD3/MOSI	
PD4	PD4/SCK	
PD5	PD5/SS	
PE[7:0]	PE[7:0]/AN[7:0]	
PF[7:0]	PF[7:0]	ADDR[7:0]
PG0	PG0	
PG1	PG1	
PG2	PG2	
PG3	PG3	
PG4	PG4	PG4/CSIO2
PG5	PG5	PG5/CSIO1
PG6	PG6	PG6/CSGEN
PG7	PG7	PG7/CSPROG

Tabla 3.1 Función de los pines según el modo de operación.

3.1.13 Pines de bus de datos y direcciones.

Cuando el microcontrolador se configura para funcionar en el *modo expandido*, es decir con la capacidad de leer 64 Kbytes de memoria, se ve obligado a generar un bus de direcciones, uno de datos y uno de control. De esta manera, el 68HC11 deja que su CPU interna tenga acceso al exterior, por lo que a partir de aquí de alguna manera, el microcontrolador comienza a funcionar como un microprocesador. Dicho "nuevo" microprocesador tiene una potencia razonable regida por un bus de datos de 8 bits, y un bus de direcciones de 16 bits, por lo que su espacio de direccionamiento es de 64 Kbytes de memoria externa. Este mapa de memoria comparte espacio con los puertos que se incorporen a nuestro sistema y todos los registros internos de MCU. En caso de que se superpongan registros internos del microcontrolador con dispositivos externos como pueden ser secciones de memoria, el controlador de bus dará prioridad a los recursos internos dejando de lado los restantes.

A diferencia de otros miembros de la familia 68HC11, la serie F1 tiene la característica de tener el bus de datos no multiplexado, esto quiere decir que al operar en el modo extendido, la parte baja del bus de direcciones es el puerto F, la parte alta el puerto B y el bus de datos el puerto C como se observa en la figura 3.10.

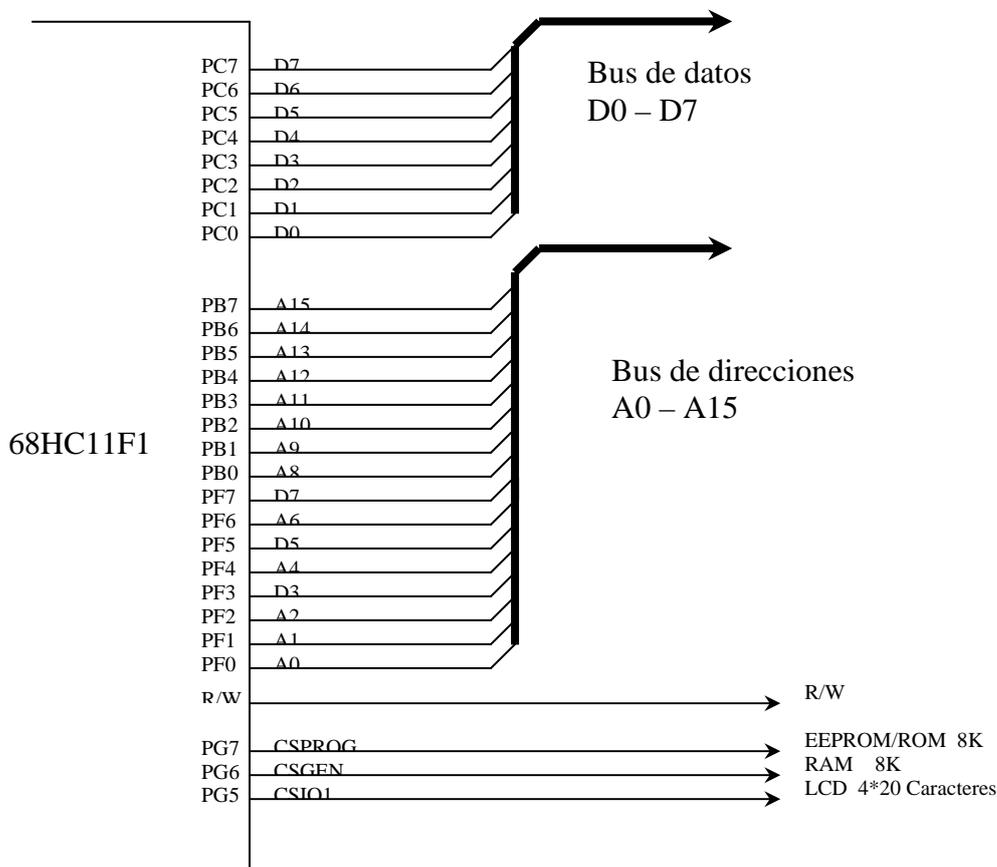


Figura 3.10 Direccionamiento en modo expandido del 68HC11.

3.1.14 Pines de los convertidores A/D.

- AN0-7:** Este puerto es uno de los más populares y a su vez el más delicado. Se basa en un convertidor Analógico Digital de 8 bits que cuenta con 8 canales multiplexados a los cuales se pueden acceder en grupos de 4 (puerto E). La velocidad de de muestreo está sujeta a la frecuencia del oscilador del MCU, además de que las señales de referencia se pueden fijar externamente. Es recomendable la utilización precavida del sistema ya que una entrada de tensión fuera de los niveles de referencia prefijados provocaría un corto interno y la alta probabilidad de que se destruya, al menos, el canal en cuestión. Por último cabe destacar que dependiendo del ancho de banda de las señales analógicas que se esperan recibir, es aconsejable el uso de filtros que acondicionen las mismas para una adecuada conversión. Tema tratado ampliamente en el capítulo 1.

3.2 Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación es uno de los elementos del diseño de suma importancia. Debe proporcionar la energía necesaria para los diferentes dispositivos del relevador

digital como son el microcontrolador, memoria, pantalla (display), relés de salida, etc., obteniendo dicha energía ya sea por medio de la línea o por bancos de baterías.

La fuente de alimentación debe ser capaz de proporcionar continuamente la energía necesaria a los circuitos del relevador. En todo sistema de protección es de primordial importancia mantener el suministro de energía de los equipos de medición, control y protección sin interrupción para asegurar la supervisión del sistema eléctrico en todo momento.

En los sistemas convencionales, los bancos de baterías son indispensables en un esquema de protección, ya que proporcionan la energía necesaria en caso de que suceda algún disturbio en el sistema eléctrico. Cuando la falla es librada o se reestablece el servicio, los sistemas de protección deben estar vigilando constantemente para responder a condiciones desfavorables.

El microcontrolador y periféricos de entrada/salida funcionan con una alimentación de 5 Volts que se obtiene a partir de un transformador, regulador y filtros adecuados capaces de proporcionar la potencia necesaria.

En una subestación eléctrica, la alimentación se obtiene por medio de los circuitos de alumbrado y fuerza, generalmente a niveles de 120 V de corriente alterna. Tensión que es acondicionada por medio de transformadores para finalmente entregar tensiones de alimentación adecuados para los sistemas de medición.

La figura 3.11 muestra el diagrama esquemático de la fuente de alimentación utilizada por el relevador digital. Puede observarse el circuito integrado LM7805 que se encarga de la regulación de la tensión a 5 Volts. Para la correcta operación del circuito, la tensión de entrada debe ser por lo menos 6.5V. Tiene una capacidad de corriente de un Ampere y cuenta con sistemas de protección contra temperatura y cortocircuito.

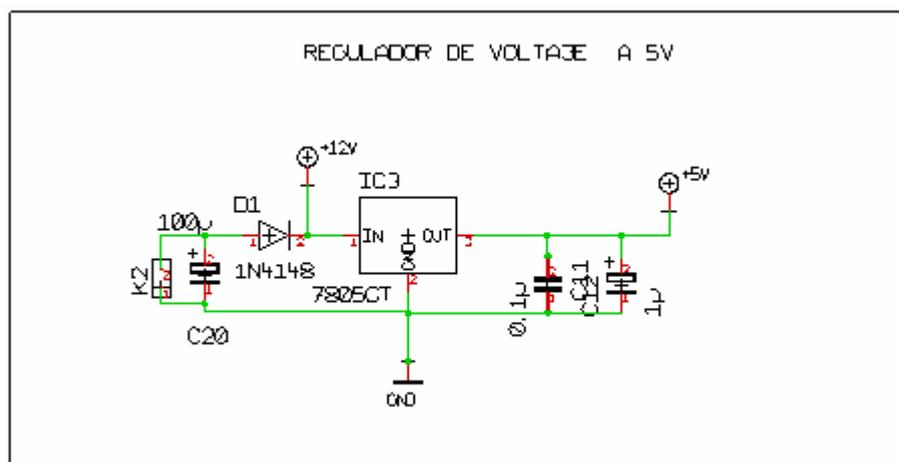


Figura 3.11 Fuente de alimentación.

3.3 Periféricos de entrada/salida.

Los periféricos de entrada/salida implementados en el diseño son: expansión de memoria, comunicación serie (RS-232), teclado, display, “leds” indicadores y actuadores que se describen detalladamente a continuación.

3.3.1 Expansión de memoria.

El MCU, según las características descritas anteriormente, posee una memoria RAM interna de 1024 bytes y 512 bytes de EEPROM. No obstante, en este diseño, es necesario dotarlo con mayor capacidad de memoria para albergar el programa monitor y poder almacenar una suficiente cantidad de datos (obtenidos de las muestras).

Como se explica en la sección 3.1, la expansión de memoria resulta sencilla en su construcción, aunque no en su configuración (ver figura 3.10), haciendo uso de las características especiales del MCU.

El microcontrolador posee pines especiales que hacen esta tarea relativamente fácil (ver figura 3.10). Los pines PG5, PG6 y PG7 están diseñados para direccionar dispositivos externos, en nuestro caso memoria RAM, ROM y pantalla (LCD), sin la necesidad de circuitos de decodificación adicionales.

El pin PG7 (registro CSPROG) es activado a nivel bajo después de “reset” cuando está configurado en modo expandido y está presente en el rango de programa donde existe el programa principal.

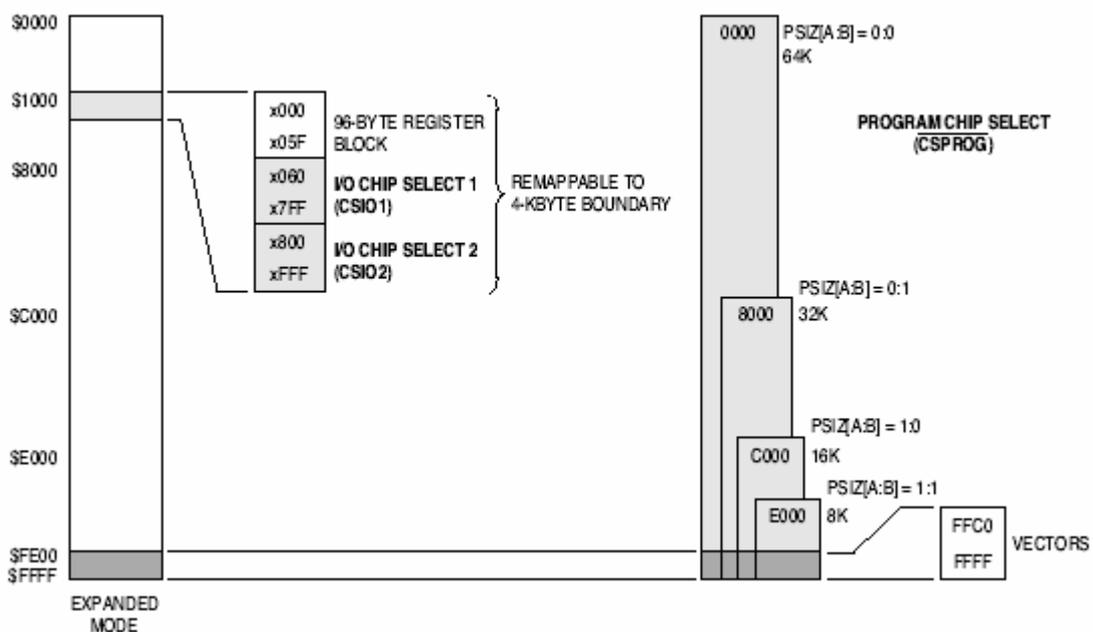


Figura 3.12 Mapa de memoria del CSPROG (Chip Select Program).

Para poder hacer uso de este recurso es necesario activarlo y definir el tamaño de la memoria externa que se utilizará (ver figura 3.12), esto se realiza modificando el registro CSCTL localizado en la localidad de memoria \$105D.

CSCTL - Chip Select Control

\$105D

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
IO1EN	IO1PL	IO2EN	IO2PL	GCSPR	PCSEN	PZISA	PZISB
1	1	0	0	0	1	0	1

Aquí se habilitan las funciones y polaridad correspondientes a:

PCSEN – Habilitación de CSPROG

- 0 = CSPROG deshabilitado. PG7 disponible como puerto de entrada/salida.
- 1 = CSPROG habilita PG7 como selector de chip de programa.

IO1EN - Habilitación de CSIO1

- 0 = CSIO1 deshabilitado. PG5 disponible como puerto de entrada/salida.
- 1 = CSIO1 habilita PG5 como selector de entrada/salida #1.

IO1PL – Polaridad de CSIO1

- 0 = CSIO1 activo en nivel bajo.
- 1 = CSIO1 activo en nivel alto.

PZISA y PZISB definen el tamaño de la memoria de programa, como se puede ver en la figura 3.12, para este diseño en particular la memoria utilizada es de 32Kbytes, por tal motivo se debe colocar el valor (0,1) respectivamente.

Finalmente se requiere que CSPROG y CSIO1 sean habilitados, que CSIO1 se active a nivel alto y que el tamaño de la memoria de programa sea de 32 Kbytes, por lo tanto el registro debe escribirse con el valor \$C5.

Nos queda por definir la habilitación y tamaño de direccionamiento del selector de chip de uso general CSGEN¹. El registro GSGADR (General-Purpose Chip Select Address Register) en complemento con el registro CSGSIZ (General-Purpose Chip Select Size Control) se encargan de esta tarea.

El registro CSGEN tiene una gran flexibilidad ya que se puede definir el tamaño del bloque de direccionamiento y además la dirección de inicio del mismo con tan solo modificar los valores de los dos registros. El valor contenido en CSGADR determina la dirección de inicio para CSGEN y el tamaño lo determina el valor en CSGSIZ.

CSGADR – General-Purpose Chip Select Address Register

\$105E

	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	GA15	GA14	GA13	GA12	GA11	GA10	-	-
2Kbytes	0	0	1	0	0	0	0	0

CSGSIZ – General-Purpose Chip Select Size Control

\$105F

¹ Al activarse PG6 direcciona a la memoria RAM en el intervalo definido por el mapa de memoria.

	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	IO1AV	IO2AV	-	GNPOL	GAVDL	GSIZA	GSIZB	GSIZC
32 Kbytes	0	0	0	1	0	0	0	1

Para fines del diseño se establece como punto de inicio la dirección \$2000 (8K) y tamaño de 32 Kb, para lograr el objetivo se graba el valor \$20 en el registro CSGADR y \$09 en el registro CSGSIZ. Finalmente, el mapa de memoria del sistema queda como se muestra en la figura 3.13. Cabe hacer la observación de que aunque la memoria RAM físicamente es de 32 Kb, en el mapa de memoria solo aparecen 24 Kb debido al traslape con la memoria ROM que tiene la mayor prioridad.

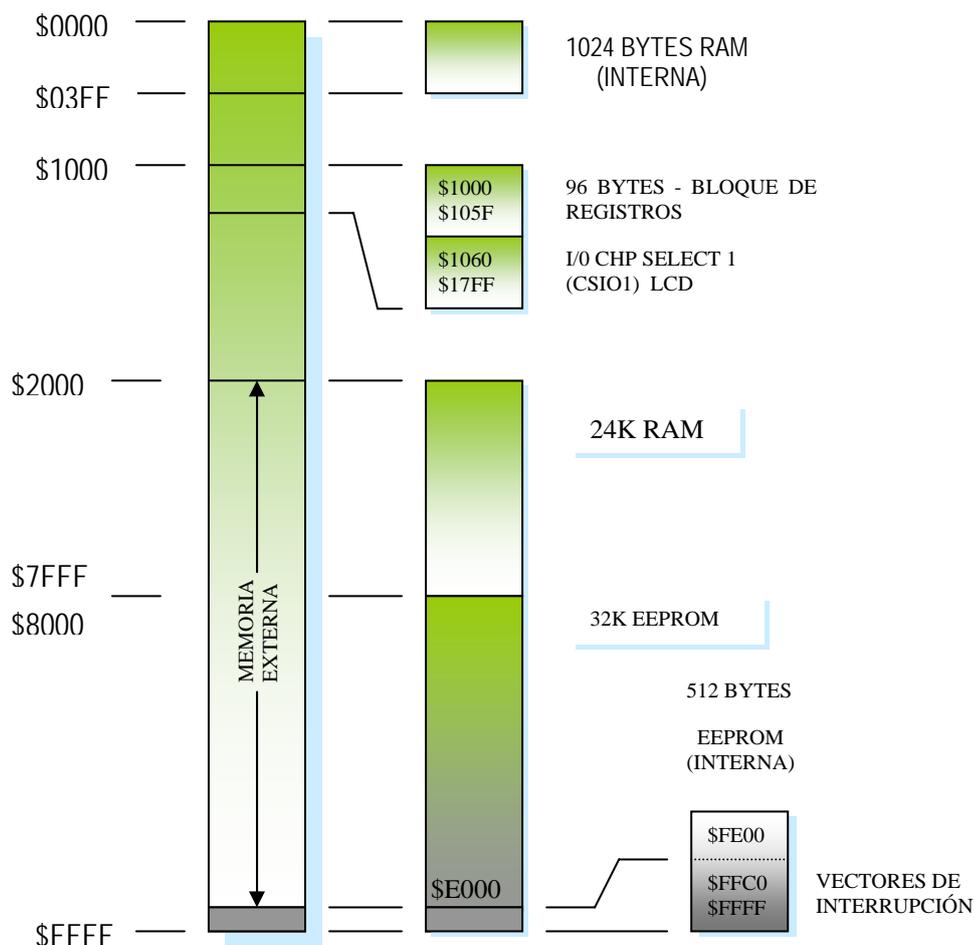


Figura 3.13 Mapa de memoria.

En la figura 3.14 se muestra el diagrama de conexiones de la memoria RAM y ROM con el bus de datos y direcciones del MCU, las señales de lectura y escritura (R/W) y direccionamiento (PG6 y PG7). Los circuitos de decodificación se reducen significativamente ya que con esta configuración los circuitos de separación de las señales de lectura y escritura no son necesarios y la función de habilitación (E) del dispositivo la realizan los pines PG6 y PG7.

El tamaño de la memoria RAM es de 24 Kb y la ROM de 32 Kb, no obstante puede modificarse fácilmente por medio de los registros de configuración anteriormente vistos, sin la necesidad de modificar el módulo de expansión de memoria.

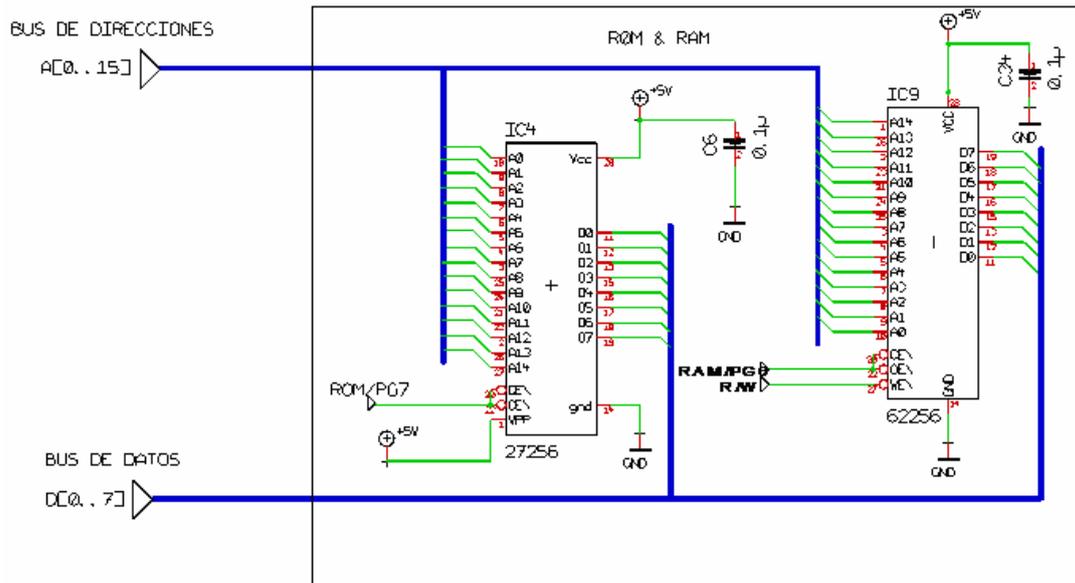


Figura 3.14 Memoria RAM y ROM 32 Kbytes.

3.3.2 Teclado y Pantalla.

La pantalla y el teclado, son los únicos medios de comunicación con el usuario. Por medio de ellos se pueden visualizar las mediciones, seleccionar el modo de operación y, de ser necesario, realizar ajustes a los parámetros de medición, control o protección del sistema digital.

La pantalla es un LCD o display de cristal líquido de 20 caracteres por 4 renglones TM420 cuya descripción de su bus de conexiones se detalla en la figura 3.15.

Número de pin	Señal	Entrada/ Salida	Función
1	Vss	-	GND (Tierra)
2	Vcc	-	4.5 – 5 Volts
3	Vee	-	
4	RS	E	Selección de registros 0: Registro de instrucciones 1: Registro de datos
5	R/W	E	Selección lectura escritura 0: Escribir 1: Leer
6	E	E	Habilitación
7-14	D0-D7	E/S	Bus de datos bidireccional
15	L-	-	Lámpara -
16	L+	-	Lámpara +

Tabla 3.2 Descripción de patas del LCD

La conexión del LCD “display” es similar a la utilizada en la expansión de memoria, este dispositivo se direcciona como localidad de memoria externa de la dirección \$1060 a \$17FF por medio de PG5/CSIO1/LCD.

El pin 4 (RS) se conecta al bus de direcciones, al bit menos significativo A0 (ver figura 3.15); con esta técnica, A0 se encarga de seleccionar el registro de datos o instrucciones del LCD simplificando aún más el diseño.

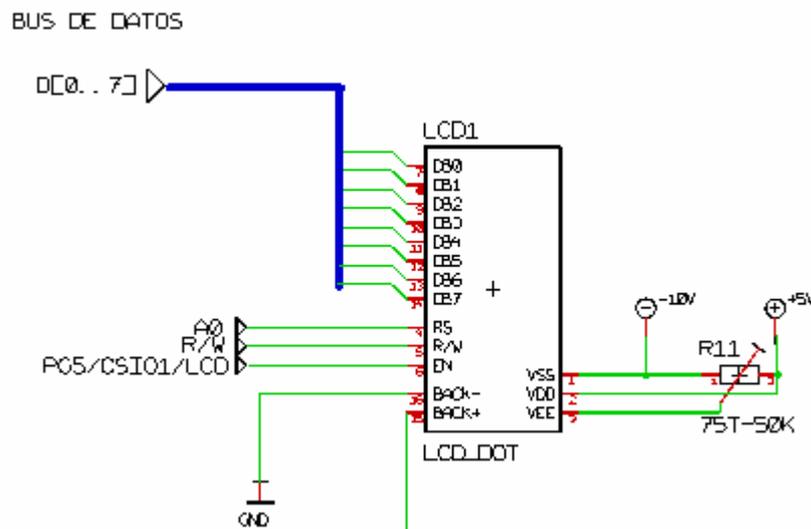


Figura 3.15 Conexión del LCD al 68HC11.

Los pines 15 y 16, disponibles en algunos modelos de la familia TM420, se utilizan para encender la lámpara integrada con lo que se facilita la lectura en condiciones de poca iluminación. El MCU controla por medio de PA1 y el transistor T2 el encendido y apagado de la lámpara según las opciones en el programa monitor.

La programación de este dispositivo se observa en forma más detallada en el listado del programa en ensamblador.



Figura 3.16 LCD 20 X 4 caracteres.

Existen muchas técnicas para manejar un teclado, desde la utilización de un controlador especial con capacidad de más de 100 teclas, como el empleado por las computadoras personales, hasta las técnicas de rastreo por puertos de entrada/salida del microcontrolador. Por supuesto que para esta aplicación sería poco práctico utilizar la primera opción, es por eso que se hace uso de un puerto de entrada.

La cantidad de teclas que se necesitan son en realidad pocas, las funciones implementadas son: Arriba, Abajo, Derecha, Izquierda, Menú, Entrar y Esc. Un puerto de 8 bits de entrada/salida es suficiente. Si fuera necesario incorporar más funciones, el mismo puerto puede leer hasta 16 teclas diferentes por medio de técnicas de rastreo en un arreglo matricial con lo que se haría más compleja la programación. Este no es el

caso y aunque también es necesaria una técnica de rastreo, la programación se desarrolla de forma más sencilla. En la figura 3.17 se muestra el diagrama de conexiones del teclado al puerto “A” de entrada/salida.

Los capacitores de 0.1 uF minimizan los picos de voltaje provocados por rebotes producidos en los interruptores conectados directamente a los pines del puerto, que deberá ser configurado como puerto de entrada exclusivamente, a excepción del pin PA1 que deberá ser configurado como entrada de interrupción.

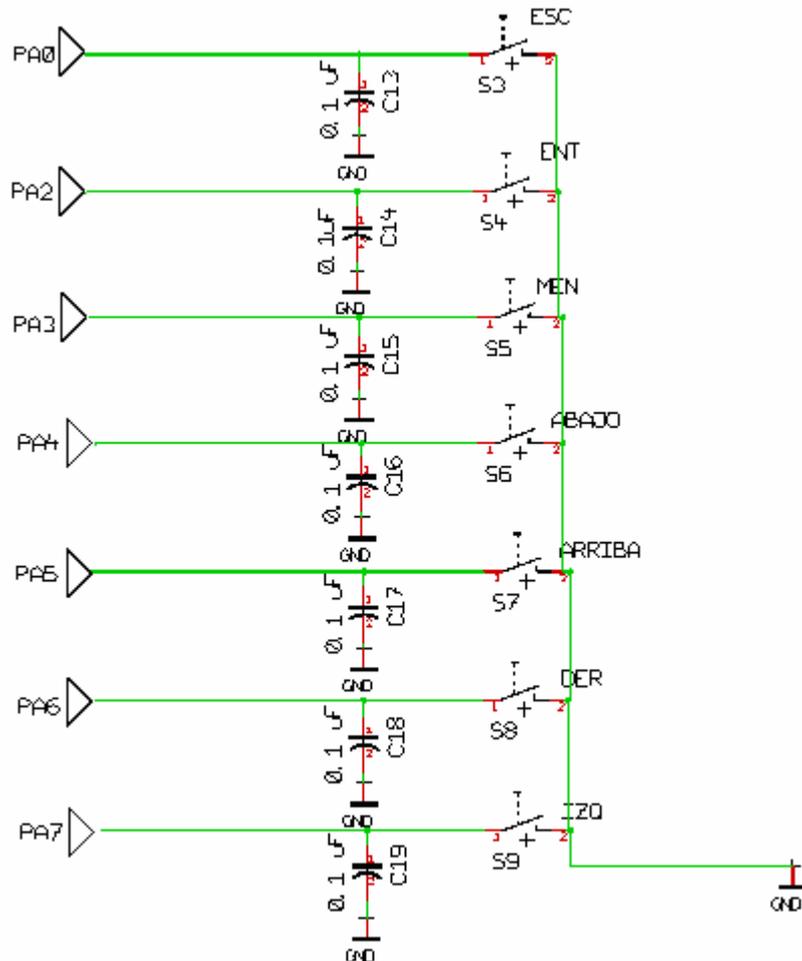


Figura 3.17 Diagrama de conexiones Teclado-Puerto A

3.3.3 Actuadores de salida.

Los actuadores de salida son los dispositivos encargados de proporcionar la potencia necesaria para los interruptores de salida, el relevador digital cuenta con ocho salidas digitales conectadas a sus respectivos indicadores ópticos los cuales se activan al operar una protección.

Esta sección es la última parte del diseño donde recae toda la responsabilidad del relevador, ya que sus funciones principales son; activar los mecanismos de los interruptores de potencia en el caso de las protecciones 50 y 51, enviar señales a sistemas de regulación de tensión (cambio de taps de transformadores, activar

compensadores estáticos de VAR's, etc.) y disponer de señales de advertencia para los operadores.

En a figura 3.18 se muestran las salidas digitales implementadas. En este diseño se utilizan tres relevadores de estado sólido como interruptores para las fases respectivas, en el mercado es posible conseguir estos dispositivos con una capacidad de hasta 100 Amperes y tensiones de 280 Volts de C.A., como el que se muestra en la figura 3.19.

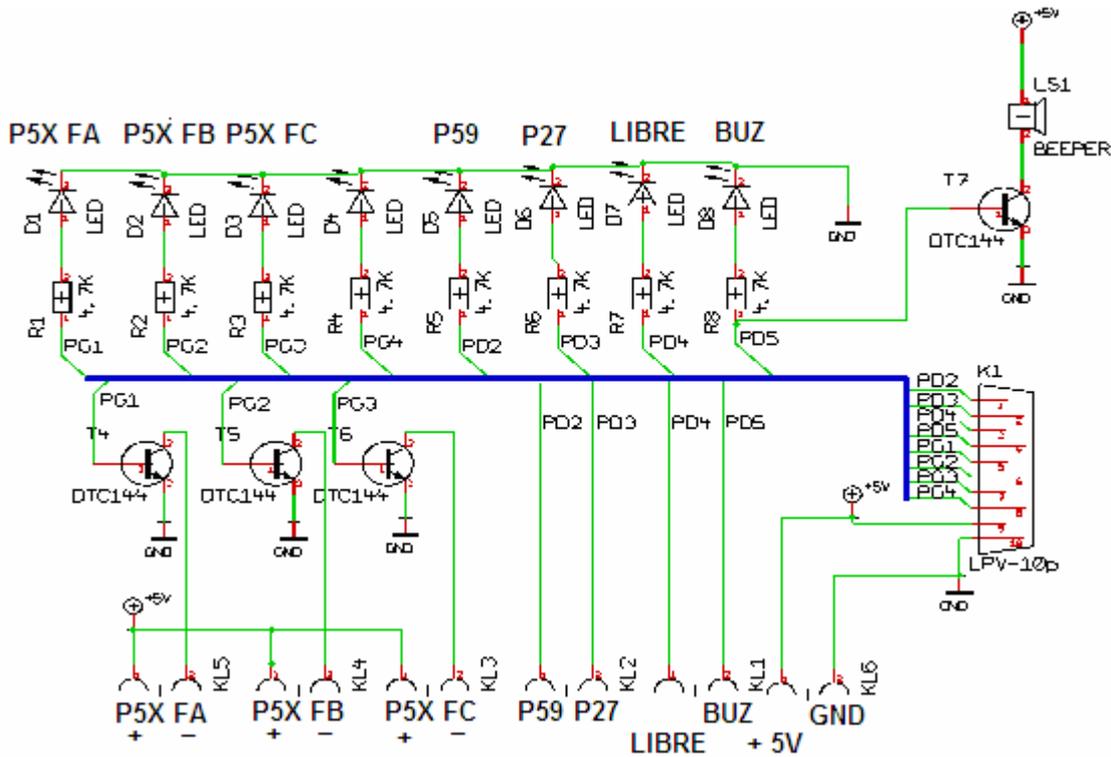


Figura 3.18 Salidas digitales para Actuadores.



Figura 3.19 Interruptor de estado sólido 280 Volts a 40 Amperes (Entrada de 3 a 32 Volts de C.D.)

Las salidas digitales P5X FA, P5X FB y P5X FC cuentan con un transistor digital DTC144 que proporciona la corriente necesaria para activar el relevador de estado sólido, el cual se conecta directamente tomando en cuenta la polaridad de las terminales 3 y 4. Las terminales 1 y 2 se conectan en serie con la carga.

La tarjeta cuenta con un Zumbador (BUZ) que se activa en cuanto una falla es detectada, la salida digital está disponible para uso general.

Las salidas digitales P59 y P27 están disponibles para interconectarlas a sistemas de regulación de tensión, donde la elección de los actuadores de salida estará determinada por la aplicación en particular.

Por último tenemos una salida de uso general (LIBRE) que está disponible para implementaciones futuras, así como las referencias a tierra (GND) y alimentación (+5V).

Esta tarjeta es independiente a la principal, se conecta por medio de un cable plano de diez vías y es posible modificarse adaptándose a aplicaciones donde se requieran otro tipo de actuadores de salida.

3.4 Programa Monitor.

El MCU, para poder operar correctamente y detectar oportunamente errores en el programa (bugs), sigue un algoritmo o procedimiento de programación, representado de manera gráfica por medio de un diagrama de flujo. Cada secuencia es acompañada por un código en lenguaje ensamblador que corresponde al algoritmo involucrado, de esta manera se puede entender con mayor facilidad el listado del programa.

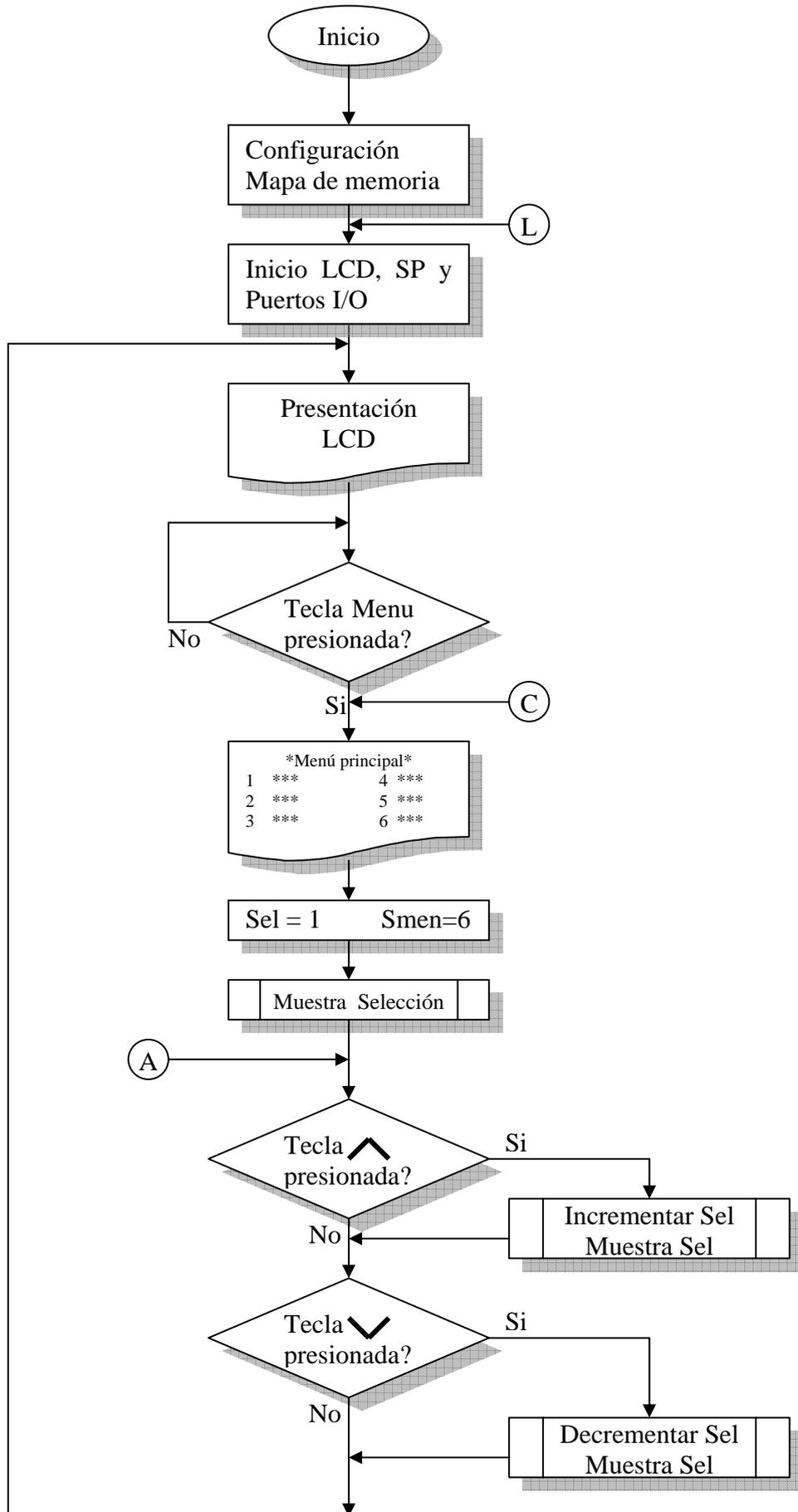
Existen algoritmos que aunque parecen no tener alguna relación entre sí, forman parte del programa general. Éstos son programas que realizan el servicio de petición de interrupción o subrutinas especiales, tal es el caso del algoritmo de detección de cruce por cero, comparadores, capturadores de entrada, contadores, etc. Algoritmos como el de la TDF y operaciones matemáticas por simplicidad aparecen de manera sencilla en el diagrama de flujo, sin embargo, su programación se puede analizar de forma detallada en el listado del programa en lenguaje ensamblador.

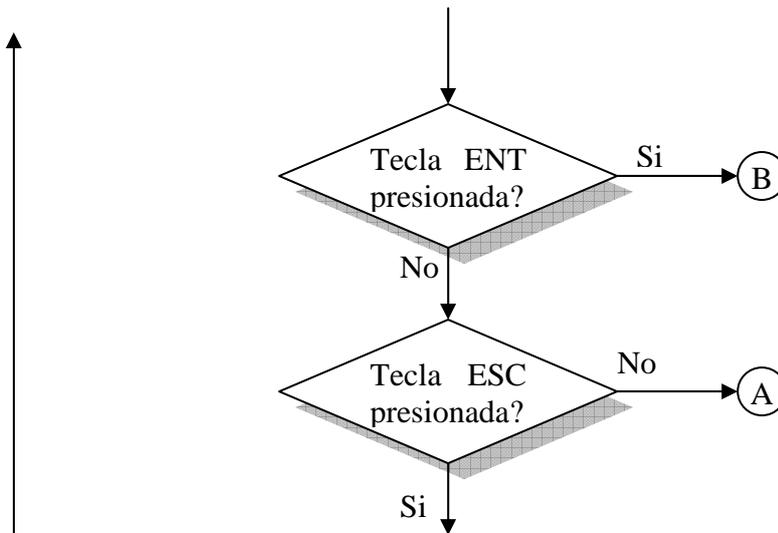
Las funciones matemáticas y trigonométricas implementadas solo aparecen representadas simbólicamente (+, -, *, $\cos(x)$, $\sin(x)$, $\arctan(x)$, etc.), pero la programación de cada una de ellas requiere de una secuencia de códigos que se puede analizar de manera independiente en el apartado correspondiente del listado general en lenguaje ensamblador. Así mismo, el diagrama de flujo cuenta con referencias que se pueden seguir conjuntamente con el listado del programa, lo anterior con el fin de tener una idea más clara de la secuencia y análisis.

Una característica en el programa monitor es la implementación de operaciones en formato de punto flotante y la utilización de métodos numéricos, procedimientos que se explican en capítulos siguientes.

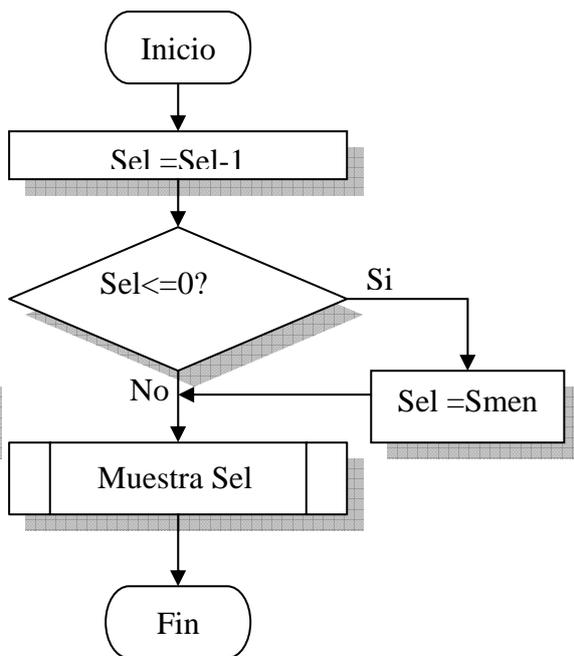
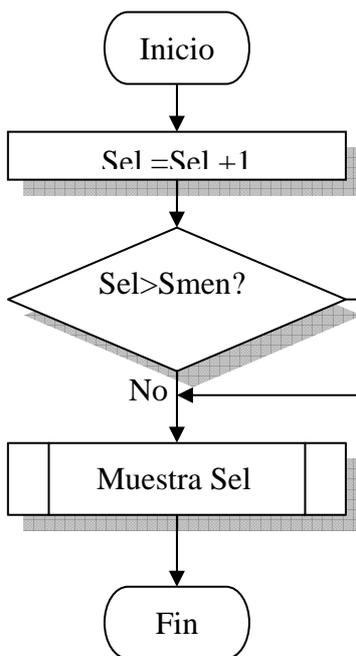
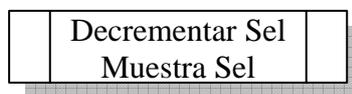
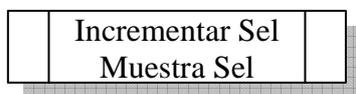
El cuerpo del programa principal comienza con la configuración de dispositivos externos e internos del microcontrolador; configuración de puertos, mapa de memoria, pantalla (LCD), interrupciones y convertidor Analógico Digital e inmediatamente despliega en la pantalla la presentación y el menú principal donde, por medio del teclado, se seleccionan las diferentes funciones.

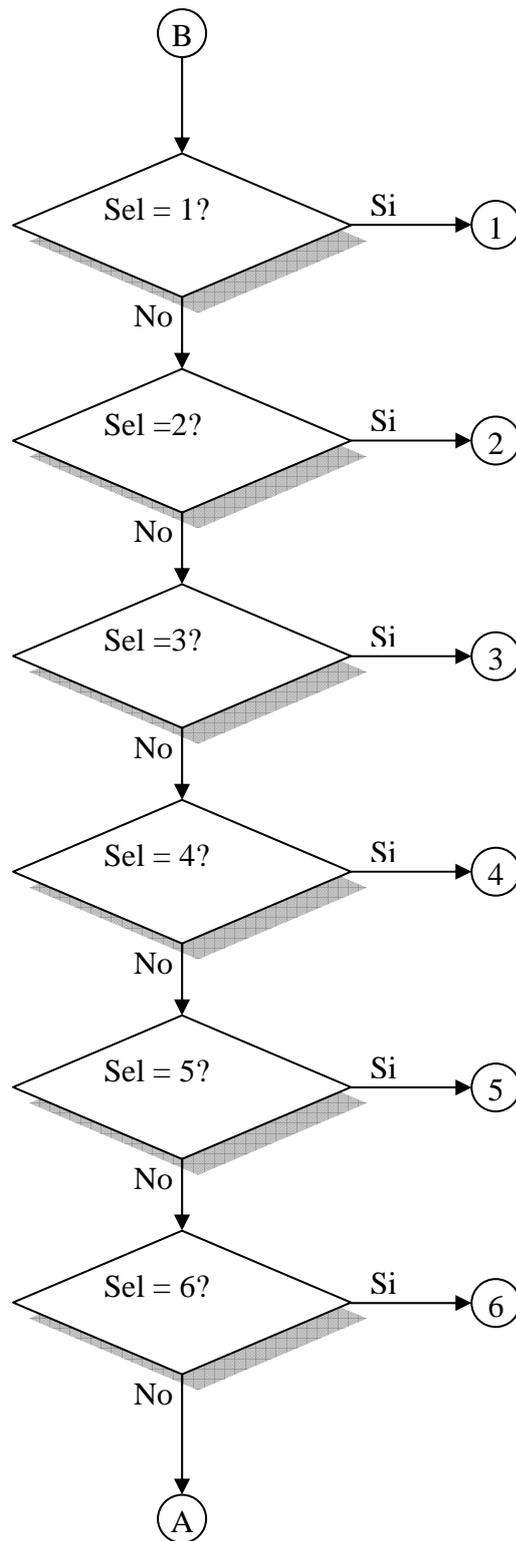
La siguiente figura muestra el diagrama de flujo del programa monitor:



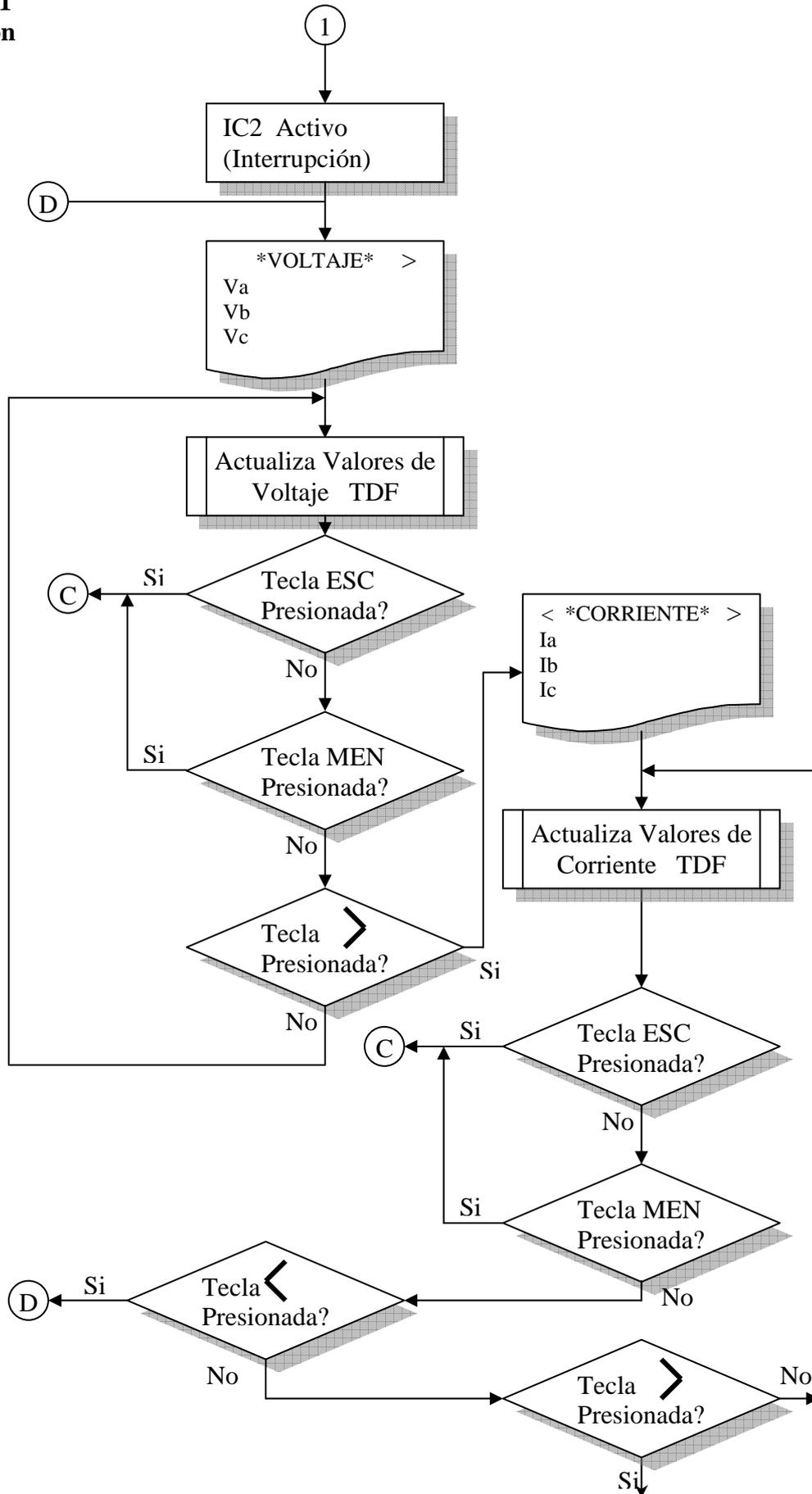


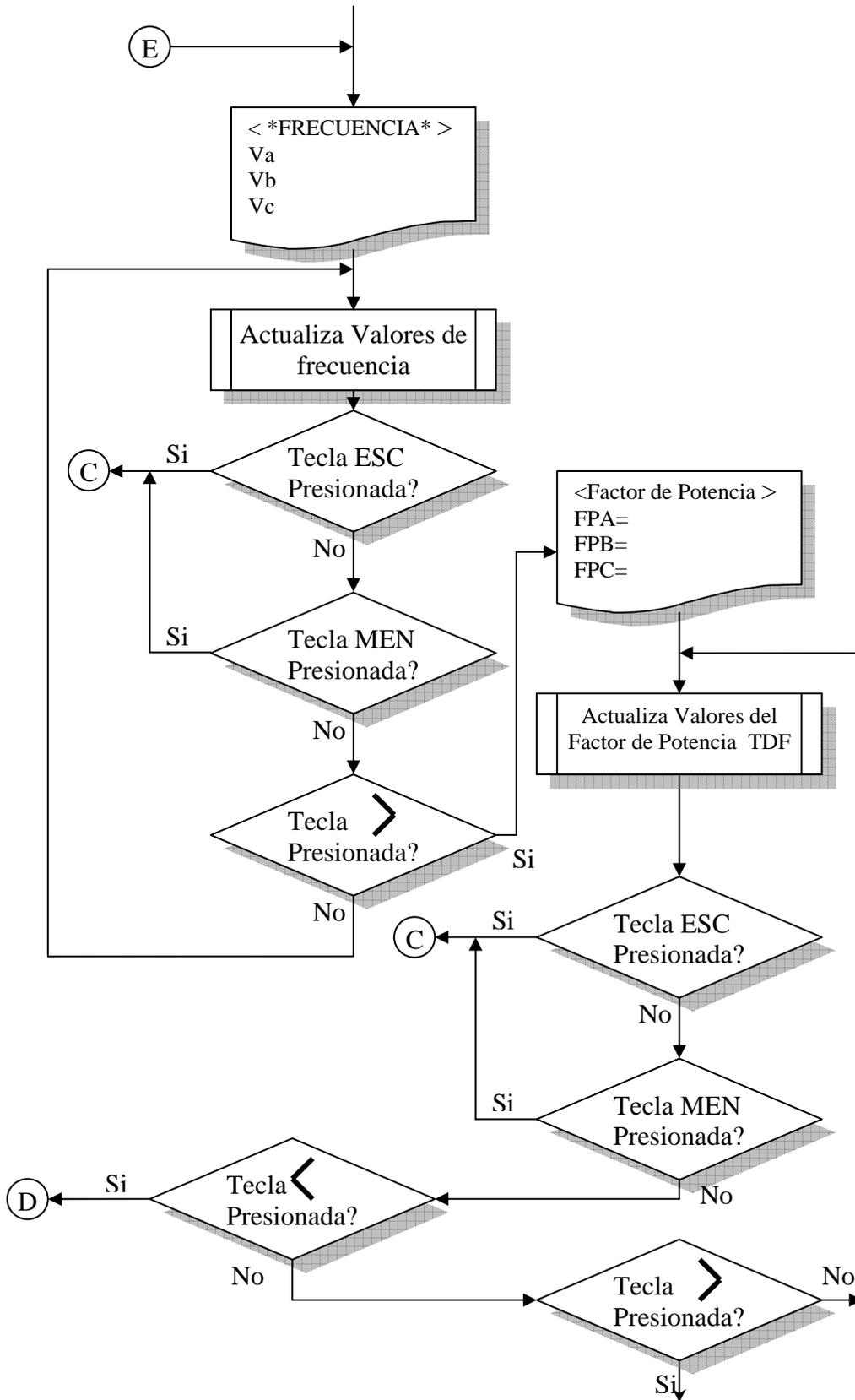
Subrutinas

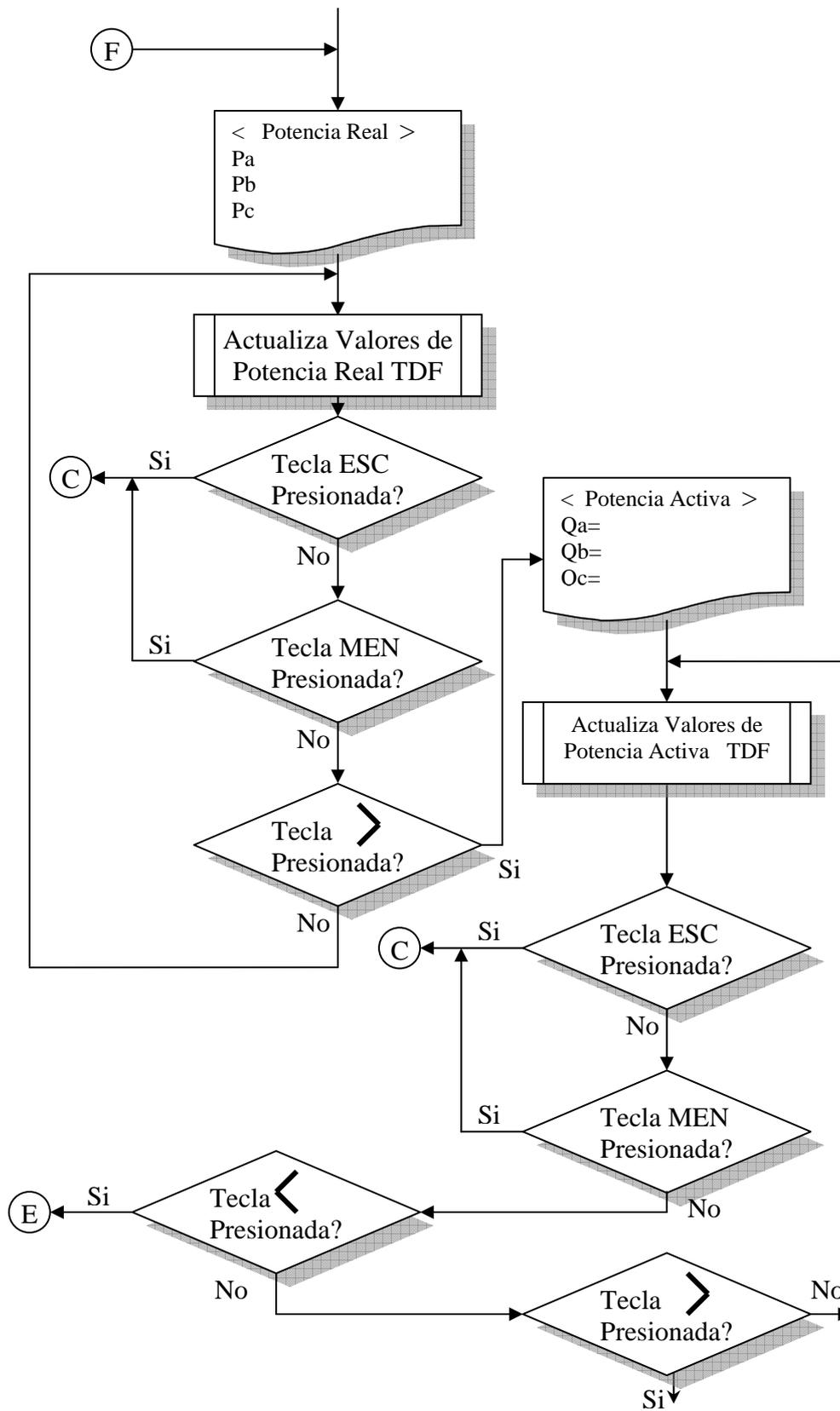


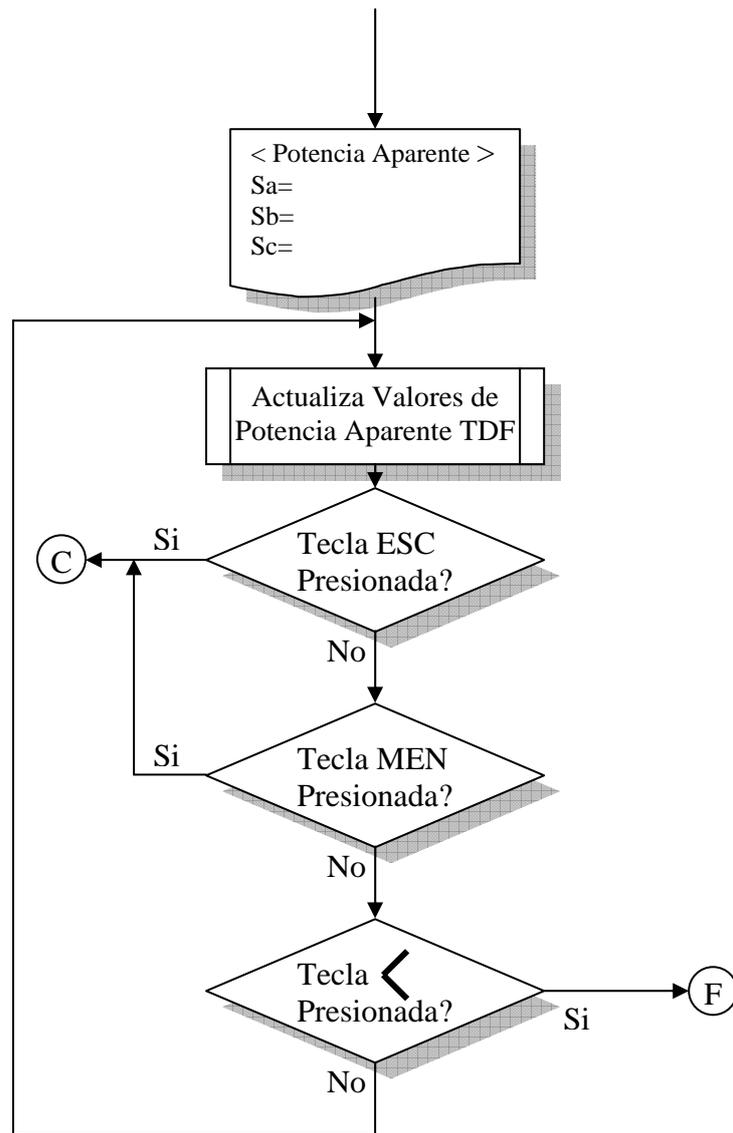


**Opción 1
Medición**

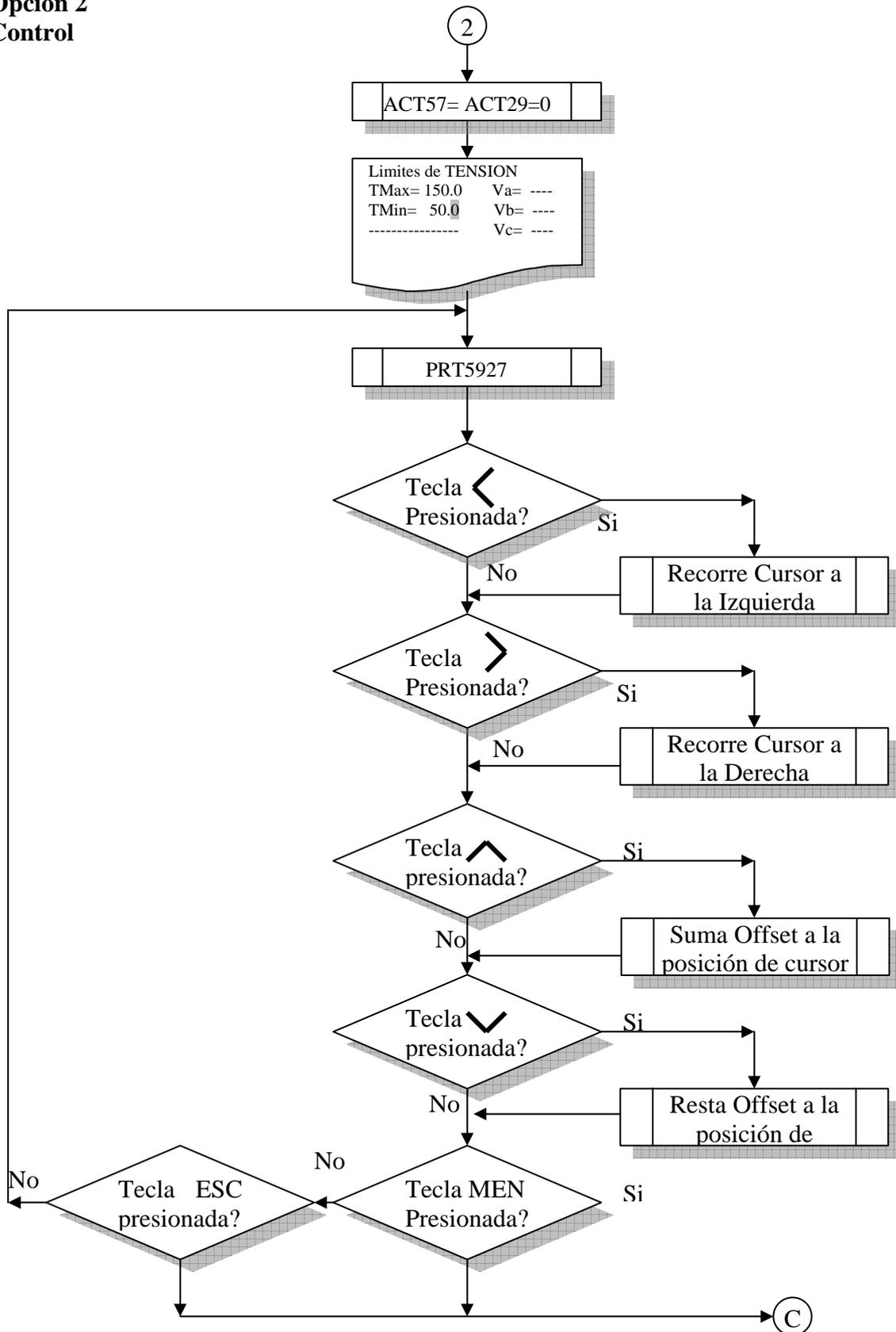




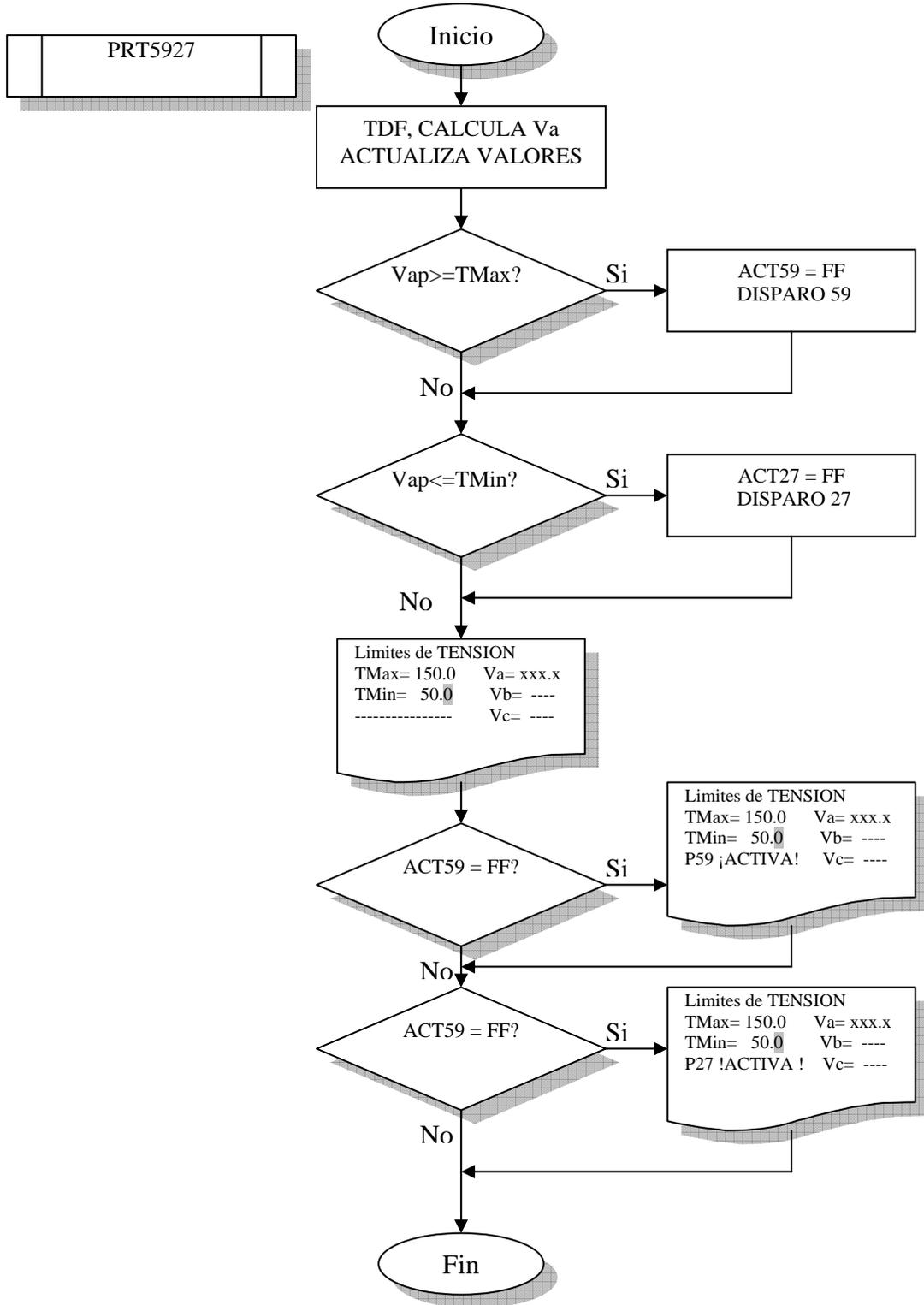




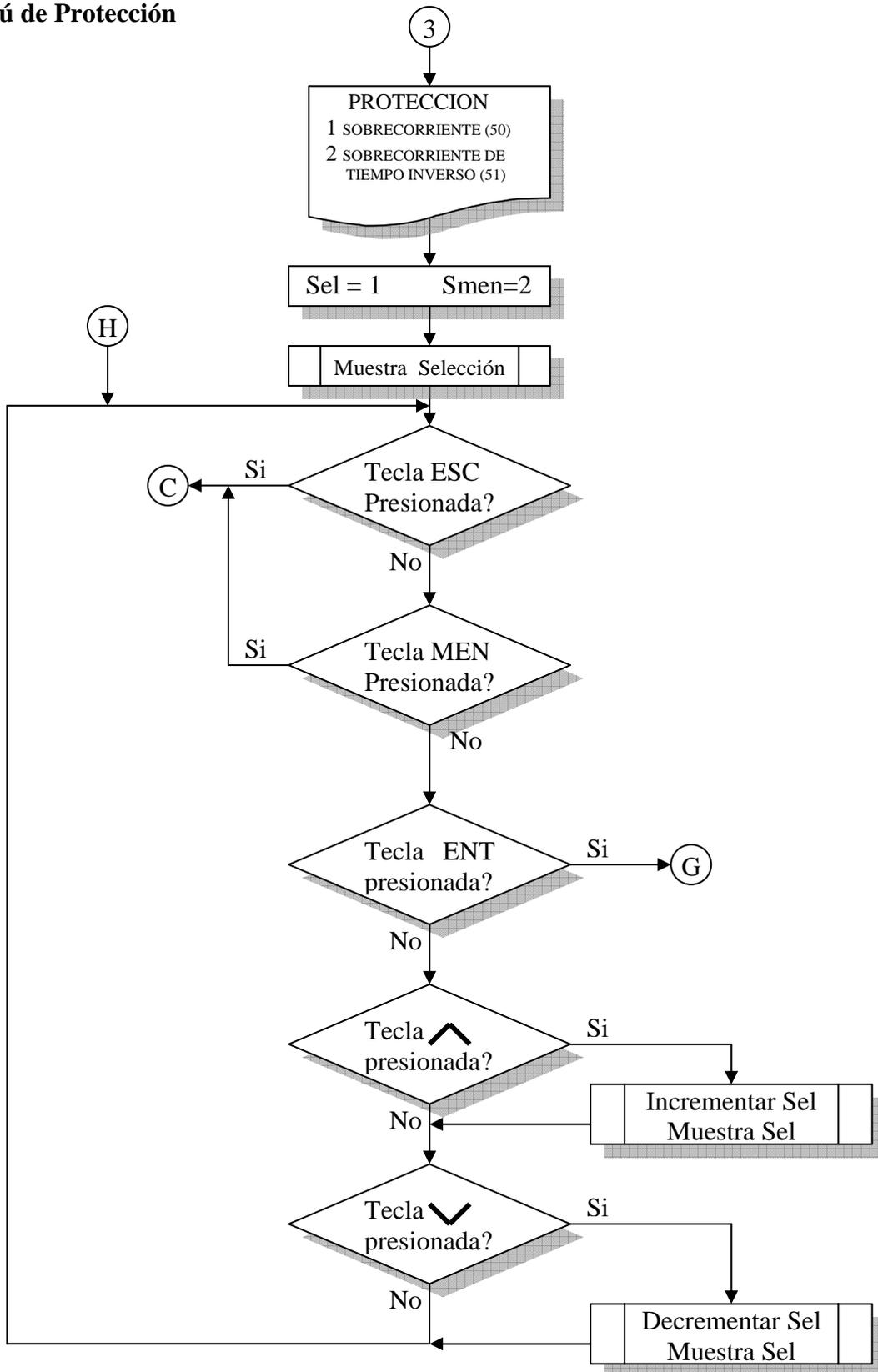
**Opción 2
Control**

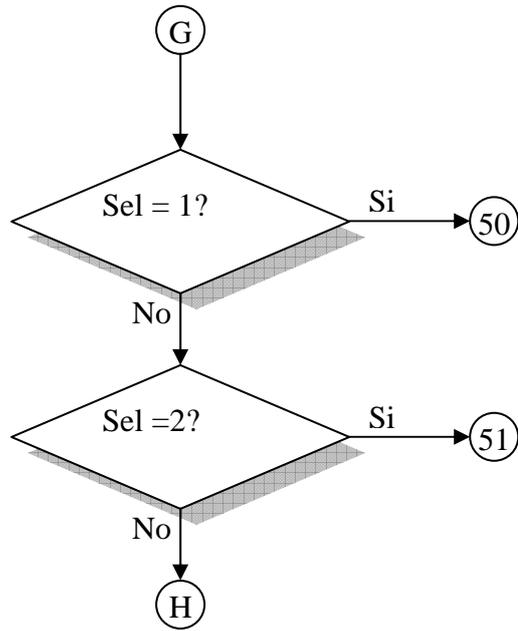


Rutina de protección 59 y 27

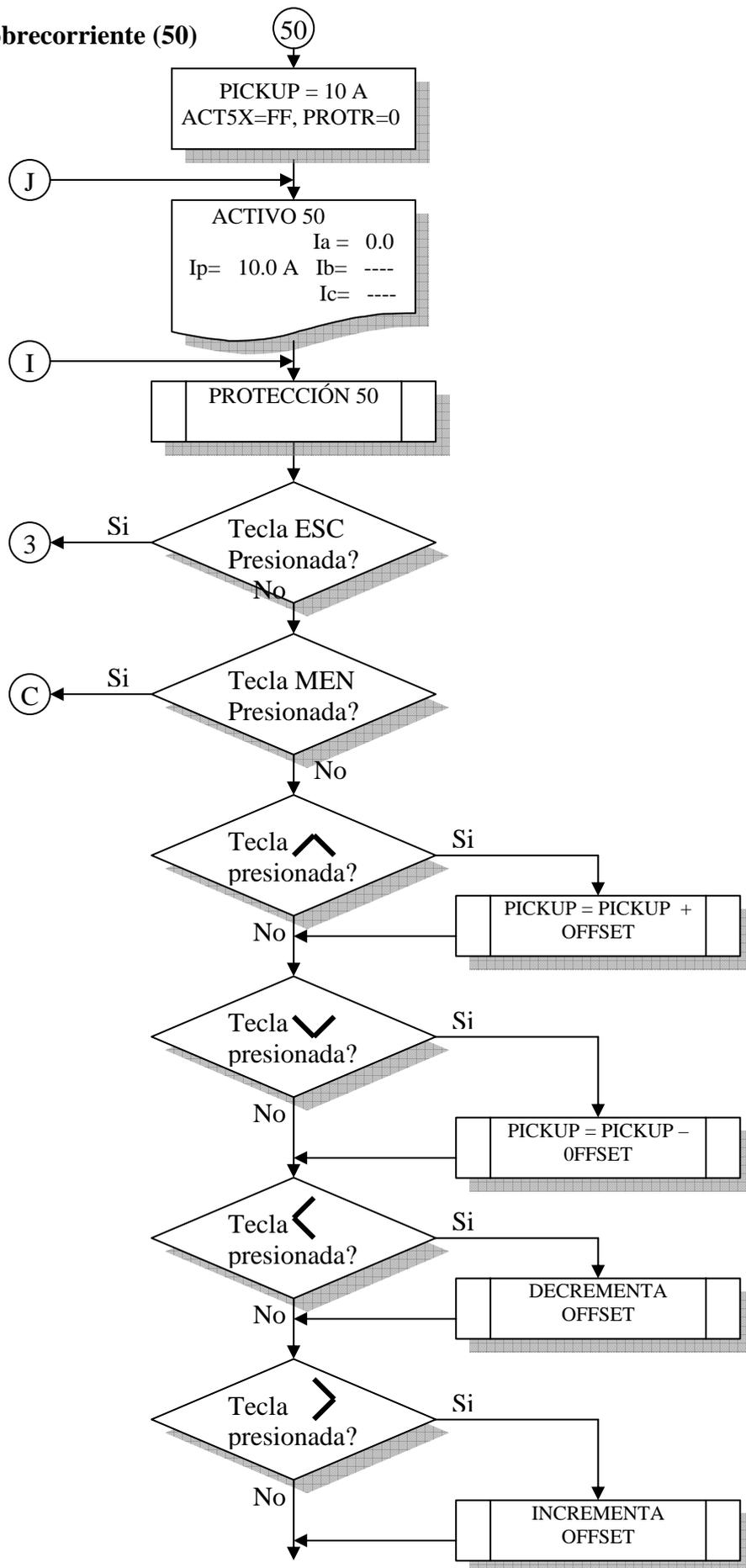


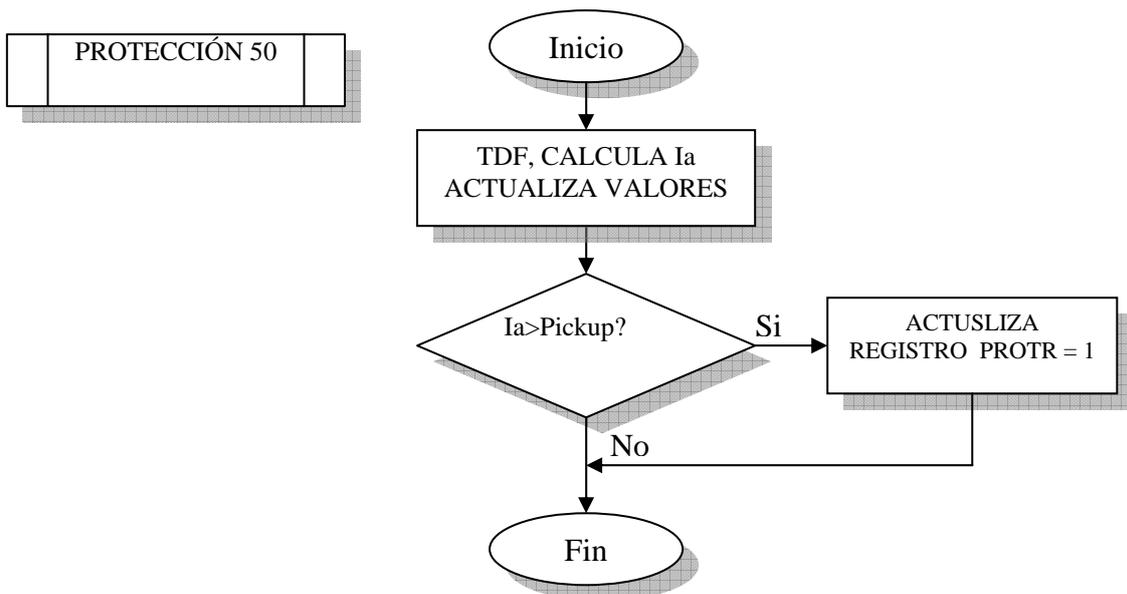
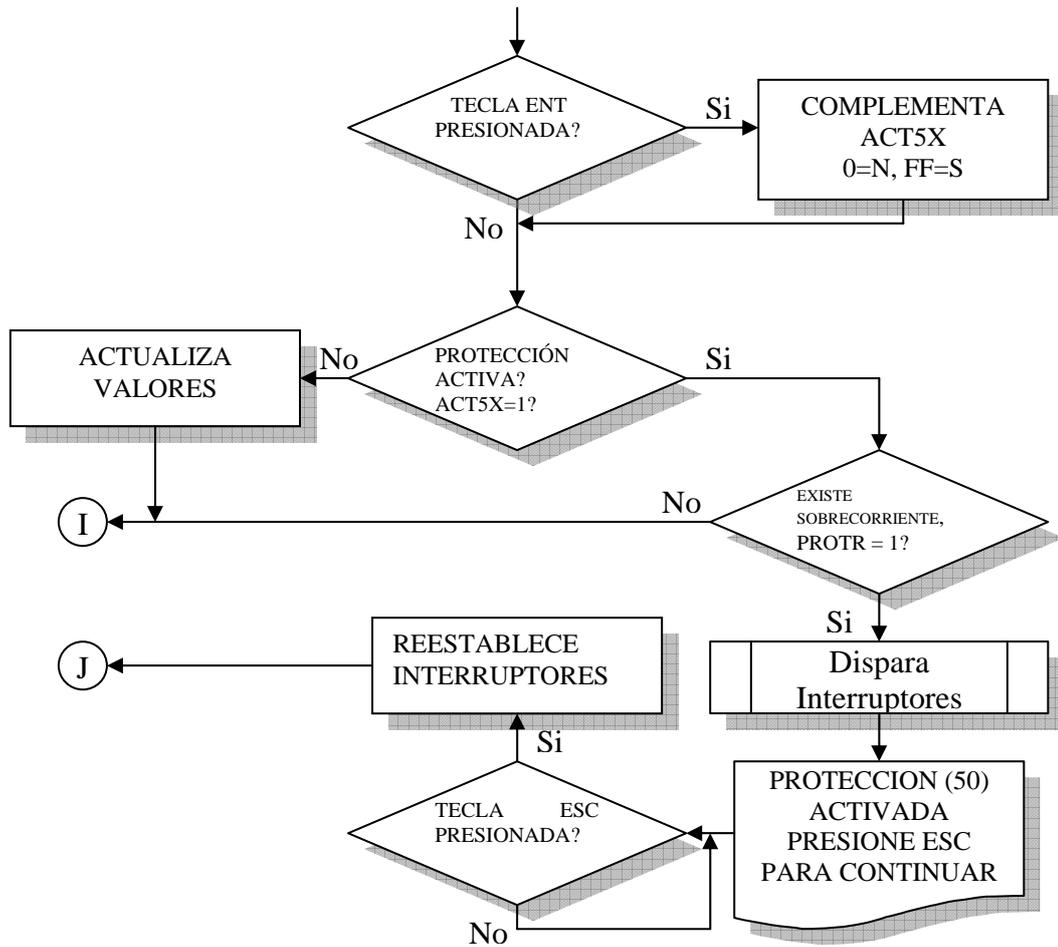
Opción 3
Menú de Protección



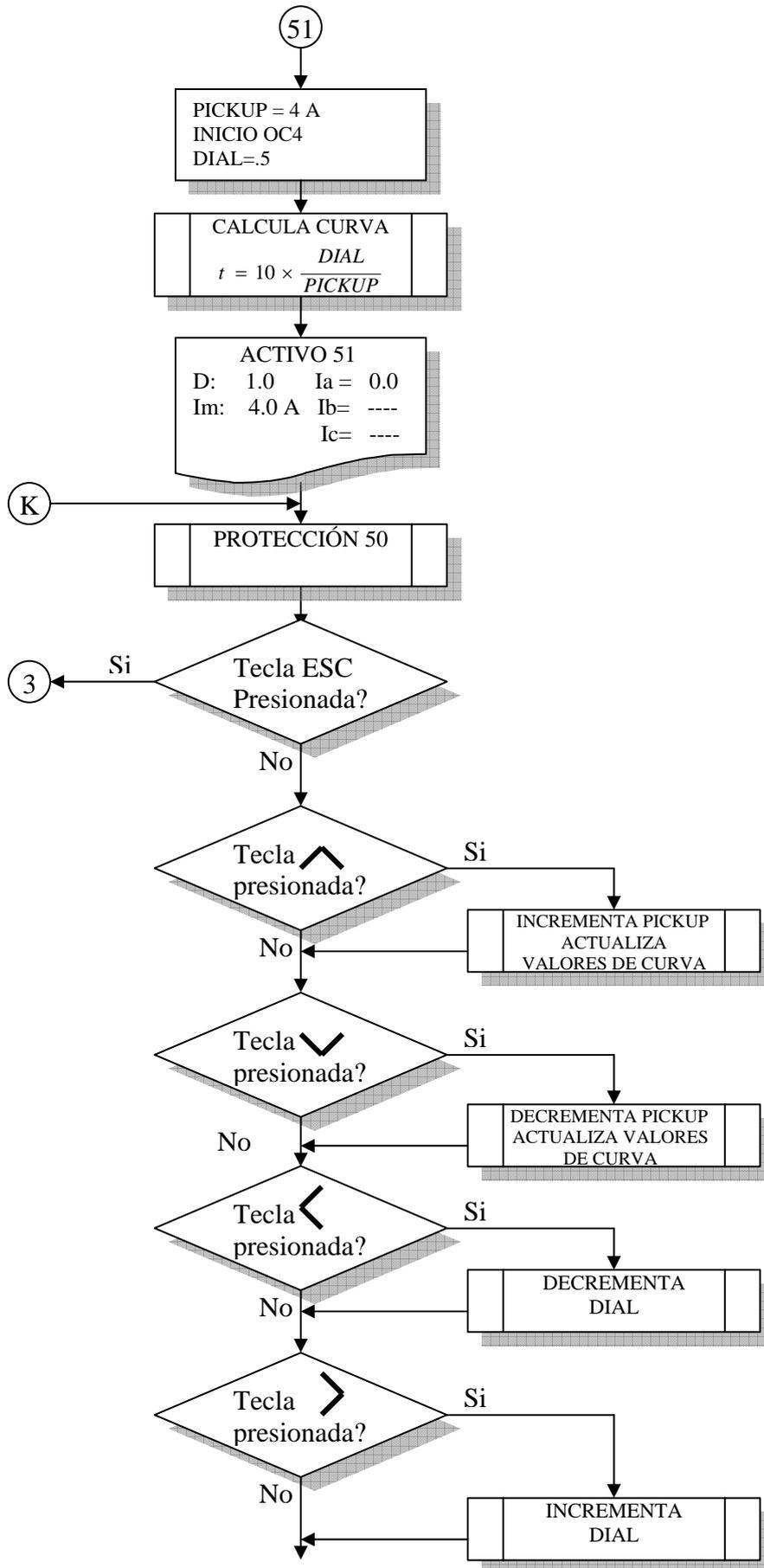


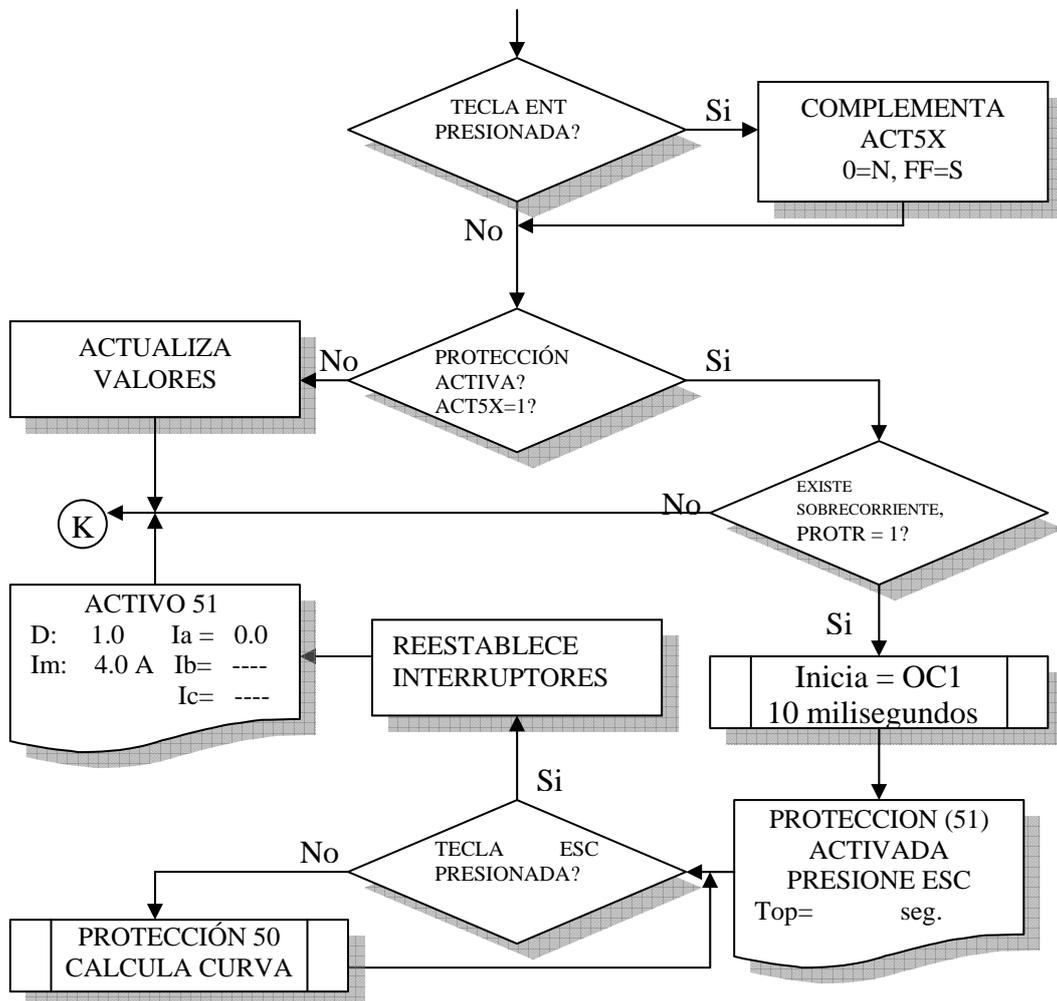
Protección de sobrecorriente (50)





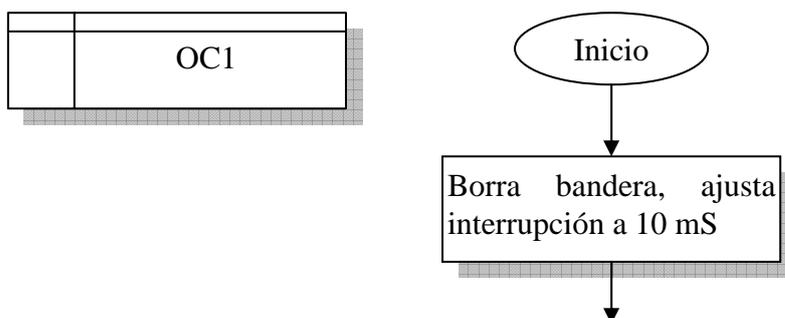
Protección de Sobrecorriente de tiempo Inverso (51)

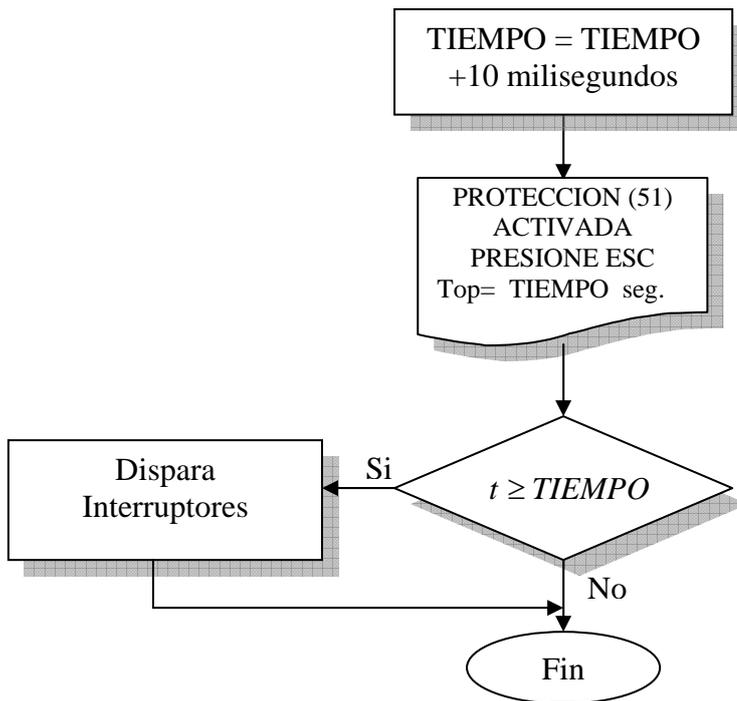




Servicio de Interrupción OC1

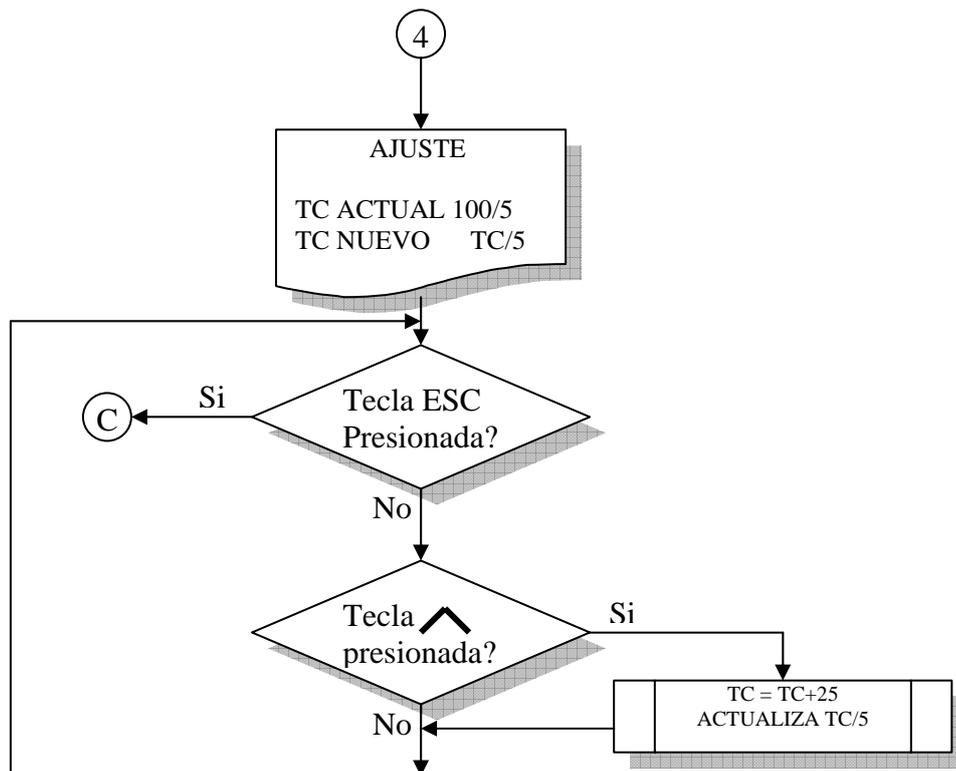
La interrupción del comparador de salida OC1 se configura a 10 milisegundos, de esta manera da tiempo al microprocesador de realizar las operaciones matemáticas y comparaciones necesarias para la protección.

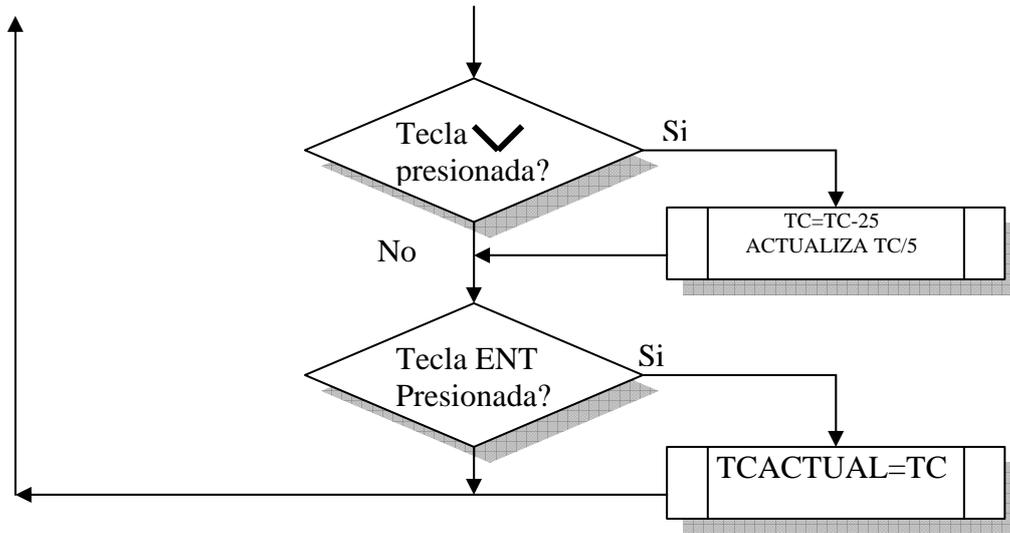




Opción 4
Menú de Ajuste

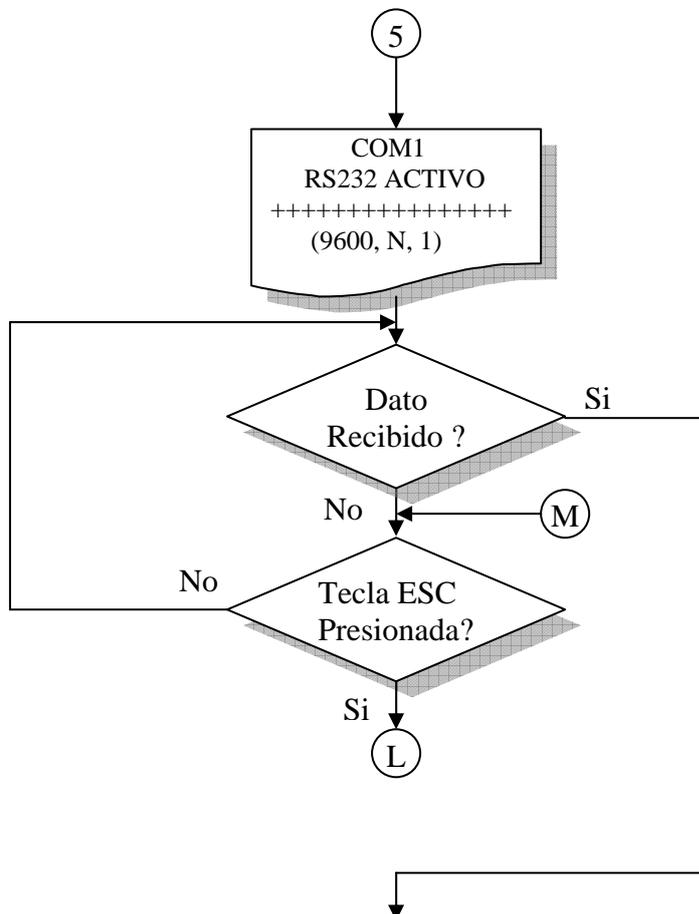
En esta opción se establece la relación de transformación del Transformador de Corriente Utilizado. Los valores posibles son: 25/5, 50/5, 75/5 y 100/5.

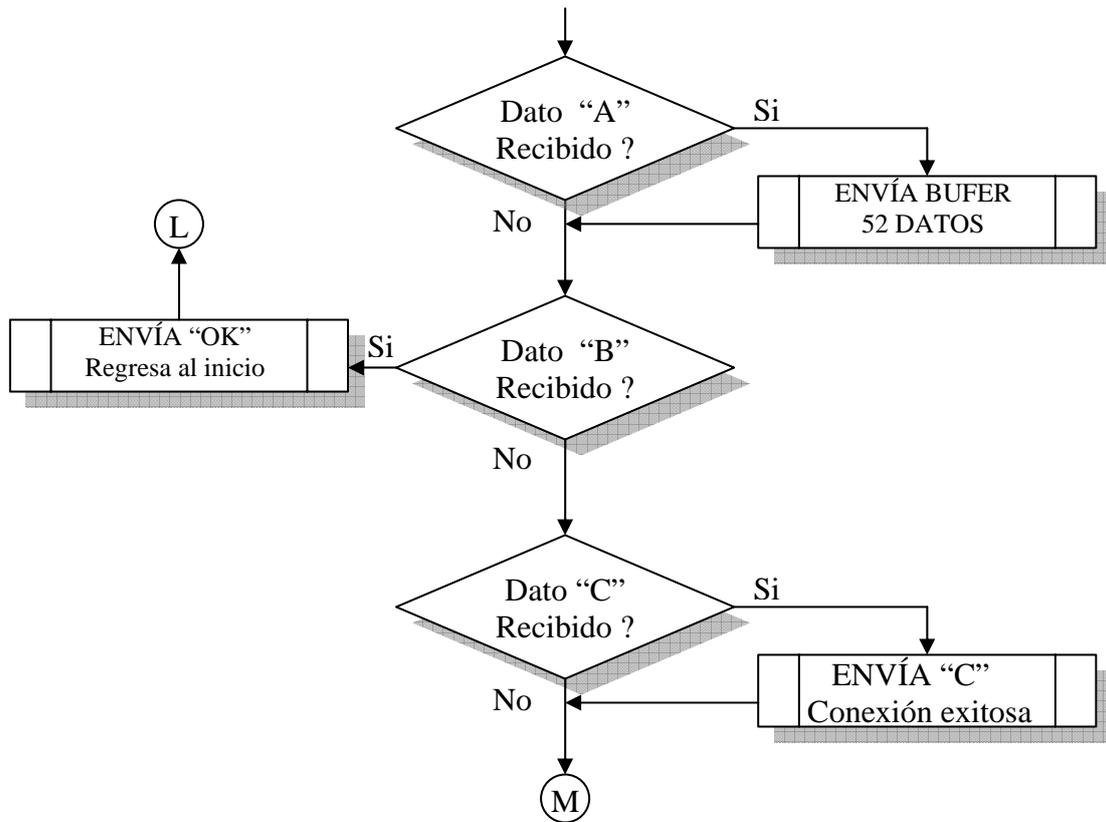




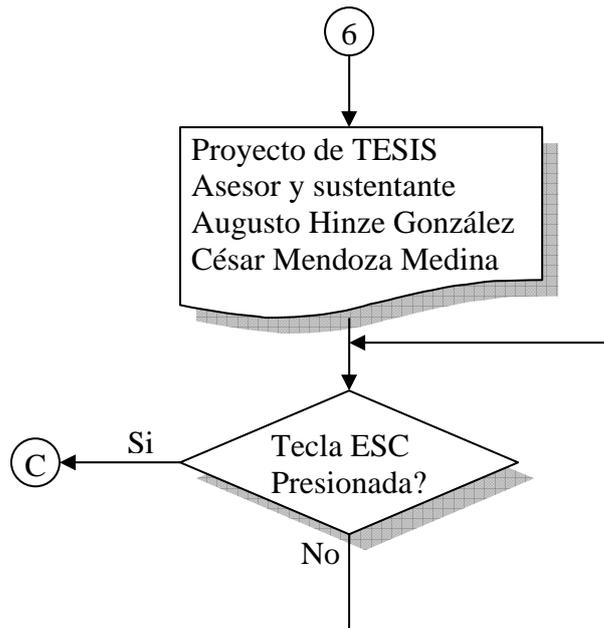
Opción 5

Comunicación: Puerto COM1 a una velocidad de transmisión de 9600 baudios por segundo.

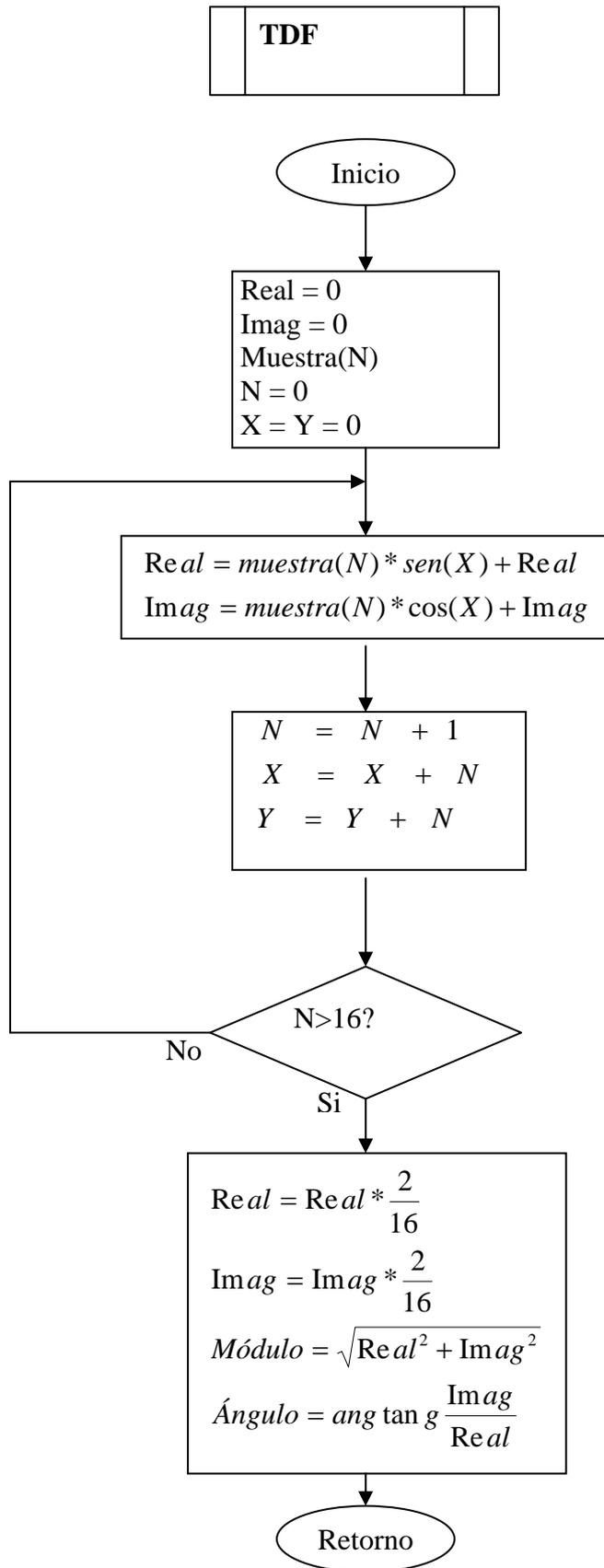




**Opción 6.
Ayuda**



3.4.1 Transformada Discreta de de Fourier.



3.4.2 Cálculo de arco tangente.

$\arctan \frac{Y}{X}$, resultado en grados.

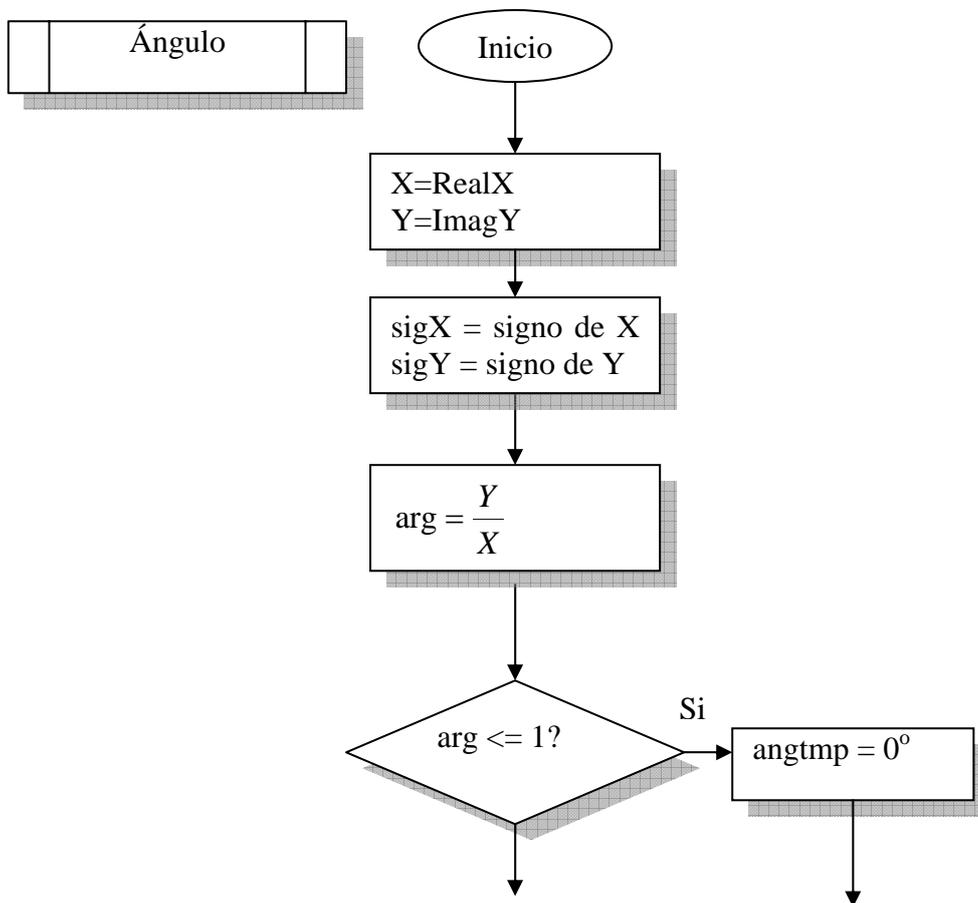
El cálculo del ángulo se realiza por medio de Series de Taylor de la siguiente manera:

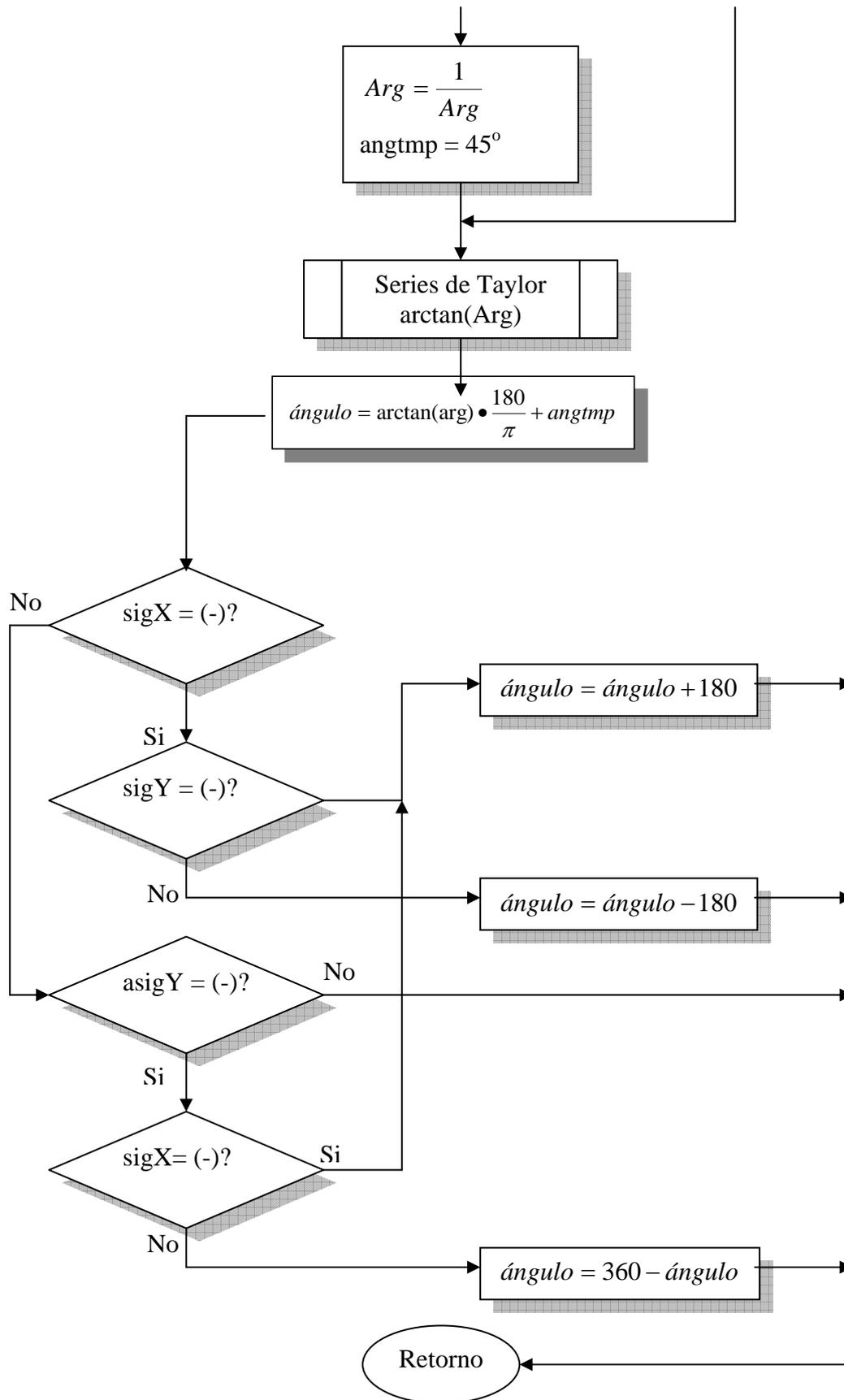
$$\arctan(x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \frac{x^9}{9} - \frac{x^{11}}{11} + \frac{x^{13}}{13} - \frac{x^{15}}{15} + \dots$$

Se puede simplificar de manera significativa, manteniendo un grado de exactitud aceptable en el resultado final, multiplicando el último término por una cantidad denominada factor de engaño. De esta manera, la sumatoria final queda como sigue:

$$\arctan(x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \frac{x^9}{9} - \frac{x^{11}}{11} \cdot \frac{1}{2} \dots \quad \arctan(x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \frac{x^9}{9} - \frac{x^{11}}{22}$$

El algoritmo solo es válido para $|x| \leq 1$, es decir, para un intervalo de $0 \leq x \leq \frac{\pi}{4}$, esta limitación se resuelve de la siguiente manera.





3.4.3 Cálculo de la raíz cuadrada.

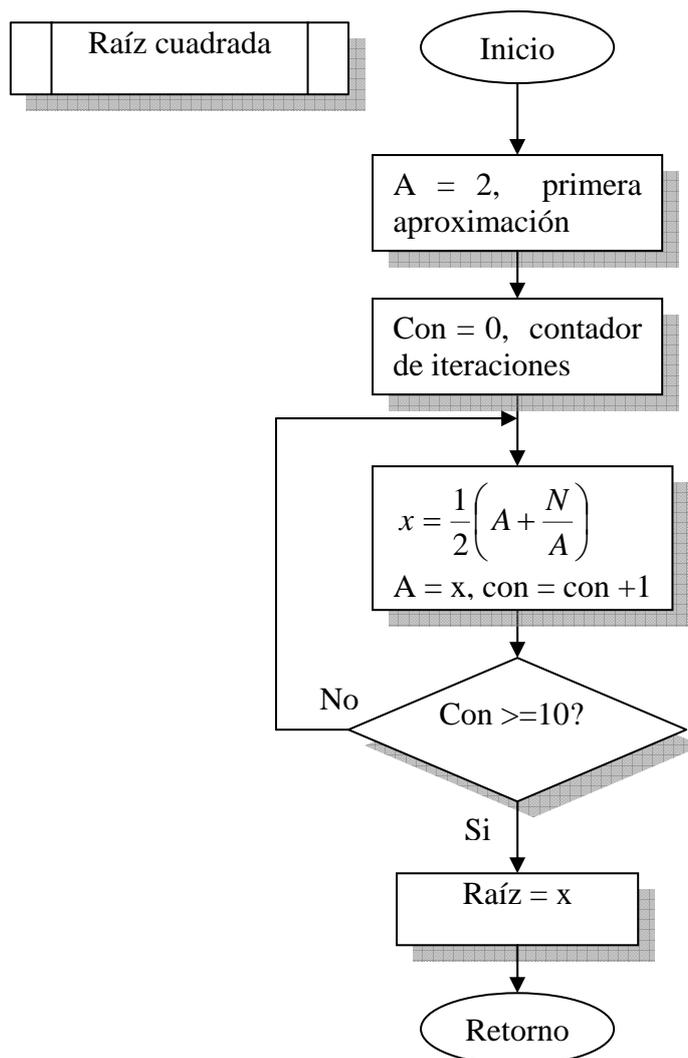
Para determinar el valor de la raíz cuadrada de (n), se recurre a un método de aproximaciones racionales por medio de una fórmula descubierta por los antiguos babilonios, donde tan solo se utilizan operaciones matemáticas básicas en una serie de iteraciones. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$x_2 = \frac{1}{2} \left(x_1 + \frac{n}{x_1} \right), \text{ donde } x_1 \text{ es la primera aproximación burda para } \sqrt{n}.$$

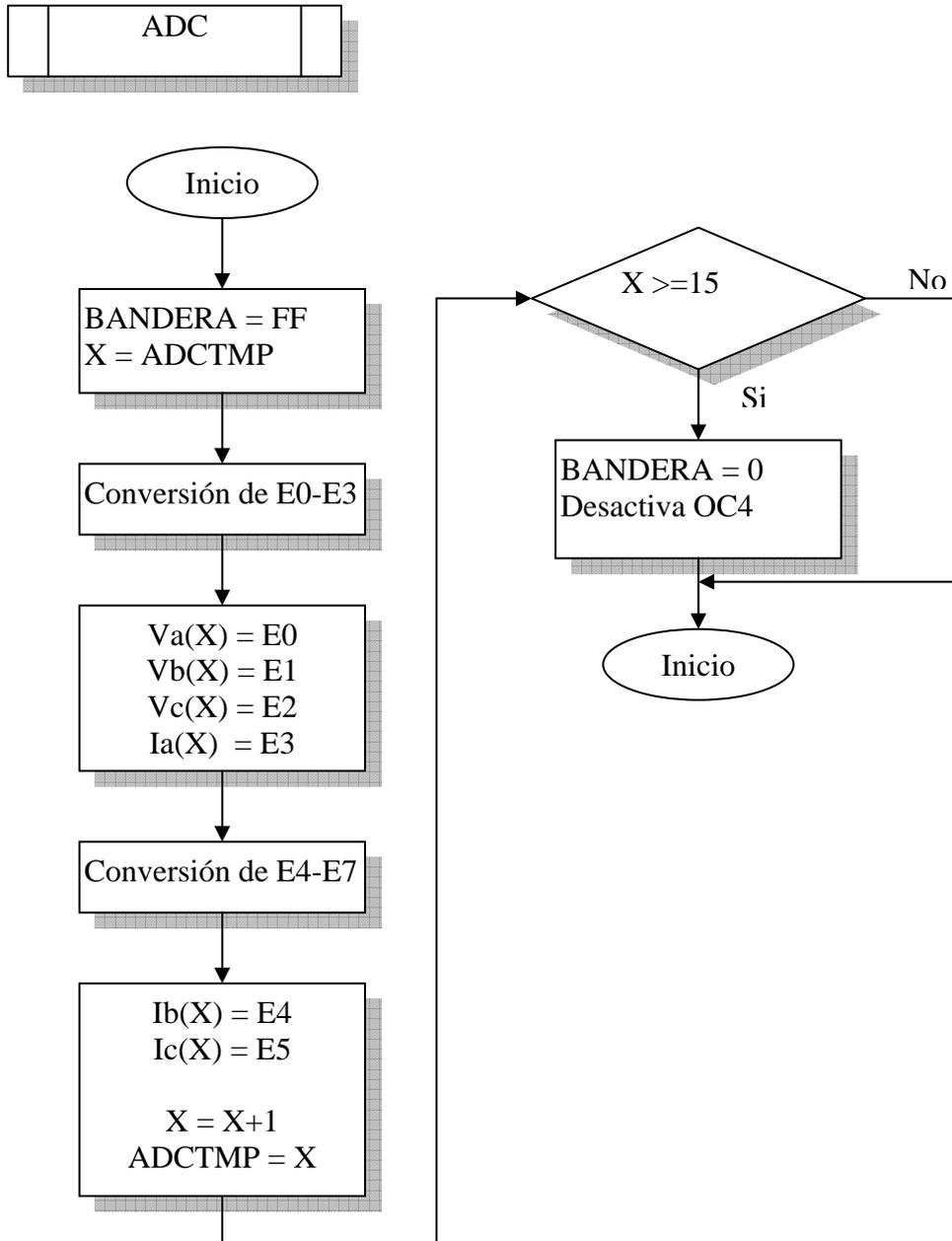
Entonces x_2 irá siendo una mejor aproximación al sustituirse por x_1 y repetirse el cálculo hasta obtener la aproximación deseada.

Según pruebas realizadas para este caso en particular, nueve iteraciones son suficientes para obtener una exactitud aceptable en el resultado final. Se puede incrementar el número de iteraciones pero el tiempo de respuesta del sistema se ve afectado haciéndose más lento.

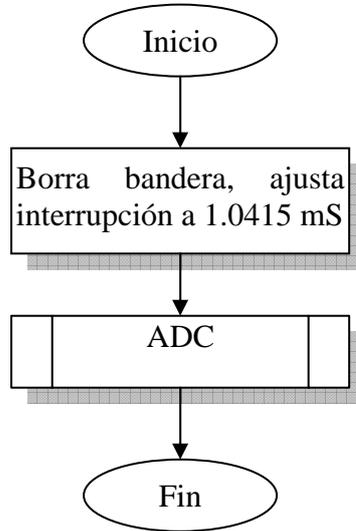
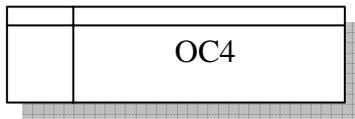
El diagrama de flujo es el siguiente:



Rutina de conversión Analógico-Digital. Este procedimiento es llamado en cada petición de interrupción de OC4 (Comparador de Salida 4), La localidad de memoria ADCTMP lleva la cuenta del número de conversiones efectuadas. La “BANDERA” indica cuando se han completado las 16 conversiones.

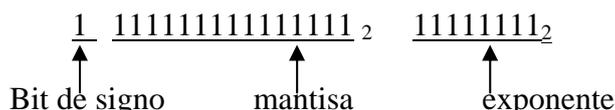


Servicio de petición de interrupción del comparador OC4. Esta interrupción se genera cada 1.0415 mS.



3.4.4 Operaciones matemáticas en formato de Punto Flotante.

El microprocesador tiene la capacidad de realizar operaciones matemáticas binarias con una longitud máxima de 16 bits, ya sea un número positivo o negativo, siendo una limitación representar números racionales o con punto decimal. Este problema se soluciona con el uso de la técnica de representación de las cantidades en formato de Punto Flotante. Existen muchas variaciones de dicho formato que dependen principalmente al número de bits utilizados para representar el signo, mantisa y el exponente. Este sistema utiliza una mantisa de 15 bits + 1 bit de signo y un exponente de 8 bits en complemento a dos, esto se explica a continuación:



Dado que el listado de instrucciones del microprocesador incorpora instrucciones de suma, resta, multiplicación y división con una longitud de palabra limitada, se desarrollan las mismas operaciones básicas en formato flotante, siendo herramientas fundamentales para realizar otras operaciones matemáticas como el cálculo del seno, coseno, arco tangente y raíz cuadrada, mismas que a su vez se utilizan para el cálculo de la TDF y otras operaciones auxiliares de conversión, escalamiento y ajuste de las mediciones.

El bit de signo indica si la mantisa es positiva (0) o negativa (1), la mantisa es un número binario positivo y el exponente es un número binario en complemento a dos que representa el exponente de la mantisa, de esta manera se pueden representar números enteros y racionales positivos o negativos con una muy buena precisión. A continuación se muestran algunos ejemplos de representación de números reales en formato de Punto Flotante.

Número Base 10	Número en binario (Base 2)	Número en formato de Punto Flotante Binario	Número en formato de Punto Flotante Hexadecimal (Base 16)
1.0	00000001	0 100 0000 0000 0000 0000 0001	4000 01
0.7071	-----	0 101 1010 1000 0010 0000 0000	5A82 00
-0.7071	-----	1 101 1010 1000 0010 0000 0000	DA82 00
-1.0	-----	1 100 0000 0000 0000 0000 0001	C000 01
-1/9	-----	0 111 0001 1100 0111 1111 1101	71C7 FD

Como puede observarse, se necesitan 24 bits para representar un número en formato de punto flotante, aún y cuando el número representado sea la unidad. Se le conoce como punto flotante ya que el punto binario se mueve hacia la derecha o izquierda dependiendo del signo del exponente a partir del bit de signo. Para comprender mejor este proceso de conversión a continuación se desarrollan un par de números que se muestran en la tabla anterior:

Ejemplo 1.

Número en formato decimal: $1/9_{10} = 0.111111111111111_{10}$

Número en formato de punto flotante: **0** 111 0001 1100 0111 **1111 1101**₂

O bien: **0** .111 0001 1100 0111 **1111 1101**₂

Primero se determina el valor del exponente para saber cuantas posiciones se recorre el punto binario.

Exponente: **1111 1101₂** **FD₁₆** Con ocho bits en complemento a dos se obtiene un intervalo en el exponente de -128 a 128. El exponente es **negativo** ya que el bit más significativo es uno, para saber qué número está representado se complementa el número binario y se suma (1).

$$1111 1101_2 \rightarrow 0000 0010_2 + 0001_2 = 0000 0011_2 \text{ o bien } -3_{10}$$

De esta manera se obtiene:

0 .111 0001 1100 0111 1111 1101₂ = **0.111 0001 1100 0111** ⁻⁰⁰¹¹ se recorre el punto tres posiciones a la izquierda, el bit de signo no se destruye y se agrega en el resultado final.

$$0.0001 1100 0111 0001 1100_2 = \begin{matrix} 0 + \frac{0}{2} + \frac{0}{4} + \frac{0}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{0}{128} + \frac{0}{256} + \frac{0}{512} + \frac{1}{1024} + \\ \frac{1}{2048} + \frac{1}{4096} + \frac{0}{8192} + \frac{0}{16384} + \frac{0}{32764} + \frac{1}{65536} + \frac{1}{131072} + \frac{1}{262144} \end{matrix}$$

Como resultado final

$$0.0001 1100 0111 0001 1100_2 = 0.111110687_{10}$$

Como puede observarse la exactitud es muy buena y suficiente para el fin que se persigue, pudiéndose incrementar el número de bits para representar la mantisa y el exponente, pero implicaría un mayor tiempo de procesamiento siendo este innecesario. Se adopta entonces este formato para las operaciones en punto flotante.

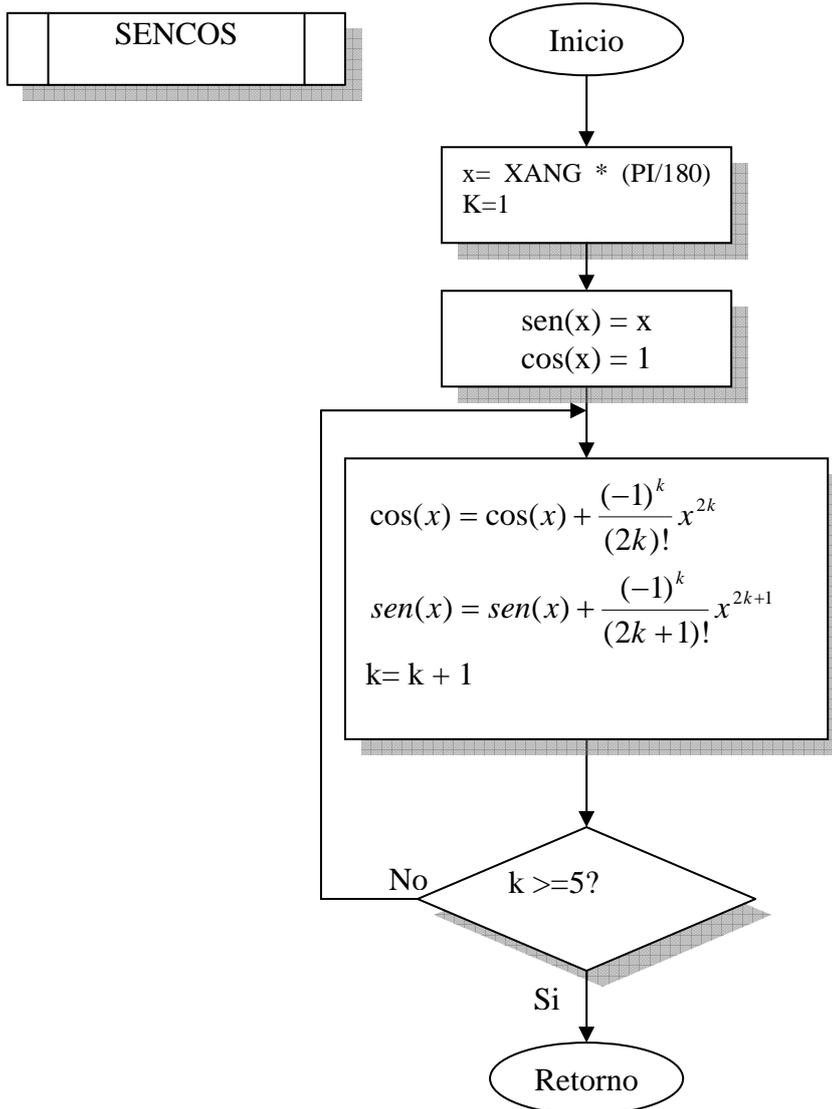
3.4.5 Cálculo del seno(x) y coseno(x).

De manera similar que para determinar el arco tangente y la raíz cuadrada, el cálculo de estas funciones trigonométricas se realizan mediante aproximaciones sucesivas haciendo uso de métodos numéricos. Estas aproximaciones están definidas por sumatorias infinitas denominadas series de Taylor o Maclaurin.

$$\begin{aligned} \text{sen}(x) &= x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k+1)!} x^{2k+1}, \quad 0 < x < \pi \\ \text{cos}(x) &= 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k)!} x^{2k}, \quad 0 < x < \pi \end{aligned}$$

La serie de Taylor es una serie infinita que puede truncarse hasta obtener el valor más exacto deseado, en este caso, se trunca hasta el quinto elemento obteniendo de esta manera un valor muy aceptable. Se pueden tomar una mayor cantidad de elementos de la sumatoria, pero implicaría un mayor tiempo de procesamiento y, siendo éste una consideración importante en la protección, se trata de minimizar sin alterar de manera importante la exactitud de las operaciones matemáticas.

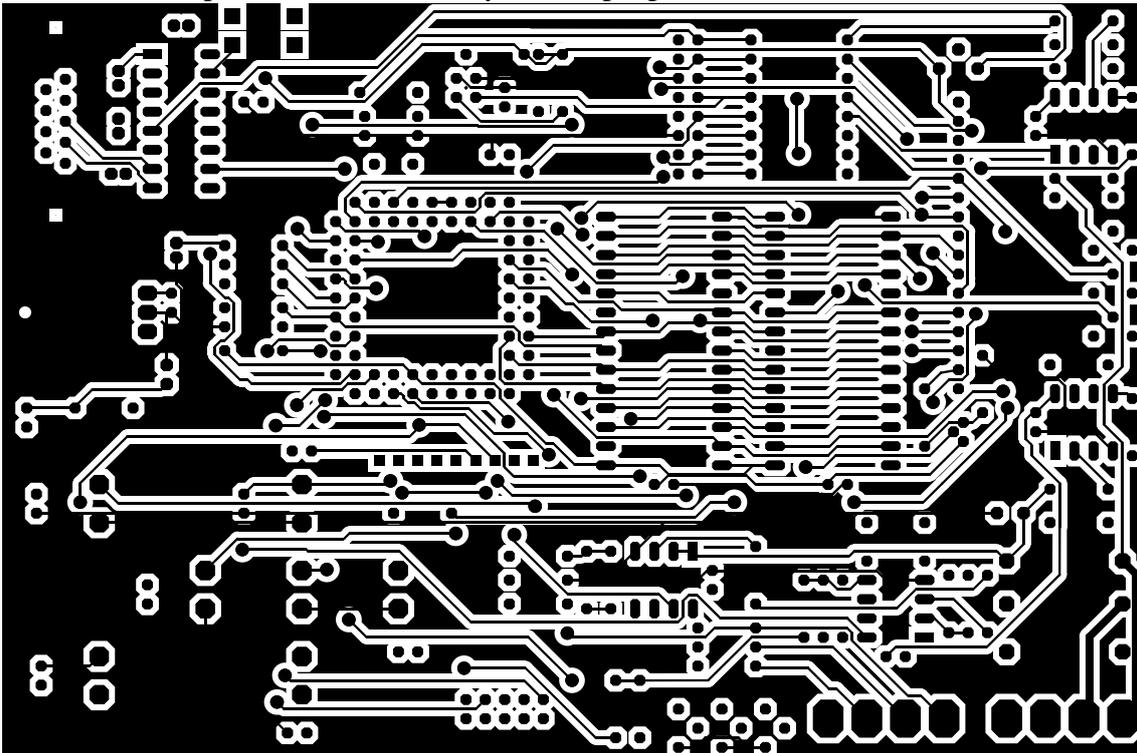
El diagrama de flujo que describe el programa del cálculo de seno y coseno es el siguiente:



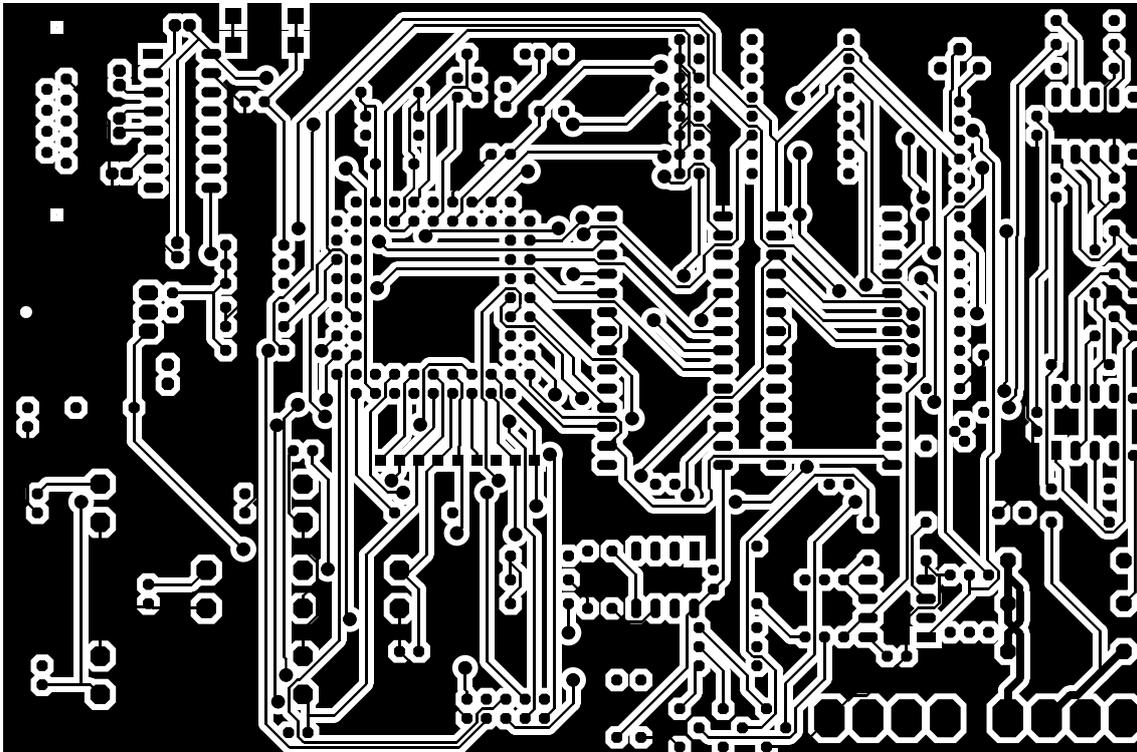
Los diagramas de flujo anteriormente mostrados corresponden a las rutinas más importantes del programa monitor, para mayor comprensión del programa obsérvese el listado en ensamblador.

3.5 Circuito Impreso.

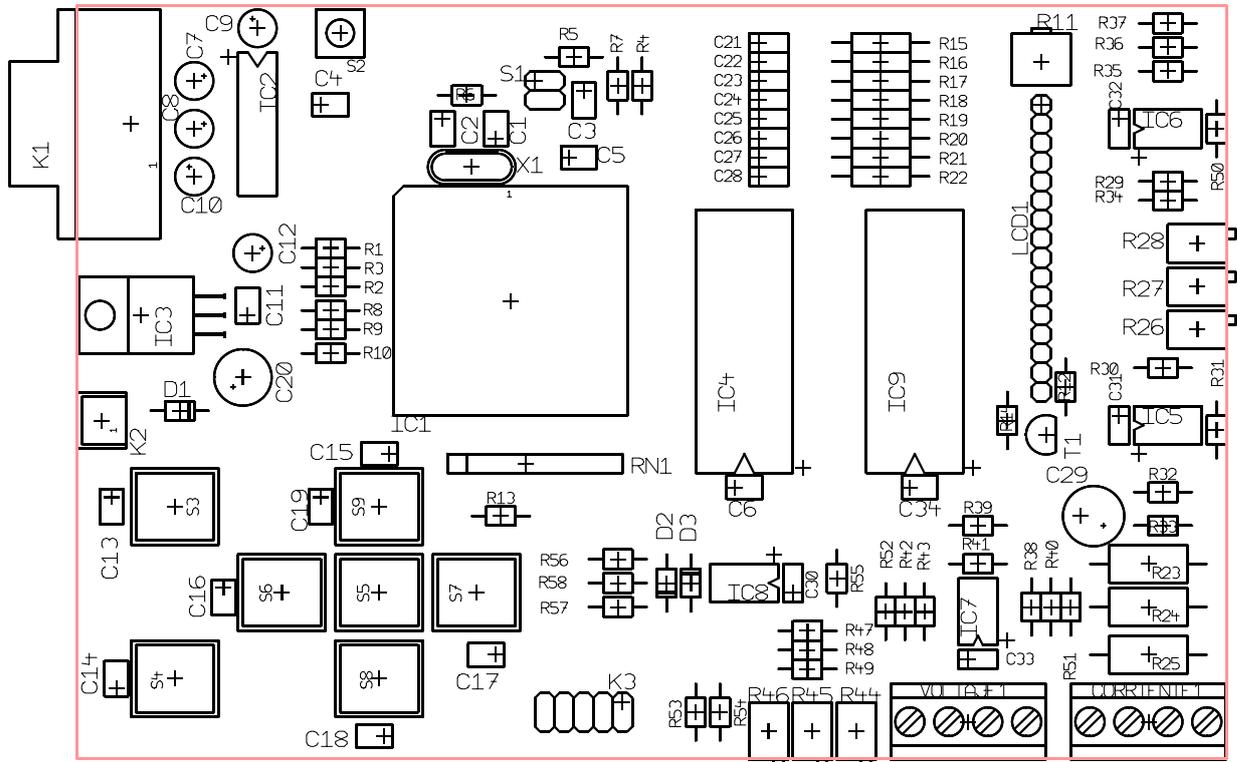
El circuito impreso fue hecho con ayuda del programa “PCB POOL”,



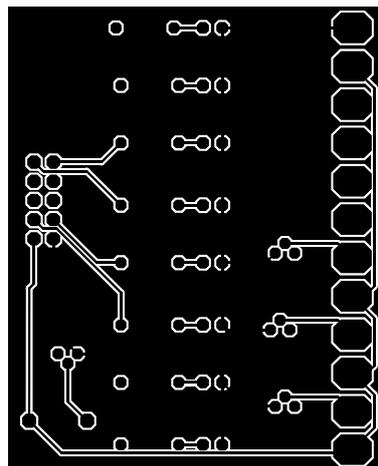
Lado superior Tarjeta principal.



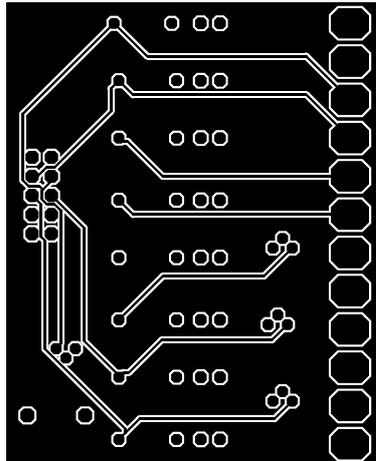
Lado inferior Tarjeta principal.



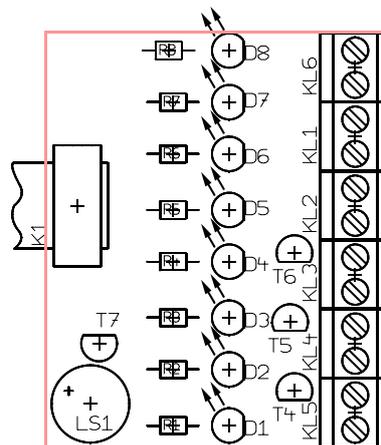
Posición de los componentes, Tarjeta principal.



Lado superior - Tarjeta de salidas digitales para actuadores.

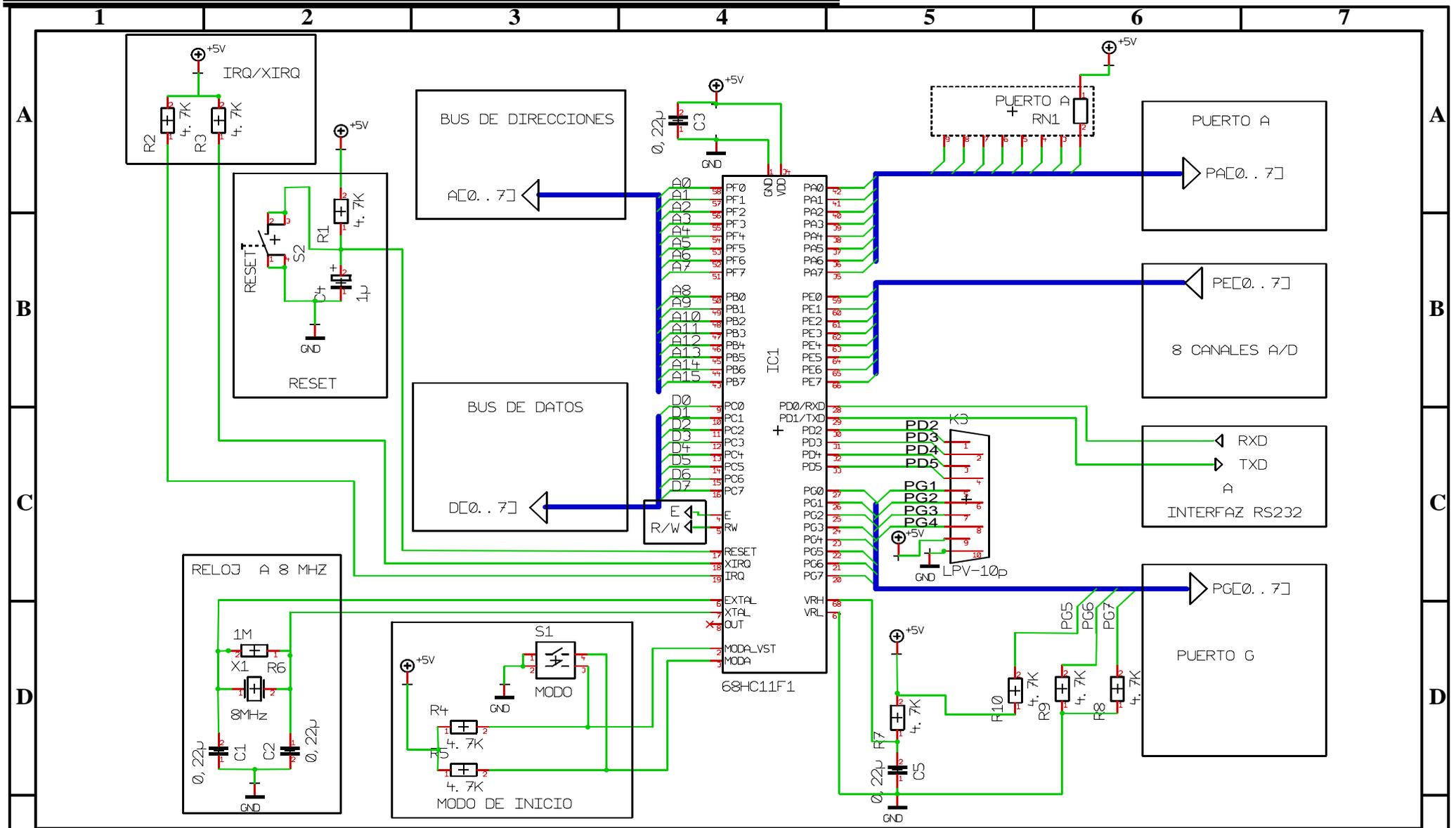


Lado inferior - Tarjeta de salidas digitales para actuadores.

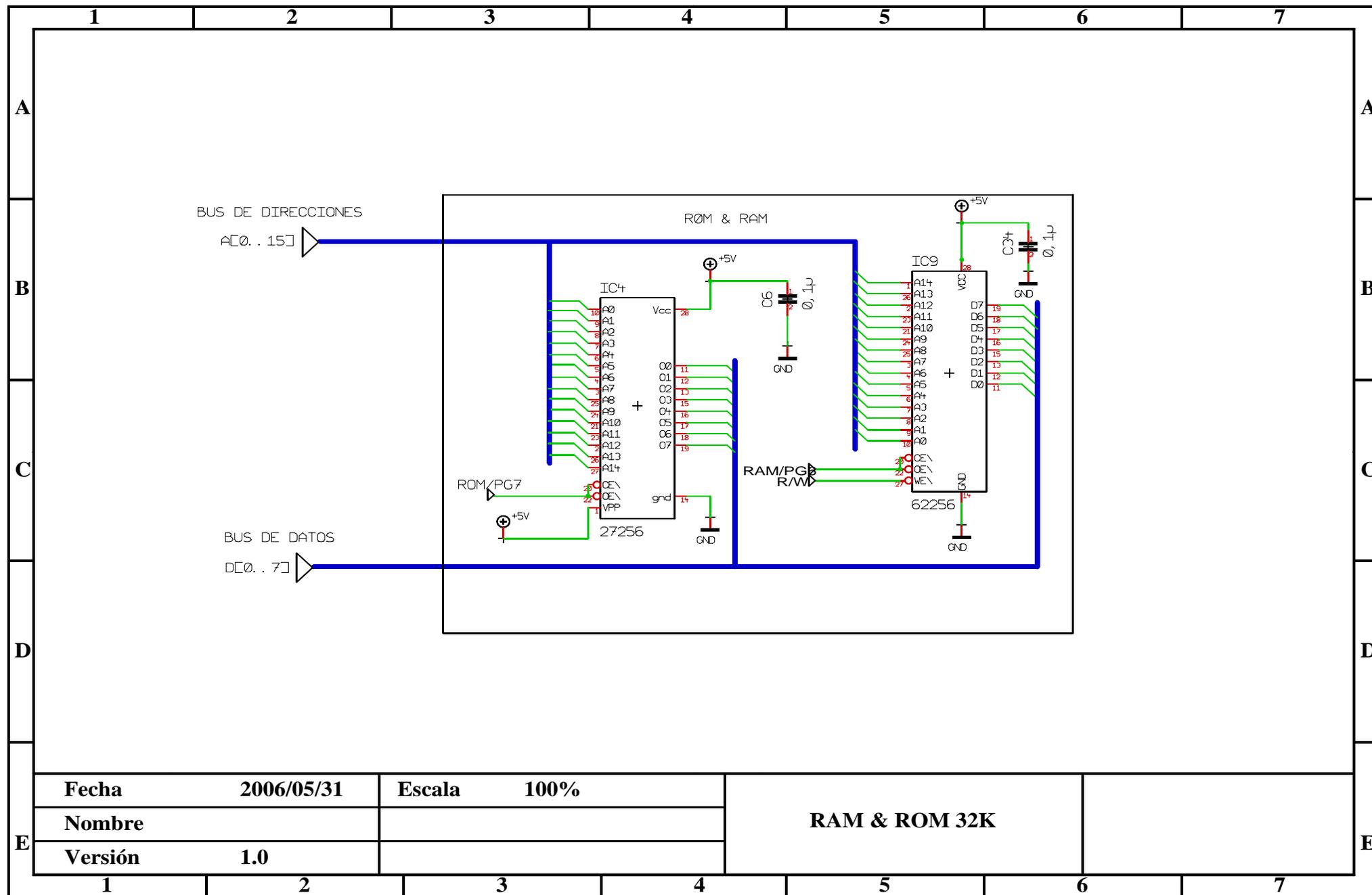


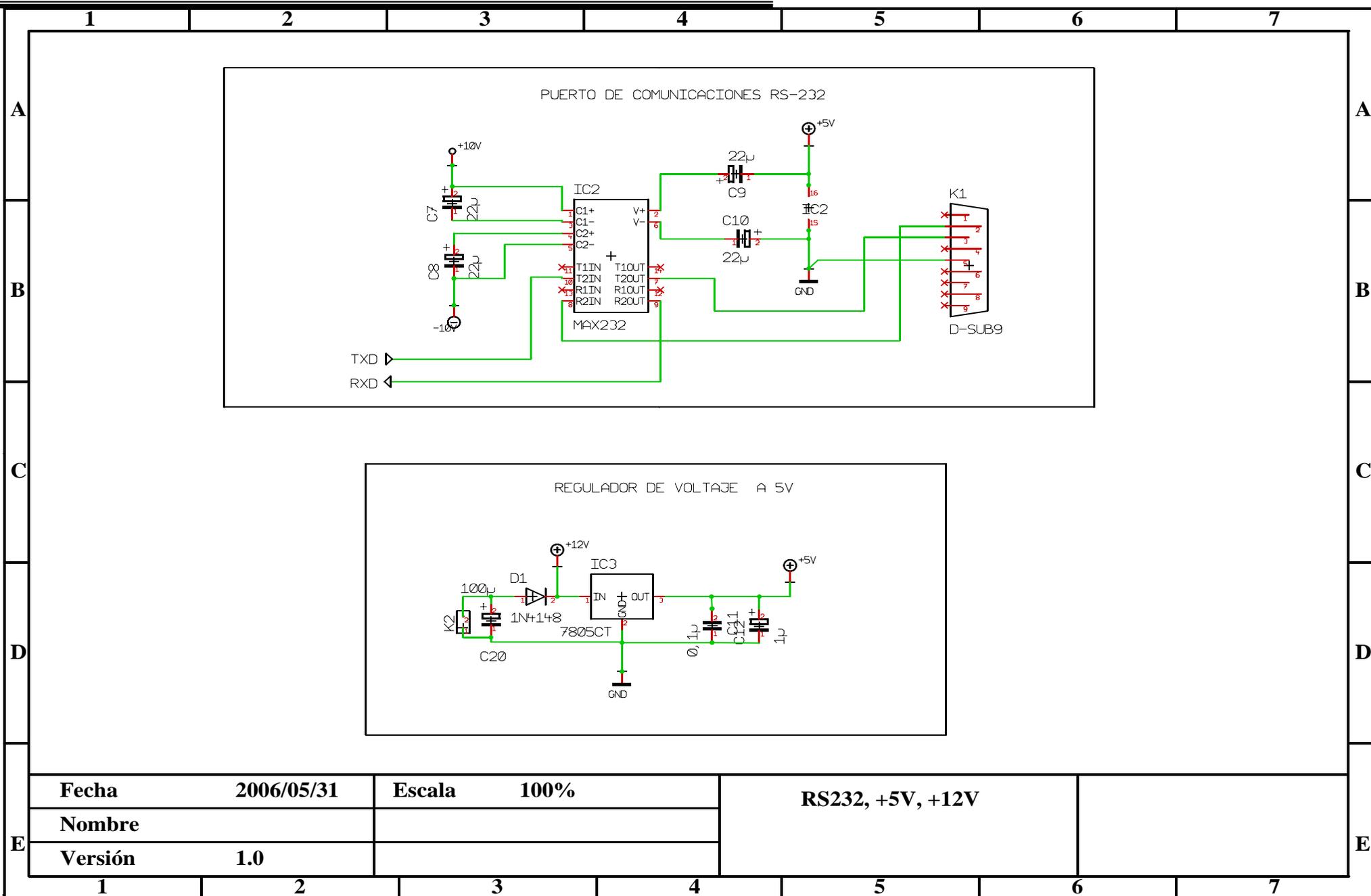
Posición de componentes - Tarjeta de salidas digitales para actuadores.

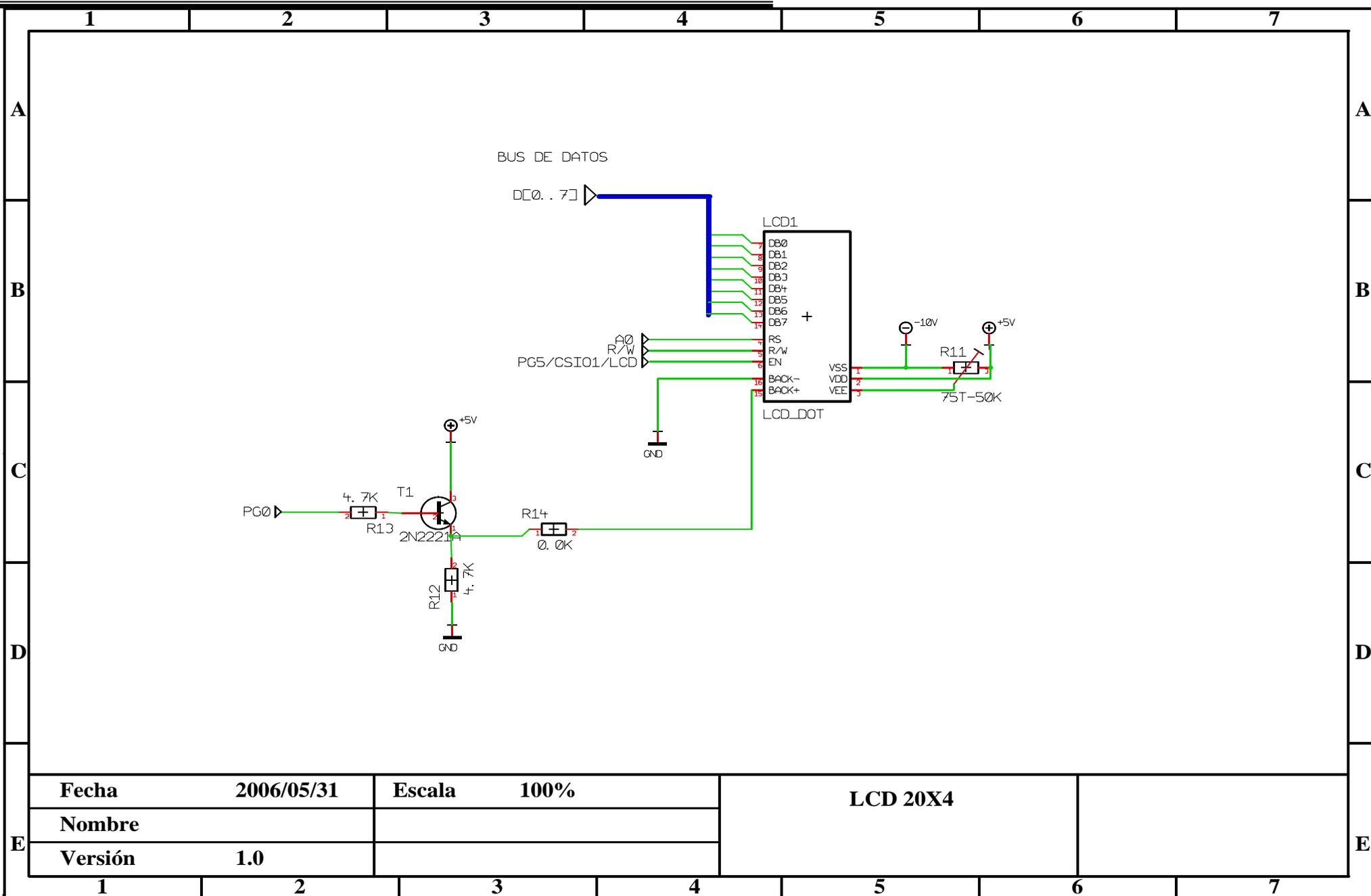
3.5.1 Diagrama esquemático.



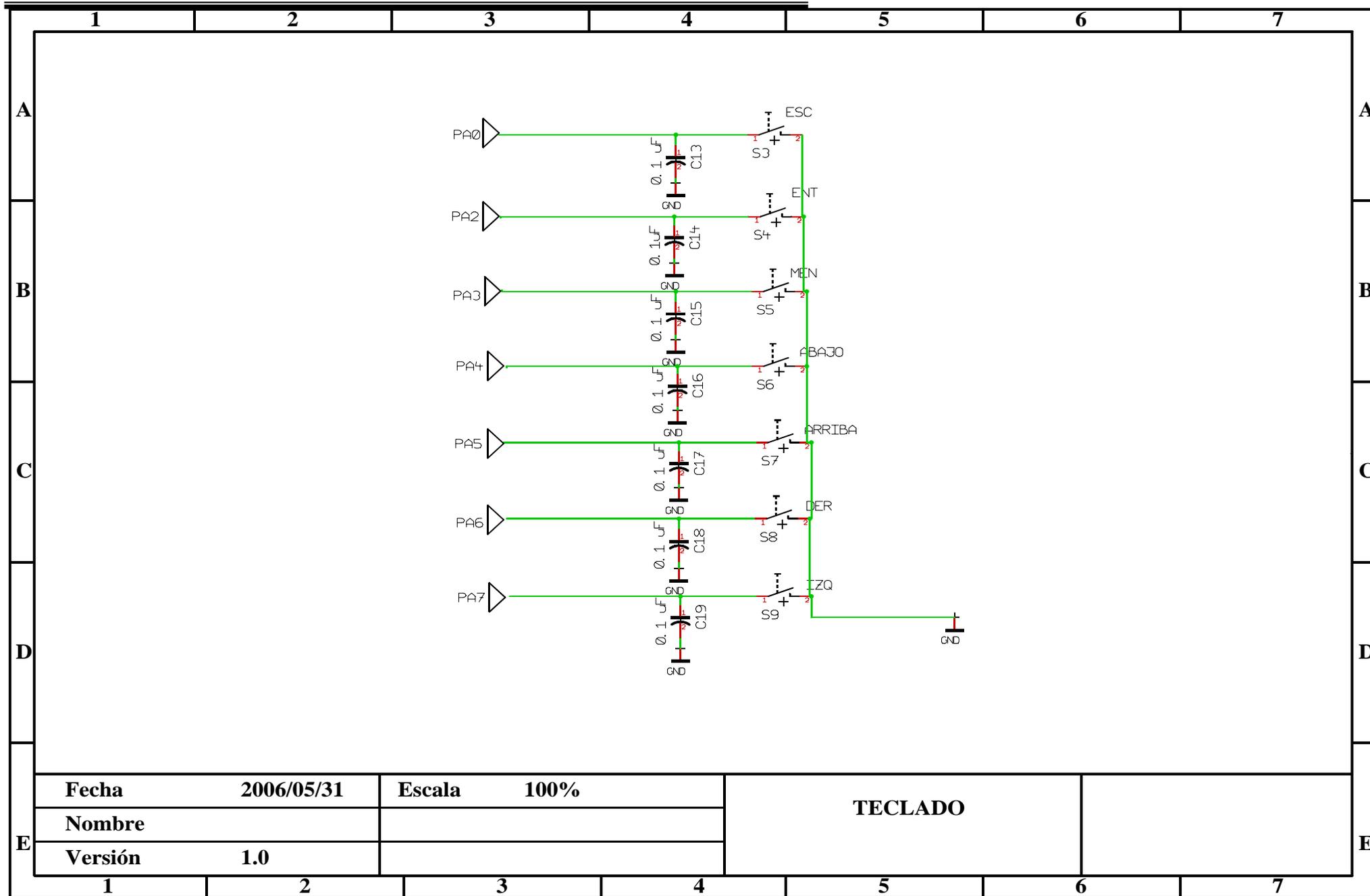
Fecha	2006/05/31	Escala	100%	MC68HC11F1FN		
Nombre						
Versión	1.0					

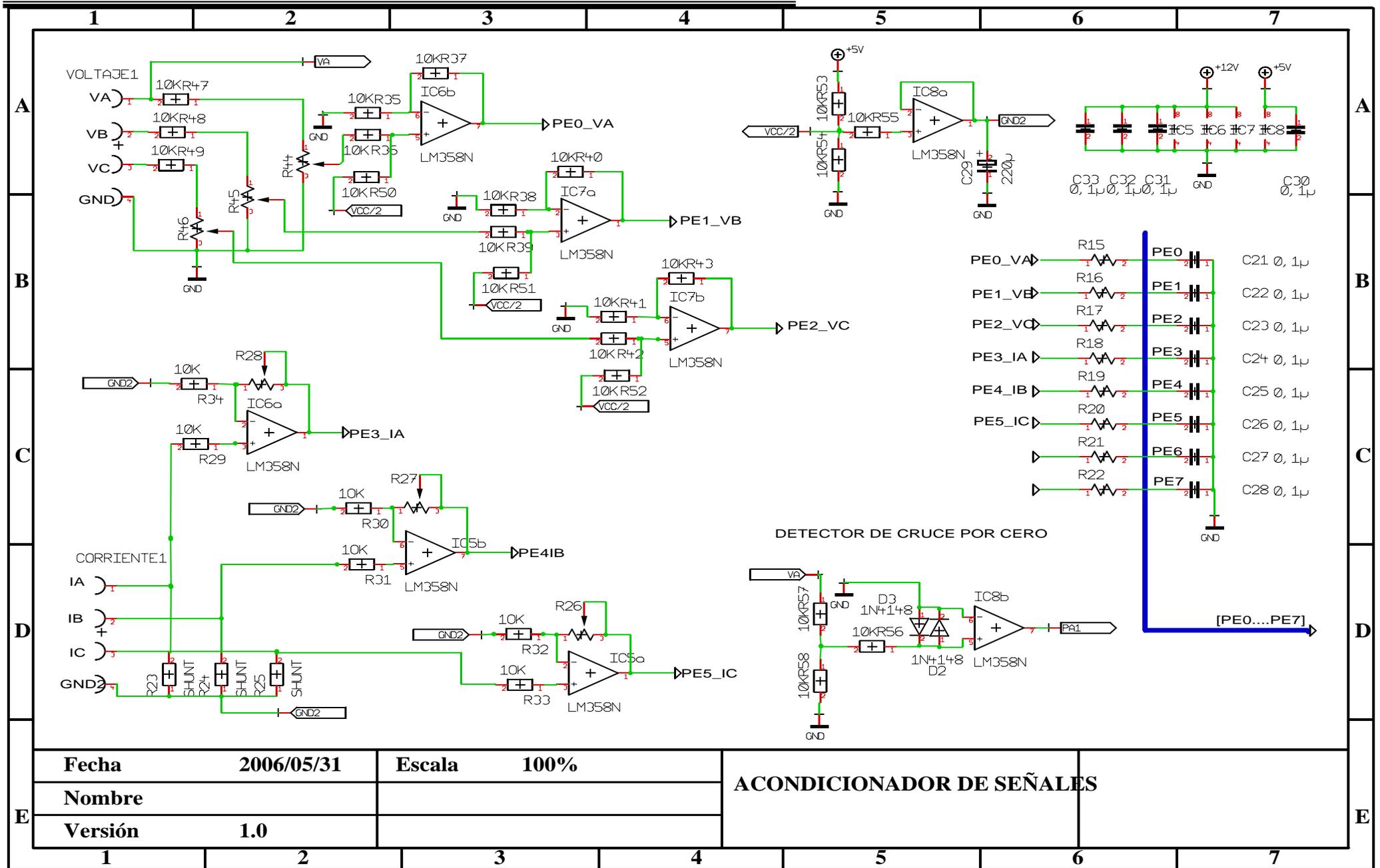


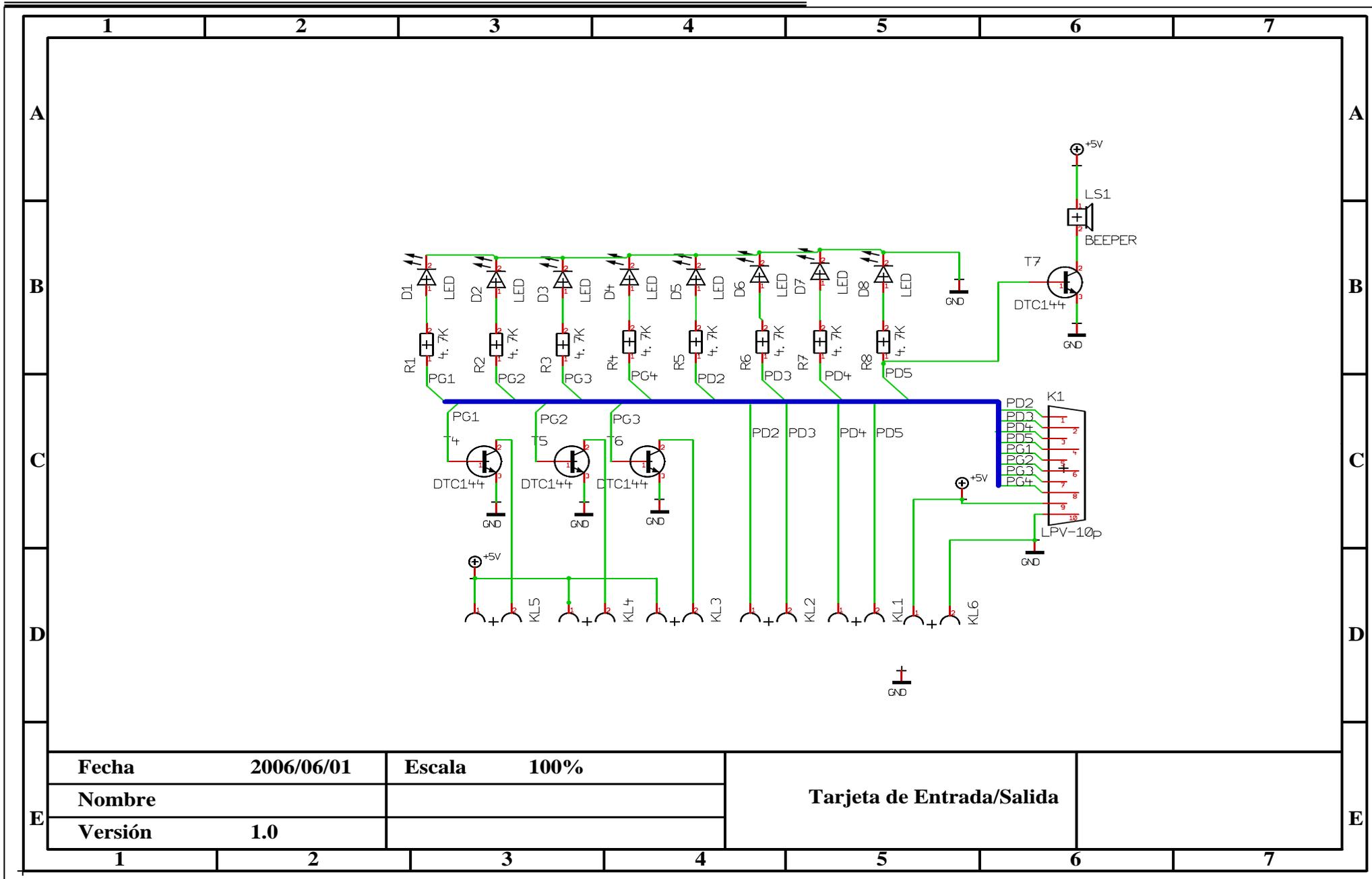




Fecha	2006/05/31	Escala	100%	LCD 20X4
Nombre				
Versión	1.0			







3.6 Listado del programa en lenguaje ensamblador.

```

*****
*          UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
*          FACULTAD DE INGENIERÍA
*
*
*          PROYECTO DE TESIS
*
*          PROGRAMA EN ENSAMBLADOR PARA EL MICROPROCESADOR MC68HC11F1
*****

*
*          DEFINICIÓN DE CONSTANTES
*          CONSTANTES UTILIZADAS POR EL PROGRAMA PRINCIPAL

SYSRAM   EQU 0
INICIO   EQU $8000          ;

*
*          REGISTROS UTILIZADOS POR EL LCD

LCDI     EQU    $1060      ; Direcciona el reg. de Instruccion del LCD
LCDD     EQU    $1061      ; Direcciona el reg. de Datos del LCD
EOT      EQU    $00        ; Marca de fin del texto

*
*          REGISTROS UTILIZADOS POR EL SCI

BAUD     EQU    $2B
SCCR1    EQU    $2C
SCCR2    EQU    $2D
SCSR     EQU    $2E
SCDR     EQU    $2F

*
*          REGISTROS UTILIZADOS POR LOS PUERTOS

*          PUERTO G
PORTG    EQU    $02
DDRG     EQU    $03

*          PUERTO D
PORTD    EQU    $08
DDRD     EQU    $09
SPCR     EQU    $28

*
*          CONSTANTES UTILIZADAS POR EL TECLADO

PUERTOA  EQU    $1000      ; Teclado conectado al puerto A
DDRA     EQU    $1001      ; Configuración del puerto A

*
*          REGISTROS UTILIZADOS POR EL CONVERTIDOR A/D

OPTION   EQU    $39
ADCTL    EQU    $30
ADR1     EQU    $31
ADR2     EQU    $32
ADR3     EQU    $33
ADR4     EQU    $34

*
*          REGISTROS UTILIZADOS POR IC1, OC1 Y OC4

TMSK1    EQU    $22
TMSK2    EQU    $24
TFLG1    EQU    $23
TCTCTL   EQU    $20
TOC4     EQU    $1C
    
```

```
TOC1    EQU    $16
TCNT    EQU    $0E
TCTL2   EQU    $21
TIC2    EQU    $12
```

```
*-----
*                               DEFINICIÓN DE VARIABLES
*-----
```

```
*INICIO DE LA PÁGINA CERO
      ORG      SYSRAM      ; RAM INTERNA DEL HC11
```

```
* VARIABLES UTILIZADAS POR LAS OPERACIONES DE PUNTO FLOTANTE
* OP1 Y OP2
```

```
MANT1   RMB 2      ; OP1
EXP1    RMB 1
MANT2   RMB 2      ; OP2
EXP2    RMB 1
```

```
* VARIABLES UTILIZADAS POR LA RUTINA DE RAIZ CUADRADA
```

```
MANT3   RMB 2      ; En OP3 se coloca el número
EXP3    RMB 1      ; al que se le va a sacar la raíz cuadrada
TEMPR   RMB 3      ; Resultado en formato de PF
```

```
* VARIABLES UTILIZADAS POR LA RUTINA DE CONVERSIÓN BINARIO-DECIMAL
```

```
SHFTRGH RMB 1      ;BYTE 3
SHFTRG  RMB 2      ;BYTE 2 Y 1
TEMP    RMB 1      ;TEMPORAL
VALOR   RMB 9      ;VALOR DECIMAL
```

```
* VARIABLES UTILIZADAS POR EL CONVERTTIDOR ANALOGICO-DIGITAL
```

```
VA      RMB $10    ; Se guardan los valores de las 16 muestras
VB      RMB $10
VC      RMB $10    ; obtenidas del convertidor AD
IA      RMB $10
IB      RMB $10
IC      RMB $10
BANDERA RMB 1
ADCTMP  RMB 1
```

```
* VARIABLES UTILIZADAS POR LA RUTINA DE CALCULO DEL ARCO TANGENTE
```

```
ANGTMP  RMB 3      ;En formato de Punto Flotante
SIGX    RMB 1      ;#$00 = +
SIGY    RMB 1      ;#$FF = -
ARG     RMB 3      ;Argumento en formato de PF
ANG     RMB 3      ;Resultado Angulo en formato de PF
ARGTMP  RMB 3      ;Argumento temporal
```

```
*VARIABLES UTILIZADAS POR LA RUTINA DE CALCULO SE SENOS Y COSENO
```

```
SENX    RMB 3      ;En formato de punto flotante
COSX    RMB 3      ;En formato de punto flotante
XRAD    RMB 3      ;Angulo en radianes en formato P.F.
XARG    RMB 3
ANGX    RMB 2      ;Angulo en grados en formato de 16 bits
```

* VARIABLES UTILIZADAS POR LA RUTINA DE TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (TDF)

```
MUESTRAS RMB    $10          ; Muestras a aplicar la TDF
REAL      RMB    3           ; Resultados temporales para las operaciones de la TDF
IMAG      RMB    3           ; parte real e imaginaria en formato de PF
MODULO    RMB    3           ; módulo
REALX     RMB    3
IMAGY     RMB    3
```

* RESULTADOS EN FORMA POLAR DE LOS VOLTAJES Y CORRIENTES DE LAS FASES A, B Y C EN FORMATO BINARIO DE 16 BITS

```
VAP      RMB    2
VBP      RMB    2
VCP      RMB    2
IAP      RMB    2
IBP      RMB    2
ICP      RMB    2
ANGVA    RMB    2
ANGVB    RMB    2
ANGVC    RMB    2
ANGIA    RMB    2
ANGIB    RMB    2
ANGIC    RMB    2
```

 *Resultados del cálculo de los par metros eléctricos

```
FP      RMB    3          ; Variables temporales
V       RMB    3
I       RMB    3
;Ángulo entre voltaje y corriente de las fases A, B y C
ANGFPA  RMB    3
ANGFPB  RMB    3
ANGFPC  RMB    3
;Potencia real de las fases A, B y C.
PA      RMB    3
PB      RMB    3
PC      RMB    3
;Potencia Activa de las fases A, B y C
QA      RMB    3
QB      RMB    3
QC      RMB    3
;Potencia aparente de las Fases A, B y C
SA      RMB    3
SB      RMB    3
SC      RMB    3
;Resultados del cálculo del SENO y COSENO de las Fases A, B y C
SENXA   RMB    3
COSXA   RMB    3
SENXB   RMB    3
COSXB   RMB    3
SENXC   RMB    3
COSXC   RMB    3
```

 * VARIABLES UTILIZADAS POR EL TECLADO

```
TECPRES RMB    1          ;Contenido de la tecla presionada
SELEC   RMB    1          ;Opción seleccionada
```

```

SMEN      RMB      1           ;Número de opciones

*BANDERA DE SINCRONIA UTILIZADA POT LAS INTERRUPCIONES

SINCF     RMB      1
SINCF2    RMB      1
ADCSIN    RMB      1

*BUFFER DE TRANSMISION UTILIZADO POR EL SCI

BUFER1    RMB      !52

* OTRAS VARIABLES

ERROR1    RMB      2
ERROR2    RMB      2
MODACT    RMB      2
ANGACT    RMB      2
FRECES    RMB      1
FREC1     RMB      2
FREC2     RMB      2
FRECHZ    RMB      1
PRUEBA1   RMB      3
PRUEBA2   RMB      3

*VARIABLES UTILIZADAS POR LAS PROTECCIONES 50, 51, 27 y 59
POSHOR    RMB      1
PICKUP    RMB      2
OFFSET    RMB      2
DIAL      RMB      1
TIEMPO    RMB      2
CONTAD    RMB      2      ;Contador
PROTR     RMB      1      ;Registro que indica sobrecorriente
ACT5X     RMB      1      ;Bandera de protección
TMAX      RMB      2      ;Tensión máxima 59
TMIN      RMB      2      ;Tensión mínima 27
ACT27     RMB      1
ACT59     RMB      1
BETA      RMB      3
L         RMB      3

* VARIABLES PARA LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN
TC         RMB      1
*-----
* FIN DE LA DEFINICIÓN DE CONSTANTES Y VARIABLES
*-----
*Vector de inicio del programa principal
*-----

          ORG          INICIO          ; VECTOR DE INICIO

*****INICIO DEL PROGRAMA *****

INI      LDS      #$3FF
          LDAA     #!100           ;TC ACTUAL 100/5
          STAA    TC
princ    jsr     LCDINIT          ; Inicializa el LCD
          jsr     LCDCLR          ; Borra contenido del DDRAM del LCD
          LDX     #TEXT01
          JSR     LCDPRINT
    
```

```

        JSR      LCDLEDIN
        JSR      LCDLEDOF
        JSR      PORTDIN
        JSR      INIADC      ; Inicia convertidor A-D
        JSR      INISCI     ; Inicia puerto de comunicaciones RS-232
        JSR      INIOC4
        JSR      INIC2      ;Inicia el capturador de entrada 2

        CLRA
        STAA     PROTR      ;Inicia el registro de protección
        STAA     ACT5X      ;Inhabilita las protecciones
TEC     JSR      TECLADO     ;Llama la rutina de servicio del teclado
        LDAA     TECPRES     ;Recupera valor de la tecla presionada
        CMPA     #$F7        ;Tecla "MENÚ" presionada?
        BEQ      MENU1       ;Si, salta a MENU1
        BRA      TEC         ;No, regresa a TEC
    
```

***MENÚ PRINCIPAL**

```

MENU1  JSR      CLRTEC      ;Borra Valor de la tecla recuperada
        JSR      LCDCLR     ;Borra Display
        JSR      LCDLEDON   ;PRENDE LED DEL LCD
        LDX      #MPTEXT    ;Imprime Menú Principal
        JSR      LCDPRINT
        LDAA     #$01        ;Selección predeterminada SELEC = 1
        STAA     SELEC
        LDAA     #$07        ;Número de opciones del Menú Principal
        STAA     SMEN        ;SMEN = 6+1
        JSR      MOSOPC     ;Muestra la selección
        CLRA
MENU1A JSR      LEDPD
        JSR      TECLADO
        LDAA     TECPRES
        CMPA     #$DF        ;Tecla "ARRIBA" presionada?
        BEQ      ARRIBA     ;Si, salta a ARRIBA
        CMPA     #$EF        ;Tecla "ABAJO" presionada?
        BEQ      ABAJO      ;Si, salta a ABAJO
        CMPA     #$FE        ;Tecla "ESC" presionada?
        BEQ      ESC1
        CMPA     #$FB        ;Tecla "ENT" presionada?
        BEQ      ENT1       ;Si, salta a ENT1
        JSR      CLRTEC
        BRA      MENU1A
    
```

```

ARRIBA JSR      CLRTEC
        JSR      SRASUB
        BRA      MENU1A
    
```

```

ABAJO  JSR      CLRTEC
        JSR      SRABAJ
        BRA      MENU1A
    
```

```

ESC1   LDAA     #$0C
        STAA     LCDI
        JSR      LCDBUSY
        JMP      PRINC
    
```

*** OCCIÓN SELECCIONADA**

```

ENT1   LDAA     SELEC
        CMPA     #$01        ;Selección "1 MEDICION"
    
```

```

        BEQ     MENMED          ;Si, salta a rutina de medición MENMED
        CMPA   #$02            ;Seleccionó "2 CONTROL"?
        BNE   SIGENT1         ;Si, salta a rutina de control MENCONT
        JMP   MENCONT
SIGENT1 CMPA   #$03            ;Selecciónó "3 PROTECCION"
        BNE   SIGENT2         ;Si, salta a rutina de protección PROTEC
        JMP   PROTEC
SIGENT2 CMPA   #$04            ;Selecciónó "4 AJUSTE"
        BNE   SIGENT3         ;Si, salta a rutina de AJUSTE
        JMP   AJUSTE
SIGENT3 CMPA   #$05            ;Selecciónó "5 COMPC"?
        BNE   SIGENT4         ;Si, salta a rutina de COM
        JMP   COM
SIGENT4 CMPA   #$06            ;Selecciónó "6 AYUDA"
        BNE   MENU1          ;Si, salta a AYUDA
        JMP   AYUDA
    
```

*** MENÚ DE MEDICIÓN A "VOLTAJE"**

```

MENMED JSR     CLRTEC          ;Borra tecla presionada
        JSR     LCDCLR        ;Borra LCD
        LDX     #M1TEXTA     ;Imprime carátula de medición de V.
        JSR     LCDPRINT
        LDAA   #$93          ;Imprime símbolo especial
        STAA   LCDI         ;en la parte superior derecha
        JSR     LCDBUSY
        LDAA   #$7E          ;Carga símbolo
        STAA   LCDD
        JSR     CURPOS2      ;Regresa CURSOR a la posición del
                               ;símbolo
        JSR     LCDBUSY
        LDX     #$FFF        ;Tiempo de actualización de valores
MENMED1 JSR     TECLADO
        LDAA   TECPRES
        CMPA   #$FE          ;Tecla "ESC" presionada?
        BEQ   MENUA1        ;Si, regresa a MENU1 (al anterior)
        CMPA   #$F7          ;Tecla "MEN" presionada?
        BEQ   MENUA1        ;Si, salta "MENU1"
        CMPA   #$BF          ;Tecla "DERECHA" presionada?
        BEQ   MENMEDB       ;SI, salta a MENMEDB
        JSR     CURPOS2      ;Regresa cursor a posición original
        JSR     BLKOF        ;Desactiva destello "Blink"
        JSR     TMPACT       ;Tiempo de actualización de valores
        BRA   MENMED1
MENUA1  JMP     MENU1
CURPOS2 LDAA   #$93
        JSR     LCDBUSY
        STAA   LCDI
        RTS
    
```

*** MENÚ DE MEDICIÓN B "CORRIENTE"**

```

MENMEDB JSR     CLRTEC          ;Borra tecla presionada
        JSR     LCDCLR
        LDX     #M1TEXTB
        JSR     LCDPRINT
        JSR     FLECHAS      ;Imprime flechas
MENMED2 JSR     TECLADO
        LDAA   TECPRES
        CMPA   #$FE          ;Tecla "ESC" presionada?
        BNE   SIGMDB        ;SI, regresa al menú "MENU1"
        JMP   MENU1
    
```

```

SIGMDB  CMPA    #$7F          ;Tecla "IZQUIERDA" presionada?
        BEQ     MENMED        ;SI, Salta al menú anterior "MENMED"
        CMPA    #$BF          ;Tecla "DERECHA" presionada?
        BEQ     MENMEDC       ;Si, salta a "MENMEDC"
        CMPA    #$F7          ;Tecla "MEN" presionada?
        BNE     SALMDB        ;SI, salta a "MENU1"
        JMP     MENU1
SALMDB  JSR     TMPACT2
        BRA     MENMED2
    
```

***MENÚ DE MEDICIÓN C FRECUENCIA**

```

MENMEDC JSR     CLRTEC          ;Borra teclado y display
        JSR     LCDCLR
        LDX     #M1TEXTC      ;Imprime car tula
        JSR     LCDPRINT
        JSR     FLECHAS
        ;JSR    CURPOS2        ;Posiciona cursor a la Izquierda
        JSR     LCDBUSY
        LDX     #$0FFF        ;Tiempo de actualización
MENMED3 JSR     TECLADO
        LDAA    TECPRES        ; "ESC"?
        CMPA    #$FE          ; Si, regresa MENU1
        BEQ     MENUA1
        CMPA    #$F7          ; "MENU"?
        BEQ     MENUA1        ; Si, regresa a menu1
        CMPA    #$BF          ; Derecha?
        BEQ     MENMEDD       ; Si, salta a "MENMEDD"
        CMPA    #$7F          ; Izquierda?
        BEQ     MENMEDB       ; Si, regresa a "MENMEDB"
        JSR     ACTFREC        ; Imprime frecuencia
        BRA     MENMED3
    
```

*-----
*** MENÚ DE MEDICIÓN D "FACTOR DE POTENCIA"**

```

MENMEDD JSR     CLRTEC          ;Borra teclado y display
        JSR     LCDCLR
        LDX     #M1TEXTD      ;Imprime car tula
        JSR     LCDPRINT
        JSR     FLECHAS
        ;JSR    CURPOS2        ;Posiciona cursor a la Izquierda
        JSR     LCDBUSY
        LDX     #$00FF
MENMED4 JSR     TECLADO
        LDAA    TECPRES        ; "ESC"?
        CMPA    #$FE          ; Si, regresa MENU1
        BEQ     MENUA2
        CMPA    #$F7          ; "MENU"?
        BEQ     MENUA2        ; Si, regresa a menu1
        CMPA    #$BF          ; Derecha?
        BEQ     MENMEDE       ; Si, salta a "MENMEDE"
        CMPA    #$7F          ; Izquierda?
        BEQ     MENMEDC       ; Si, regresa a "MENMEDC"
        JSR     TMPACTFP
        BRA     MENMED4
    
```

```

MENUA2  JMP     MENUA1
    
```

*-----
***MENÚ DE MEDICIÓN E "POTENCIA REAL"**

```

MENMEDE JSR     CLRTEC          ;Borra teclado y display
    
```

```

        JSR      LCDCLR
        LDX      #M1TEXTE      ;Imprime car tula
        JSR      LCDPRINT
        JSR      FLECHAS

        JSR      LCDBUSY
        LDX      #$00FF
MENMED5 JSR      TECLADO
        LDAA     TECPRES      ; "ESC"?
        CMPA     #$FE        ; Si, regresa MENU1
        BEQ      MENUA2
        CMPA     #$F7        ; "MENU"?
        BEQ      MENUA2      ; Si, regresa a menu1
        CMPA     #$BF        ; Derecha?
        BEQ      MENMEDF     ; Si, salta a "MENMEDF"
        CMPA     #$7F        ; Izquierda?
        BEQ      MENMEDD     ; Si, regresa a "MENMEDD"
        JSR      TMPACTP1
        BRA      MENMED5
    
```

```

*-----
MENUA3 JMP      MENUA1
*-----
    
```

***MENÚ DE MEDICIÓN F "POTENCIA ACTIVA"**

```

MENMEDF JSR      CLRTEC      ;Borra teclado y display
        JSR      LCDCLR
        LDX      #M1TEXTF    ;Imprime carátula
        JSR      LCDPRINT
        JSR      FLECHAS
        JSR      LCDBUSY
        LDX      #$00FF
MENMED6 JSR      TECLADO
        LDAA     TECPRES     ; "ESC"?
        CMPA     #$FE        ; Si, regresa MENU1
        BEQ      MENUA2
        CMPA     #$F7        ; "MENU"?
        BEQ      MENUA2      ; Si, regresa a menu1
        CMPA     #$BF        ; Derecha?
        BEQ      MENMEDG     ; Salta a MENMEDG

        CMPA     #$7F        ; Izquierda?
        BEQ      MENMEDE     ; Si, regresa a "MENMEDE"
        JSR      TMPACTP2
        BRA      MENMED6
    
```

***MENÚ DE MEDICIÓN G "POTENCIA REACTIVA"**

```

MENMEDG JSR      CLRTEC      ;Borra teclado y display
        JSR      LCDCLR
        LDX      #M1TEXTG    ;Imprime carátula
        JSR      LCDPRINT
        LDAA     #$7F        ;Imprime flecha Izquierda
        STAA     LCDD
        JSR      LCDBUSY
        JSR      LCDBUSY
        LDX      #$00FF
MENMED7 JSR      TECLADO
        LDAA     TECPRES     ; "ESC"?
        CMPA     #$FE        ; Si, regresa MENU1
        BEQ      MENUA3
        CMPA     #$F7        ; "MENU"?
    
```

```

        BEQ     MENUA3      ; Si, regresa a menu1
        CMPA   #$7F        ; Izquierda?
        BNE    SIGMED      ; Si, regresa a "MENMEDE"
        JMP    MENMEDE
SIGMED  JSR    TMPACTP3
        BRA    MENMED7
    
```

```

FLECHAS LDAA   #$7F        ;Imprime flecha izquierda
        STAA  LCDD
        JSR  LCDBUSY
FLECHA  LDAA   #$93        ;Imprime flecha derecha
        STAA  LCDI
        JSR  LCDBUSY
        LDAA  #$7E
        STAA  LCDD
        RTS
    
```

 * Menú de Control *

```

MENCONT JSR    BLKON
        LDAA  #$01
        STAA  POSHOR
        JSR  LCDCLR      ;Borra LCD
        LDX  #M2TEXT     ;Imprime Texto del Menú 2
        JSR  LCDPRINT
        LDX  #!1500
        STX  TMAX
        LDX  #!500
        STX  TMIN
        JSR  IMPTMM
        JSR  VPOSH
        CLRA
        STAA  ACT27
        STAA  ACT59      ;Desactiva Protecciones
        LDX  #$0F        ;Tiempo de actualización
MENCON1 JSR    PRT5927     ;Lama a protección 59 y 27
        JSR  CLRTEC
        JSR  TECLADO     ;Llama al teclado
        LDAA  TECPRES
        CMPA  #$7F
        BNE  SIGCON1     ;Izquierda, Recorre digito
        JMP  IZQV
SIGCON1 CMPA  #$BF        ;Derecha, Recorre digito
        BNE  SIGCON2
        JMP  DERV
SIGCON2 CMPA  #$DF        ;Arriba Suma Offset
        BNE  SIGCON3
        JMP  SUMAV
SIGCON3 CMPA  #$EF
        BNE  SIGCON4
        JMP  RESTAV
SIGCON4 CMPA  #$F7        ;Tecla "MEN" presionada?
        BNE  SIGMCON
        JMP  MENU1      ;SI, salta a MENU1
SIGMCON CMPA  #$FE        ;Tecla "ESC" presionad?
        BNE  MENCON1
        JMP  MENU1      ;SI, salta a MENU1
        BRA  MENCON1
    
```

```

IMPTMM  PSHA
        PSHB
        LDD    TMAX          ;Imprime TMAX en la posición (2,6) "C5"
        STD    SHFTRG
        CLRA
        STAA   SHFTRGH
        JSR    BAD
        LDAA   #$C5
        JSR    LCDBUSY
        STAA   LCDI
        JSR    IMPR          ;Imprime TMAX en formato 999.9.
        LDD    TMIN          ;Imprime Tmin en la posición (3,7) "99"
        STD    SHFTRG
        JSR    BAD
        LDAA   #$99
        JSR    LCDBUSY
        STAA   LCDI
        JSR    IMPR          ;Imprime TMIN en formato 999.9
        PULB
        PULA
        RTS
VPOSH   LDAA   POSHOR        ;Selecciona la posición horizontal
        CMPA   #$01
        BEQ    VPOS1
        CMPA   #$02
        BEQ    VPOS2
        CMPA   #$03
        BEQ    VPOS3
        CMPA   #$04
        BEQ    VPOS4
        CMPA   #$05
        BEQ    VPOS5
        CMPA   #$06
        BEQ    VPOS6
        RTS
        LDY    #$0F          ;Tiempo de actualización
VPOS1   LDAA   #$9B          ;Posición 1
VPOS1B  LDY    #!10
SVPOS1  JSR    LCDBUSY
        STAA   LCDI
        STY    OFFSET
        RTS
VPOS2   LDAA   #$9A          ;Posición 2
VPOS2B  LDY    #!100
        BRA    SVPOS1
VPOS3   LDAA   #$99          ;Posición 3
VPOS3B  LDY    #!1000
        BRA    SVPOS1
VPOS4   LDAA   #$C7          ;Posición 4
        BRA    VPOS1B
VPOS5   LDAA   #$C6          ;Posición 5
        BRA    VPOS2B
VPOS6   LDAA   #$C5          ;Posición 6
        BRA    VPOS3B
IZQV    LDAA   POSHOR
        INCA
        CMPA   #$06
        BLS    SIZQV
        LDAA   #$01
    
```

```

SIZQV   STAA   POSHOR
        JSR    VPOSH
        JMP    MENCON1

DERV    LDAA   POSHOR
        DECA
        BNE   SIZQV
        LDAA  #$06
        BRA   SIZQV

SUMAV   LDAA   POSHOR           ;0<= Tmin <=110 Volts   TMIN = TMIN+OFFSET
        CMPA  #$04
        BHS   SUMAX
        LDD   TMIN
        ADDD  OFFSET
        CPD   #!1100
        BLS   ENRANGV

        LDD   #!1100           ;Tope máximo Tmin "110.0"
ENRANGV STD   TMIN
SRANGV  JSR   IMPTMM
        JSR   VPOSH
        JMP   MENCON1

SUMAX   LDD   TMAX           ;120<= Tmax <= 250 Volts TMAX=TMAX+OFFSET
        ADDD  OFFSET
        CPD   #!1600
        BLS   ERANGV2
        LDD   #!1600           ;Tope máximo Tmax "260.0"
ERANGV2 STD   TMAX
        BRA   SRANGV

RESTAV  LDAA   POSHOR           ;Tmin = Tmin - Offset
        CMPA  #$04
        BHS   RESMAX
        LDD   TMIN
        SUBD  OFFSET
        BMI   NEGV
        BRA   ENRANGV

NEGV    LDD   #!0000           ;Tope mínimo Tmin "0.0"
        BRA   ENRANGV

RESMAX  LDD   TMAX           ;Tmax = Tmax - Offset
        SUBD  OFFSET
        CPD   #!1200
        BHS   ERANGV2
        LDD   #!1200           ;Tope mínimo Tmax "120.0"
        BRA   ERANGV2

*Rutina de protección 59 y 29
PRT5927 JSR   CHK5927
        DEX
        BNE   SIG5927
        JSR   IMPRV           ;Imprime Va y la posición horizontal
        JSR   IMPRL27        ;Imprime leyendas de protección
        JSR   IMPRL59
        JSR   IMPRCLS
        JSR   VPOSH
        LDX   #$0F
SIG5927 RTS

CHK5927 PSHA
    
```

```

        PSHX
BAN5927 LDAA  BANDERA      ;Protección 59 y 27
        CMPA  #$FF
        BEQ   BAN5927
        LDAA  #$FF
        STAA  SINCF
        JSR   MODVABC      ;Calcula el módulo de Va, Vb y Vc
        JSR   MODCOMV     ;Compara Módulos con Tmax y Tmin
        CLRA
        STAA  SINCF
        PULX
        PULA

MODVABC PSHX
        JSR   MUESTVA     ;Calcula módulo de Va
        JSR   TDF
        JSR   PFDEC
        LDX  MODACT
        STX  VAP
        PULX
        RTS

MODCOMV PSHA
        PSHB
        LDD  VAP          ;VAP >= tmax?
        CPD  TMAX
        BHS  DISP59      ;SI, activa protección 59, ACT59=FF
        CPD  TMIN
        BLS  DISP27
        CLRA
        STAA ACT59
        STAA ACT27
        CLRA
        JSR  LEDPD

RETCOMV PULB
        PULA
        RTS

DISP59  LDAA  %#100100    ;Disparo 59
        JSR  LEDPD      ;Prende PD2 y PD5
        LDAA  #$FF
        STAA ACT59
        BRA  RETCOMV

DISP27  LDAA  %#101000    ;Prende PD3 y PD5
        JSR  LEDPD      ;Disparo P27
        LDAA  #$FF
        STAA ACT27
        BRA  RETCOMV

IMPRL59 LDAA  ACT59      ;ACT59=FF?
        BEQ  SAL59
        LDAA  #$D4
        JSR  LCDBUSY
        STAA LCDI
        LDX  #LEYP59     ;SI, Imprime leyenda P59
        JSR  LCDPRINT

SAL59   RTS

IMPRL27 LDAA  ACT27      ;ACT27=FF?
        BEQ  SAL27
        LDAA  #$D4
        JSR  LCDBUSY
        STAA LCDI
    
```

```

        LDX      #LEYP27      ;SI, Imprime leyenda P27
        JSR      LCDPRINT
SAL27   RTS

IMPRCLS LDAA     ACT27
        BNE     SALCLS
        LDAA     ACT59
        BNE     SALCLS
        LDAA     #$D4
        JSR     LCDBUSY
        STAA     LCDI
        LDX     #NORMP
        JSR     LCDPRINT
SALCLS  RTS

IMPRV   PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA     SHFTRGH      ;Imprime Va
        LDD     VAP
        STD     SHFTRG
        JSR     BAD
        LDAA     #$CF
        JSR     LCDBUSY
        STAA     LCDI
        JSR     IMPR
        PULB
        PULA
        RTS

*****
*                               Menú de protección
*****

PROTEC  JSR      CLRTEC      ;Borra Tecla presionada
        JSR      LCDCLR      ;Borra LCD
        LDX      #M3TEXT     ;Imprime Texto del menú 3
        JSR      LCDPRINT
        LDAA     #$01        ;Selección 1
        STAA     SELEC
        LDAA     #$03        ;Número de opciones 2
        STAA     SMEN
        JSR      MOSOPC      ;Muestra selección predeterminada

PROTEC1 JSR      TECLADO
        LDAA     TECPRES
        CMPA     #$DF        ;Tecla "ARRIBA" presionada?
        BEQ     UP           ;Si, llama a SRASUB
        CMPA     #$EF        ;Tecla "ABAJO" presionada?
        BEQ     DW           ;Si, llama a SRABAJ
        CMPA     #$FE        ;Tecla "ESC" presionada?
        BEQ     SALPROT      ;Si, salir a MENU1
        CMPA     #$F7        ;Tecla "MEN" presionada?
        BEQ     SALPROT      ;SI, salir a MEN1
        CMPA     #$FB        ;Tecla "ENT" presionada?
        BEQ     ENT2         ;SI, Salta a ENT2
        JSR     CLRTEC      ;Borra la tecla presionada
        BRA     PROTEC1
SALPROT JMP     MENU1

UP      JSR      SRASUB
RETUPDW JSR      CLRTEC
    
```

```

DW      BRA      PROTEC1
        JSR      SRABAJ
        BRA      RETUPDW

ENT2    LDAA     SELEC          ;Selección opción 1?
        CMPA     #$01          ;Si, salta a SOBREI
        BEQ     SOBREI
        CMPA     #$02          ;Selección opción 2?
        BEQ     SOBITI         ;Si, salta a SOBITI
        JSR     CLRTEC
        BRA     PROTEC1
SOBITI  JMP     INVER
*****
* Protección de sobrecorriente (50)
* Condiciones iniciales PICKUP = 10 Amperes
*****

SOBREI  JSR     BLKON
        LDAA     #$01
        STAA     POSHOR        ;Posición inicial del cursor
        LDX     #!100
        STX     PICKUP        ;Valor inicial 10.0 Amperes
        JSR     LCDBUSY
        JSR     LCDCLR
SOBREIB LDX     #M3TEXTA       ;Texto Sobrecorriente
        JSR     LCDPRINT
        JSR     IMPRPKU
        CLRA
        STAA     ACT5X        ;Inhabilita protección
        JSR     IMPRHAB
        JSR     IPOSH
        JSR     INIADC
        JSR     INIOC4
        LDAA     #$FF
        STAA     SINCF

SOBREI2 JSR     CLRTEC
        JSR     PROT50
        JSR     TECLADO
        LDAA     TECPRES
        CMPA     #$FE          ;Tecla "ESC" presionada?
        BEQ     PROTRET        ;Si, regresar a PROTEC
        CMPA     #$F7          ;Tecla "MEN" presionada?
        BEQ     PROTRE2        ;Si, regresa a MENU1
        CMPA     #$7F          ;Izquierda, recorre dígito
        BEQ     IZQH
        CMPA     #$BF          ;Derecha, recorre dígito
        BEQ     DERH
        CMPA     #$DF          ;Arriba, suma offset
        BEQ     SUMAH
        CMPA     #$EF
        BEQ     RESTH          ;Abajo, resta offset
        CMPA     #$FB          ;ENTER?, si, complementa ACT5X
        BNE     NOCOM50
        COM     ACT5X
        JSR     IMPRHAB
        JSR     IPOSH
NOCOM50 LDAB     ACT5X
        CMPB     #$00          ; Protección Inhabilitada?
        BEQ     NOHAB50       ;Si, sale protección
        LDAA     PROTR
    
```

```

        CMPA    #$FF
        BEQ     ACTIVO
NOHAB50 DEY           ;Actualiza Valores
        BNE    SOBREI2
        JSR    IMPIABC
        LDY    #$0F
        BRA    SOBREI2

PROTRET JSR    BLKON
        JMP    PROTEC           ;Regresa a PROTEC
PROTRE2 JMP    MENU1

IZQH    LDAA   POSHOR           ;Cursor a la Izquierda
        INCA
        CMPA   #$04
        BNE    SALDERH
        LDAA   #$01
SALDERH STAA   POSHOR
        JSR    IPOSH
        BRA    SOBREI2
DERH    LDAA   POSHOR           ;Cursor a la derecha
        DECA
        CMPA   #$00
        BNE    SALDERH
        LDAA   #$03
        BRA    SALDERH
SUMAH   LDD    PICKUP           ;PICKUP<-----PICKUP + OFFSET
        ADDD   OFFSET
        CPD    #!1000
        BLO    ENRANG
        LDD    #!1000
ENRANG  STD    PICKUP
        JSR    IMPRPKU
        JSR    IPOSH
        JMP    SOBREI2

RESTH   LDD    PICKUP           ;PICKUP<-----PICKUP - OFFSET
        SUBD   OFFSET
        BMI    NEGH
        BRA    ENRANG
NEGH    LDD    #!0000
        BRA    ENRANG

```

```

*****
*      ADVERTENCIA DE SOBRECORRIENTE
*****

```

```

ACTIVO  JSR    LCDCLR           ;Imprime advertencia
        JSR    LEDP5XON        ;Prende leds PG1 a PG3
        LDX    #MADV1
        JSR    LCDPRINT
RETACT  JSR    CLRTEC           ;ESC?
        JSR    TECLADO
        LDAA   TECPRES         ;Si, sale y re establece
        CMPA   #$FE           ;Interruptores
        BNE    RETACT
        CLRA
        STAA   PROTR
        JSR    LEDP5XOF        ;Apaga Leds PG1 a PG3
        JMP    SOBREIB

```

```

IMPRHAB PSHA
        JSR    LCDBUSY
        LDAA  #$80
        STAA  LCDI
        JSR    LCDBUSY
        LDAA  ACT5X
        CMPA  #$00
        BNE  NOACT
        LDAA  #'N'
RETIHAB STAA  LCDD
        PULA
        RTS
NOACT   LDAA  #'S'
        BRA  RETIHAB
    
```

***Protección 51**
***Condiciones iniciales PICKUP = 4 Amperes, DIAL = 1**

```

INVER   JSR    CLRTEC
        JSR    INIP51
        CLRA
        STAA  ACT5X           ;Inhabilita Protección
        LDY  #$0F
INVER1  JSR    CLRTEC
        JSR    PROT50
        JSR    TECLADO
        LDAA  TECPRES
        CMPA  #$FE           ;ESC?
        BEQ  SALINV         ;SI, salta a menú de protección
        CMPA  #$DF           ;Arriba?
        BEQ  SUBIP          ;Si, aumenta Pick up
        CMPA  #$EF           ;Abajo?
        BEQ  BAJIP          ;Si, disminuye Pick up
        CMPA  #$BF           ;Derecha?
        BEQ  SUBDIAL        ;Aumenta DIAL
        CMPA  #$7F          ;Izquierda?
        BNE  INVER2
        JMP  BAJDIAL        ;Disminuye Dial
INVER2  CMPA  #$FB           ;Enter?
        BNE  NOCOM51        ;Si, complementa ACT5X
        COM  ACT5X
        JSR    IMPRHAB
NOCOM51 DEY
        CPY  #$00           ;Actualiza Valores
        BNE  SIGINV
        JSR    IMPIABC
        LDY  #$0F
SIGINV  LDAA  PROTR           ;PROTR=FF
        CMPA  #$FF
        BNE  INVER1        ;Si, activa protección 51
        LDAA  ACT5X
        BEQ  INVER1
        JSR    INIOC1
        JSR    ACTIVO2
        BRA  INVER1
SALINV  JMP    PROTRET
    
```

```

SUBIP   LDD     PICKUP           ;PICKUP = PICKUP + 2
        ADDD    #!20             ;SI PICKUP >14.0 A
        CPD     #!140            ;PICKUP = 15.0 A
        BLO     ENRANG2
        LDD     #!150            ;Límite SUPERIOR
ENRANG2 STD     PICKUP
ENRANG3 JSR     CURVA
        JSR     IMPRD
        JSR     IMPRPKU
        BRA     INVER1

BAJIP   LDD     PICKUP           ;PICKUP = PICKUP - 2
        CPD     #!150            ;SI PICKUP = 15, PICKUP = 14
        BEQ     RESUNO
        SUBD    #!20             ;SI PICKUP < 4.0 A
        CPD     #$40
        BLO     NEGIP           ;PICKUP = 50.0 A
        BRA     ENRANG2
NEGIP   LDD     #!40
        BRA     ENRANG2
RESUNO  LDD     #!140
        BRA     ENRANG2

SUBDIAL LDAA    DIAL             ;DIAL =DIAL + 1
        CMPA    #!05
        BEQ     DIALUNO
        ADDA    #!10
        STAA    DIAL
        CMPA    #!100           ;SI DIAL > 10
        BLS     ENRANG3        ;DIAL = 10
        LDAA    #!100
SUBDIA2 STAA    DIAL
        BRA     ENRANG3
DIALUNO LDAA    #!10
        BRA     SUBDIA2

BAJDIAL LDAA    DIAL             ;DIAL = DIAL - 1
        SUBA    #!10            ;SI DIAL < 0
        BEQ     NEGD
        BMI     NEGD           ;DIAL = 10
        STAA    DIAL
        BRA     ENRANG3

NEGD   LDAA    #!05
        STAA    DIAL
        BRA     ENRANG3

INIP51 JSR     LCDCLR
        LDX     #M3TEXTB
        JSR     LCDPRINT
        LDX     #!40            ;PICKUP predeterminado 4 A
        STX     PICKUP
        LDAA    #!05            ;DIAL = .5
        STAA    DIAL
        JSR     IMPRPKU        ;Imprime PICKUP
        JSR     IMPRD
        JSR     CURVA          ;Calcula punto de la curva
        ;JSR     IMPRT        ;Imprime tiempo de activación
        JSR     BLKOF          ;Desactiva Parpadeo del cursor
        LDY     #$000F         ;Tiempo inicial de actualización
        LDD     #$0000         ;Tiempo de arranque 0.00 segundos
    
```

```

STD      CONTAD
CLRA
STAA    ACT5X
JSR     IMPRHAB
RTS

ACTIVO2 JSR     LCDCLR
        ;JSR     LEDP5XON      ;Prende PG1-PG3
LDX     #MADV2
JSR     LCDPRINT
RETACT2 JSR     CLRTEC
JSR     IMPRT2
JSR     TECLADO
JSR     PROT50
JSR     CURVA
LDAA    TECPRES
CMPA    #$FE      ;ESC?
BNE     RETACT2
JSR     INIP51
CLRA
STAA    PROTR      ;DESACTIVA PROTECCIÓN
JSR     LEDP5XOF   ;Apaga PG1-PG3
RTS

*****
* Cálculo de la curva      TIEMPO = (DIAL*B)/((I/PICKU)^a-1)+L
* Standard IEEE          INVERSA, B=5.95, a=2, L=0.18
*****
CURVA   PSHX
        PSHA
LDX     #$5F33      ;BETA= 5.95
STX     BETA
LDAA    #$03
STAA    BETA+2
LDX     #$4800
STX     L          ;L=0.18 * 100
LDAA    #$05
STAA    L+2
LDD     PICKUP
JSR     ENTPF
JSR     OP1OP3     ;OP3<-----PICKUP en punto flotante
LDD     IAP
JSR     ENTPF     ;OP1<-----IAP en P.F
JSR     OP3OP2
JSR     DIV       ;OP1<-----IAP/PICKUP
JSR     OP1OP2
JSR     MUL       ;OP1=OP1^2
JSR     UNOOP2
JSR     RESTA     ;OP1<----- ( IAP/PICKUP )^2-1
JSR     OP1OP3     ;OP3<-----OP1
LDAA    #!10
LDAB    DIAL
MUL
JSR     ENTPF

JSR     BETOP2
JSR     MUL       ;OP1=DIAL*BETA
JSR     OP3OP2
JSR     DIV       ;OP1=DIAL*BETA/(( IAP/PICKUP )^2-1)
JSR     LOP2
JSR     SUMA      ;OP1=DIAL*BETA/(( IAP/PICKUP )^2) + L
END     JSR     PFENT
    
```

```

        STD     TIEMPO
        PULA
        PULX
        RTS

OP3OP2  LDX     MANT3           ;OP3<-----OP2
        LDAA    EXP3
        STX     MANT2
        STAA    EXP2
        RTS

UNOOP2  LDX     #$4000         ;OP2<-----1 en P.F.
        STX     MANT2
        LDAA    #$01
        STAA    EXP2
        RTS

BETOP2  LDX     BETA           ;OP2<-----BETA
        STX     MANT2
        LDAA    BETA+2
        STAA    EXP2
        RTS

LOP2    LDX     L              ;OP2<-----L
        STX     MANT2
        LDAA    L+2
        STAA    EXP2
        RTS
    
```

 * Imprime el TIEMPO de activación y DIAL

```

IMPRT2  PSHA
        PSHB
        LDD     CONTAD
        BRA     IMPRTB

IMPRT   PSHA
        PSHB
        LDD     TIEMPO
IMPRTB  STD     SHFTRG
        CLRA
        STAA    SHFTRGH
        JSR     BAD
        LDAA    #$D8
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDI
        JSR     IMPRB
        PULB
        PULA
        RTS

IMPRD   PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA    SHFTRGH
        LDAB    DIAL
        STD     SHFTRG
        JSR     BAD
        LDAA    #$C4
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDI
        JSR     IMPR
        PULB
    
```

```

        PULA
        RTS
*****
*SELECCION DE POSICION
*****
IPOSH   LDAA   POSHOR           ;Imprime la posición horizontal
        CMPA   #$01
        BEQ   HUNO
        CMPA   #$02
        BEQ   HDOS
        CMPA   #$03
        BEQ   HTRES
HUNO    LDAA   #$9C             ;OFFSET = 1
        LDY   #!01
SALHPOS JSR    LCDBUSY
        STAA  LCDI
        STY   OFFSET
        RTS

HDOS    LDAA   #$9A             ;OFFSET = 10
        LDY   #!10
        BRA   SALHPOS

HTRES   LDAA   #$99
        LDY   #!100           ;OFFSET = 100
        BRA   SALHPOS

*-----
IMPRPKU PSHA
        PSHB                   ;Imprime PIKUP
        LDD   PICKUP
        STD   SHFTRG
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
        JSR   BAD
        LDAA  #$98
        JSR   LCDBUSY
        STAA  LCDI
        JSR   IMPR
        PULB
        PULA
        RTS
*****
* MENÚ AJUSTE
*****
AJUSTE  JSR    LCDCLR
        LDAB  TC
        LDX   #AJUS
        JSR   LCDPRINT         ;Imprime Leyenda
        JSR   POSCAJ           ;Actualiza TC NUEVO
        JSR   ACTVTC
        JSR   POSCAJA          ;Actualiza TC ACTUAL
        JSR   ACTVTC
AJUSTE1 JSR    CLRTEC
        JSR   TECLADO
        LDAA  TECPRES
        CMPA  #$FE             ;ESC?
        BNE  AJUS1             ;SI, REGRESA A MENU
        STAB TC
        JMP  MENU1
AJUS1   CMPA  #$DF             ;ARRIBA?

```

```

BNE    AJUS2      ;SI, TC=TC+25
JSR    AJUSA
AJUS2  CMPA    #$EF      ;ABAJO?
BNE    AJUS3      ;SI, TC=TC-25
JSR    AJUSB
AJUS3  CMPA    #$FB      ;ENTER
BNE    AJUS4
LDAB   TC        ;Actualiza TC ACTUAL
JSR    POSCAJA
JSR    ACTVTC
AJUS4  BRA    AJUSTE1

AJUSA  PSHB
LDAB   TC
ADDB   #!25      ;TC=TC+25
STAB   TC
CMPB   #!100
BLS    AJUSA1    ;SI TC>100, TC=25
LDAB   #!100
STAB   TC
AJUSA1 JSR    ACTVTC
PULB
RTS

AJUSB  PSHB
LDAB   TC        ;TC=TC-25
SUBB   #!25
BNE    AJUSB1    ;SI TC=0, TC=100
LDAB   #!25
AJUSB1 STAB   TC
JSR    ACTVTC
PULB
RTS

POSCAJA PSHA      ;Posición del cursor fila 3, col. 13
LDAA   #$A0
BRA    POSCA
POSCAJ PSHA
LDAA   #$E0      ;Posición del cursor fila 4, col. 13
POSCA  JSR    LCDBUSY
STAA   LCDI
PULA
RTS

ACTVTC PSHA
PSHB
CLRA
LDAB   TC
STD    SHFTRG
STAA   SHFTRGH
JSR    BAD
JSR    LCDBUSY    ;IMPRIME TC
JSR    IMPRE
JSR    POSCAJ
PULB
PULA
RTS

*****
*  MENÚ AYUDA
*****
AYUDA  JSR    LCDCLR
LDX    #M6TEXT
    
```

```

        JSR     LCDPRINT
        JSR     BLKOF
AYUDA1  JSR     CLRTEC
        JSR     TECLADO
        LDAA   TECPRES
        CMPA   # $FE      ;ESC?
        BNE   AYUDA2
        JMP   MENU1      ;SI, REGRESA A MENU

AYUDA2  BRA   AYUDA1
    
```

*Rutinas de obtención de las muestras

```

MUESTVA PSHX           ;Obtiene muestras de Va
        LDX   #Va
        JSR   MUEST
        PULX
        RTS

MUESTVB PSHX           ;Obtiene muestras de Vb
        LDX   #Vb
        JSR   MUEST
        PULX
        RTS

MUESTVC PSHX           ;Obtiene muestras de Vc
        LDX   #Vc
        JSR   MUEST
        PULX
        RTS

MUESTIA PSHX           ;Obtiene muestras de Ia
        LDX   #Ia
        JSR   MUEST
        PULX
        RTS

MUESTIB PSHX           ;Obtiene muestras de Ib
        LDX   #Ib
        JSR   MUEST
        PULX
        RTS

MUESTIC PSHX           ;Obtiene muestras de Ic
        LDX   #Ic
        JSR   MUEST
        PULX
        RTS
    
```

***RUTINA DE OBTENCION DE "MUESTRAS" PARA APLICAR LA TDF**

```

MUEST   PSHY
        PSHA
        PSHB

        CLR B
        LDY   #MUESTRAS
SIGM    LDAA   0,X
    
```

```

STAA    0,Y
INX
INY

INCB
CMPB    #$10
BNE     SIGM
PULB
PULA
PULY
RTS
    
```

```

*****
*      Rutina de Mostrar opción seleccionada del Menú
*Por medio de un caracter indica la opción seleccionada
*en el Display
*****
    
```

```

MOSOPC  PSHA
        PSHB
        LDAA    #$0D
        STAA    LCDI
        LDAA    SELEC          ;Recupera el número de selección
        CMPA    #$01
        BEQ     SEL1
        CMPA    #$02          ;Verifica la opción seleccionada y
        BEQ     SEL2          ;salta a la rutina correspondiente
        CMPA    #$03
        BEQ     SEL3
        CMPA    #$04
        BEQ     SEL4
        CMPA    #$05
        BEQ     SEL5
        CMPA    #$06
        BEQ     SEL6

SALOPC  PULB
        PULA
        RTS
    
```

```

SEL1    LDAA    #$C0          ;Fila 2, columna 0
RETOPC  JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDI
        BRA     SALOPC
SEL2    LDAA    #$94          ;Fila 3, columna 0
        BRA     RETOPC
SEL3    LDAA    #$D4          ;Fila 4, columna 0
        BRA     RETOPC
SEL4    LDAA    #$CC          ;fila 2, columna 13
        BRA     RETOPC
SEL5    LDAA    #$A0          ;fila 3, columna 13
        BRA     RETOPC
SEL6    LDAA    #$E0          ;fila 4, columna 13
        BRA     RETOPC
    
```

*FIN DE RUTINA

```

*****
*      Rutina de selección de opciones del Menú
*
    
```

```

*****
SRASUB  PSHA
        LDAA      SELEC          ;Decrementa SELEC
        DECA
        STAA      SELEC          ;Salva SELEC
        CMPA      #$00          ;SELEC <= 0?
        BNE      SALSUB        ;NO, Sale de la rutina
        LDAA      SMEN          ;SELEC <---- SMEN - 1
        DECA
        STAA      SELEC
SALSUB  JSR      MOSOPC          ;Imprime selección
        PULA
        RTS

SRABAJ  PSHA
        PSHB
        LDAA      SELEC          ;SELEC = SELEC+1
        INCA
        STAA      SELEC
        CMPA      SMEN          ;SELEC >= SMEN
        BNE      SALAB          ;NO, Salir
        LDAA      #$01          ;SELEC <---- #1
        STAA      SELEC
SALAB   JSR      MOSOPC          ;Imprime selección
        PULB
        PULA
        RTS
    
```

```

*-----
*
*                      SUBROUTINAS
*-----
    
```

```

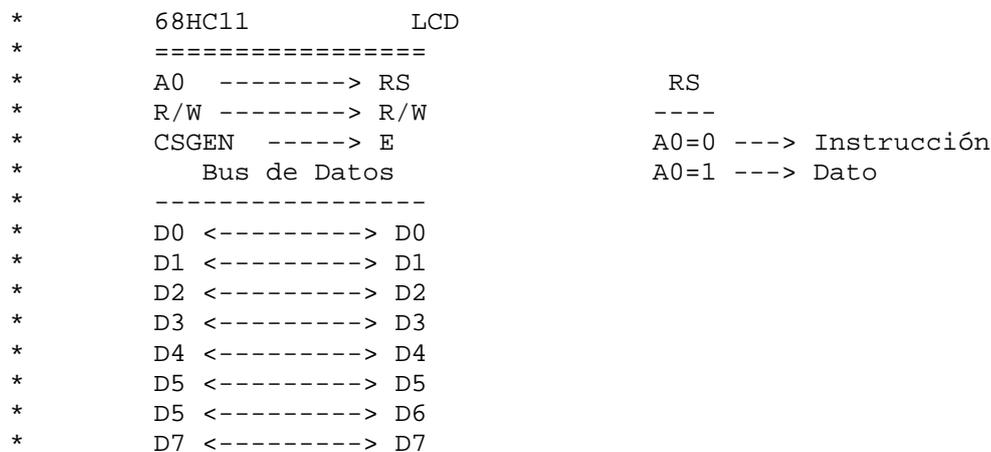
*****
*
*                      LCD
*
    
```

```

*          Control del LCD 4x20 por el 68HC11
*          -----
*  LCD conectado al Bus del 6811.
*  Se utiliza como RAM externa en la dirección: $1060-$17FF
*
    
```

```

*****
*  Conexión del 68HC11 al LCD:
*
    
```



```

*****
*  Rutina de inicialización del LCD.          Configuración:
    
```

```

* altera el Acca
*****

LCDINIT  ldx      #$04
LCDINIT1 ldaa     #$38          ; Función set:
        staa     LCDI          ; Modo: 8 bits, 2 líneas
        jsr      LCDBUSY
        dex
        bne      LCDINIT1
        ldaa     #$0C          ; Control On/Off:
        staa     LCDI          ; Display: On, Cursor: Off
        jsr      LCDBUSY
        ldaa     #$01          ; Borrar display
        staa     LCDI
        jsr      LCDBUSY
        ldaa     #$80          ; posición inicial 1 línea 1 posición
        staa     LCDI
        jsr      LCDBUSY

        RTS

*****
* Rutina de espera del bit busy del LCD este borrado
* Salva el Acca.
*****

LCDBUSY  psha
LCDBUSY1 ldaa     LCDI          ; leer en LCD
        anda     #$80          ; comprueba el bit 7 (Busy)
        bne     LCDBUSY1      ; bucle si Z=0.(Busy =1, ocupado)
        pula
        RTS

*****
* Rutina de borrado y cursor a origen del LCD
*****

LCDCLR  psha
        ldaa     #$01          ;Borra LCD
        staa     LCDI
        jsr      LCDBUSY
        ldaa     #$80          ; Posiciona en el origen del LCD
        staa     LCDI
        jsr      LCDBUSY
        pula
        RTS

*****
* Rutina de envío de una cadena de caracteres al LCD.
* La cadena debe terminar con la marca EOT.
* Entrada: Reg. X contiene la disección de la cadena a enviar
* Salida: Ninguna
*****

LCDPRINT psha
LCDPRT1  ldaa     0,X          ; AccA <--- dirección de la cadena en AccA
        cmpa     #EOT         ; es fin de la cadena (EOT)
        beq     LCDPRT2      ; si es fin terminar
        staa     LCDD         ; enviar carácter al LCD
        jsr      LCDBUSY     ; esperar a que el LCD esté listo
    
```

```

inx          ; siguiente carácter de la cadena
bra  LCDPRT1 ; repetir todo

LCDPRT2  pula
        RTS

* FIN DE RUTINAS DEL LCD

*****
*          TEXTOS A ENVIAR AL LCD
*****
*

textol1  DW      "  PROYECTO DE TESIS  "
        DW      "          VER.1.0    "
        DW      "          CENTINELA  "
        DW      "  LABORATORIO DE PSE  "
        FCB     EOT          ; fin de textol

*TEXTOS DEL MENÚ PRINCIPAL

MPTEXT   DW      "  MENU PRINCIPAL  "
        DW      "2 CONTROL  5 COM1  "
        DW      "1 MEDICION  4 AJUSTE"
        DW      " 3 PROT.    6 AYUDA  "
        FCB     EOT

*TEXTOS DEL MENU DE MEDICION

M1TEXTA  DW      "          VOLTAJE    "
        DW      "Vb=  --- ,  ---  Rms "
        DW      "Va=  --- ,  ---  Rms "
        DW      "Vc=  --- ,  ---  Rms "
        FCB     EOT

M1TEXTB  DW      "          CORRIENTE  "
        DW      "Ib=  --- ,  ---  Rms "
        DW      "Ia=  --- ,  ---  Rms "
        DW      "Ic=  --- ,  ---  Rms "
        FCB     EOT

M1TEXTC  DW      "          FRECUENCIA  "
        DW      "          Hz          "
        DW      "          "          "
        DW      "          "          "
        FCB     EOT

M1TEXTD  DW      "  Factor de Potencia  "
        DW      "FPB=                    "
        DW      "FPA=                    "
        DW      "FPC=                    "
        FCB     EOT

M1TEXTE  DW      "  POTENCIA ACTIVA  "
        DW      "Pb=          WATTS    "
        DW      "Pa=          WATTS    "
        DW      "Pc=          WATTS    "
        FCB     EOT

M1TEXTF  DW      "  POTENCIA REACTIVA  "
        DW      "Qb=          VAR      "

```

```

        DW      "Qa=      VAR      "
        DW      "Qc=      VAR      "
        FCB     EOT

M1TEXTG DW      "  POTENCIA APARENTE "
        DW      "Sb=      VA      "
        DW      "Sa=      VA      "
        DW      "Sc=      VA      "
        FCB     EOT

M3TEXT  DW      "  PROTECCION      "
        DW      "2 SOBRECORRIENTE DE "
        DW      "1 SOBRECORRIENTE(50) "
        DW      "  TIEMPO INVERSO(51) "
        FCB     EOT

M3TEXTA DW      "  PROTECCION (50) "
        DW      "Ip: 00.0  A Ib=  ---"
        DW      "          Ia=  ---"
        DW      "          Ic=  ---"
        FCB     EOT

M3TEXTB DW      "  PROTECCION (51) "
        DW      "Im:      A Ib=  ---"
        DW      " D:      Ia=  ---"
        DW      "          Ic=  ---"
        FCB     EOT

M2TEXT  DW      "Limites de TENSION  "
        DW      "TMin=      Vb=  ---"
        DW      "TMax=      Va=  ---"
        DW      "          Vc=  ---"
        FCB     EOT

M5TEXTA DW      "  COM1      "
        DW      "  ++++++      "
        DW      "  RS-232 ACTIVO  "
        DW      "  (9600, N, 1)  "
        FCB     EOT

M6TEXT  DW      " Proyecto de TESIS  "
        DW      "Augusto Hinze Glz.  "
        DW      "Asesor y Sustentante"
        DW      "Cesar Mendoza Medina"
        FCB     EOT

MADV1   DW      "  PROTECCION (50)  "
        DW      "  PRESIONE  ESC  "
        DW      "  ACTIVADA      "
        DW      "  PARA REESTABLECER  "
        FCB     EOT

MADV2   DW      "  PROTECCION (51)  "
        DW      "  PRESIONE  ESC  "
        DW      "  ACTIVADA      "
        DW      "Top=      seg.  "
        FCB     EOT

AJUS    DW      "  AJUSTE      "
        DW      "  TC ACTUAL  25/5  "
    
```

```

        DW      "
        DW      "  TC NUEVO   25/5  "
        FCB     EOT
    
```

```

LEYP59  DW      "P59 !ACTIVA!"
        FCB     EOT
    
```

```

LEYP27  DW      "P27 !ACTIVA!"
        FCB     EOT
    
```

```

NORMP   DW      "-----"
        FCB     EOT
    
```

* FIN DE TEXTOS

```

*****
*RUTINAS DE ENCENDIDO Y APAGADO DEL LCDLED Y PUERTOS DE SALIDA G Y D
*****
    
```

```

LCDLEDIN PSHX
        PSHA
        LDX     #$1000    ;PG0-PG4 CONFIGURADO COMO SALIDA
        BSET   DDRG,X,%00011111
        BCLR   PORTG,X,%00011111
    
```

```

FINLED   PULA
        PULX
        RTS
    
```

```

PORTDIN  PSHX
        PSHA
        LDX     #$1000
        BCLR   SPCR,X,$F0  ;Desactiva SPI para poder utilizar   PD2-PD5
        BSET   DDRD,X,%111100
        BCLR   PORTD,X,%111100
        BRA    FINLED
    
```

```

LCDLEDOF PSHX
        PSHA
        LDX     #$1000
        BCLR   PORTG,X,$01 ;Apaga led de LCD
        BRA    FINLED
    
```

```

LCDLEDON PSHX
        PSHA
        LDX     #$1000    ;Prende led de LCD
        BSET   PORTG,X,$01
        BRA    FINLED
    
```

```

LEDPD    PSHX                                ;Prende y apaga LED de puerto D
        LDX     #$1000    ;Dato en A
        STAA   PORTD,X
    
```

```

FINLED2  PULX
        RTS
    
```

```

LEDP5XON PSHX                                ;Prende PG0 a PG3
        LDX     #$1000
        BSET   PORTG,X,%1110
        BSET   PORTD,X,%100000 ;Prende Buzzer
        BRA    FINLED2
    
```

```

LEDP5XOF PSHX
        LDX     #$1000    ;Apaga PG0 a PG3
        BCLR   PORTG,X,%1110
        BCLR   PORTD,X,%100000 ;Apaga Buzzer
        BRA    FINLED2
    
```

```

*****
*      RUTINA DE INICIALIZACIÓN DEL SCI
*****

SCIINI   LDX     #$1000
         LDAA    #$30
         STAA   BAUD,X ; Velocidad transmisión: 9600 baudios
         LDAA    #$00
         STAA   SCCR1,X
         LDAA    #$0C
         STAA   SCCR2,x
         RTS

*****
*      Rutina de rastreo del teclado
*      -----
*      Teclado conectado al puerto A del 6811.
*      Nomenclatura del teclado:
*
*      PA0 ---- ESCAPAR      (ESC)
*      PA1 ---- IC2          (IC2)      ;Pin utilizado como entrada de interrupción
*      PA2 ---- ENTRAR      (ENT)
*      PA3 ---- MENÚ        (MEN)
*      PA4 ---- ABAJO       (V)
*      PA5 ---- ARRIBA      (^)
*      PA6 ---- DERECHA     (>)
*      PA7 ---- IZQUIERDA  (<)
*
*
*****
TECLADO PSHA
        PSHB
        LDAA   PUERTO A ; Lee el contenido del puerto A
        ORAA   #$02     ; Mascara del pin PA2
        CMPA   #$FF     ; Verifica si alguna tecla se ha presionado
        BEQ   FINTEC   ; Si no, regresa
        LDAA   PUERTO A ; Lee nuevamente el puerto
        ORAA   #$02
        TAB   ; A -----> B
REGRESO LDAA   PUERTO A ; Sigue presionada la tecla?
        CBA
        BEQ   REGRESO ; SI, Regresa
RET     LDAA   PUERTO A ; Esta presionada alguna tecla?
        ORAA   #$02
        CMPA   #$FF
        BNE   RET     ; SI, regresa
        STAB   TECPRES ; El contenido del teclado se encuentra en B
FINTEC PULB
        PULA
        RTS

CLRTEC PSHA
        CLRA
        STAA   TECPRES
        PULA
        RTS

* FIN DE RUTINA DE RASTREO DE TECLADO

```

```

*****
*           Subrutinas de operaciones en Punto Flotante           *
*                                                                 *
*                                                                 *
*****
* Todas las subrutinas de de punto flotante usan                 *
* dos operandos de 3 bytes localizados en RAM en OP1,OP2        *
* Cada uno está organizado de la siguiente manera:              *
*       7 bits de exponente + 1 bit de signo (Complemento a 2)  *
*       15 bits de mantisa + 1 bit de signo                      *
*           (15 bits en notación positiva)                       *
* El bit de signo es siempre el bit más significativo           *
*                                                                 *
* Las subrutinas implementadas son:                               *
*       1. Suma          SUMA (FADD)  OP1+OP2                    *
*       2. Resta        RESTA (FSUB)  OP1-OP2                    *
*       3. División     DIV  (FDIV)   OP1/OP2                    *
*       4. Multiplicación MUL  (FMUL)  OP1*OP2                    *
*                                                                 *
* Al salir de éstas, OP1 contiene el resultado, OP2 es destruido *
* Dos subrutinas de conversión también son incluidas:           *
* FLOATINT convierte un número en PF contenido en opl a un número *
* entero en el doble acumulador D                               *
*                                                                 *
* INTFLOAT Convierte un número entero contenido en el doble acumulador*
* D a un número en punto flotante en OP1                         *
*****

```

```

SUMA    EQU *
        ;OP1 + OP2 => OP1
        PSHA
        PSHB
        PSHX
        PSHY
        JSR FADD
        PULY
        PULX
        PULB
        PULA
        RTS

FADD    EQU *
        BSR ALIGN
        BVS FADDEX          ;Si diferencia de exponentes muy grande, regresa.
        LDAA MANT1          ;Bit de signo de mantisa 1 en X.
        ANDA #$80
        XGDX
        LDAA MANT1
        EORA MANT2
        BMI SUBMANT          ;Si signos son iguales
        BSR GETABS          ;Entonces suma parte positiva de mantisas.
        ADDD MANT2
        BPL FADD1           ;Si MSBit del resultado set, entonces
        INC EXP1            ;overflow, incrementa exponente, hasta
        BVC FADD2           ;limitar valor al mayor.
        DEC EXP1
        LDD #$7FFF
        BRA FADD1

FADD2   LSRD
FADD1   STX MANT2          ;Salva bit de signo
        STD MANT1          ;y resta, antes
        BSR NORM           ;normalizar.

```

```

FADDEX   RTS
SUBMANT  BSR GETABS           ;si signos son diferentes,
          SUBD MANT2         ;entonces resta parte positiva de mantisas.
          BSR CONVFP        ;Cambia resultado en complemento a dos a p.f.
          BRA FADD1
*
GETABS   BCLR MANT2,$80      ;Borra bit de signo en mantisa 2
          LDD MANT1
          ANDA #$7F
          RTS
*
RESTA    EQU *               ;OP1 - OP2 => OP1

          PSHA
          PSHB
          PSHX
          PSHY
          JSR FSUB
          PULY
          PULX
          PULB
          PULA
          RTS

FSUB     EQU *
          LDAA MANT2
          ADDA #$80           ;Niega signo de mantisa 2
          STAA MANT2         ;y realiza suma
          BRA FADD
*
ALIGN    CLRA
          LDAB EXP1
          SUBB EXP2
          BPL POS             ;si EXP1<EXP2 entonces
          BVS ALIGNNEX       ;si diferencia de exponentes muy grande,
          NEGB               ;obtiene valor absoluto de la diferencia
          XGDY               ;X. será # de bits a recorrer.
          LDD MANT1
          BSR ALIGN1
          STD MANT1
          LDAA EXP2           ;Actualiza valor del exponente
          STAA EXP1
          RTS

POS      BVC POS1            ;Si la diferencia es muy grande entonces
          LDD MANT2           ;copia OP2 a OP1
          STD MANT1
          LDAA EXP2
          STAA EXP1
          SEV                 ;reestablece bandera de llamado de rutina
          RTS                 ;regresa.
POS1     XGDY                ;cambia número de bits a recorrer en X
          CPX #0              ;Si no se requiere
          BEQ ALIGNNEX       ;entonces regresa
          LDD MANT2
          BSR ALIGN1         ;si requiere alinea mant. 2 con mant. 1
          STD MANT2
ALIGNNEX RTS                 ;(Los exponentes son iguales).
*
ALIGN1   BMI ALIGN3         ;Si bit de signo clear
ALIGN2   LSRD               ;entonces alinea ACCD

```

```

        DEX
        BNE ALIGN2
        RTS
ALIGN3  ANDA #$7F           ;de otro modo remueve bit de signo
        BSR ALIGN2         ;Alinea.
        ORAA #$80          ;Reestablece bit de signo
        RTS                 ;regresa
*
CONVFP  EQU *
        XGDX                ;Resultado en X, bit de signo en ACCD
        STX MANT2           ;resultado en complemento a 2.
        ADDA MANT2          ;corrige bit de signo
        ANDA #$80           ;lo enmascara.
        XGDX                ;Reestablece resultado en ACCD, bit de signo corregido
en X
        TSTA                ;Actualiza CC reg
        BPL CONVFPPEX       ;Sólo convierte números negativos
        COMA                ;Complement0 a 1 hi byte
        NEGB                ;Convierte lo byte a complemento a 2.
        BCS CONVFPPEX
        INCA                ;Convierte hi byte a complemento a 2 si ACCB=0
CONVFPPEX RTS
*
NORM    EQU *
        ;!ACCD = valor sin signo a ser normalizado.
        ;!MANT2= bit de signo del valor.
        ;Cero no puede ser normalizado!
NORM1   BEQ NORMEX
        DEC EXP1
        BVS NORM2           ;Resultado underflow (i.e. EXP1 < $80)
        LSLD
        BPL NORM1          ;Espera hasta que MSB set
        LSRD                ;Borra bit de signo
NORM2   INC EXP1            ;y ajusta exponente
NORMEX  ORAA MANT2          ;Actualiza bit de signo y
NORM3   CPD #$8000         ;remueve signo de -0 mantisa.
        BNE NORMEX1
        CLRA
NORMEX1 STD MANT1          ;Guarda resultado normalizado.
        RTS
*
DIV     EQU *
        ;OP1 / OP2 => OP1
        PSHA
        PSHB
        PSHX
        PSHY
        JSR FDIV
        PULY
        PULX
        PULB
        PULA
        RTS
FDIV    EQU *
        LDD MANT2
        BEQ MAXRES         ;División por cero?- valor máximo
        LDAA MANT1
        EORA MANT2
        BMI FDIV1          ;Si los signos son iguales
        LDY #0              ;entonces signo final positivo
        BRA FDIV2
FDIV1   LDY #$8000         ;de otra forma signo es negativo
FDIV2   LDAB EXP1
    
```

```

SUBB EXP2
BVC FDIV3           ;Si V bit set entonces under/overflow
STAA MANT1         ;!Actualiza resultado de signo
BCC MINRES         ;!Si C bit clear forzar resultado a límite mínimo
BRA MAXRES         ;!de otro modo forzar resultado a límite máximo,
manteniendo el signo.
FDIV3  STAB EXP1     ;Guarda resultado del exponente.
      JSR GETABS     ;Carga ACCD con parte +ive de MANT1
      LDX MANT2     ;y X con parte +ive de MANT2
      IDIV
      STX MANT1     ;Guarda parte entera del resultado en ACCD
      LDX MANT2     ;y cargar nuevamente denominador.
      FDIV
      XGDX         ;Resultado en ACCD
COMBINE TST MANT1
      BNE COMBINE1
      TST MANT1+1
      BEQ FDIV5     ;Si parte entera no es cero entonces
COMBINE1 INC EXP1    ;combinarla con parte fraccionaria
      CLC         ;y ajusta exponente.
      ROR MANT1
      ROR MANT1+1
      RORA
      RORB
      BRA COMBINE
FDIV5  LSRD         ;Borra bit de signo del resultado ajustado
      STY MANT2
      ADDD MANT2    ;Actualiza bit de signo
      BRA NORM3    ;y guarda resultado
*
MAXRES BSET MANT1,$7F ;Maximiza MSbyte de mantisa, guardando signo.
      LDD #$FF7F   ;Maximiza LSbyte de mantisa, y exponente.
      STD MANT1+1
      RTS
*
MINRES CLRA         ;Resultado = 0
      CLR B
      STD MANT1
      CLR EXP1
      RTS
*
MUL    EQU *
      PSHA
      PSHB
      PSHX
      PSHY
      JSR FMUL
      PULY
      PULX
      PULB
      PULA
      RTS
FMUL   EQU *
      LDAB EXP1    ;Primero, suma exponentes.
      ADDB EXP2
      BVC FMUL1    ;Si V bit set entonces es un under/overflow, entonces
      STAA MANT1   ;!Actualiza resultado del nit de signo
      BCS MINRES   ;!Si C bit set entonces forzar valor mínimo
      BRA MAXRES   ;!de otro modo forzar al límite máximo, guardando signo

```

```

FMUL1   STAB EXP1           ;Establecer el resultado del exponente.
        LDAA MANT1         ;Evalúa resultado del signo, y
        EORA MANT2         ;lo pone en el registro X
        XGDX
        BCLR MANT1,$80     ;Hacer ambos operandos positivos
        BCLR MANT2,$80
        BSR CONVFP1       ;Convertir MANT1,MANT2 a formato de entero sin signo
*
        LDAA MANT1         ;!y regresa con resultado de bit de signo + MANT1 en Y.
        LDAB MANT2         ;multiplica MSbytes de mantisas.
        MUL
        XGDX               ;Salva 1er resultado parcial en X
        LDAA MANT1+1       ;multiplicación cruzada
        LDAB MANT2
        MUL
        ADCA #0
        TAB
        CLRA               ;guarda segundo resultado parcial (ACCD)
        STX MANT1          ;suma 1er y 2do resultados parciales
        ADDD MANT1
        XGDX               ;Guarda resultado parcial actualizado.
        STY MANT1          ;guarda MANT1
        LDAA MANT1         ;Multiplicación cruzada nuevamente.
        LDAB MANT2+1
        MUL
        ADCA #0
        TAB
        CLRA               ;3er Resultado parcial en ACCD
        STX MANT1          ;lo suma con en resultado parcial guardado.
        ADDD MANT1
        BSR CONVIFP       ;Convierte entero en ACCD a formato PF, y guarda.
*
*
*
        RTS
*
CONVFP1 EQU *             ;Entra con +ive MANT1,MANT2: signo resultante en X.
        LSL MANT1+1       ;De-normalizar ambos operandos.
        ROL MANT1
        LSL MANT2+1
        ROL MANT2
        LDD MANT1
        CPX #0
        BPL FPI1
        ORAB #1
FPI1    XGDY               ;Salva resultado signo + operando 1 en Y.
        RTS
*
CONVIFP EQU *
        LDX #0
        STX MANT2
        STD MANT1         ;Temporalmente guarda resultado.
        XGDY               ;Mueve signo de bit resultante
        LSRD
        ROR MANT2         ;a MANT2
        LDD MANT1
        LSRD
        JSR NORM           ;normaliza mantisa.
IFP2    RTS               ;Regresa con el resultado guardado en MANT1.
*
*
PFENT   EQU *             ; Conversión Punto Flotante a Entero
        ; D<-----OPl
    
```

```

FLOATINT EQU *
        CLRB
        LDAA EXP1           ;Si exponente <= 0
        BGT FLTINT1       ;entonces borra ACCD y regresa.
        CLRA
        RTS
FLTINT1 CLRA               ;de otra manera
        LSL MANT1+1       ;ajusta mant, destruye bit de signo
        ROL MANT1
FLTINT2 LSL MANT1+1       ;entonces mueve mantisa al ACCD
        ROL MANT1
        ROLB
        ROLA
        DEC EXP1
        BNE FLTINT2       ;hasta que exponente = 0
        RTS

*
ENTPF   EQU *             ; Entero a Punto Flotante   OP1 <----- D
INTFLOAT EQU *
        LDX #0
        STX MANT1
        INX
        STX EXP1
INTFLT1 LSRD              ;Mueve entero a mantisa F.P.
        ROR MANT1
        ROR MANT1+1
        INC EXP1          ;ajusta exponente en cada bit recorrido.
        CPD #0
        BNE INTFLT1       ;Cuando no existan más bits en ACCD
        ROR MANT1         ;borra bit de signo entero >=0
        ROR MANT1+1
        RTS

*****
*                               RAÍZ CUADRADA
*
* El número al que se va a sacar raíz cuadrada debe colocarse en OP3 en
* formato de Punto Flotante
*
* El valor de la raíz cuadrada se guarda en TEMPR
* TEMPR <----- OP3 ^ 0.5
*****

*

RAIZ    PSHA              ; Salva acumuladores y registros
        PSHB
        PSHX
        PSHY

        JSR   FRAIZ

        PULY
        PULX              ; Recupera registros y acumuladores
        PULB
        PULA
        RTS

FRAIZ   LDX  #$4000       ; TEMPR <----- #256 En formato de PF
        STX  TEMPR        ; primera aproximación
    
```

```

        LDAA #$0A
        STAA TEMPR+2
        LDAB #$0          ; Número de iteraciones
ITER    LDX  MANT3          ; OP1 <----- OP3
        STX  MANT1
        LDAA EXP3
        STAA EXP1
        LDX  TEMPR          ; OP2 <----- TEMPR
        STX  MANT2
        LDAA TEMPR+2
        STAA EXP2
        JSR  DIV            ; OP1 <----- OP1/OP2
        LDX  TEMPR          ; OP2 <----- TEMPR
        STX  MANT2
        LDAA TEMPR+2
        STAA EXP2
        JSR  SUMA          ; OP1 <----- OP1 + OP2
        LDX  #$4000        ; OP2 <----- #2
        STX  MANT2
        LDAA #$02
        STAA EXP2
        JSR  DIV            ; OP1 <----- OPI/OP2
        LDX  MANT1          ; TEMPR <----- OP1
        STX  TEMPR
        LDAA EXP1
        STAA TEMPR+2
        INCB                ; Incrementa contador de iteraciones
        CMPB #$0B          ;11 Iteraciones
        BNE  ITER          ; Si no es igual a cero lo hace nuevamente
        RTS
    
```

*FIN DE RUTINAS DE LAS OPERACIONES DE PUNTO FLOTANTE

```

*****
*
*      Rutina de conversión Binario a Decimal
*
*      11111111  11111111  11111111
*      BYTE 3    BYTE 2    BYTE 1
*
*      Los resultados se alojan en;
*
*              09 09 09 09 09 09 09 09
*      VALOR   8  7  6  5  4  3  2  1
*
*
*      BAD() - CONVERTIDOR BINARIO-DECIMAL
*      Valores de entrada SHFTRGH (parte alta BYTE 3),
*      SHFTRG (parte media BYTE 2), y SHFTRG+1 (parte baja BYTE 1)
*      El resultado se aloja en VALOR1 a VALOR+8
*****
    
```

```

BAD:    PSHA
        PSHB
        PSHX
        PSHY
        LDX  #POTTBL      ; INICIO DE LA TABLA DE POTENCIAS
        LDY  #VALOR       ; ÁREA DE RESULTADO
        LDD  #$0000      ; CARGA CERO
    
```

```

        STD      0,Y          ;BORRAR DÍGITO
        STD      2,Y          ;BORRAR DÍGITO
        STD      4,Y          ;BORRAR DÍGITO
        STD      6,Y          ;BORRAR DÍGITO
BTA:    LDAA     SHFTRG+1     ;CARGAR BYTE 1 (PARTE BAJA)
        SUBA     2,X          ;RESTAR DE 10
        STAA     TEMP        ;SALVAR BYTE 1 NUEVO
        LDD      SHFTRGH     ;LOAD HI BYTE
        BCC      BTB         ;CHECAR SI HAY ACARREO
        SUBD     #$0001      ;RESTAR 1
        BCS      BTNEXT      ;SI NO EXISTE ACARREO IR A SIGUIENTE (BTNEXT)
BTB:    SUBD     0,X          ;RESTAR DE 10
        BCS      BTNEXT      ;SALTA SI ACARREO
        INC      0,Y          ;INCREMENTA VALUE
        STD      SHFTRGH     ;SALVAR PARTE ALTA ACTUALIZADA
        LDAA     TEMP        ;CARGA PARTE BAJA ACTUALIZADA
        STAA     SHFTRG+1    ;SALVA PARTE BAJA
        BRA      BTA         ;BUCLE
BTNEXT: INX                ;SIGUIENTE DE LA TABLA DE POTENCIAS DE 10
        INX                ; "
        INX                ; "
        INY                ; "
        CPX      #PWREND     ;VERIFICA FIN DE LA TABLA
        BLO      BTA         ;REGRESA SI FALTAN DATOS DE LA TABLA
        LDAA     SHFTRG+1    ;
        STAA     0,Y         ;SALVA EL ÚLTIMO DÍGITO
        PULY                ;RECUPERA Y
        PULX                ;RECUPERA X
        PULB                ;RECUPERA ACUMULADOR B
        PULA                ;RECUPERA ACUMULADOR A
        RTS
    
```

* Fin de las subrutinas relativas a BAD

*Tabla de potencia

```

POTTBL: FDB      $9896          ;10,000,000
        FCB      $80
        FDB      $0F42          ;1,000,000
        FCB      $40
        FDB      $0186          ;100,000
        FCB      $A0
        FDB      $0027          ;10,000
        FCB      $10
        FDB      $0003          ;1,000
        FCB      $E8
        FDB      $0000          ;100
        FCB      $64
        FDB      $0000          ;10
        FCB      $0A
        FDB      $0000          ;1
        FCB      $01
    
```

PWREND: END

```

*****
*                               Rutina de Transformada Discreta de Fourier
*
* Las muestras a las que se le aplica la TDF se alojan en MUESTRAS en formato
*Binario, Los resultados en forma rectangular se alojan en REAL e IMAG y los
* resultados e forma polar en ANG y MODULO, todos en formato de PF
*****
    
```

```

TDF      PSHA
        PSHB
        PSHX
        PSHY
        LDX      #$0000      ; REAL <----- 0.00  En formato de
        STX      REAL      ; punto flotante
        LDAA     #$01      ;
        STAA     REAL+2    ;
        STX      IMAG      ; IMAG <----- 0.00
        STAA     IMAG+2    ;
        LDAA     #$10      ; Conteo de las muestras #16
        LDX      #TDFTAB   ; Carga inicio de la tabla
        LDY      #MUESTRAS ; Carga inicio de las muestras
SIG      JSR      MUESTOP1 ; OP1 <----- MUESTRA (Y) Convertida a PF
        JSR      SENOP2   ; OP2 <----- SENO, Conenido de la tabla
        JSR      MUL      ; OP1 <----- OP1*OP2 [MUESTRA(Y)*SEN(X)]
        JSR      REALOP2  ; OP2 <----- REAL
        JSR      SUMA     ; OP1 <----- OP1 + OP2 = [REAL +
MUESTRA(Y)*SEN(X)]
        JSR      OP1REAL  ; REAL<----- OP1
        JSR      MUESTOP1 ; OP1 <----- MUESTRA(Y)Convertida PF
        JSR      COSOP2   ; OP2 <----- COS(X)
        JSR      MUL      ; OP1 <----- OP1*OP2 [MUESTRA(Y)*COS(X)]
        JSR      IMAGOP2  ; OP2 <----- IMAG
        JSR      SUMA     ; OP1 <----- OP1*OP2 [IMAG + MUESTRA(Y)+COS(X)]
        JSR      OP1IMAG  ; IMAG<----- OP1
        INX          ; Siguiete de la tabla de TDF, resultados en
        INX          ; formato de PF del valor de SENO y COSENO
        INX          ; a intervalos de 12.5 grados
        INY          ; Siguiete muestra
        DECA        ; Última muestra?
        BNE        SIG    ; NO, regresa a SIG
        JSR      REALOP2  ; OP2<-----REAL
        JSR      CONSOP1  ; OP1<-----CONS, CONS = 2/16 = 0.125
        JSR      MUL      ; OP1 = REAL * 0.125
        JSR      OP1OP2   ; OP2<-----OP1
        JSR      OP1REALX ; REALX<-----OP1
        JSR      MUL      ; OP1<-----REAL^2
        JSR      OP1REAL  ; REAL<-----REAL^2
        JSR      IMAGOP2  ; OP2<-----IMAG
        JSR      CONSOP1  ; OP1<-----CONS = 0.125
        JSR      MUL      ; OP1<-----IMAG * 0.125
        JSR      OP1OP2   ; OP2<-----OP1
        JSR      OP1IMAGY ; IMAGY<-----OP1
        JSR      MUL      ; OP1<-----IMAG^2
        JSR      REALOP2  ; OP2<-----REAL^2
        JSR      SUMA     ; OP1<-----REAL^2 + IMAG^2
        JSR      OP1OP3   ; OP3<-----OP1
        JSR      RAIZ     ; TEMPR<-----RAIZ(REAL^2 + IMAG^2)
        JSR      TMPMOD   ; MODULO<-----TEMPR
        PULY
        PULX
        PULB
        PULA
        RTS          ; REGRESA DE LARUTINA

OP1IMAGY PSHA      ;IMAGY<-----OP1
        PSHX
    
```

```

LDX  MANT1
STX  IMAGY
LDAA EXP1
STAA IMAGY+2
PULX
PULA
RTS

                                ;REALX<-----OP1
OP1REALX PSHA
        PSHX
        LDX  MANT1
        STX  REALX
        LDAA EXP1
        STAA REALX+2
        PULX
        PULA
        RTS

CONSOP1 PSHA                                ;OP1<-----0.125, (1/8)
        PSHX
        LDX  #$4000
        STX  MANT1
        LDAA #$FE
        STAA EXP1
        PULX
        PULA
        RTS

OP1OP2  PSHA                                ;OP2<-----OP1
        PSHX
        LDX  MANT1
        STX  MANT2
        LDAA EXP1
        STAA EXP2
        PULX
        PULA
        RTS

OP1OP3  PSHA                                ;OP3<-----OP1
        PSHX
        LDX  MANT1
        STX  MANT3
        LDAA EXP1
        STAA EXP3
        PULX
        PULA
        RTS

TMPMOD  PSHA                                ;MOD<-----TEMPR
        PSHX
        LDX  TEMPR
        STX  MODULO
        LDAA TEMPR+2
        STAA MODULO+2
        PULX
        PULA
        RTS

MUESTOP1 PSHA
        PSHB
        CLRA
    
```

```

        LDAB  0,Y                ; D <----- MUESTRA
        PSHX
        PSHY
        JSR   ENTPF              ; Conversión a Punto Flotante
        PULY
        PULX
        PULB                      ; Resultado en OP1
        PULA
        RTS

SENOP2  PSHY
        LDY   0,X                ; OP2 <----- SEN(X) En formato de PF
        STY   MANT2
        LDAB  2,X
        STAB  EXP2
        PULY
        RTS

REALOP2 PSHY                      ;OP2 <-----REAL
        LDY   REAL
        STY   MANT2
        LDAB  REAL+2
        STAB  EXP2
        PULY
        RTS

OP1REAL PSHY                      ;REAL <-----OP1
        LDY   MANT1
        STY   REAL
        LDAB  EXP1
        STAB  REAL+2
        PULY
        RTS

COSOP2  PSHY                      ;OP2 <-----COSENO, de la tabla de TDF
        LDY   !12,X
        STY   MANT2
        LDAB  !14,X
        STAB  EXP2
        PULY
        RTS

IMAGOP2 PSHY                      ;OP2 <----- IMAG
        LDY   IMAG
        STY   MANT2
        LDAB  IMAG+2
        STAB  EXP2
        PULY
        RTS

OP1IMAG PSHY                      ;IMAG <----- OP1
        LDY   MANT1
        STY   IMAG
        LDAB  EXP1
        STAB  IMAG+2
        PULY
        RTS
    
```

* Tabla de valores de SENO y COSENO, intervalos de 22.5 grados

```

TDFTAB: FDB      $0000      ;0.0000
        FCB      $01
        FDB      $61F7      ;0.3826
        FCB      $FF
        FDB      $5A82      ;0.7071
        FCB      $00
        FDB      $7641      ;0.9238
        FCB      $00
        FDB      $4000      ;1.0000
        FCB      $01
        FDB      $7641      ;0.9238
        FCB      $00
        FDB      $5A82      ;0.7071
        FCB      $00
        FDB      $61F7      ;0.3826
        FCB      $FF
        FDB      $0000      ;0.0000
        FCB      $01
        FDB      $E1F7      ;-0.3826
        FCB      $FF
        FDB      $DA82      ;-0.7071
        FCB      $00
        FDB      $F641      ;-.9238
        FCB      $00
        FDB      $C000      ;-1.0000
        FCB      $01
        FDB      $F641      ;-0.9238
        FCB      $00
        FDB      $DA82      ;-0.7071
        FCB      $00
        FDB      $E1F7      ;-0.3826
        FCB      $FF
        FDB      $0000      ;0.0000
        FCB      $01
        FDB      $61F7      ;0.3826
        FCB      $FF
        FDB      $5A82      ;0.7071
        FCB      $00
        FDB      $7641      ;0.9238
        FCB      $00
    
```

```

*****
*
*          CALCULO DEL ARCO TANGENTE
* EL ARGUMENTO EN FORMATO DE PF SE COLOCA EN ARG
* EL RESULTADO SE ALOJA EN ANG
*****
    
```

```

ATAN    PSHX
        PSHY
        PSHA
        PSHB
        JSR    REALXOP2      ;OP2<-----REAL (X)
        JSR    IMAGYOP1      ;OP1<-----IMAGINARIO (Y)
        JSR    SIGNOS
        JSR    DIV           ;OP1<-----OP1/OP2 (Y/X)
        JSR    MENUNO
        JSR    OP1ARG        ;ARG<-----OP1
        JSR    ARCTAN        ;C lculo del arco tangente
        JSR    FACOP2        ;OP2<-----Factor (180/PI)
        JSR    MUL           ;OP1<-----ANG*(180/PI)
        JSR    OP1ANG
        LDAA   ANGTMP
    
```

```

        CMPA    #$5A      ;Si el módulo es menor o igual a 1
        BNE    SIGTAN    ;ANG<-----ANG
        JSR    ATMPOP1   ;OP1<-----ANGTMP 90 GRADOS
        JSR    ANGOP2    ;OP1<-----90-ANG*(180/PI)
        JSR    RESTA
        JSR    OP1ANG    ;ANG<-----OP1
SIGTAN  JSR    CUADRAN   ;Ajusta el valor de ángulo según el cuadrante
        ;Resultado se aloja en ANG

SALTAN  PULB
        PULA
        PULY
        PULX
        RTS

*-----

IMAGYOP1 LDX     IMAGY      ;OP1-----IMAG
        STX     MANT1
        LDAA    IMAGY+2
        STAA    EXP1
        RTS

REALXOP2 LDX     REALX      ;OP2<-----REALX
        STX     MANT2
        LDAA    REALX+2
        STAA    EXP2
        RTS

*-----

SIGNOS  CLRA
        STAA    SIGX      ;SIGX<---0 (+)
        STAA    SIGY      ;SIGY<---0 (+)
        LDAA    #$FF      ;Carga signo (-)

PROSEG  BRSET    MANT1,$80,MENY ;OP1<0? SI, ENTONCES MENY
        BRSET    MANT2,$80,MENX ;OP2<0? SI, ENTONCES MENX
        RTS             ;NO, salir

MENY    STAA    SIGY      ;Guarda signo (-) de op1 en SIGY
        BCLR    MANT1,$80 ;Borra signo (-) de OP1
        BRA     PROSEG

MENX    STAA    SIGX      ;Guarda signo (-) de op2 en SIGX
        BCLR    MANT2,$80 ;Borra signo (-) de OP2
        RTS

*-----

MENUNO  LDAA    EXP1      ;OP1>1?
        CMPA    #$00
        BEQ    SALUNO

        CMPA    #$01
        BEQ    SALUNO2   ;SI, ANGTMP<---90 grados, OP1<---(1/OP1)

        CMPA    #$80
        BLO    MAYUNO
        BRA    SALUNO

SALUNO2 LDX     MANT1
        CPX     $4000
        BNE    MAYUNO
    
```

```

SALUNO JSR CROATMP ;NO, ANGTMP<----0
        RTS

MAYUNO JSR OP1OP2 ;OP2<----OP1
        LDX #$4000 ;OP1<----1
        STX MANT1
        LDAA #$01
        STAA EXP1
        JSR DIV ;OP1<----OP1/OP2, (1/OP1)
        JSR PI2ATMP ;Angulo temporal<-----90 grados(PI/2)
        RTS

*-----

CROATMP LDX #$0000 ;Angulo temporal<-----0 grados
        STX ANGTMP
        LDAA #$01
        STAA ANGTMP+2
        RTS

*-----

PI2ATMP LDX #$5A00 ;Angulo temporal<-----90 grados
        STX ANGTMP
        LDAA #$07
        STAA ANGTMP+2
        RTS

*-----

OP1ARG LDX MANT1 ;ARG<-----OP1
        STX ARG
        LDAA EXP1
        STAA ARG+2
        RTS

*-----

ARGOP1 LDX ARG ;OP1<-----ARG
        STX MANT1
        LDAA ARG+2
        STAA EXP1
        RTS

*-----

FACOP2 LDX #$7297 ;OP2<-----180/PI
        STX MANT2
        LDAA #$06
        STAA EXP2
        RTS

*-----

ATMPOP1 LDX ANGTMP ;OP2<-----Angulo Temporal
        STX MANT1
        LDAA ANGTMP+2
        STAA EXP1
        RTS

*-----

ARCTAN JSR ARGOP1 ;OP1<-----ARG
        JSR OP1OP2 ;OP2<-----OP1
        JSR MUL ;OP1<-----ARG^2
        JSR OP1ARGT ;ARGTMP<----OP1
        JSR ARGANG ;ANG<-----ARG

        LDAB #$00
        LDY #TABATAN

SIGTAB JSR MULPOL ;X<-----ARG^2*X
    
```

```

        JSR     TABOP2
        JSR     MUL           ;ANG<----X*TAB(Y)+ANG
        JSR     ANGOP2
        JSR     SUMA
        JSR     OP1ANG
        INY
        INY           ;Siguiente valor dela tabla
        INY
        INCB
        CMPB    #$05        ;Ultima muestra?
        BNE    SIGTAB      ;Si, sale
        RTS

*-----
ARGANG  LDX     ARG           ;ANG<-----ARG
        STX     ANG
        LDAA   ARG+2
        STAA   ARG+2
        RTS

MULPOL  JSR     ARGOP1
        JSR     ARGTOP2
        JSR     MUL           ;ARG<---OP1<-----ARG*ARGTMP
        JSR     OP1ARG
        RTS

TABOP2  LDX     0,Y
        STX     MANT2
        LDAA   2,Y
        STAA   EXP2
        RTS

OP1ARGT LDX     MANT1
        STX     ARGTMP
        LDAA   EXP1
        STAA   ARGTMP+2
        RTS

ARGTOP2 LDX     ARGTMP
        STX     MANT2
        LDAA   ARGTMP+2
        STAA   EXP2
        RTS

TABATAN FDB     $D555        ;-1/3
        FCB     $FF
        FDB     $6666        ;1/5
        FCB     $FE
        FDB     $C924        ;-1/7
        FCB     $FE
        FDB     $71C7        ;1/9
        FCB     $FD
        FDB     $CA79        ;DD17FC -1/11 + Factor de engao
        FCB     $F9

*-----
CUADRAN LDAA   SIGX
        CMPA   #$FF          ;X es NEGATIVO?
        BEQ   SIXNEG        ;SI, compara Y
        LDAA   SIGY
    
```

```

        CMPA    #$FF          ;Y es NEGATIVO?
        BEQ    SIYNEG        ;SI, compara X
        RTS                                ;NO, Angulo = Angulo
SIXNEG  LDAA    SIGY
        CMPA    #$FF          ;X(-), Y(-)?
        BEQ    CUAD3        ;SI, Angulo = Angulo + 180 grados
CUAD2   JSR    PIOP1        ;NO, X(-), Y(+), Angulo =180 g - Angulo
        JSR    ANGOP2
        JSR    RESTA
        JSR    OP1ANG
        RTS

SIYNEG  LDAA    SIGX          ;X(-), Y(-)?
        CMPA    #$FF          ;SI CUAD3
        BEQ    CUAD3        ;NO, X(+), Y(-) Angulo = 360 - Angulo
CUAD4   JSR    DPIOP1
        JSR    ANGOP2
        JSR    RESTA
        JSR    OP1ANG
        RTS

CUAD3   JSR    PIOP2        ;Angulo = Angulo + 180
        JSR    ANGOP1
        JSR    SUMA
        JSR    OP1ANG
        RTS

DPIOP1  LDX    #$5A00        ;OP1<-----360 grados en formato de PF
        STX    MANT1
        LDAA   #$09
        STAA   EXP1
        RTS

PIOP2   LDX    #$5A00        ;OP2<-----180 grados en formato de PF
        STX    MANT2
        LDAA   #$08
        STAA   EXP2
        RTS

PIOP1   LDX    #$5A00        ;OP1<-----180 Grados en formato de PF
        STX    MANT1
        LDAA   #$08
        STAA   EXP1
        RTS

ANGOP1  LDX    ANG          ;OP1<-----Angulo
        STX    MANT1
        LDAA   ANG+2
        STAA   EXP1
        RTS

ANGOP2  LDX    ANG          ;OP2<-----Angulo
        STX    MANT2
        LDAA   ANG+2
        STAA   EXP2
        RTS

OP1ANG  LDX    MANT1        ;Angulo<-----OP1
        STX    ANG
        LDAA   EXP1
    
```

```

        STAA    ANG+2
        RTS

OP2ANG  LDX    MANT2          ;Angulo<-----OP2
        STX    ANG
        LDAA   EXP2
        STAA   ANG+2
        RTS

*-----
*****
*Calculo del SENO y COSENO, el resultado se aloja en SENX y COSX en
*formato de punto flotante, el ángulo se aloja en XRAD Y XARG
*****

SENCOS  LDD    ANGX          ;XRAD<-----ANGX*(PI/180)
        JSR    ENTPF        ;OP1<-----XRAD En formato de Punto Flotante
        LDX    #$477D       ;OP2<----- (PI/180)
        STX    MANT2
        LDAA   #$FB
        STAA   EXP2
        JSR    MUL          ;OP1<-----OP1*(PI/180), conversión a radianes
        JSR    OP1XRAD      ;XRAD<-----OP1
        JSR    OP1SENX     ;SENX<-----OP1
        JSR    OP1XARG     ;XARG<-----OP1
        JSR    UNOCOSX     ;COSX<-----1
        LDY    #TABSECOS   ; CARGA TABLA
        LDAB   #$00        ; Contador de iteraciones
SIGTAB2 JSR    MULEXP        ; XRAD<-----XRAD*XARG
        JSR    MULCOS      ;COSX<-----COSX+XRAD/FAC(Y)
        INY
        INY
        INY
        JSR    MULEXP      ; XRAD<-----XRAD*XARG
        JSR    MULSEN     ;SENX<-----SENX+XRAD/FAC(Y)
        INY
        INY
        INY
        INCB
        CMPB   #$4
        BNE   SIGTAB2
        RTS

*-----
MULSEN  JSR    XRADOP1     ;SENX<-----SENX+XRAD/FAC(Y)
        JSR    FACTAB
        JSR    MUL
        JSR    SENXOP2
        JSR    SUMA
        JSR    OP1SENX
        RTS

MULCOS  JSR    XRADOP1     ;COSX<-----COSX+XRAD/FAC(Y)
        JSR    FACTAB
        JSR    MUL
        JSR    COSXOP2
        JSR    SUMA
        JSR    OP1COSX
        RTS

OP1SENX PSHX
        PSHA          ;SENX<-----OP1

```

```

        LDX    MANT1
        STX    SENX
        LDAA   EXP1
        STAA   SENX+2
        PULA
        PULX
        RTS

SENXOP2 PSHX                ;OP2<-----SENX
        PSHA
        LDX    SENX
        STX    MANT2
        LDAA   SENX+2
        STAA   EXP2
        PULA
        PULX
        RTS

SENXOP1 PSHX                ;OP1<-----SENX
        PSHA
        LDX    SENX
        STX    MANT1
        LDAA   SENX+2
        STAA   EXP1
        PULA
        PULX
        RTS

OP1COSX PSHX
        PSHA
        LDX    MANT1        ;COSX<-----OP1
        STX    COSX
        LDAA   EXP1
        STAA   COSX+2
        PULA
        PULX
        RTS

COSXOP2 PSHX                ;OP2<-----COSX
        PSHA
        LDX    COSX
        STX    MANT2
        LDAA   COSX+2
        STAA   EXP2
        PULA
        PULX
        RTS

COSXOP1 PSHX                ;OP1<-----COSX
        PSHA
        LDX    COSX
        STX    MANT1
        LDAA   COSX+2
        STAA   EXP1
        PULA
        PULX
        RTS

XRADOP1 PSHX
        PSHA
    
```

```

LDX  XRAD          ;OP1<-----XRAD
STX  MANT1
LDAA XRAD+2
STAA EXP1
PULA
PULX
RTS

OP1XARG PSHX          ;XARG<-----OP1
PSHA
LDX  MANT1
STX  XARG
LDAA EXP1
STAA XARG+2
PULA
PULX
RTS

FACTAB  PSHX          ;OP2<-----TABLA(Y)
PSHA
LDX  0,Y
STX  MANT2
LDAA 2,Y
STAA EXP2
PULA
PULX
RTS

OP1XRAD LDX  MANT1      ;XRAD<-----OP1
STX  XRAD
LDAA EXP1
STAA XRAD+2
RTS

UNOCOSX LDX  #$4000    ;COSX<-----1
STX  COSX
LDAA #$01
STAA COSX+2
RTS

MULEXP  PSHX
PSHA
LDX  XRAD          ;XRAD<-----XRAD*XARG
STX  MANT1
LDX  XARG
STX  MANT2
LDAA XRAD+2
STAA EXP1
LDAA XARG+2
STAA EXP2
JSR  MUL
JSR  OP1XRAD
PULA
PULX
RTS

TABSECOS FDB  $C000    ; - 1/2!
FCB  $00
FDB  $D555          ; - 1/3!
FCB  $FE
FDB  $5555          ; + 1/4!

```

```

FCB    $FC
FDB    $4444      ; + 1/5!
FCB    $FA
FDB    $DB05      ; - 1/6!
FCB    $F7
FDB    $E806      ; - 1/7!
FCB    $F4
FDB    $6806      ; + 1/(8! * Factor de engaño)
FCB    $F0
FDB    $5C77      ; + 1/9!
FCB    $EE
    
```

```

*****
* Impresion de SENX y COSX
*****
    
```

```

*-----
CONVFAC JSR    CIENOP2      ;Resultado por 100
        JSR    MUL
        JSR    PFENT
        STD    SHFTRG
        JSR    BAD
        RTS
    
```

```

*****
*Rutina de C lculo e impresiçn del factor de potencia de las fases
* A, B y C.
*****
    
```

```

IMPFPP ;JSR    CALCFACP
        JSR    IMPRFPA
        JSR    IMPRFPB
        JSR    IMPRFPC
        RTS
    
```

```

*****
    
```

```

IMPRFPA LDX    COSXA      ;Imprime FPA
        LDAA  COSXA+2
        STX  MANT1
        STAA EXP1
        JSR  CONVFAC
        LDAA # $C4
        JSR  IMPRLCD
        RTS
    
```

```

IMPRFPB LDX    COSXB      ;Imprime FPB
        LDAA  COSXB+2
        STX  MANT1
        STAA EXP1
        JSR  CONVFAC
        LDAA # $98
        JSR  IMPRLCD
        RTS
    
```

```

IMPRFPC LDX    COSXC      ;Imprime FPC
        LDAA  COSXC+2
        STX  MANT1
        STAA EXP1
        JSR  CONVFAC
        LDAA # $D8
        JSR  IMPRLCD
    
```

```

        RTS
IMPRLCD JSR  LCDBUSY      ;Imprime el el LCD en Formato 0.00
        STAA LCDI
        JSR  IMPRB
        RTS

**** SUB RUTINAS

NORMA   JSR  COMPARA
        LDD  PRUEBA1
        JSR  NORMZA
        LDX  #!10
        IDIV
        RTS

NORMZA  CPD  #!1800      ;Ajusta el ngulo en elintervalo de
        BHS  MAY180     ; 0 a 90 grados
        CPD  #!900
        BHI  MAY90
        RTS
MAY90   STD  PRUEBA1
        LDD  #!1800
        SUBD PRUEBA1
        RTS
MAY180  SUBD #!1800     ; Resultado en D
        BRA  NORMZA

COMPARA LDD  PRUEBA1    ; PRUEBA1 >= PRUEBA2?
        CPD  PRUEBA2
        BHS  MAYOR     ;NO, PRUEBA1=PRUEBA2-PRUEBA1
        LDD  PRUEBA2
        SUBD PRUEBA1
        STD  PRUEBA1   ;;;;;;;;;;colocar si es adelanto o retraso
        RTS
MAYOR   SUBD PRUEBA2   ;SI, PRUEBA1 = PRUEBA1-PRUEBA2
        STD  PRUEBA1
        RTS
*****
*Rutina que calcula el factor de potencia de las fases A, B y C
*Calcula el cos[ANGV(X)-ANGI(X)] donde X corresponde a las fases A, B y C
*****
CALCFACP LDX  ANGVA      ;X<-----ent(ANGVA-ANGIA)
        STX  PRUEBA1
        LDX  ANGIA
        STX  PRUEBA2
        JSR  NORMA      ;Normaliza
        STX  ANGX
        JSR  SENCOS
        LDX  SENX      ;Calcula SENX y COSX dela fase A
        STX  SENXA
        LDAA SENX+2
        STAA SENXA+2
        LDX  COSX
        LDAA COSX+2
        STX  COSXA
        STAA COSXA+2

        LDX  ANGVB     ;X<-----ENT(ANGVB-ANGIB)
        STX  PRUEBA1
    
```

```

LDX  ANGIB
STX  PRUEBA2
JSR  NORMA
STX  ANGX
JSR  SENCOS      ;Calcula SENX Y COSX de la fase B
LDX  SENX
LDAA SENX+2
STX  SENXB
STAA SENXB+2
LDX  COSX
LDAA COSX+2
STX  COSXB
STAA COSXB+2

LDX  ANGVC      ;X<-----ENT(ANGVC-ANGIC)
STX  PRUEBA1
LDX  ANGIC
STX  PRUEBA2
JSR  NORMA
STX  ANGX
JSR  SENCOS      ;Calcula SENX y COSX de la fase C
LDX  SENX
LDAA SENX+2
STX  SENXC
STAA SENXC+2
LDX  COSX
LDAA COSX+2
STX  COSXC
STAA COSXC+2
RTS
    
```

 *RUTINA DE CALCULO E IMPRESIÒN DE POTENCIA ACTIVA, REACTIVA Y APARENTE DE
 *LAS TRES FASES

```

IMPRPOT1 ;JSR    CALPOT
          JSR    IMPRPA
          JSR    IMPRPB
          JSR    IMPRPC
          RTS
    
```

```

IMPRPOT2 ;JSR    CALPOT
          JSR    IMPRQA
          JSR    IMPRQB
          JSR    IMPRQC
          RTS
    
```

```

IMPRPOT3 ;JSR    CALPOT
          JSR    IMPRSA
          JSR    IMPRSB
          JSR    IMPRSC
          RTS
    
```

```

CALPOT  LDD    VAP      ;C lculo de potencia Fase A
          JSR    NORMA2  ;OP1<-----VAP/10
          JSR    OP1PRBA1 ;PRUEBA1<-----OP1
          LDD    IAP      ;OP1<-----IAP
    
```

```

JSR    NORMA2

JSR    PRBA1OP2
JSR    MUL
JSR    OP1PRBA1      ;SALVA V*A
JSR    COSXAOP2
JSR    MUL
JSR    OP1PA         ;PA=VAP*IAP*COS(X)
JSR    PRBA1OP1     ;QA=VAP*IAP*SEN(X)
JSR    SENXAOP2
JSR    MUL
JSR    OP1QA
JSR    OP1OP2       ;OP1<-----QA^2
JSR    MUL
JSR    OP1PRBA1
JSR    PAOP1OP2
JSR    MUL          ;OP1<-----PA^2
JSR    PRBA1OP2
JSR    SUMA
JSR    OP1OP3
JSR    RAIZ         ;SA<-----RAIZ(PA^2+QA^2)
JSR    TMPRSA
LDD    VBP          ;C lculo de potencia fase B
JSR    NORMA2
JSR    OP1PRBA1
LDD    IBP
JSR    NORMA2
JSR    PRBA1OP2
JSR    MUL
JSR    OP1PRBA1
JSR    COSXBOP2
JSR    MUL
JSR    OP1PB
JSR    PRBA1OP1
JSR    SENXBOP2
JSR    MUL
JSR    OP1QB
JSR    OP1OP2
JSR    MUL
JSR    OP1PRBA1
JSR    PBOP1OP2
JSR    MUL
JSR    PRBA1OP2
JSR    SUMA
JSR    OP1OP3
JSR    RAIZ
JSR    TMPRSB
LDD    VCP          ;C lculo de potencia fase C
JSR    NORMA2
JSR    OP1PRBA1
LDD    ICP
JSR    NORMA2
JSR    PRBA1OP2
JSR    MUL
JSR    OP1PRBA1
JSR    COSXCOP2
JSR    MUL
JSR    OP1PC
JSR    PRBA1OP1
JSR    SENXCOP2
JSR    MUL
    
```

```

        JSR     OP1QC

        JSR     OP1OP2
        JSR     MUL
        JSR     OP1PRBA1
        JSR     PCOP1OP2
        JSR     MUL
        JSR     PRBA1OP2
        JSR     SUMA
        JSR     OP1OP3
        JSR     RAIZ
        JSR     TMPRSC
        RTS

PAOP1OP2 LDX     PA                ;OP1<-----OP2<-----PA
          LDAA    PA+2
AOP1OP2  STX     MANT1
          STX     MANT2
          STAA    EXP1
          STAA    EXP2
          RTS

PBOP1OP2 LDX     PB                ;OP1<-----OP2<-----PB
          LDAA    PB+2
          BRA     AOP1OP2

PCOP1OP2 LDX     PC                ;OP1<-----OP2<-----PC
          LDAA    PC+2
          BRA     AOP1OP2

TMPRSA   JSR     LTMPR
          ;LDX     TEMPR
          ;LDAA    TEMPR+2
          STX     SA
          STAA    SA+2
          RTS

TMPRSB   JSR     LTMPR
          STX     SB
          STAA    SB+2
          RTS

TMPRSC   JSR     LTMPR
          STX     SC
          STAA    SC+2
          RTS

LTMPR    LDX     TEMPR
          LDAA    TEMPR+2
          RTS

NORMA2   ;LDX     #!10            ;X<-----D/X
          ;IDIV
          ;XGDX            ;X<----->D
          JSR     ENTPF
          JSR     DIEZOP2
          JSR     DIV
          RTS

OP1PA    ;LDX     MANT1            ;PA<-----OP1
          ;LDAA    EXP1
    
```

```

        JSR    LOP1
        STX    PA
        STAA   PA+2
        RTS

OP1PB   JSR    LOP1           ;PB<-----OP1
        STX    PB
        STAA   PB+2
        RTS

OP1PC   JSR    LOP1           ;PC<-----OP1
        STX    PC
        STAA   PC+2
        RTS

OP1QA   ;LDX    MANT1           ;QA<-----OP1
        ;LDAA  EXP1
        JSR    LOP1
        STX    QA
        STAA   QA+2
        RTS

OP1QB   JSR    LOP1           ;QB<-----OP1
        STX    QB
        STAA   QB+2
        RTS

OP1QC   JSR    LOP1           ;QC<-----OP1
        STX    QC
        STAA   QC+2
        RTS

LOP1    LDX    MANT1
        LDAA  EXP1
        RTS

COSXAOP2 LDX    COSXA           ;OP2<-----COSXA
        LDAA  COSXA+2
AOP2    STX    MANT2
        STAA  EXP2
        RTS

SENXAOP2 LDX    SENXA
        LDAA  SENXA+2
        BRA  AOP2

COSXBOP2 LDX    COSXB
        LDAA  COSXB+2
        BRA  AOP2

SENXBOP2 LDX    SENXB
        LDAA  SENXB+2
        BRA  AOP2

COSXCOP2 LDX    COSXC
        LDAA  COSXC+2
        BRA  AOP2

SENXCOP2 LDX    SENXC
        LDAA  SENXC+2
        BRA  AOP2
    
```

```

OP1PRBA1 LDX    MANT1          ;PRUEBA1<-----OP1
          LDAA   EXP1
          STX    PRUEBA1
          STAA   PRUEBA1+2
          RTS

PRBA1OP1 LDX    PRUEBA1        ;OP1<-----PRUEBA1
          LDAA   PRUEBA1+2
          STX    MANT1
          STAA   EXP1
          RTS

PRBA1OP2 LDX    PRUEBA1        ;OP2<-----PRUEBA1
          LDAA   PRUEBA1+2
          ;STX    MANT2
          ;STAA   EXP2
          BRA    AOP2

IMPRPA   LDX    PA
          LDAA   PA+2
FASA     JSR    FASX
          LDAA   #$C4
          JSR    IMPRFAS
          RTS

IMPRPB   LDX    PB
          LDAA   PB+2
FASB     JSR    FASX
          LDAA   #$98
          JSR    IMPRFAS
          RTS

IMPRPC   LDX    PC
          LDAA   PC+2
FASC     JSR    FASX
          LDAA   #$D8
          JSR    IMPRFAS
          RTS

FASX     STX    MANT1
          STAA   EXP1
          JSR    PFENT
          STD    SHFTRG
          JSR    BAD
          RTS

IMPRFAS  JSR    LCDBUSY
          STAA   LCDI
          JSR    IMPRC
          RTS

IMPRQA   ;LDAB    #$C4
          LDX    QA
          LDAA   QA+2
          BRA    FASA

IMPRQB   LDX    QB
          LDAA   QB+2
          BRA    FASB
    
```

```
IMPRQC  LDX    QC
        LDAA   QC+2
        BRA    FASC
```

```
IMPRSA  ;LDAB   #$98
        LDX    SA
        LDAA   SA+2
        BRA    FASA
```

```
IMPRSB  LDX    SB
        LDAA   SB+2
        BRA    FASB
```

```
IMPRSC  LDX    SC
        LDAA   SC+2
        BRA    FASC
```

```
*****
*RUTINA DE DESPLIEGUE DE VOLTAJES Y CORRIENTES EN EL LCD
*****
```

```
CHKBAN  PSHA
RETCHK  LDAA   BANDERA      ;Verifica si se han completado las
        CMPA   #$FF        ;conversiones
        BEQ   SALCHK
        LDAA   #$FF
        STAA  SINCF
        JSR   FLBUF
        JSR   BLKOF        ;Desactiva Blink
        JSR   IMPVA       ;Imprime módulo de Va
        JSR   IMPANGA     ;Imprime ángulo de Va
        JSR   IMPVB       ;Imprime módulo de Vb
        JSR   IMPANGB     ;Imprime ángulo de Vb
        JSR   IMPVC       ;Imprime módulo de Vc
        JSR   IMPANGC     ;Imprime ángulo de Vc
        LDAA  SINCF2
        CMPA  #$FF
        BEQ  SISINC
        CLRA
        STAA SINCF
        JSR  INIOC4
```

```
SALCHK  PULA
        RTS
SISINC  CLRA
        STAA SINCF2
        STAA SINCF
        BRA  SALCHK
```

```
*****
```

```
BLKOF  LDAA   #$0C
        BRA   SALBLK
BLKON  LDAA   #$0D
SALBLK JSR    LCDBUSY
        STAA  LCDI
        RTS
```

```
*****
```

```
CHKBANB PSHA
RETCHKB LDAA   BANDERA      ;Verifica si se han completado las
        CMPA   #$FF        ;conversiones
        BEQ   SALCHKB
        LDAA   #$FF
        STAA  SINCF
```

```

        JSR      FLBUF
        JSR      BLKOF      ;Desactiva Blink
        JSR      IMPIA      ;Imprime módulo de Ia
        JSR      IMPANIA    ;Imprime ngulo de Ia
        JSR      IMPIB      ;Imprime módulo de Ib
        JSR      IMPANIB    ;Imprime ngulo de Ib
        JSR      IMPIC      ;Imprime módulo de Ic
        JSR      IMPANIC    ;Imprime ngulo de Ic
        LDAA     SINCF2
        CMPA     #$FF
        BEQ     SISINCB
        CLRA
        STAA     SINCF
        JSR      INIOC4
SALCHKB PULA
        RTS
SISINCB CLRA
        STAA     SINCF2
        STAA     SINCF
        BRA     SALCHKB

*****
* Rutina de protección de sobre corriente 50
* Registro utilizado PICKUP
*****

PROT50  PSHA
        PSHX
RETP50  LDAA     BANDERA
        CMPA     #$FF
        BEQ     RETP50
        LDAA     #$FF
        STAA     SINCF      ;desactiva la sincronia por interrupción
        JSR      MODIABC    ;Calccula modulo de IA, IB e IC
        JSR      INIOC4
        JSR      MODCOMP    ;Compara los modulos con PICKUP
        JSR      INIOC4
SALCHKC PULX
        PULA
        RTS

MODIABC PSHX
        JSR      MUESTIA    ;Calcula modulo de IA
        JSR      TDF
        JSR      PFDEC2     ;Factor de conversión
        LDX     MODACT
        STX     IAP
        PULX
        RTS      ;Se tarda 2 ciclos por cada fase aproximadamente
        JSR      MUESTIB    ;Calcula modulo de IB
        JSR      TDF
        JSR      PFDEC2     ;Factor de conversión
        LDX     MODACT
        STX     IBP
        JSR      MUESTIC    ;Calcula modulo de IC
        JSR      TDF
        JSR      PFDEC2     ;factor de conversión
        LDX     MODACT
        STX     ICP
        PULX
    
```

```

        RTS
MODCOMP PSHA
        PSHB

        LDD     IAP
        CPD     PICKUP
        BHS     DISPARA      ;SI IAP >= PICKUP activa relevadores
        ;LDD     IBP
        ;CPD     PICKUP
        ;BHS     DISPARA      ;SI IBP >= PICKUP activa relevadores
        ;LDD     ICP
        ;CPD     PICKUP
        ;BHS     DISPARA      ;SI ICP >= PICKUP
        CLRA
        STAA    PROTR        ;PROTR = 0, No existe sobrecorriente
SALMDC  PULB
        PULA
        RTS

DISPARA LDAA    #$FF        ;PROTR = 1, Existe sobrecorriente
        STAA    PROTR
        BRA     SALMDC

IMPIABC PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA    SHFTRGH
        LDD     IAP          ;Imprime IA
        STD     SHFTRG
        JSR     BAD
        LDAA    #$CF
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDI
        JSR     IMPR
        BRA     SALIABC      ;Para protección monof sica
        LDD     IBP          ;Imprime IB
        STD     SHFTRG
        JSR     BAD
        LDAA    #$A3
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDI
        JSR     IMPR
        LDD     ICP          ;Imprime IC
        STD     SHFTRG
        JSR     BAD
        LDAA    #$E3
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDI
        JSR     IMPR
SALIABC JSR     IPOSH        ;Imprime la posición actual delcursor
        PULB
        PULA
        RTS

*****
*RUTINA DE IMPRESION DEL MODULO DE Va, Vb, Vc, Ia, Ib e Ic.
*****

IMPVA  PSHA
        PSHB
        CLRA
    
```

```

        STAA    SHFTRGH
        LDD     VAP           ;Carga valor de VA en binario 16 bits
        STD     SHFTRG

IMPOSA JSR     BAD           ;Convierte a bcd

        LDAA   #$C3         ;Posición del cursor fila 2, columna 4
        JSR   LCDBUSY
        STAA  LCDI
        JSR   IMPR         ;Imprime valor
        PULB
        PULA
        RTS

IMPIA  PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
        LDD   IAP
        STD   SHFTRG
        BRA   IMPOSA

*****

IMPVB  PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
        LDD   VBP
        STD   SHFTRG
IMPOSB JSR     BAD
        LDAA  #$97         ;Posición del cursor fila 3, columna 4
        JSR   LCDBUSY
        STAA  LCDI
        JSR   IMPR
        PULB
        PULA
        RTS

IMPIB  PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
        LDD   IBP
        STD   SHFTRG
        BRA   IMPOSB

*****

IMPVC  PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
        LDD   VCP
        STD   SHFTRG
IPOSC  JSR     BAD
        LDAA  #$D7         ;Posición del cursor fila 4, columna 4
        JSR   LCDBUSY
        STAA  LCDI

        JSR   IMPR
    
```

```

        PULB
        PULA
        RTS

IMPIC   PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA     SHFTRGH
        LDD      ICP
        STD      SHFTRG
        BRA      IPOSC

*****
*ROUTINADE IMPRESION DE ANGULOS DE LASCORRIENTESY VOLTAJESDE LAS
*          FASEA A, B Y C
*****

IMPANGA PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA     SHFTRGH      ;Posición del cursor renglón 2, columna13
        LDD      ANGVA
        STD      SHFTRG
IPOSAA  JSR      BAD

        LDAA     #$CA
        JSR      LCDBUSY
        STAA     LCDI
        JSR      IMPR
        PULB
        PULA
        RTS

IMPANIA PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA     SHFTRGH
        LDD      ANGIA
        STD      SHFTRG
        BRA      IPOSAA
*****

IMPANGB PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA     SHFTRGH
        LDD      ANGVB
        STD      SHFTRG
IPOSAB  JSR      BAD
        LDAA     #$9E
        JSR      LCDBUSY
        STAA     LCDI
        JSR      IMPR
        PULB
        PULA
        RTS

IMPANIB PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA     SHFTRGH
    
```

```

LDD     ANGIB
STD     SHFTRG
BRA     IPOSAB
*****

IMPANGC PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
LDD     ANGVC
STD     SHFTRG
IPOSAC  JSR   BAD
        LDAA  #$DE
        JSR   LCDBUSY
        STAA  LCDI
        JSR   IMPR

        PULB
        PULA
        RTS

IMPANIC PSHA
        PSHB
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
LDD     ANGIC
STD     SHFTRG
BRA     IPOSAC

*-----CONVERSION A FORMATO DECIMAL DEL ANGULO-----
ANGDVA  PSHX
        JSR   ATAN           ;calcula el ángulo para Va * 10
        JSR   ANGOP1
        JSR   DIEZOP2
        JSR   MUL
        JSR   PFENT
        STD   ERROR1        ;Guarda el error de ángulo

        LDD   #!3600        ;ERROR1 = 360 - ANGVA
        SUBD  ERROR1
        STD   ERROR1

        CLRA
        CLRB
        STD   ANGACT
        STD   SHFTRG        ;Guarda ángulo actualizado
        JSR   BAD           ;ángulo de Va= 0 grados
        PULX
        RTS

ANGDEC  PSHX
        CLRA
        STAA  SHFTRGH
        JSR   ATAN           ;Calcula el ángulo
        JSR   ANGOP1
        JSR   DIEZOP2        ;Multiplica por 10
        JSR   MUL
        JSR   PFENT
                                ;Llamar rutina de ajuste de ángulo
        STD   SHFTRG        ;Convierte a formato decimal
        STD   ANGACT
    
```

```

        JSR     BAD

        PULX
        RTS

ANGDECA PSHX
        CLRA
        STAA   SHFTRGH
        JSR    ATAN           ;Calcula el ángulo
        JSR    ANGOP1
        JSR    DIEZOP2
        JSR    MUL           ;lo multiplica por 10
        JSR    PFENT
        LDX    MODACT       ;Si el módulo = 0, ángulo = 0
        CPX    #$0000
        BEQ    MODCERO     ;Si módulo no es cero, ajusta ángulo
        JSR    ANGAJUS

MODCERO STD    SHFTRG
        STD    ANGACT       ;Guarda el ángulo actualizado
        JSR    BAD
        PULX
        RTS

ANGAJUS ADDD   ERROR1
        ;ADDD   #!3550      ;Ang = Ang + ajuste de error
        STD    ERROR2
        CPD    #!3600      ; Si ang > 360 grados ang = 360 - ang
        BLO    SALANG
        SUBD   #!3600
SALANG  RTS

DIEZOP2 LDX    #$5000      ;OP2<-----10
        STX    MANT2
        LDAA   #$04
        STAA   EXP2
        RTS

*****
*RUTINA DE CONVERSION DE PUNTO FLOTANTE A FORMATO DECIMAL
*****
PFDEC2  PSHX
        PSHY
        PSHA
        PSHB
        CLRA
        LDAB   TC           ;MODULO = MODULO * (TC/25)
        LDX    #!25
        IDIV
        XGDX
        JSR    ENTPF
        LDX    MODULO
        STX    MANT2
        LDAA   MODULO+2
        STAA   EXP2
        JSR    MUL
        BRA    SIGPFDE

PFDEC   PSHX
        PSHY
        PSHA
        PSHB
    
```

```

        JSR      MODOP1      ;OP1<-----MODULO

        JSR      DIEZOP2
        JSR      MUL
SIGPFDE JSR      PFENT      ;Conversión de punto flotante a entero
        JSR      CEROAJ     ;Ajuste a cero
        STD      MODACT     ;Guarda el módulo actualizado
        STD      SHFTRG     ;Resultado en D
        JSR      BAD       ;Conversión a formato decimal
        PULB
        PULA
        PULY
        PULX
        RTS
    
```

```

MODOP1  LDY      MODULO      ;OP1<-----MODULO
        STY      MANT1
        LDAA     MODULO+2
        STAA     EXP1
        RTS
    
```

-----RUTINA DE AJUSTE A CERO DEL MODULO Y EL ANGULO-----

```

CEROAJ  CMPA     #$00        ;Compara si el resultado < 0.9
        BNE     SALCERO
        CMPB     #$09
        BHI     SALCERO
        LDD     #$00        ;si lo es, ajusta a 0.0 el módulo
        JSR     CEROANG
SALCERO RTS
    
```

```

CEROANG PSHX
        PSHB
        LDX     #$4000      ;IMAGINARIO<-----0
        STX     REALX      ;REAL<-----1
        LDX     #$0000
        STX     IMAGY
        LDAB     #$01
        STAB     REALX+2
        STAB     IMAGY+2
        PULB
        PULX
        RTS
    
```

* Impresión de VALOR a VALOR+4 en formato 999.9

```

IMPR    PSHA
        PSHB
        LDAB     #$30
        LDAA     VALOR+4    ;Carga dígito 3
        ABA     ;Convierte a código asccii
        CMPA     #$30      ;Si el resultado es cero, imprime
        BNE     DIG3      ;espacio en blanco
        LDAA     #$20
DIG3    JSR      LCDBUSY
        STAA     LCDD
        LDAA     VALOR+5    ;Carga dígito 2
        ABA     ;Convierte a código asccii
        CMPA     #$30
        BNE     DIG2
    
```

```

LDAB VALOR+4 ;Imprime espacio si dig3 y dig2 son cero
CMPB #$00
BNE DIG2
LDAA #$20

DIG2 LDAB #$30
JSR LCDBUSY
STAA LCDD
LDAA VALOR+6 ;Carga dígito 1
ABA ;Convierte asccii
JSR LCDBUSY
STAA LCDD ;Imprime
LDAA #$2E ;Imprime punto decimal
JSR LCDBUSY
STAA LCDD
LDAA VALOR+7 ;Carga dígito 0
ABA ;Convierte a ascci
JSR LCDBUSY
STAA LCDD ;Imprime.
PULB
PULA
RTS
    
```

 *Impresión de VALOR a VALOR+4 en formato 99.99

```

IMPRB PSHA
PSHB
LDAB #$30
LDAA VALOR+4 ;Carga dígito 3
ABA ;Convierte a código asccii
CMPA #$30 ;Si el resultado es cero, imprime
BNE DIG3B ;espacio en blanco
LDAA #$20

DIG3B JSR LCDBUSY
STAA LCDD
LDAA VALOR+5 ;Carga dígito 2
ABA ;Convierte a código asccii

DIG2B LDAB #$30
JSR LCDBUSY
STAA LCDD
LDAA #$2E ;Imprime punto decimal
JSR LCDBUSY
STAA LCDD
LDAA VALOR+6 ;Carga dígito 1
ABA ;Convierte ascci
JSR LCDBUSY
STAA LCDD ;Imprime
LDAA VALOR+7 ;Carga dígito 0
ABA ;Convierte a ascci
JSR LCDBUSY
STAA LCDD ;Imprime.
PULB
PULA
RTS
    
```

 *IMPRESION DE VALOR+5 EN FORMATO 99

```

IMPRE PSHA
    
```

```

        PSHB
        LDAB    #$30
        BRA     IMPRC2
*****
*IMPRESION DE VALOR A VALOR+4 EN FORMATO 9999
*****
IMPRC   PSHA
        PSHB
        LDAB    #$30
        LDAA    VALOR+4    ;Carga dígito 3
        ABA     ;Convierte a código asccii
        CMPA    #$30      ;Si el resultado es cero, imprime
        BNE     DIG3C     ;espacio en blanco
        LDAA    #$20
DIG3C   JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDD
IMPRC2  LDAA    VALOR+5    ;Carga dígito 2
        ABA     ;Convierte a código asccii
        CMPA    #$30
        BNE     DIG2C
        LDAB    VALOR+4    ;Imprime espacio si dig3 y dig2 son cero
        CMPB    #$00
        BNE     DIG2C
        LDAA    #$20
DIG2C   LDAB    #$30
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDD
        LDAA    VALOR+6    ;Carga dígito 1
        ABA     ;Convierte asccii
        CMPA    #$30
        BNE     DIG1C
        LDAB    VALOR+5
        CMPB    #$00
        BNE     DIG1C
        LDAB    VALOR+4
        CMPB    #$00
        BNE     DIG1C
        LDAA    #$20      ;Espacio en blanco
DIG1C   LDAB    #$30
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDD      ;Imprime
        LDAA    VALOR+7    ;Carga dígito 0
        ABA     ;Convierte a asccii
        JSR     LCDBUSY
        STAA    LCDD      ;Imprime.
        PULB
        PULA
        RTS

*****
*RUTINAS DE TIEMPO DE ACTUALIZACION DE VALORES
*
*****
TMPACT  DEX
        CPX     #$0
        BNE     SALTMP
        LDX     #$0FFF
        JSR     CHKBAN
SALTMP  RTS

TMPACT2 DEX
    
```

```

        CPX      #$00
        BNE     SALTMPB
        LDX     #$0FFF
        JSR     CHKBANB
SALTMPB RTS

TMPACTFP JSR     CHKBAN2      ;Calcula factor de potencia
        JSR     CALCFACP
        JSR     IMPFP        ; Imprime el factor de potencia
SALTMPFP RTS

TMPACTP1 JSR     CHKBAN2
        JSR     CALCFACP      ;Calcula factor de potencia
        JSR     CALPOT        ;Calcula potencia
        JSR     IMPRPOT1      ;Imprime potencia real
SALTMP1  RTS

TMPACTP2 JSR     CHKBAN2
        JSR     CALCFACP
        JSR     CALPOT
        JSR     IMPRPOT2      ;Imprime potencia Activa
SALTMP2  RTS

TMPACTP3 JSR     CHKBAN2
        JSR     CALCFACP
        JSR     CALPOT
        JSR     IMPRPOT3      ;Imprime potencia Aparente
SALTMP3  RTS
    
```

```

*****
*   RUTINAS DE COMUNICACIÓN
*****
    
```

```

*----- CONFIGURACIÓN DEL SCI-----
    
```

```

INISCI   PSHA
        PSHX
        LDX     #$1000
        LDAA    #$30
        STAA    BAUD,X
        LDAA    #$00
        STAA    SCCR1,X
        LDAA    #$0C
        STAA    SCCR2,X
        PULX
        PULA
        RTS
    
```

```

COM      jsr   inioc4

        JSR   LCDCLR
        LDX   #M5TEXTA
        JSR   LCDPRINT
    
```

```

com2     JSR   CHKSCI
        JSR   TECLADO
        LDAA  TECPRES
        CMPA  #$F7
        BEQ  SALCOM
        BRA  COM2
    
```

```

SALCOM          JMP    INI

enviar          LDX    #$1000
                BRCLR  SCSR,X,$80,enviar    ;Envía carácter por el SCI
                STAA  SCDR,X
                RTS

CHKSCI          LDX    #1000
                BRSET  SCSR,X,$20,COMANDO ;Verifica si se ha recibido dato
                RTS

COMANDO         LDAA   SCDR,X                ;Identifica el comando
                CMPA   #'A'
                BEQ    COMAND1
                CMPA   #'B'
                BEQ    COMAND2
                CMPA   #'C'
                BEQ    COMAND3
                ;Más comandos de ser necesarios
                RTS

COMAND1         ;Si el comando es "A"
                PSHY
                PSHB                ;Envía el Bufer por SCI
                JSR    CHKBAN2        ; Llamaz subrutina de actualizar de bufer
                LDY    #BUFER1
                LDAB   #$00
RETBUF          LDAA   0,Y
                JSR    ENVIAR
                INY
                INCB
                CMPB   #!52
                BNE   RETBUF
                PULB
                PULY
                RTS

COMAND2         LDAA   #'O'
                JSR    ENVIAR
                LDAA   #'k'
                JSR    ENVIAR
                JMP    princ
                RTS

COMAND3         LDAA   #'C'
                JSR    ENVIAR
                RTS

CHKBAN2        PSHA
RETCHK2        LDAA   BANDERA        ;Si el convertidor A/D terminó de
                CMPA   #$FF          ;realizar las conversiones, realiza
                BEQ    RETCHK2        ;la operación
                LDAA   #$FF          ;Deshabilita interrupción de sincronización
                STAA  SINCF
                JSR    FLBUF          ;Actualiza bufer
                LDAA  SINCF2
                CMPA  #$FF
                BEQ  SISINC2
                CLRA
    
```

```

                STAA    SINCF
                JSR     INIOC4
SALCHK2        PULA
                RTS
SISINC2        CLRA
                STAA    SINCF2
                STAA    SINCF
                BRA     SALCHK2
    
```

-----ROUTINA DE ACTUALIZACION DEL BUFER-----

```

FLBUF          PSHX
                JSR     MUESTVA
                JSR     TDF
                JSR     PFDEC    ;Aplica la Transformada de Fourier a VA
                JSR     BUFVA    ;Guarda módulo ajustado de la fase A (0 grados)
                JSR     ANGAVA
                JSR     BUFAVA   ;Guarda ángulo de la fase A en ASCII
                LDX     MODACT   ;Guarda los valores en formato binario
                STX     VAP      ;de 16 bits del voltaje de la fase A
                LDX     ANGACT
                STX     ANGVA
                JSR     MUESTVB  ;Procesa VB
                JSR     TDF
                JSR     PFDEC
                JSR     BUFVB
                JSR     ANGDECA
                JSR     BUFAVB

                LDX     MODACT
                STX     VBP
                LDX     ANGACT
                STX     ANGVB

                JSR     MUESTVC  ;Procesa VC
                JSR     TDF
                JSR     PFDEC
                JSR     BUFVC
                JSR     ANGDECA
                JSR     BUFAVC

                LDX     MODACT
                STX     VCP
                LDX     ANGACT
                STX     ANGVC

                JSR     MUESTIA  ;Procesa Ia
                JSR     TDF
                JSR     PFDEC2
                JSR     BUFAIA
                JSR     ANGDECA
                JSR     BUFAIA

                LDX     MODACT
                STX     IAP
                LDX     ANGACT
                STX     ANGIA

                JSR     MUESTIB  ;Procesa Ib
                JSR     TDF
    
```

```

        JSR      PFDEC2
        JSR      BUFIB
        JSR      ANGDECA
        JSR      BUFAIB

        LDX      MODACT
        STX      IBP
        LDX      ANGACT
        STX      ANGIB

        JSR      MUESTIC ;Procesa Ic
        JSR      TDF
        JSR      PFDEC2
        JSR      BUFIC
        JSR      ANGDECA
        JSR      BUFAIC

        LDX      MODACT
        STX      ICP
        LDX      ANGACT
        STX      ANGIC

        JSR      HZCONV ;Procesa frecuencia
        JSR      BUFREC
        PULX
        RTS

BUFVA   LDX      #BUFFER1
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFAVA  LDX      #BUFFER1+!4
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFVB   LDX      #BUFFER1+!8
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFAVB  LDX      #BUFFER1+!12
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFVC   LDX      #BUFFER1+!16
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFAVC  LDX      #BUFFER1+!20
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFIA   LDX      #BUFFER1+!24
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFAIA  LDX      #BUFFER1+!28
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFIB   LDX      #BUFFER1+!32
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFAIB  LDX      #BUFFER1+!36
        JSR      BUFFERFL
        RTS

BUFIC   LDX      #BUFFER1+!40
        JSR      BUFFERFL
        RTS
    
```

```

BUFAIC      LDX      #BUFFER1+!44
            JSR      BUFFERFL
            RTS
BUFREC      LDX      #BUFFER1+!48
            JSR      BUFFERFL
            RTS
BUFFERFL    LDAB     #$30      ;Conversión a código ACCII
            LDAA     VALOR+4
            ABA
            STAA     0,X
            LDAA     VALOR+5
            ABA
            STAA     1,X
            LDAA     VALOR+6
            ABA
            STAA     2,X
            LDAA     VALOR+7
            ABA
            STAA     3,X
            RTS
    
```

```

*****
*          SERVICIO DE INTERRUPCIONES
*****
*          SERVICIO DE INTERRUPCION DEL COMPARADOR OC1
*****
    
```

```

INIOC1      PSHX
            LDX      #$1000
            BSET     TFLG1,X,$80 ; borra abandera de interrupción
            LDD      TCNT,X
            ADDD     #!30
            STD      TOC1,X
            BSET     TMSK1,X,$80
            LDX      #$0000
            STX      CONTAD
            PULX
            RTS
    
```

*INTRRUPCION OC1

```

OC1         LDX      #$1000
            BSET     TFLG1,X,$80 ;borra bandera
            LDD      TCNT,X
            ADDD     #!20000      ;10 milisegundos
            STD      TOC1,X
            LDY      CONTAD
            INY                      ;Contador = contador + 10 ms
            STY      CONTAD
            CPY      TIEMPO          ;Contador >= Tiempo?
            BLO      SALOC1          ;Si, dispara Interruptores
            JSR      LEDP5XON        ;Prende PG1-PG3
            BCLR     TMSK1,X,$80    ;Desactiva protección
SALOC1      RTI
    
```

```

*****
*          SERVICIO DE INTERRUPCION DEL COMPARADOR 4 OC4
*****
*          RUTINA DE CONFIGURACION DEL COMPARADOR 4
    
```

```

INIOC4      PSHX
    
```

```

LDX    #$1000
BSET   TFLG1,X,$10 ;Borra bandera de interrupción
LDD    TCNT,X
ADDD   #!55
STD    TOC4,X
BSET   TMSK1,X,$10 ;Permite interrupción de OC4
CLRA
STAA   ADCTMP
LDAA   #$FF
STAA   BANDERA
PULX
RTS
    
```

*INTERUPCION

```

OC4    LDX    #$1000
        BSET   TFLG1,X,$10 ;Borra bandera de interrupción
        LDD    TCNT,X      ;2071 + 12 = 2083*0.0000005 segundos
        ADDD   #!2071      ;Esperar 1.0415 milisegundos
        STD    TOC4,X      ;para nueva interrupción
        LDAA   #$10
        STAA   ADCTL,X
        BCLR   ADCTL,X,$80 ;Conversión PE0-PE3
        BSR    ADC
        RTI    ;Retorno de interrupción
    
```

* RUTINAS DEL CONVERTIDOR ANALOGICO-DIGITAL

```

INIADC  PSHX
        PSHA
        LDAA   #$00
        STAA   BANDERA    ;Activa bandera de conversión
        LDX    #$1000
        BSET   OPTION,X,$80 ;Activa convertidor A/D
        LDAA   #$10
        STAA   ADCTL,X    ;Conversión de cuatro canales modo no continuo
        CLR   B
        STAB   ADCTMP     ;Muestra inicial, muestra cero
        STAB   SINCF2
        PULA   ;PE0 - PE3
        PULX
        RTS
    
```

* Rutina del conversión de los 8 canales del convertidor A/D.

```

ADC     LDAB   #$FF
        STAB   BANDERA    ;Bandera de conversión
        LDAB   ADCTMP     ;Carga #muestra
        LDY    #VA        ;Inicio de las muestras
        ABY    ;Y<----- Y+B
ESPERADC BRCLR  ADCTL,X,$80,ESPERADC ;Espera a que termine la conversión
        LDAA   ADR1,X
        STAA   !0,Y       ;Guarda muestra n de Va
        LDAA   ADR2,X
        STAA   !16,Y      ;Guarda muestra n de Vb
        LDAA   ADR3,X
        STAA   !32,Y      ;Guarda muestra n de Vc
        LDAA   ADR4,X
        STAA   !48,Y      ;Guarda muestra n de Ia
        LDAA   #$14
        STAA   ADCTL,X    ;Segunda conversión PE4-PE7
        BCLR  ADCTL,X,$80
    
```

```

ESPERADC2  BRCLR    ADCTL,X,$80,ESPERADC2
           LDAA    ADR1,X
           STAA    !64,Y           ;Guarda muestra n de Ib
           LDAA    ADR2,X
           STAA    !80,Y           ;Guarda muestra n de Ic
           INCB
           STAB    ADCTMP
           CMPB    #$10           ;Ultima muestra?, #MUESTRA = 16
           BNE    SALIRADC        ;No salir
           CLRA
           STAA    BANDERA        ;Si, borra Bandera,
           BCLR    TMSK1,X,$10    ;Desactiva interrupción de OC4
SALIRADC   RTS
    
```

```

*****
*INTERRUPCION DE IC2
*SINCRONIZACION DE MUESTREO
*SERVICIO DE INTERRUPCION DEL CAPTURADOR 2 (IC2) EN PA1
*****
    
```

```

IC2  LDX    #$1000
      BSET   TFLG1,X,$02    ;BORRA BANDERA DE INTERRUPCIÓN
      JSR    FREC
      LDAA   SINCF
      CMPA   #$00
      BNE    SIC2
      JSR    INIOC4
SIC1 LDAA   #$FF
      STAA   SINCF
      STAA   SINCF2
SIC2 RTI
    
```

*ROUTINA DE MEDICIÓN DE FRECUENCIA

```

FREC   LDX    #$1000
        LDAA   FRECES
        CMPA   #$00           ;Primer flanco?
        BNE    FRECB          ;No, Segundo paso
        LDY    TIC2,X         ;Si, Guarda Primer cuenta
        STY    FREC1
        LDAA   #$FF
        STAA   FRECES         ;Ya se realizó la primera cuenta
        BRA    FINFREC
FRECB  LDD    TIC2,X         ;FREC2 = D - FREC1
        SUBD   FREC1
        STD    FREC2
        CLRA
        STAA   FRECES         ;Se completó la medición del periodo
FINFREC RTS

HZCONV LDD    FREC2
        JSR    ENTPF          ;OP1<-----FREC2 convertido a formato de P.F.
        JSR    OP1OP2        ;OP2<-----OP1
        JSR    UNOOP1
        JSR    DIV           ;OP1<-----2,000,000*(1/OP2)
        JSR    CIENOP2
        JSR    MUL           ;OP1<-----10*OP1
        JSR    DOSMOP2
        JSR    MUL
        JSR    PFENT         ;FRECHZ<-----OP1 En formato binario de 16 bits
        STD    FRECHZ
    
```

```

        STD      SHFTRG
        JSR      BAD
        RTS

IMPFREC LDAA    #$9A
        JSR      LCDBUSY
        STAA    LCDI
        JSR      IMPRB
        RTS

CIENOP2 LDX     #$6400          ;OP2<-----100
        STX     MANT2
        LDAA    #$07
        STAA    EXP2
        RTS

DOSMOP2 LDX     #$7A12
        STX     MANT2
        LDAA    #$15
        STAA    EXP2
        RTS

UNOOP1  LDX     #$4000          ;OP1<-----1
        STX     MANT1
        LDAA    #$01
        STAA    EXP1
        RTS

ACTFREC DEX
        CPX     #$0000
        BNE     SALFREC
        JSR     HZCONV
        JSR     IMPFREC
        LDX     #$2FFF
SALFREC RTS

*-----

INIC2   PSHX
        LDX     #$1000
        BSET    TCTL2,X,$07    ;Interrupciones con el flanco de subida
        BSET    TMSK1,X,$02
        CLRA
        STAA    SINCF
        PULX
        RTS

*****
*   VECTORES DE INTERRUPCION
*   VALORES MOMENTANEOS PARA MODO BOOTSTAP
*****
        ORG     $00DF
        JMP     OC1             ;Vector de interrupción OC1
        ORG     $00D6          ;Vector de interrupción OC4
        JMP     OC4
        ORG     $00E5          ;Vector de interrupción OC2
        JMP     IC2

*   VECTORES DE INTERRUPCION
*   VALORES MOMENTANEOS PARA MODO EXPANDIDO
-----
VECO1   EQU     $FFE8
VECO4   EQU     $FFE2
VECTIC2 EQU     $FFEC
    
```

```

VECINI      EQU      $FFFE

              ORG    $FE00      ;Inicio en EEPROM INTERNA DEL HC11 ver Nota.

*-----CONFIGURACION DE MEMORIA-----
INIEEP      LDAA    #$C5
              STAA   $105D      ; 32 K ROM
              LDAA   #$20
              STAA   $105E      ; INICIO DE RAM 2000H
              LDAA   #$09
              STAA   $105F      ; 32K RAM
              CLI
              JMP    INICIO

*-----INTERRUPCIONES-----
              ORG    VECOC1
              FDB    OC1
              ORG    VECOC4
              FDB    OC4
              ORG    VECTIC2
              FDB    IC2
              ORG    VECINI
              FDB    INIEEP

```

Nota: El microcontrolador se configura para operar en modo expandido iniciando el programa en el vector de interrupción FFFE de la memoria EEPROM interna, posteriormente el programa salta a la dirección FE00 y se ejecuta la rutina de configuración de memoria externa. La memoria EEPROM se encuentra de dirección FE00 a FFFF.

Para hacer visible la memoria EEPROM en modo expandido es necesario realizar el siguiente procedimiento:

```

Grabar los registros BPROT ($1035)= $00
                        CONFIG ($103F)= $00
                        CONFIG      = $FF

```

Reiniciar el microprocesador.

Este procedimiento puede realizarse con ayuda del programa PCBUG11 ó JBUG11. El programa fue ensamblado haciendo uso del programa IASM11.

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En el desarrollo de cualquier sistema electrónico las pruebas de funcionamiento son necesarias con el fin de verificar que la operación del dispositivo sea el correcto y, en la mayoría de las veces, para encontrar anomalías o errores de diseño y como consecuencia hacer las mejoras pertinentes.

El equipo necesario para la realización de las pruebas está disponible en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, el cual se describe a continuación:

- Fuente trifásica variable.
- Banco de carga resistiva.
- 3 Vóltmetros de corriente alterna.
- 3 Ampérmegos de corriente alterna.
- 3 Transformadores de corriente con relación de transformación 25/5, 50/5, 75/5, 100/5.
- Cables.
- Relevador Digital.

Las pruebas se deben realizar en condiciones de seguridad adecuadas ya que se involucran niveles de tensión hasta de 300 V de fase a fase y corrientes máximas de 25 amperes.

Las pruebas se dividen en dos partes, la primera y la más importante es la prueba de medición y finalmente la prueba de protección.

4.1. Medición de parámetros eléctricos.

Los dos parámetros eléctricos principales en la protección de sistemas eléctricos son tensión y corriente, a partir de ellos el cálculo del factor de potencia, potencia real, activa y aparente resulta relativamente sencilla. El sistema tiene la capacidad de medir la frecuencia de línea, dato que puede ser útil para conocer el comportamiento del sistema.

Los valores de tensión y corriente que mide el sistema digital son comparados con las lecturas de los equipos profesionales de medición con el fin de determinar el grado de exactitud y precisión, o en su defecto, realizar los ajustes necesarios.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de conexiones necesario para la realización de las pruebas. Las conexiones de las fases a, b, c y neutro (n), provienen de la fuente trifásica.

¡Es importante seguir las indicaciones de seguridad en todo momento!

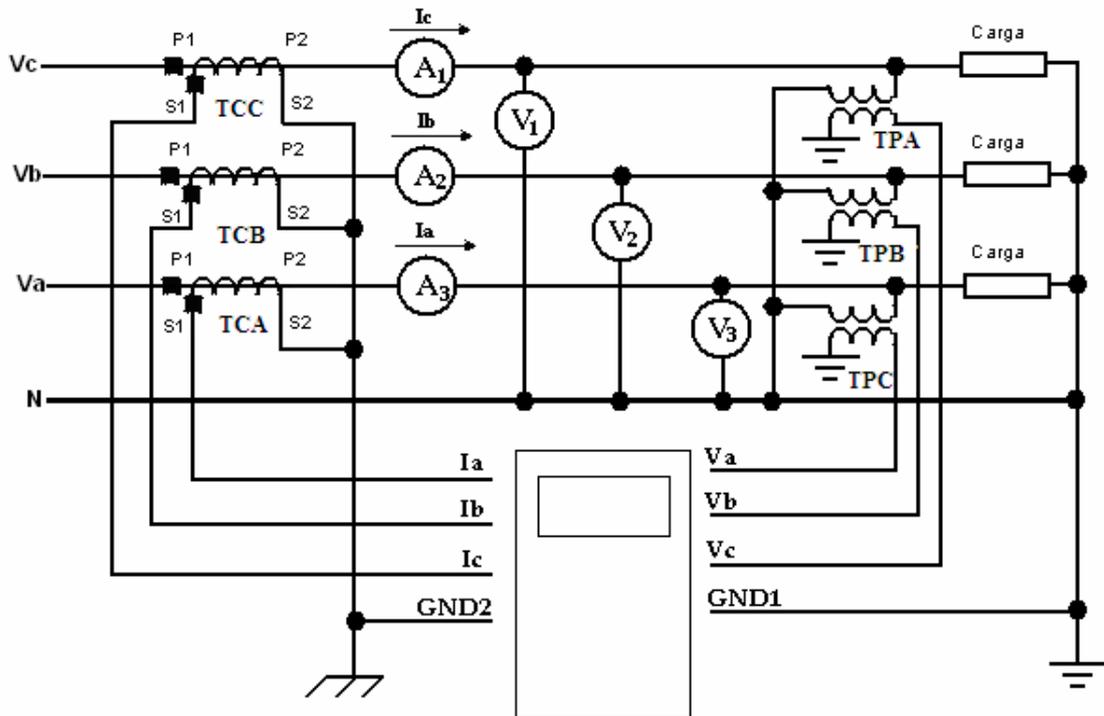


Figura 4.1. Diagrama de conexiones.

4.1.1 Prueba de medición de tensión.

Prueba	Voltmetros			Sistema digital, Voltaje y Ángulo					
	V ₁	V ₂	V ₃	V _a	V _b	V _c	θ V _a	θ V _b	θ V _c
1	20	20	20	20.5	21.3	21.9	0	120.5	240.7
2	41	40	42	41.1	41.0	42.3	0	120.1	240.3
3	60	59	60	59.7	59.4	61.3	0	120.3	240.9
4	80	80	82	80.7	81.1	83.7	0	119.9	240.8
5	100	99	102	99.9	101.5	104.5	0	120.1	240.7
6	110	108	111	110.7	110.3	113.5	0	120.5	240.9
7	120	120	122	120.9	121.7	125.5	0	120.2	240.8
8	130	130	132	131.1	132.6	135.6	0	120.3	240.7
9	140	139	141	141.1	142.5	144.4	0	119.9	241.4
10	150	149	151	150.7	152.2	154.1	0	120.1	240.9
11	160	159	161	160.1	162	163.4	0	120.1	239.8

4.1.2 Prueba de medición de corriente.

Prueba	Ampermetros			Sistema digital, Corriente y Ángulo					
	I ₁	I ₂	I ₃	I _a	I _b	I _c	θ I _a	θ I _b	θ I _c
1	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.5	2.8°	120.5°	239.5°
2	7.0	7.3	6.8	6.9	7.2	6.7	3.8°	120.3°	239.3°
3	10.2	10.8	10.2	10.2	10.7	10.0	2.6°	119.6°	237.7°
4	13.3	14.1	13.2	13.3	14.0	13.0	3.1°	118.8°	136.2°

5	16.2	17.4	16.2	16.2	17.2	16.1	3.1	118.8°	235.2
6	19.2	20.3	19.0	19.1	20.3	18.7	3.1	118.5	234.2

4.1.3 Prueba de medición de potencia.

Prueba	Va (V, áng.)	Ia (A, áng.)	Fpa	Pa (Watts)	Qa (Vars)	Sa (VA)	Frecuencia (Hertz)
1	117.0, 2.0	3.7, 2.7	0.99	432	15	432	60.07
2	114.8, 1.0	7.2, 2.6	0.99	828	28	830	60.02
3	113.1, 0.0	10.4, 3.0	0.99	1193	41	1180	59.99
4	111.7, 0.0	13.7, 2.7	0.99	1525	53	1520	60.04
5	109.5, 5.0	16.7, 3.0	0.99	1825	63	1823	60.02

Prueba	Vb (V, áng.)	Ib (A, áng.)	Fpb	Pb (Watts)	Qb (Vars)	Sb (VA)	Frecuencia (Hertz)
1	121.0, 118.2	3.8, 120.5	.99	460	8	460	60.00
2	119.1, 117.7	7.3, 119.8	.99	868	15	868	59.96
3	117.8, 117.1	10.8, 118.8	.99	1269	22	1268	60.03
4	115.9, 117.1	14.2, 119.1	.99	1629	28	1629	59.96
5	114.4, 116.6	17.4, 118.5	.99	1990	34	1990	60.01

Prueba	Vc (V, áng.)	Ic (A, áng.)	Fpc	Pc (Watts)	Qc (Vars)	Sc (VA)	Frecuencia (Hertz)
1	114.0, 237.0	3.5, 239.0	.99	399	6	398	60.08
2	112.0, 235.6	6.9, 237.3	.99	778	13	777	60.09
3	110.0, 234.6	10.1, 237.9	.99	1118	38	1118	60.03
4	109.1, 233.1	13.2, 236.2	.99	1439	74	1438	60.06
5	107.1, 232.2	16.1, 235.2	.99	1729	90	1727	60.06

4.2 Ajuste y operación de las protecciones programadas.

4.2.1 Protección 50.

Ajuste (Ip)	Corriente Aplicada	Operación
10	14.2	Instantáneo
10	7.4	No operación
14.3	14.2	No operación
10	12.0	Instantáneo
5	4.5	No operación
5	7.4	Instantáneo
15	14.1	No operación
15	17.4	Instantáneo

4.2.2 Protección 51.

Dial	Im	Ip	t (seg.)	t (medido) (seg.) En 5 pruebas
------	----	----	----------	--------------------------------

			(Calculado)	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅
0.5	4	7.1	1.563	1.56	1.56	1.62	1.62	1.56
0.5	6	10.1	0.733	0.73	0.73	0.73	0.74	0.73
1	4	13.3	1.7	1.67	1.72	1.70	1.72	1.69
2	4	10	2.44	2.44	2.39	2.40	2.46	2.46
3	4	10	3.58	3.58	3.60	3.67	3.66	3.58
4	4	10	4.71	4.74	4.84	4.71	4.70	4.77
5	4	14.5	2.63	2.7	2.66	2.60	2.66	2.7
6	4	14.5	3.12	3.11	3.12	3.12	3.11	3.18
7	4	14.5	3.61	3.61	3.56	3.56	3.61	3.56
8	4	14.5	4.10	4.10	4.15	4.14	4.10	4.15
9	4	14.5	4.59	4.53	4.50	4.57	4.53	4.50
10	4	14.5	5.081	5.04	5.00	5.17	5.06	5.03

4.2.3 Protección 27 y 59.

Ajuste T_{máx} = 120.0 V

Ajuste T_{mín} = 50.0 V

Resultados:

Tensión Aplicada (Volts)	Operación de protección
110	P27
30	P27
40	P27
49.6	P27
51	-----
60	-----
80	-----
100	-----
119	-----
121	P59
130	P59

5.2.4 Análisis de resultados.

Este capítulo es el más importante, no obstante, es el menos extenso; en este punto la teoría, el diseño y la implementación se llevan a la evidencia experimental donde se comprueba, acepta o rechaza todo el trabajo realizado.

Como puede observarse en las tablas de resultados, las lecturas obtenidas con el relevador digital son muy satisfactorias ya que al compararlas con los instrumentos utilizados como patrones éstas tienen un grado de precisión aceptable.

El tiempo de operación en el caso de la protección 51 tiene ciertas variaciones, esto se debe principalmente a que la corriente aplicada no es constante en todo momento y el sistema calcula un nuevo tiempo de operación cada 30 milisegundos aproximadamente.

La frecuencia de la señal no es constante, sin embargo su variación no sobrepasa $\pm .09$ hertz y no afecta de manera importante a las mediciones que realiza el relevador digital.

Con ayuda del software (Centinela 1.0) se pueden observar de manera gráfica los fasores, haciendo más comprensibles las señales que está midiendo el relevador en ese momento con lo que se dan por terminadas las pruebas de funcionamiento.

¡Se concluye que el proyecto fue un éxito y se cumplió con el objetivo principal!

5 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Como en todo nuevo diseño y construcción de un sistema es necesario un instructivo o manual de operación y mantenimiento. En este capítulo se detallan las características del sistema, conexiones, modos de operación, procedimientos de mantenimiento y reparación, necesarios para mantener el dispositivo en óptimas condiciones.

5.1 Descripción general.

El cerebro del sistema de medición es un microcontrolador marca MOTOROLA MC68HC11F1, el cual mediante periféricos incluidos como el convertidor A/D, obtiene muestras de las señales de tensión y corriente de un sistema eléctrico trifásico, para posteriormente a través de operaciones matemáticas editadas en el programa monitor pueda calcular parámetros eléctricos como son: tensión, corriente, potencia real y aparente en forma fasorial. De igual manera incorpora algoritmos de control y protección. El sistema de medición posee un convertidor Analógico-Digital de 8 bits y sistemas de acondicionamiento de tensión y corriente. La interfaz con el usuario consta de un teclado de 7 teclas, una pantalla (display) de 20*4 caracteres, indicadores ópticos (LEDs) y un puerto de comunicaciones RS232 capaz de transmitir información a un sistema remoto o a una computadora personal donde, por medio de un programa diseñado especialmente para esta tarea, se puede observar de manera gráfica el comportamiento del sistema eléctrico. A continuación en la figura 5.1 se muestra el sistema de medición con la localización de los elementos más importantes:

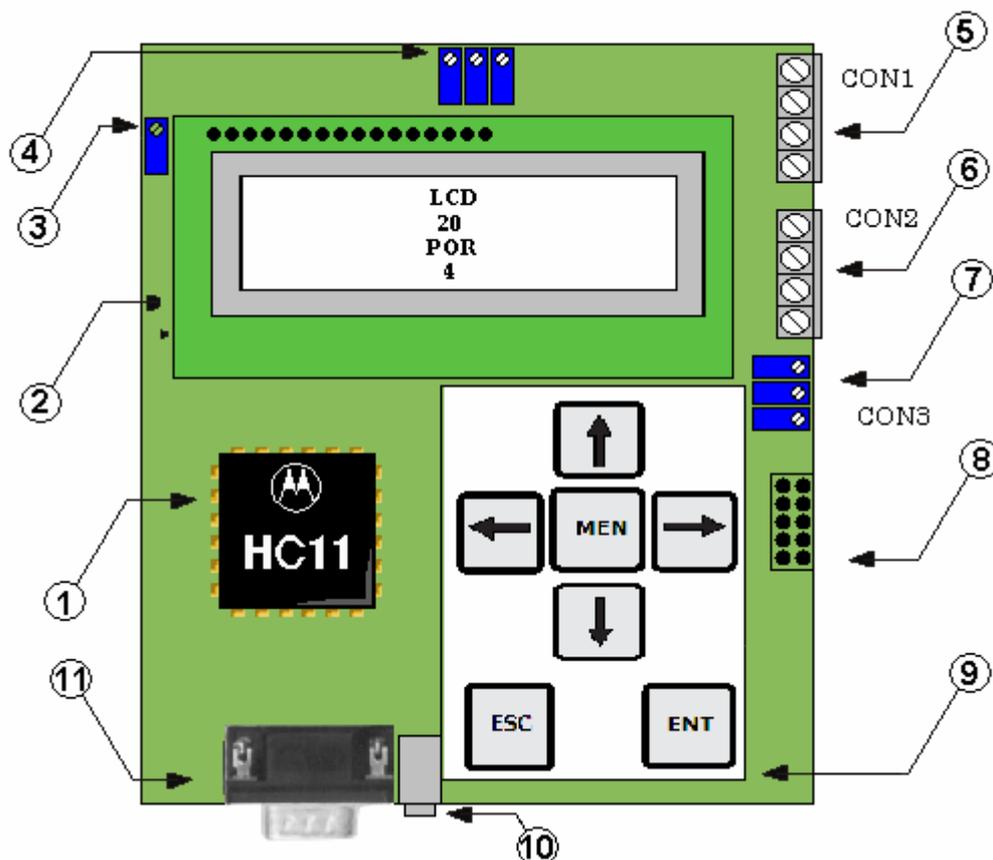


Figura 5.1 Descripción general de los elementos que conforman el sistema de medición.

- 1) Microcontrolador Motorola MC68HC11F1.
- 2) Pantalla (display LCD) 20 * 4 caracteres.
- 3) Ajuste de brillo del LCD.
- 4) Ajuste acondicionador de voltaje.
- 5) Conexiones de los TP's CON1.
- 6) Conexiones de los TC's CON2.
- 7) Ajuste acondicionador de corriente.
- 8) Salida digital para interfaz con interruptores CON3.
- 9) Teclado.
- 10) Conexión de alimentación, 12 Volts C.C.
- 11) Puerto de comunicaciones RS-232 (DB9).

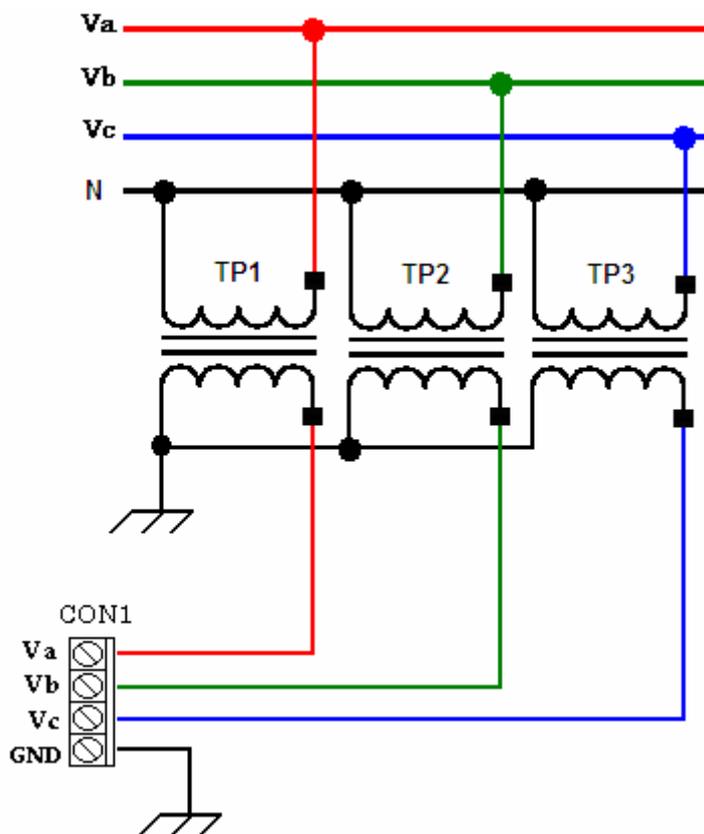
¡NOTA IMPORTANTE!

Las secciones de seguridad deben ser leídas antes de poner en funcionamiento el sistema. En textos subsecuentes, donde procedimientos específicos de seguridad deben ser seguidos cuidadosamente o donde se deben tomar ciertas precauciones, están marcados con un triángulo de advertencia como el siguiente.



5.2 Conexiones.

Las terminales se fijan mediante tornillos que forman parte de los conectores, los cuales deben ser cuidadosamente apretados para evitar el desprendimiento de los cables.



El sistema cuenta con tres grupos de conectores CON1, CON2 y CON3 que corresponden a conexión de tensión, corriente e interruptores respectivamente. La correcta operación del dispositivo está determinada por la debida colocación del sistema de medición y los elementos externos del sistema eléctrico.

CON1: Terminales destinadas a la conexión de los transformadores de potencial (TP), Ver figura 5.2.

Va, Vb y Vc corresponden a las tensiones de fase a tierra, GND es la referencia del sistema.

Figura 5.2 Conexión de Transformadores de Potencial.

 **GND es la referencia a tierra del sistema digital, por tal razón debe asegurarse la correcta conexión con el fin de evitar errores en la medición.**

Es de suma importancia considerar el tipo de arreglo de los transformadores de potencial para evitar confusiones en los desplazamientos de fase.

CON2: Este conector es el eslabón entre el sistema de medición y los transformadores de corriente. A continuación se muestra el diagrama de conexiones.

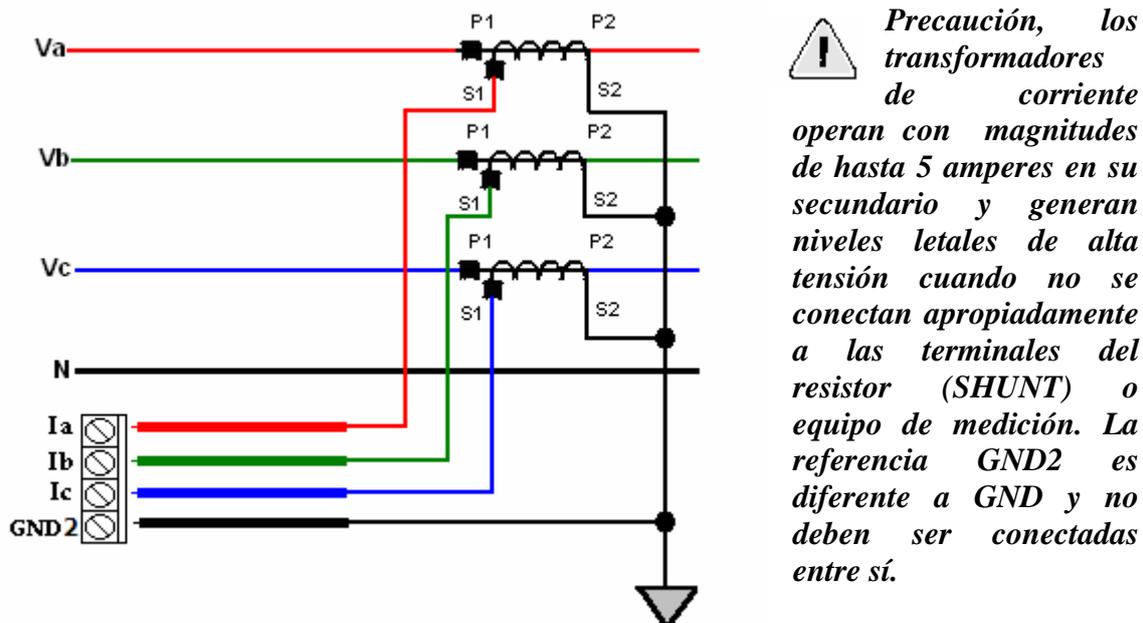


Figura 5.3 Conexión de Transformadores de Corriente.

CON3: Las conexiones que se realizan en esta sección corresponden a los actuadores o interruptores colocados en el sistema eléctrico. Las salidas P5X Fa, P5X FB y P5X FC están completamente aisladas de la línea de alta tensión por medio de tres relevadores de estado sólido que pueden ser acoplados a circuitos de interruptores de potencia. La figura 5.4 muestra un ejemplo de conexión entre el sistema digital e interruptores de potencia.

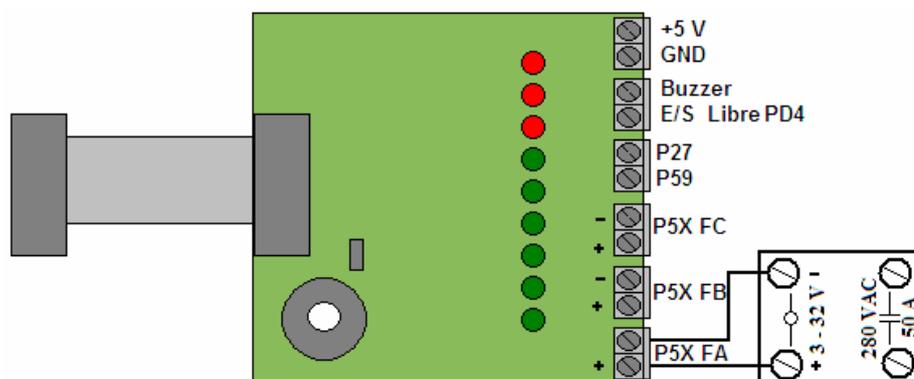


Figura 5.4. Conexión de los actuadores.

5.3 Visualización de la información.

5.3.1 Display de Cristal Líquido (LCD).

La exhibición de la información se realiza por medio de una pantalla de cristal líquido (LCD) de 20 caracteres por 4 renglones.

La información se divide en varias pantallas. Las mediciones de tensión, corriente, potencia activa (P) y reactiva (Q) se representan en forma fasorial, módulo y ángulo (r, θ), esto se puede ver de manera más clara en la figura 5.5.

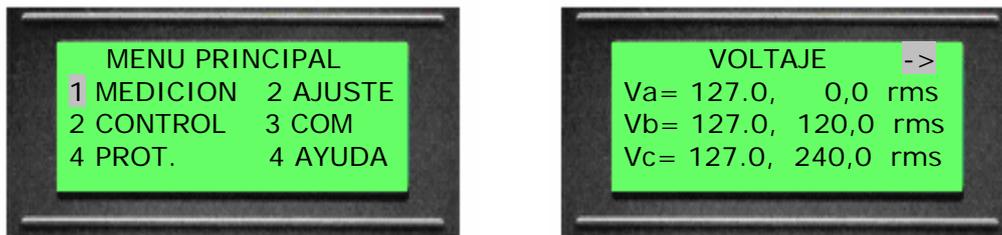


Figura 5.5. Visualización de la información en la pantalla (LCD).

Todas las pantallas se muestran detalladamente en el capítulo de uso del programa monitor. Se explica de manera completa la forma de entrar y cambiar de modo en los diferentes menús.

La pantalla posee luz independiente que se activa al momento de iniciar el sistema, proporciona una mejor visibilidad en lugares con poca iluminación lo que permite mayor seguridad en su operación.

5.3.2 Indicadores ópticos.

La tarjeta cuenta con ocho indicadores ópticos “LEDS” (Diodos Emisores de Luz) que se encienden cuando alguna protección se activa, la asignación de cada LED se muestra a continuación:



Los LEDS libres son de uso general y pueden ser programados según las necesidades. El LED “buzzer” se conecta mediante un transistor a un generador de tono que indica si se ha activado alguna protección.

5.4 Interfaz con el usuario.

La forma de interacción sistema-usuario se efectúa por medio del teclado, pantalla (Display, LCD) y un puerto serial de comunicaciones RS-232.

El sistema posee 7 teclas colocadas en forma matricial como se muestra en la figura 5.1, las cuales manipulan las funciones de exhibición de la información, ajustes, pruebas del sistema y comunicación con otros dispositivos externos.

La función que realiza cada tecla se describe a continuación.

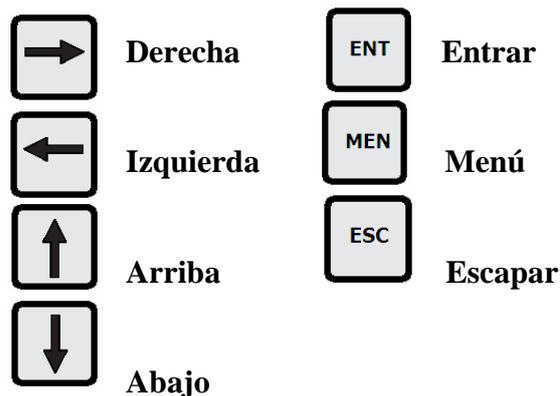


Figura 5.6 Descripción del teclado.

El puerto de comunicaciones RS-232 está disponible por medio de un conector de tipo DB9 donde la información se transmite a una velocidad de 9600 bps. Por medio de este dispositivo el sistema de medición envía información a una computadora personal y a través de un programa especial se visualizan los fasores gráficamente.

5.5 Mantenimiento y Ajuste.

5.5.1 Mantenimiento.

El mantenimiento es un procedimiento importante en todo equipo ya que este determina su durabilidad y correcto funcionamiento, de este modo se encuentran y corrigen anomalías debidas al uso o al simple paso del tiempo. El mantenimiento es un procedimiento que se define de manera precisa tomando en cuenta las reglas de seguridad.

Para este sistema de medición el mantenimiento es mínimo, el equipo posee pocos elementos susceptibles a los estragos del tiempo y desgaste causados por la fricción o corrosión. Los únicos elementos que lo requieren son los dispositivos de ajuste como los potenciómetros de precisión y los interruptores del teclado que, en caso de fallar, la sustitución de los mismos es la mejor opción.

5.5.2 Ajuste.

El procedimiento de ajuste se realiza en los potenciómetros que determinan la ganancia de los amplificadores operacionales y los divisores de potencial que forman

parte de la etapa de acondicionamiento de las señales (figura 5.1), mismos que se describen detalladamente a continuación, ver figura 5.7.

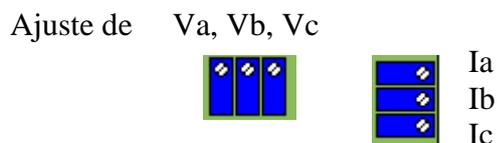


Figura 5.7. Descripción de los potenciómetros de ajuste.

El potenciómetro utilizado es de precisión y se ajusta por medio de un tornillo milimétrico, incrementando o disminuyendo su valor resistivo según el sentido de giro¹.

El procedimiento de ajuste es el siguiente:

- Realizar las conexiones como se observa en la figura 4.1 y seguir las recomendaciones de seguridad.
- Por medio de las lecturas obtenidas de los instrumentos de medición (Vóltmetros y Ampérmetros) ajustar los potenciómetros correspondientes hasta obtener una lectura igual en la carátula correspondiente. (Para entrar en modo de medición referirse al capítulo 5.6, Uso del Software).
- Realizar varias mediciones y colocar diferentes cargas resistivas para corroborar las lecturas.

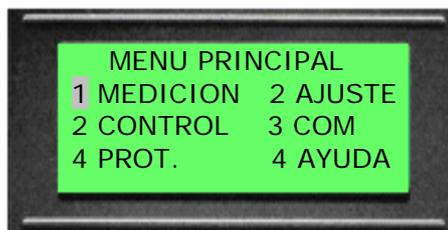
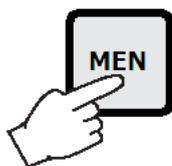
5.6 Uso del Software.

Dos programas son desarrollados independientemente pero que trabajan de manera conjunta: El programa monitor del sistema de medición “firmware” y el programa de Monitoreo. El primero está desarrollado en lenguaje “ensamblador” y se encuentra almacenado en la memoria EPROM del sistema, el segundo es una aplicación hecha en “Visual Basic 6.0” y está disponible para su uso en cualquier computadora personal.

5.6.1 Programa Monitor.

5.6.1.1 Entrando al Menú principal.

- Al inicializar el sistema aparecerá la pantalla inicial.
- Presionar “MEN” para entrar al menú principal.



¹ El tornillo gira en promedio 10 vueltas para recorrer el intervalo resistivo (0 a 10 Kohms)

- Haciendo uso de las teclas “Arriba” y “Abajo” se coloca en la opción del menú deseada. Presionar “ENT” para entrar.

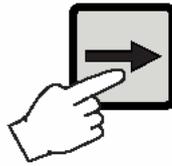


5.6.1.2 Entrando al modo de Medición.

- En el menú principal seleccionar la opción “1 MEDICION” según los pasos anteriores. Aparecerá la carátula de medición de **Voltaje (tensión)**.
- Para avanzar o retroceder utilizar las teclas respectivas.



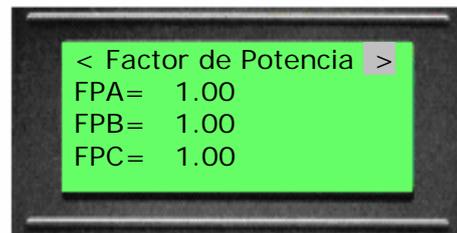
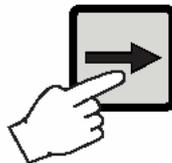
- Medición de Corriente.



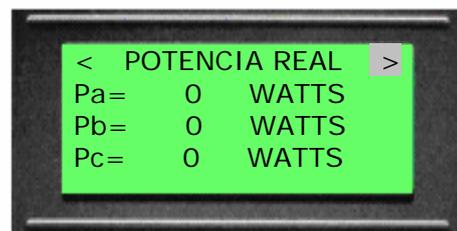
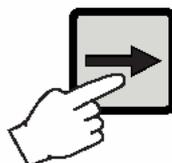
- Medición de Frecuencia



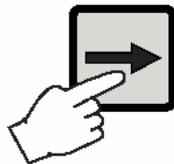
- Medición de Factor de Potencia.



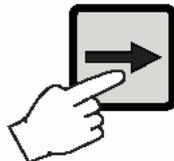
- Medición de **Potencia Real**.



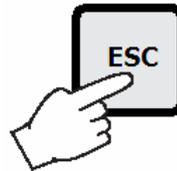
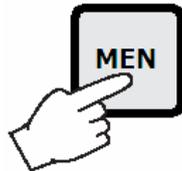
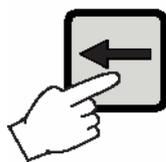
- Medición de **Potencia Reactiva**.



- Medición de **Potencia Aparente**.

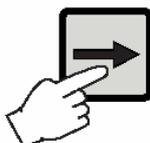
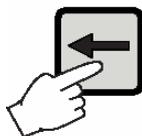


- Para regresar a la pantalla anterior presionar “Izquierda”. Presionar “MEN” o “ESC” en cualquier momento para regresar al menú principal.



5.6.1.3 Entrando al modo de Control.

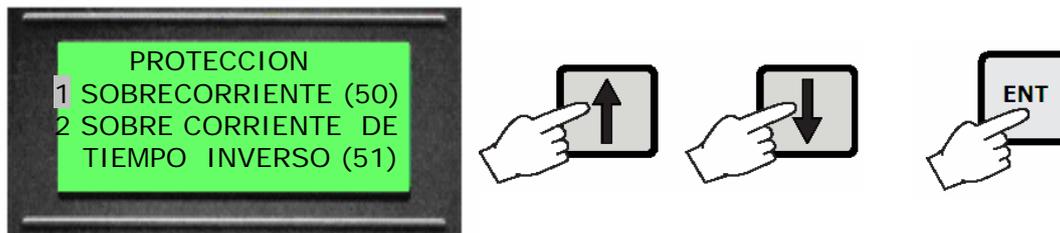
- En el menú principal seleccionar “2 CONTROL”.
- Para ajustar los valores deseados de TMax y TMin usar las teclas “Arriba”, “Abajo”, “Derecha” e “Izquierda”.



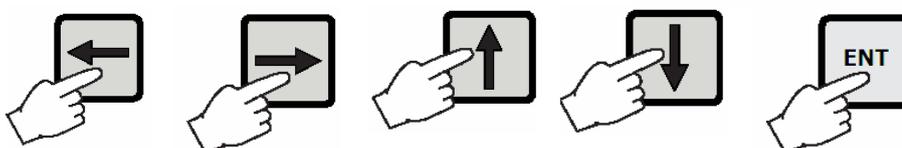
- Al operar una protección, en la línea punteada aparecerá la leyenda “PXX ¡activa!” donde XX corresponde a 29 ó 57 según sea el caso. Para salir presionar “ESC” ó “MEN” para regresar al menú principal.

5.6.1.4 Entrando al modo de Protección.

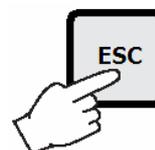
- En el menú principal entrar a “3 PROT.”, aparecerá un menú con dos opciones; Protección 50 y 51. Por medio de las flechas “Arriba” y “Abajo” colocarse en la opción deseada y presionar “ENT” .



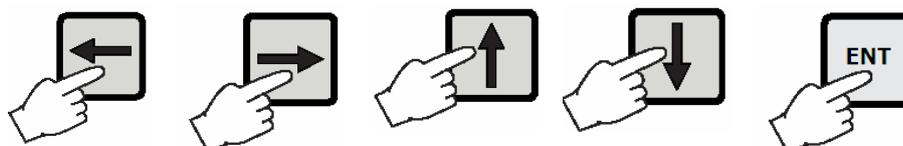
- La opción "1" muestra la carátula de la Protección 50. Utilizar las teclas de flechas para cambiar el valor de I_p al deseado y "ENT" para habilitar (S) o deshabilitar (N) la protección. Para salir presione "ESC" ó "MEN".



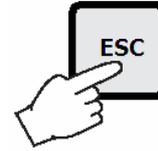
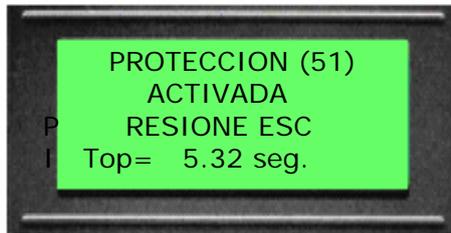
- Cuando opera la protección 50 inmediatamente se muestra la carátula de advertencia. Presionar "ESC" para salir, reestablecer el sistema y regresar a las condiciones iniciales.



- La opción "2" muestra la carátula de Protección 51. Utilizar las teclas de flechas para cambiar los valores de Dial "D" y corriente mínima de operación "Im". Presionar "ENT" para habilitar o deshabilitar la protección. Para salir presionar "ESC" ó "MEN".

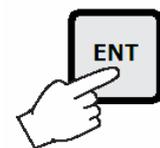


- Cuando opera la protección 51 ($I_a \geq I_m$), inmediatamente se muestra la carátula de advertencia donde se muestra el tiempo de operación según los parámetros seleccionados. Presionar “ESC” para salir, reestablecer el sistema y regresar a las condiciones iniciales.



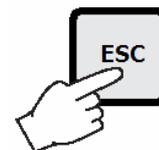
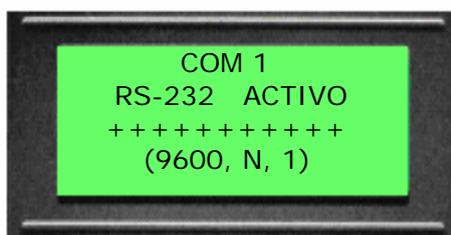
5.6.1.5 Entrando al modo de ajuste.

- En el menú principal entrar a “4 AJUSTE”, donde aparecerá la carátula correspondiente. Para cambiar la relación de transformación del TC utilizar las flechas “Arriba” y “abajo”. Presionar “ENT” para confirmar y actualizar el nuevo valor. Para salir presionar “ESC” ó “MEN”.



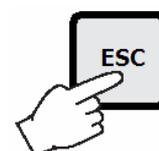
5.6.1.6 Entrando al modo de comunicaciones “COM 1”.

- En el menú principal entrar a “5 AJUS”, aparecerá la carátula indicando que el sistema se encuentra listo para recibir y enviar datos. Si existe un error en la comunicación o el sistema remoto sale del modo de comunicación el sistema regresa al principio del programa. Presionar “ESC” para salir.



5.6.1.7 Entrando al modo de “AYUDA”.

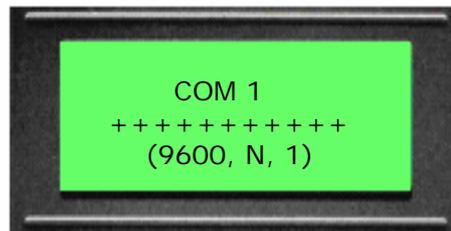
- En el menú principal entrar a “6 AYUDA”. Presionar “ESC” ó “MEN” para salir.



5.6.2 Aplicación.

La aplicación es un programa que se ejecuta en una computadora personal, en el cual se visualiza de manera gráfica la información que envía el relevador digital por medio del puerto de comunicaciones RS-232. Para establecer la comunicación entre el relevador y la computadora personal es necesario seguir los siguientes pasos:

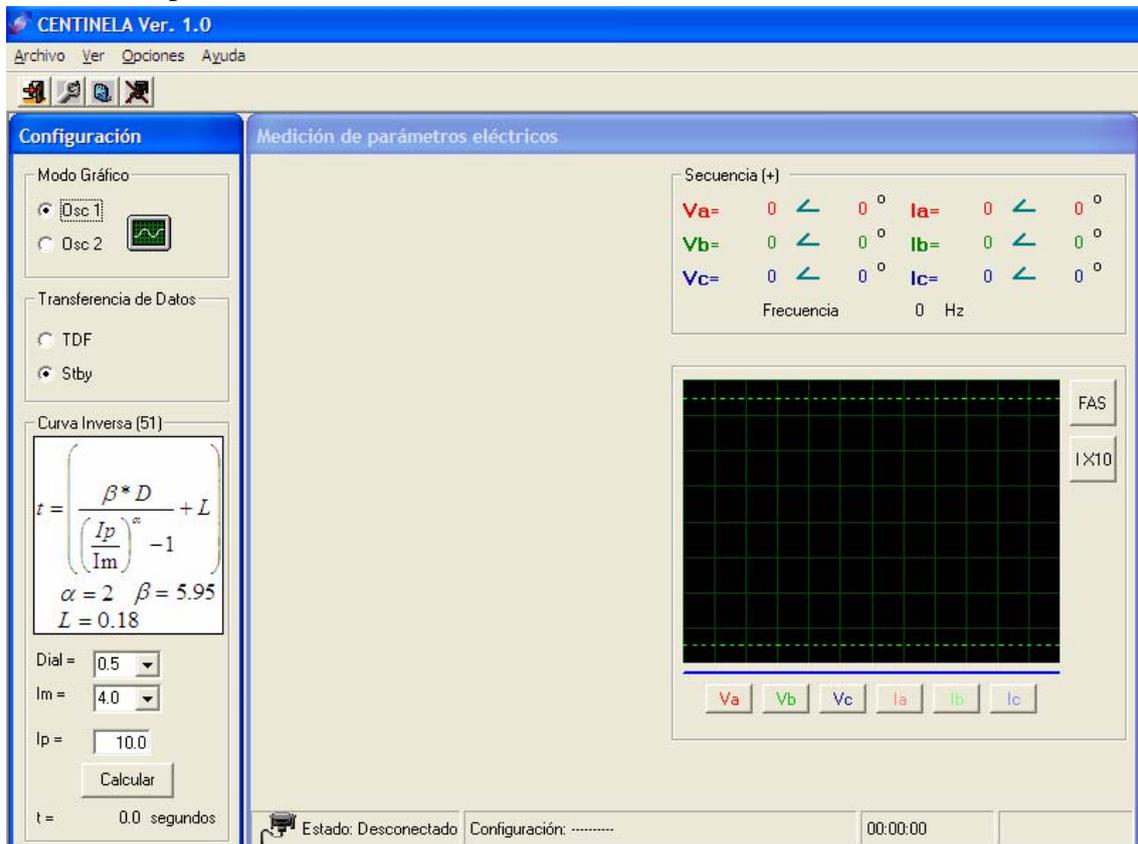
Entrar al modo de Comunicaciones “COM” en el sistema de medición.

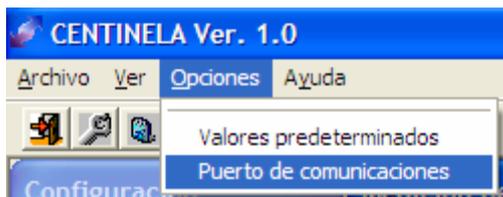


Conectar el cable al puerto RS-232.



Correr la aplicación “CENTINELA”.

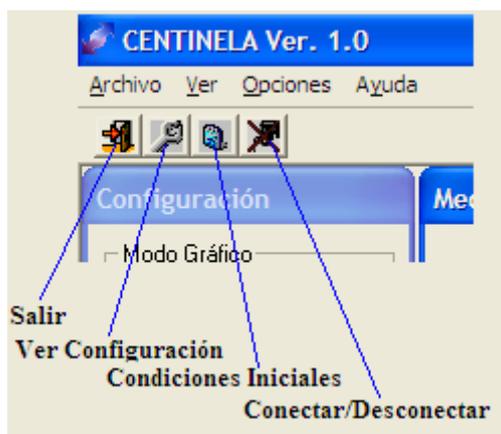




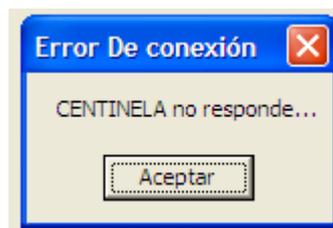
- En el menú “Opciones” entrar a “Puerto de Comunicaciones”.



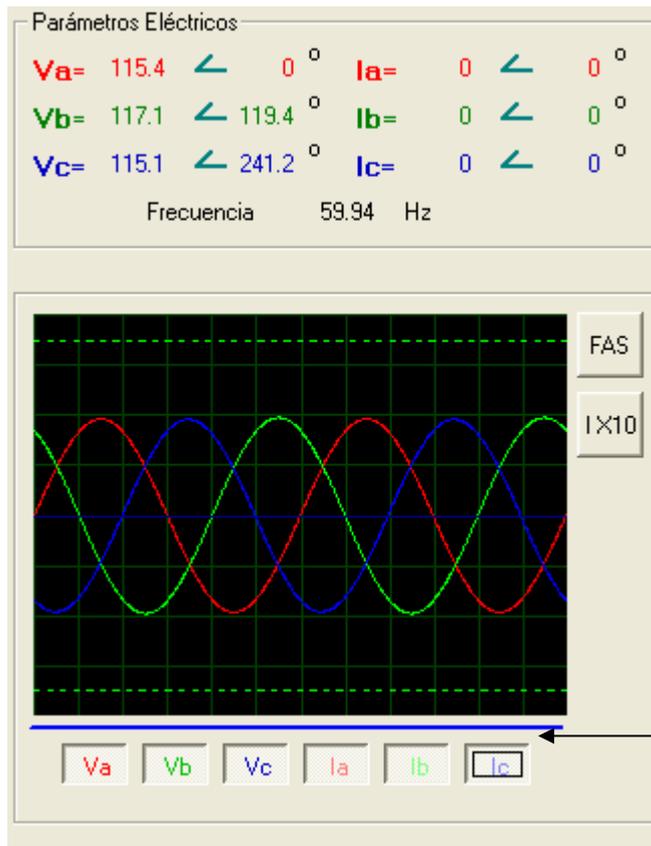
- Seleccionar el puerto de comunicaciones donde se encuentre conectado el relevador y presionar “Aceptar”



- Hacer Click en “Conectar” en la barra de herramientas. Si existe algún problema en la comunicación el programa mostrará un cuadro de diálogo, presionar “Aceptar” y revisar nuevamente los pasos anteriores.

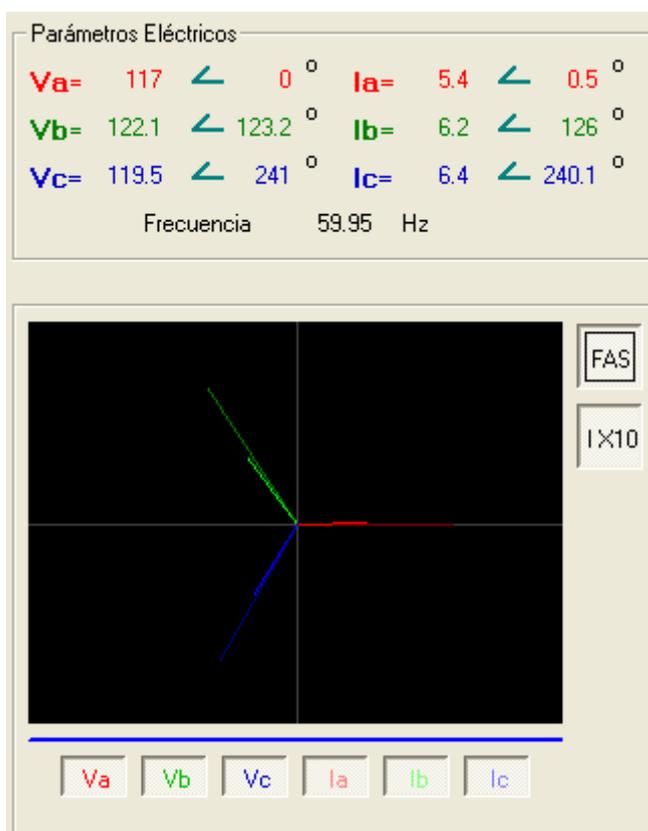


- Al establecerse la conexión con el relevador digital, poner el modo de transferencia de datos en TDF y el Modo Gráfico en OSC1, de esta manera se observa la forma de onda de los parámetros eléctricos medidos en ese momento. En OSC1 es posible escoger la forma de onda deseada por medio de los controles colocados en la parte inferior.

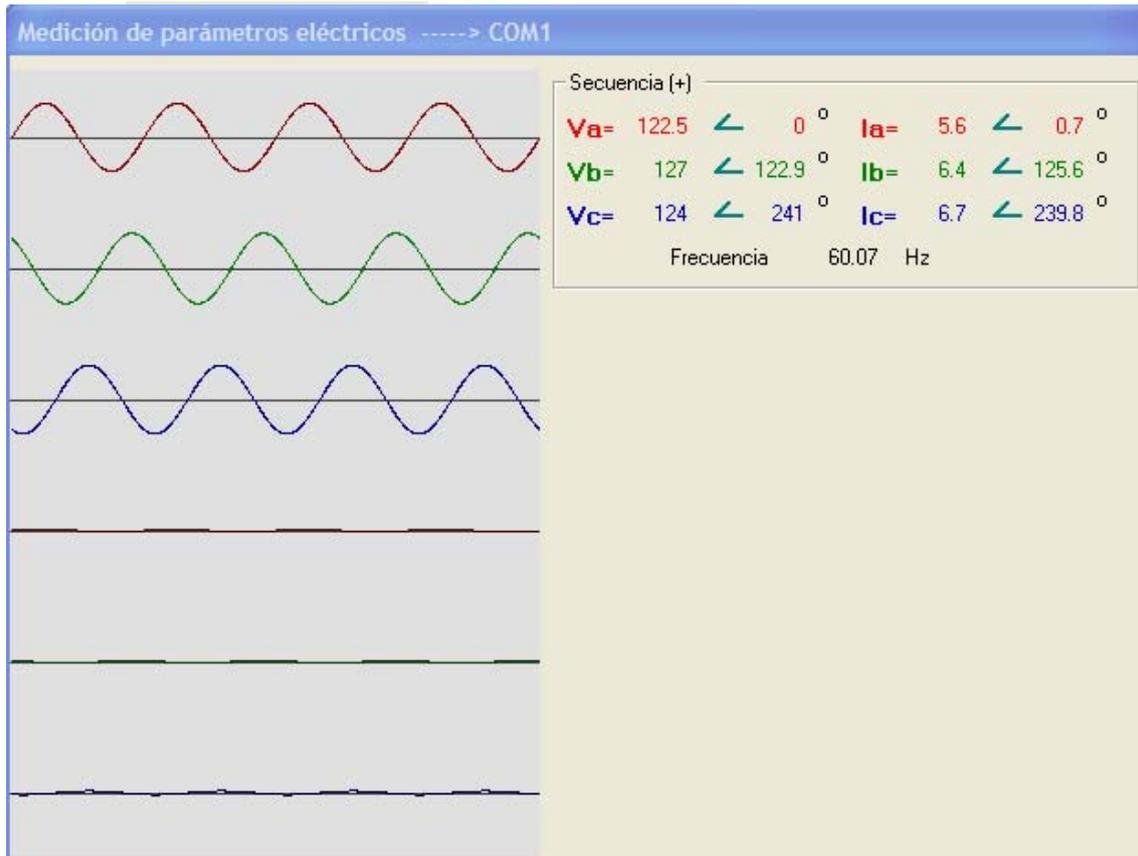


- El botón “FAS” realiza la conversión de modo rectangular a modo fasorial colocando todos los fasores con inicio en el origen. El botón “I X10” multiplica el valor de la corriente por diez con el fin de magnificar las corrientes de poca intensidad.

Selección de canal.



- En este modo también se pueden escoger la señales que se quieren visualizar de manera independiente y se puede observar la secuencia de fases donde una mala conexión puede determinarse claramente siguiendo el sentido de giro de los fasores.



- Existe otro modo de visualización y no difiere mucho a OSC1, ese modo es OSC2 donde las señales se observan de manera independiente y separada.

Curva Inversa (51)

$$t = \frac{\beta * D}{\left(\frac{I_p}{I_m}\right)^\alpha - 1} + L$$

$\alpha = 2$ $\beta = 5.95$
 $L = 0.18$

Dial =

I_m =

I_p =

t = 0.747 segundos

El relevador está programado para responder a una serie de curvas en la protección 51, el programa dispone del modelo matemático que las caracteriza y los parámetros que la conforman. Es, en pocas palabras, una herramienta que calcula el tiempo de operación del relevador determinando el valor de “Dial”, “ I_m ” e “ I_p ”.

La ecuación corresponde a una curva inversa con valores de dial = 0.5, 1, 2,..... 10 e I_m = 4, 6, 8, 10, 12 y 15 Amperes. I_p corresponde a la corriente aplicada y debe ser mayor a la corriente mínima de operación “ I_m ”.

Para salir del sistema seleccionar “Salir” en el menú de Archivo, el relevador saldrá automáticamente del modo de comunicaciones.



6. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto la dificultad de obtener información clara y precisa de la operación de los sistemas modernos de medición y protección fue grande, ya que en la literatura comercial sólo se encuentran planos esquemáticos y explicaciones muy someras de las etapas que los conforman. En este proyecto cada etapa que se diseñó y probó en el laboratorio se explica detalladamente en los capítulos correspondientes.

Desde el diseño del sistema hasta la conclusión del circuito impreso y la realización de las pruebas, el proyecto tuvo modificaciones importantes las cuales se reflejaron en la programación principalmente.

Las pruebas en el laboratorio, así como una constante revisión en el diseño y ajuste de las etapas de acondicionamiento de las señales, fueron determinantes para lograr una precisión aceptable en las mediciones y por lo tanto la correcta operación de las protecciones programadas.

En el procesamiento digital el uso de una ventana de datos de 16 muestras por ciclo y un convertidor Analógico-Digital de ocho bits nos proporciona una buena exactitud en las lecturas finales; es claro que al incrementar el número de muestras y número de bits del convertidor mejoraría notablemente el resultado final pero implicaría mayor tiempo de procesamiento o, en su caso, el uso de un microcontrolador más rápido.

El sistema cuenta con la información clara de todas las etapas del diseño, mismas que son perfectibles y pueden ser modificadas según las necesidades. Un ejemplo de ello es la ecuación que describe la curva de tiempo inverso de la protección 51, que según los datos que se proporcionen, la ecuación principal puede calcular todas las posibilidades de respuesta de tiempo Inverso, Moderadamente Inverso o Extremadamente Inverso tan sólo modificando los parámetros.

Los dispositivos utilizados en la construcción del sistema de medición son de uso común, haciendo sencilla la sustitución o reparación en caso de algún daño.

Con las características actuales, el sistema propuesto cumple con el fin didáctico de mostrar el modelo y funcionamiento, de manera práctica, relevadores digitales modernos, aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, los cuales se llevan a la evidencia experimental.

BIBLIOGRAFÍA

Electric Circuits
Fifth Edition
James W. Nilsson
Susan A. Riedel, 1996, 983 pp

Introduction to Electric Circuits
Third Edition
Richard C. Dorf
James A. Svoboda
John Wiley & Sons Inc., 1996, 997 pp

Visual Basic 5.0
3th Edition to Programming Using
David I. Schneider
Prentice Hall, 1998, 813 pp

Digital Signal Filtering “Análisis and restoration”
Jiri Jan
IEE Telecommunications series 44, 2000, 407 pp

Introduction to Operational Amplifier “Theory and Applications”
Second Edition
John V. Wait
Lawrence P. Huelsman
Granino A. Korn
Mc. Graw Hill, 1992, 380 pp

The Art & Science Of Protecting Relaying
C. Russell Mason

MC68HC11 “Reference Manual”
MC68HC11RM/D
© Motorola, Inc. 2000

Hoja de datos “LM324”
National Semiconductor, 1994