

# RELÉ MULTIFUNCIONAL BASADO EN MICROCONTROLADORES 87C196KC

ALIRIO CALA V.

Ingeniero Electricista Ms.C.  
Profesor Titular Escuela de Ingenierías Eléctrica  
Electrónica y Telecomunicaciones,  
Universidad Industrial de Santander  
acalav@uis.edu.co

LAURA A. BARRIOS H.

Ingeniera Electricista  
Universidad Industrial de Santander  
laura\_bh@engineer.com

ALFONSO HERNÁNDEZ M.

Ingeniero Electricista  
Universidad Industrial de Santander

## RESUMEN

Se presenta el diseño de un relé numérico multifuncional basado en microcontroladores desarrollado por los autores como trabajos de investigación de pregrado y posgrado [6], [8], [16]. Se exponen las especificaciones cumplidas por este relé, los desarrollos matemáticos para la obtención de las magnitudes eléctricas, las funciones de protección soportadas, el esquema general del hardware y un resumen del software diseñado.

**PALABRAS CLAVE:** Relés numéricos, sistemas digitales de protección, relés multifuncionales, funciones de protección.

## ESPECIFICACIONES

### A. Funciones de protección soportadas

Función	Código ANSI
Sobrevoltaje RMS, trifásico	59
Subvoltaje RMS, trifásico	27
Sobrecorriente instantáneo trifásico	50
Sobrecorriente temporizado	51
Sobrefrecuencia	81O
Subfrecuencia	81U
Potencia direccional	32
Sobrecorriente de secuencia negativa	46

### B. Mediciones

- Valores rms de los fasores de frecuencia fundamental de voltaje y corriente.
  - Potencia inversa.
  - Factor de potencia.
  - Detección de pérdida de fase.

### C. Características físicas del sistema de protección

- Panel de leds para indicaciones de alarmas y disparos.
- Entradas y salidas digitales estándar TTL.

Panel de leds indicadores de alarmas y disparos.

- Visualizador de cristal líquido para mostrar mediciones, configuraciones y mensajes.
- Teclado para introducción de ajustes y configuraciones.

### D. Señales de entrada

- Tres entradas de voltaje nominal 120 V rms, 60 Hz. Voltaje máximo continuo 125% del voltaje nominal.
- Tres entradas de corriente nominal de 5.0 A, 60 Hz, y una entrada de corriente nominal de 1 A para el circuito neutro.

E. Capacidades adicionales.

- Capacidad para almacenar muestras y eventos.
- Capacidad para realizar autodiagnósticos.

**HARDWARE**

El hardware se diseñó en forma modular para facilitar la construcción, las modificaciones, las pruebas y el mantenimiento del sistema. Está conformado por los siguientes bloques, mostrados en la Figura 1:

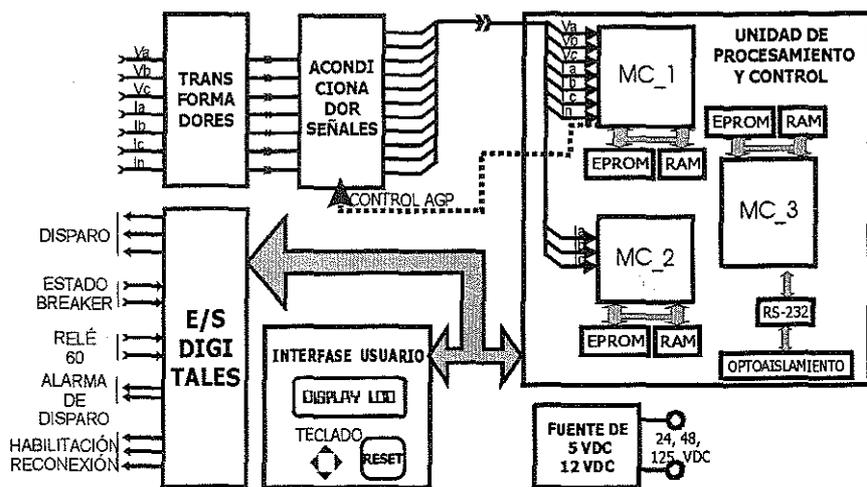


Figura 1 Diagrama en bloques del relé multifuncional

- Bloque de transformadores de corriente y voltaje
- Bloque de acondicionamiento de señales análogas.
- Unidad de control de proceso
- Bloque de entradas/salidas digitales.
- Interfase de usuario: visualizador y teclado

A. Bloque de transformadores

En este bloque se convierten los voltajes y corrientes a niveles máximos de  $\pm 2.5$  VAC pico y se aíslan eléctricamente los circuitos posteriores respecto a los transformadores de medida.

La entrada de los transformadores de voltaje está protegida con supresores de voltajes transitorios. Se utilizan resistencias de precisión para transformar la señal de corriente en un voltaje entre los rangos requeridos.

B. Bloque de acondicionamiento de señales análogas

Este bloque adapta los voltajes provenientes de los transformadores de acople, al rango de 0 a 5 V pico, compatible con los conversores A/D.

En la Figura 2 se muestran los componentes de éste bloque: banco de filtros, amplificadores de ganancia programable, sumadores de offset y detectores de ventana.

Las señales entran a través de un banco de filtros pasabajo (*antialiasing*) en circuito integrado con frecuencia de corte correspondiente al quinto armónico de la señal.

Debido al amplio rango dinámico de las señales de corriente, se usan amplificadores de ganancia programable (AGP) para mantener una buena precisión en las medidas

de corriente que así lo requieren (cálculos para protección de potencia inversa, y sobrecorriente de secuencia negativa), mientras que para las protecciones de sobrecorriente, se emplean las señales sin amplificar.

Todas las señales se superponen sobre un *offset* de 2.5 VDC para eliminar la componente negativa y finalmente son vigiladas por un circuito detector de ventana, el cual envía una señal de alarma al bloque principal en el caso de que se presenten voltajes fuera del rango de 0 a 5 V pico.

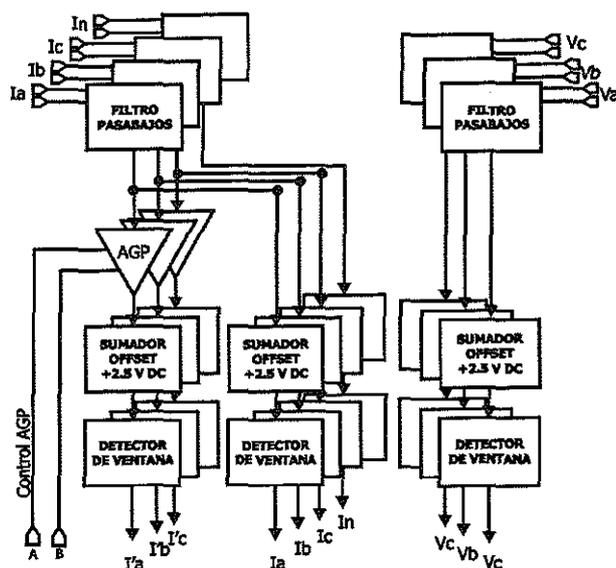


Figura 2 Esquema del bloque de acondicionamiento de señales

C. Unidad de procesamiento y control

Es el cerebro del relé. En este bloque se lleva a cabo el muestreo y la conversión análoga a digital de las señales de voltaje y corriente, se realiza el procesamiento de los datos y todas las tareas de presentación de resultados y control de eventos en tiempo real.

Está integrado por tres microcontroladores, la memoria RAM y EPROM, y las interfases con los demás bloques. Cada microcontrolador maneja dos bancos de memoria externa EPROM y RAM no volátil (NVS RAM), cuyas direcciones son codificadas con (dispositivos lógicos programables) PLD's

Se seleccionaron microcontroladores 87C196KC Intel de 16 bits por su alta velocidad de procesamiento, facilidad para el control y gestión de las interrupciones, soporte de operaciones de entrada/salida, y el conversor A/D de 10 bits que multiplexa 8 entradas análogas con un tiempo mínimo de muestreo de 10 μS. Además estos microcontroladores poseen 512 bytes de RAM interna con 48 bytes dedicados a registros de funciones especiales (SFR's) y pueden direccionar hasta 64 KB de memoria externa.

D. Bloque de E/S digitales

Contiene los siguientes elementos:

- Manejadores de leds indicadores de estado de las funciones de protección.
- Manejador de relevos que producen las señales de alarma y disparo.
- Entradas digitales opto aisladas de estado de *breaker* y pérdida de fase.

E. Interfase con el usuario

Contiene los siguientes componentes:

- Módulo visualizador de cristal líquido.
- Teclado para entrada local de ajustes y calibraciones, con los siguientes mandos:
  - ♦ Arriba
  - ♦ Abajo
  - ♦ Entrar ajuste
  - ♦ Confirmar comando
  - ♦ Reinicializar sistema

TRATAMIENTO DE SEÑALES, Y CÁLCULOS DE FASORES Y MAGNITUDES DEL SISTEMA

El muestreo de las señales se realiza a una rata de 960 Muestras por segundo (N = 16 muestras/ciclo para sistemas de 60 Hz), satisfaciendo el criterio de NYQUIST, puesto que los filtros *antialiasing* eliminan las componentes de frecuencia superiores al quinto armónico (300 Hz).

Para obtener los fasores de voltaje y corriente del sistema se emplea la transformada discreta de Fourier (DFT), en versión recursiva, pues se considera como una de las mejores opciones en el procesamiento digital de señales para casos como el presente [11], [9].

A. DFT en tiempo real

Si se tiene una señal análoga continua x(t) de la cual se toman muestras en cada instante de muestreo t=kT (k=0,1,2...N), la secuencia x[kT] será su correspondiente función muestreada.

Considerando que x[kT] no es estrictamente periódica, sino que evoluciona de un régimen periódico a otro régimen periódico, dependiendo de las fluctuaciones en el sistema eléctrico, puede en cada instante kT, calcularse la transformación correspondiente a las últimas N muestras (k-N a k-1), cuyos coeficientes se denominan F[n,k] pues en principio son variables con el tiempo. Como F[n,k] no depende de x[kT], en tiempo real puede completarse su estimación en cuanto se disponga de x[k-1].

Existen diferentes transformaciones, cada una de las cuales corresponde a un origen de tiempos distinto, y por tanto diferente origen de ángulos. Para el origen de tiempos fijo en k=0 (equivalente en ángulo a k=m\*N, siendo m un número entero), se tiene:

$$F_{[n,k]} = \sum_{r=k-N}^{k-1} [x_{[r]} W^{-rn}] \text{ Siendo } W = e^{-j2\pi/N} \quad (1)$$

Cada muestra x[r] se multiplica siempre por el mismo coeficiente  $e^{-j2\pi rn/N}$ , por lo cual para ahorrar cálculos se puede tomar el valor calculado hasta el momento, añadirle la nueva muestra y descontar la muestra saliente. La expresión correspondiente a éste algoritmo recursivo se muestra en la ecuación (2).

$$F_{[n,k]} = F_{[n,k-1]} - (x_{[k-1]} + x_{[k-N-1]}) W^{(k-1)n} \quad (2)$$

B. Fasor de frecuencia fundamental en forma recursiva

La componente de frecuencia fundamental del fasor calculada por la DFT está dada por:

$$\begin{aligned}\bar{F}_{1/v=1} &= \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [x_{[k]}] e^{-j2\pi k/N} \\ \bar{F}_{1/v=1} &= \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [x_{[k]}] \cos \frac{2\pi}{N} k - j \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [x_{[k]}] \operatorname{sen} \frac{2\pi}{N} k \quad (3) \\ &= \operatorname{Re} [\bar{F}_{1/v=1}] - j \operatorname{Im} [\bar{F}_{1/v=1}]\end{aligned}$$

Una vez se ha calculado la DFT para la primera ventana de datos, se calcula el fasor de secuencia fundamental en forma recursiva:

$$\begin{aligned}\bar{F}_{1[k]} &= \bar{F}_{1[k-1]} + \frac{2}{N} [x_{[k-1]} - x_{[k-N-1]}] e^{-j2\pi k/N} \\ &= \operatorname{Re} [\bar{F}_{1[k]}] - j \operatorname{Im} [\bar{F}_{1[k]}] \\ \operatorname{Re} [\bar{F}_{1[k]}] &= \operatorname{Re} [\bar{F}_{1[k-1]}] + \frac{2}{N} [x_{[k-1]} - x_{[k-N-1]}] \cos \frac{2\pi}{N} k \quad (4) \\ \operatorname{Im} [\bar{F}_{1[k]}] &= \operatorname{Im} [\bar{F}_{1[k-1]}] + \frac{2}{N} [x_{[k-1]} - x_{[k-N-1]}] \operatorname{sen} \frac{2\pi}{N} k\end{aligned}$$

#### C Fasor de voltaje de secuencia positiva

Siendo  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ , los fasores de voltaje, para la frecuencia fundamental de las tres fases, el fasor de voltaje de secuencia positiva se obtiene como:

$$\begin{aligned}\bar{V}_1 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_a + \alpha \bar{V}_b + \alpha^2 \bar{V}_c) \quad (5) \\ \alpha &= -0.5 + j0.866\end{aligned}$$

#### D. Fasor de corriente de secuencia negativa

La corriente de secuencia negativa se calcula usando los fasores de corriente obtenidos de la DFT.

$$\bar{I}_2 = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + \alpha^2 \bar{I}_b + \alpha \bar{I}_c) \quad (6)$$

#### E. Frecuencia fundamental de la señal

Del cálculo recursivo con origen de tiempos fijo de la DFT resulta un fasor de secuencia positiva estacionario, sin embargo si la frecuencia de la señal de entrada cambia ligeramente de su valor  $f_0$  en una cantidad  $\Delta f$ , mientras la frecuencia de muestreo permanece constante, el ángulo de fase del fasor de secuencia positiva cambia a una tasa directamente relacionada con  $\Delta f$ . Asumiendo que la frecuencia se calcula durante el ciclo de 16 muestras, el ángulo de fase del fasor en el  $k$ -ésimo instante se representa por:

$$\theta_k = \theta_{k-16} + \frac{\Delta f}{f_0} 2\pi \quad (7)$$

De donde

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2\pi} (\theta_k - \theta_{k-16}) f_0 \quad (8)$$

En la Figura 3 se muestra el algoritmo empleado para calcular la frecuencia del sistema y un diagrama comparativo de los fasores de voltaje para un ciclo y el ciclo anterior. Se emplea el fasor de voltaje de secuencia positiva por su mayor estabilidad.

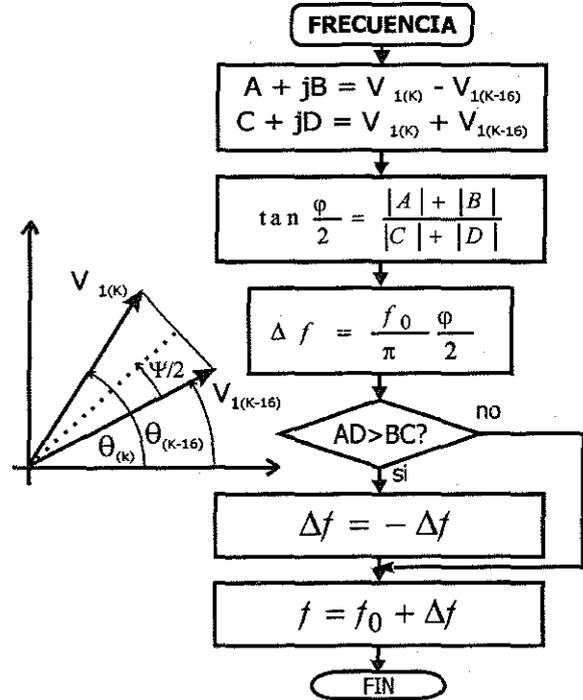


Figura 3. Algoritmo de cálculo de frecuencia del sistema.

#### Potencia activa y reactiva

La potencia se calcula a partir de los fasores de voltaje y corriente obtenidos por medio de la DFT.

$$\bar{S} = \bar{V} \bar{I}^* = P + jQ \quad (9)$$

$$P_T + jQ_T = \bar{V}_a \bar{I}_a^* + \bar{V}_b \bar{I}_b^* + \bar{V}_c \bar{I}_c^* \quad (10)$$

## FUNCIONES DE PROTECCIÓN

#### Protecciones de sobrecorriente

Para las protecciones de sobrecorriente de fase se emplea la mayor magnitud de corriente de fase como indicador de la presencia de falla, para la sobrecorriente trifásica, se emplea el fasor fundamental de frecuencia positiva y para la protección de corriente inversa, se utiliza la magnitud del fasor fundamental de corriente de secuencia negativa.

**B. Protección de sobrecorriente de disparo instantáneo.**

Genera una señal de disparo en un tiempo mínimo cuando la corriente calculada es superior a la corriente pico máxima permitida ( $I_p$ ).

**C. Protección de sobrecorriente temporizada**

El tiempo de operación se determina con base en la magnitud de la corriente de acuerdo con las curvas características de tiempo inverso. Estas curvas se definen por la ecuación general:

$$I^n * t = M * K \tag{11}$$

- Donde: K: Tap del transformador  
 M,n: Constantes características de la curva  
 t: Tiempo de disparo en segundos.  
 I: Corriente de falla expresada en múltiplos de la corriente de arranque de falla.

Y por las ecuaciones particulares:

Tabla 1. Ecuaciones de tiempo/sobrecorriente

Tipo de temporización	Tiempo
Normalmente inversa	$t = \frac{0.14 * K}{I^{0.02} - 1}$
Muy inversa	$t = \frac{13.5 * K}{I - 1}$
Extremadamente inversa	$t = \frac{80 * K}{I^2 - 1}$

**C. Protección de Voltaje**

Los componentes de un sistema de potencia soportan sin deteriorarse ciertos niveles de sobrevoltaje y subvoltaje, por tanto las protecciones de voltaje debe admitir un tiempo de retardo en su operación que permita, si es posible, la corrección de la causa de la variación del sistema.

Esta protección se diseño con dos niveles de voltaje ajustables para disparo temporizado con retardos independientes. También existe una unidad de disparo instantáneo para sobrevoltaje de fase, o para el fasor de voltaje de secuencia positiva.

**D. Protección de Frecuencia**

Cuando la frecuencia calculada está fuera de los rangos programados según las características del sistema de potencia protegida, el relé actúa según los retardos programados. Se programan varios pasos de deslizamiento de frecuencia en cada sentido.

**Protección de potencia inversa**

Un valor negativo de potencia en la ecuación ( 15) supone potencia inversa. El relé de potencia inversa actúa con un retardo programado.

$$P_{min} = \text{Mínimo de } (P_a, P_b, P_c) \tag{15}$$

**DISEÑO DEL SOFTWARE**

El *software* se diseñó bajo un enfoque estructurado utilizando programación modular. La Figura 4 muestra la estructura modular del *software*. En general los microcontroladores MC-1 y MC-2 realizan la adquisición y procesamiento de las señales de voltaje y corriente, y soportan las funciones de protección, mientras que un tercer microcontrolador MC-3 se encarga de controlar la transferencia de datos con MC1 y MC-2 y establecer comunicación local y remota con el usuario. Por tanto, los módulos de MC\_1 y MC\_2 presentan gran similitud y se estudiarán en conjunto.

Se aprovechan gran parte de las fuentes de interrupción ofrecidas por los 87C196KC, para responder a requerimientos de procesamiento en tiempo real.

**A. Módulos de los microcontroladores MC\_1 y MC\_2**

- 1. Módulo Principal. MC1\_PPL y Módulo Principal. MC2\_PPL.

El Módulo principal en MC\_1 es el encargado de la configuración de registros, inicialización de variables, definición de macros, llamado a las rutinas de diagnóstico

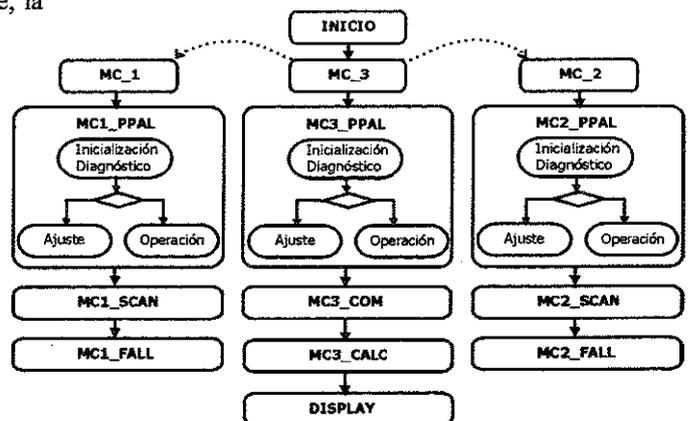


Figura 4. Esquema general de la organización del software del sistema

y ajuste e intercambio de datos con MC\_3. En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo del módulo MC1\_PPAL.

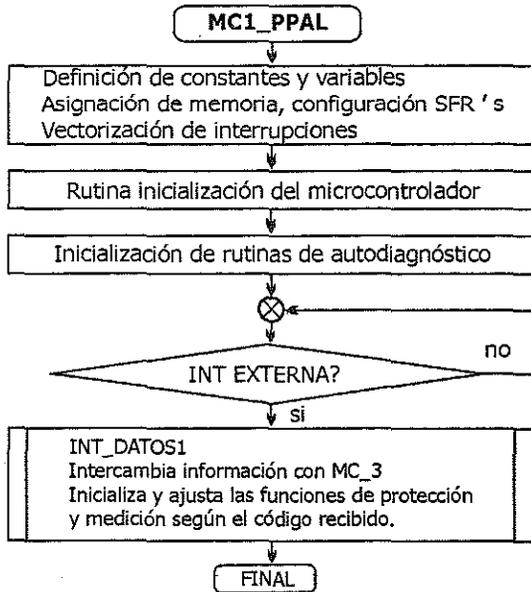


Figura 5. Algoritmo del Módulo Principal MC1\_PPL

Las rutinas de autodiagnóstico se encargan de vigilar la operación del programa en modo operación y verificar el funcionamiento de la RAM durante la secuencia de inicialización. El intercambio de información con MC\_3 tanto en modo de ajuste, como de operación se habilita por la interrupción externa atendida por la subrutina INT\_DATOS1.

El Módulo Principal MC2\_PPL cumple en MC\_2 las mismas funciones de MC1\_PPL en MC\_1.

**F. Módulos de conversión análogo-digital y procesamiento de las señales. MC1\_SCAN y MC2\_SCAN**

Estos módulos comandan el barrido de los canales análogos, a la rata de muestreo definida, y ejecutan todos los cálculos para obtener los fasores de voltajes y corrientes según corresponda, realizan el control del AGP para el caso del MC1\_SCAN, y almacenan las muestras según la ventana de datos determinada. Las conversiones análogo digitales se disparan automáticamente, programándolas como eventos en la memoria de acceso por contenido (CAM) de la unidad de salidas de alta velocidad (HSO) del microcontrolador.

El módulo MC1\_SCAN se encarga del procesamiento de las señales de voltaje y corrientes amplificadas, mientras que MC2\_SCAN realiza el barrido de las señales de corriente no amplificadas.

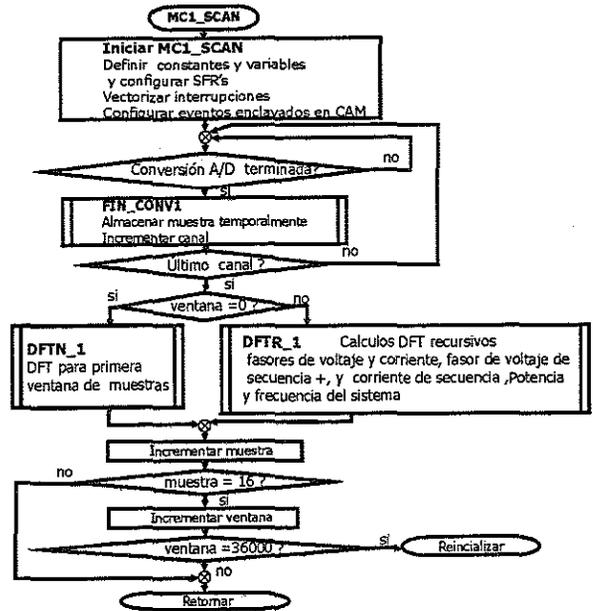


Figura 6. Algoritmo del Módulo MC1\_SCAN

**G. Módulos de tratamiento de fallas. MC1\_FALL y MC2\_FALL**

En la Figura 7 y la Figura 8 se muestran los diagramas generales de éstos módulos.

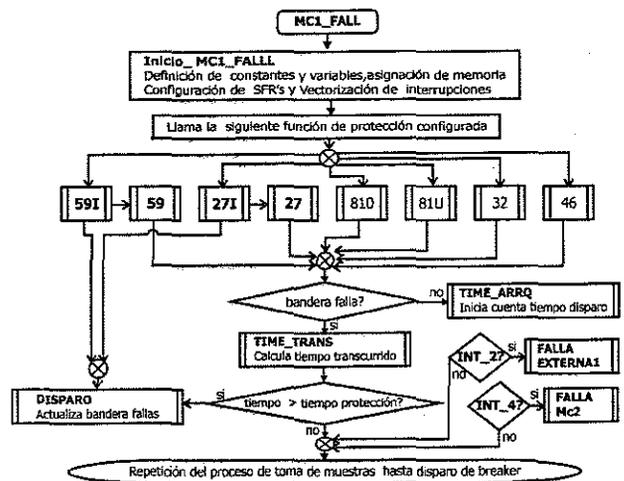


Figura 7. Diagrama de flujo MC1\_FALL

Su función principal es detectar la presencia de fallas según las protecciones configuradas, y cuando ocurren una o más fallas actualizar las banderas indicadoras de alarmas y disparos. Por medio de interrupciones se supervisa la ocurrencia de falla externa, o falla en el otro microcontrolador 2.

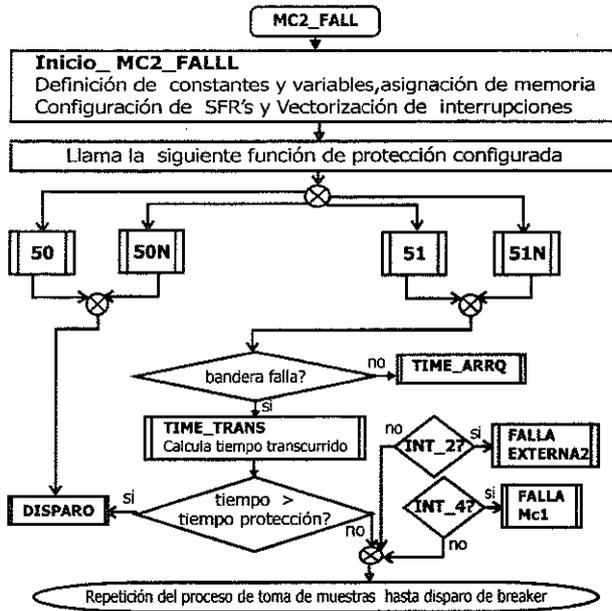


Figura 8. Diagrama de Flujo MC2\_FALL

El Módulo de tratamiento de fallas MC2\_FALL es análogo a MC1\_FALL para las funciones de protección de sobrecorriente instantánea y temporizada

B. Módulos del microcontrolador MC-3

1. Módulo Principal. MC3-PPL

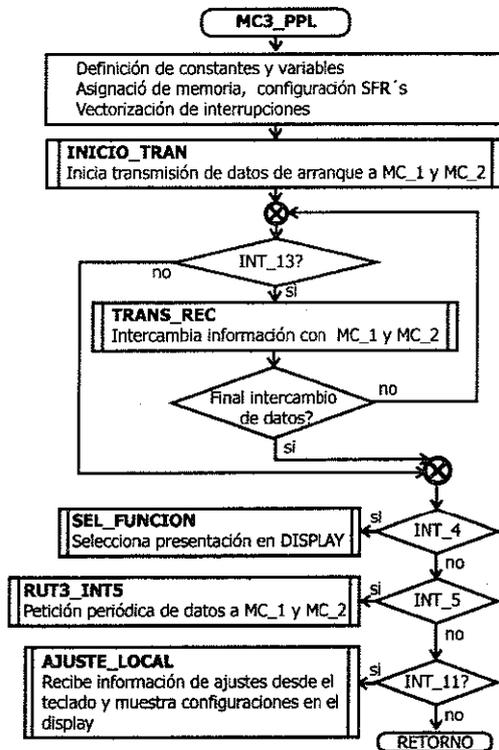


Figura 9. Diagrama de Flujo módulo MC3\_PPL

Las funciones de éste módulo pueden resumirse así:

- Detectar las peticiones de ajuste local e informar a MC\_1 y MC\_2 la ocurrencia de tales eventos.
- Transmitir a MC\_1 y MC\_2 las constantes de calibración
- Comandar y coordinar las tareas de iniciación y autodiagnóstico del sistema

2. Módulo de cálculos. MC3-CAL

Como se ve en la Figura 10 este módulo lee los datos transferidos por los MC\_1 y MC\_2, identifica la presencia de fallas y alarmas, calcula las magnitudes rms de los fasores de voltaje y corriente por medio de la subrutina VIS\_RMS la cual involucra un algoritmo para cálculo de raíz cuadrada. Además convierte a BCD y ASCII los datos binarios que se mostrarán en el DISPLAY.

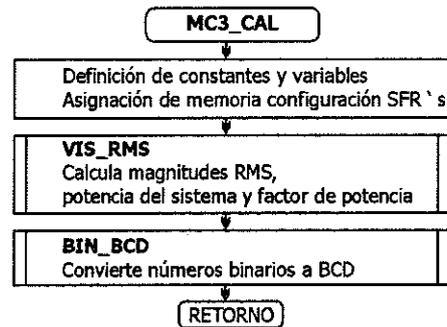


Figura 10. Diagrama de Flujo módulo MC3\_CAL

3. Módulo de administración de visualizador LCD. DISPLAY

Soporta todas las subrutinas de gestión del display local inicialización y visualización de mensajes en el panel frontal del dispositivo, además convierte los datos numéricos al formato aceptado por la matriz, y recibe las entradas del teclado.

4. Módulo de comunicación. MC3-COM

Atiende las interrupciones de transmisión y recepción serial de datos y ejecuta las rutinas asociadas a dichas interrupciones tanto en modo de operación como de ajuste.

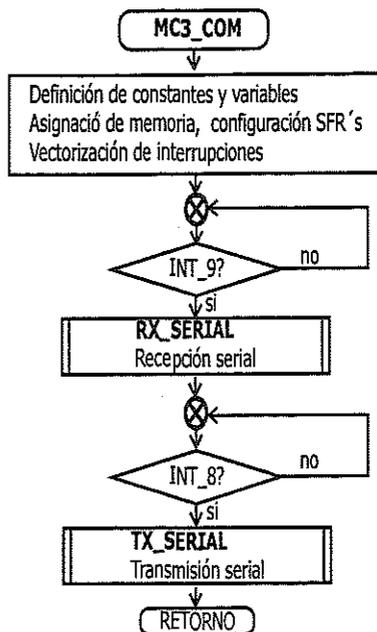


Figura 11. Diagrama de Flujo módulo MC3\_COM

## PRUEBAS FUNCIONALES EN PC

Se desarrolló una aplicación en LabVIEW para realizar pruebas funcionales de los algoritmos de medición y protección. Se utilizó un PC 486DX4-100 MHz con 8 MB de memoria RAM y una tarjeta de adquisición NATIONAL INSTRUMENTS, modelo AT\_MIO\_16E\_10.

Aunque LabVIEW incorpora una completa biblioteca de procesamiento digital de señales, se utilizaron los algoritmos diseñados para el relé multifuncional basado en microcontroladores.

El usuario se comunica por medio del panel de interfaz el cual incluye los siguientes controles e indicadores:

- Oscilogramas de señales de voltaje y corriente.
- Indicadores de magnitudes RMS, frecuencia, potencia activa y reactiva, y factor de potencia.
- Selector de prueba con señales reales o simuladas.
- Selector del tipo de falla.
- Controles de variación de magnitudes RMS.
- Ajustes de frecuencia de muestreo, muestras por ciclo y selector de canales de adquisición.
- Indicadores de alarmas y disparos de las diferentes funciones de protección incluidas.

El tiempo de respuesta del sistema relé osciló entre 200 y 300 ms, dependiendo de la función de protección, el cual puede ser bastante aceptable en protecciones de respaldo. Usando un computador más rápido, este tiempo puede reducirse sustancialmente, pero se mantendrán limitaciones para tiempo real.

## CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño de un relé multifuncional basado en tres microcontroladores 87C196 de Intel. La estructura modular del software y el hardware de éste diseño, permite adaptarlo fácilmente a nuevas necesidades de protección y medición, o para brindar prestaciones adicionales.

En un primer proyecto se culminó la etapa de diseño del software y hardware del relé y la construcción y prueba de los bloques de transformación, de acondicionamiento de señales análogas, y de entradas y salidas digitales. Actualmente se está trabajando en la construcción de un primer prototipo del relé multifuncional, pues se prevén grandes posibilidades de desarrollo en éste campo de las protecciones digitales y numéricas de sistemas de potencia.

## REFERENCIAS

- [1] Cabeza M.; González J; Martínez E. Introducción a los microcontroladores de 16 bits (Familia 96). Mc Graw Hill 1994.
- [2] Cala V. A.; Hernández M. A.; Barrios L.A.; Cabrera A. "Sistema de pruebas de relés digitales basado en computador". Memorias III Congreso de la Asociación Colombiana de Automática. Rionegro (Antioquia) Septiembre 24-27 de 1998.
- [3] Girgis A.A.; Ham F. A new FFT based digital frequency relay for load shedding. IEE Transactions on Power Apparatus and Systems.
- [4] Harlow J. A multifunctional protective relay for the cogeneration. IEEE. 1990.
- [5] Harlow J. Practical cogeneration for the 90's. IEEE 1991.
- [6] Hernández M. A.; Jácome L.; Toro O., Cala V. A. Relé Multifuncional trifásico basado en microcontroladores MCS-96". EEET. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1997.
- [7] INTEL. 196 KD-20 Microcontroller Target Board User's manual and Project Builder Kit July 1993.

- [8] Jaimes B. J.; Gaitan A.C.; Bernal M.A.; Cala V.A. Relé de tiempo-sobrecorriente, simulación del funcionamiento en PC y construcción de la tarjeta de E/S. UIS Bucaramanga 1995.
- [9] Manrique J. E., Mora J. J, Ordóñez G. Estimación de magnitudes eléctricas utilizando la transformada discreta de Fourier. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1996.
- [10] Murty V.; Yalla S. A digital multifunction protective relay. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol 7 No. 1 Jun 1992.
- [11] Ordóñez P. G. Medición Digital de Magnitudes Eléctricas mediante transformada discreta de Fourier. Algoritmos de adaptación de la frecuencia de muestreo. Tesis Doctoral. Universidad Pontificia de Comillas. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales. Madrid 1993
- [12] Phadke A.G; Thorp J.S. Computer relaying for power systems. John Wiley and sons 1988.
- [13] Phadke A.G; Thorp J.S; Adamiak. A new measure technique for tracking voltage phasors, local system frequency, and rate of change of frequency. IEEE Transactions on Power apparatus and systems. Vol PAS No. 5, may 1983, pages 1025-1038.
- [14] Rojas E.; Cala V. A. Diseño y Desarrollo del software para Relé Universal Programable (RUP) basado en Z-80. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1992.
- [15] Sherman C.; Maurer R. Modeling overcurrent relay characteristics. IEEE 1992.
- [16] Urbaez S.; Villadiego J.; Cala V.A. Relé de tiempo-sobrecorriente, diseño basado en microprocesador. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. EEET. 1994.