

# El prodigioso autómeta programable "PLC84"

Ignacio Angulo, Mikel Echevarría y José M<sup>a</sup> Angulo

Universidad de Deusto e Ingeniería de Microsistemas Programados

Más información: "Tutorial del PLC84", Ingeniería de Microsistemas Programados S.L., www.microcontroladores.com "Microcontroladores PIC. Diseño Práctico de Aplicaciones", Editorial Mc Graw-Hill, 2 tomos.

## ¿Qué es un PLC?. Escondiendo al microcontrolador.

Con los nombres de Autómeta Programable, Controlador Lógico Programable y con las abreviaturas PLC (Programmable Logic Controller) se hace referencia a un "equipo cuya principal finalidad es la de gobernar en tiempo real procesos industriales de tal forma que las salidas del mismo responden al estado de sus entradas".

Como es fácil comprender el corazón del PLC es un pequeño computador que evalúa el valor de las entradas, lo procesa y de acuerdo con el programa al que responde determina el valor de las salidas. Según el número y tipo de las entradas y salidas el computador principal deberá disponer de más o menos líneas de E/S, más o menos memoria, más o menos velocidad, más o menos periféricos auxiliares, etc..

En la actualidad ese computador está físicamente implementado en un modelo de microcontrolador que se adapte a las necesidades del sistema que debe gobernar. Hay microcontroladores de todos los tipos, desde los que trabajan con 4 bits hasta los que lo hacen con palabras de 32. Desde los que tienen una memoria de 512 bytes hasta los que tienen varios Megabytes, desde los que funcionan a 100 Khz hasta los que sobrepasan los 100 Mhz. Todo es cuestión de saber escoger el microcontrolador que se ajuste a las características de las aplicaciones a las que se va a destinar el PLC.

El no llamar a estos equipos "Sistemas Lógicos con Microcontrolador" puede deberse a un interés especial de los fabricantes de "endulzar" su nombre, debido especialmente al personal al que están destinados y que hasta hace bien poco carecía de conocimientos sobre Microelectrónica y programación informática. Por eso se prefirió no incluir la palabra "microcontrolador" en el nombre.

Además, los fabricantes de PLC, conocedores de la problemática de los técnicos encargados de aplicarlos, crearon lenguajes de programación que se pareciesen a los que se empleaban en el diseño de los automatismos clásicos, generalmente relacionados con la rama eléctrica.

En resumen, "los PLC son sistemas basados en un microcontrolador, destinados al control de procesos industriales en tiempo real, y a los que se les suele dotar de un lenguaje de programación similar al que se utiliza en el diseño de los automatismos clásicos".

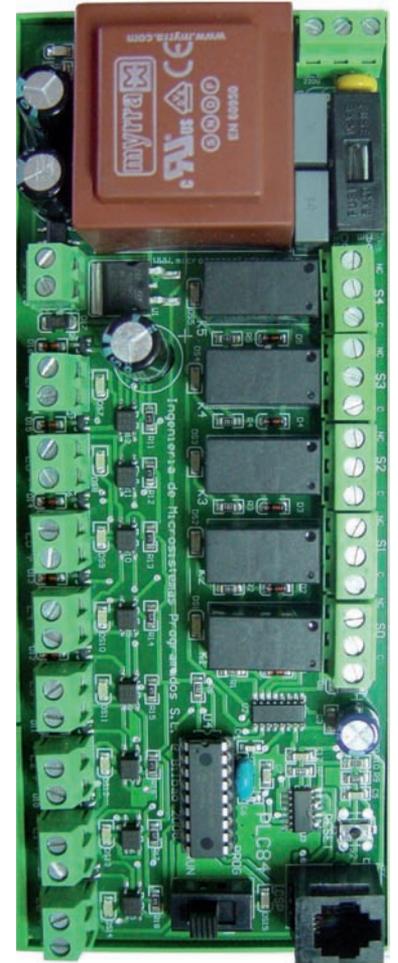
## Presentación del "PLC84"

El PLC84 es un autómeta programable diseñado por Ingeniería de Microsistemas Programados en base al popular microcontrolador PIC16F84A, que tiene una memoria de programa de sólo 1 K instrucciones máquina, trabaja a una velocidad de 4 Mhz, tiene 8 entradas digitales y 5 salidas para relés. Es un microcontrolador "pobre" pero muy "resultón" por su bajo precio, su reducido tamaño y su excelente funcionamiento. Podría pensarse que con este computador las aplicaciones serán muy limitadas, pero un alto porcentaje de los proyectos reales no precisan más prestaciones.

El fabricante que comercializa el PLC84 ha pensado en dos grandes grupos de posibles clientes :

A) Los profesionales y diseñadores que quieran incorporarlo en sus cuadros de mando para soportar los automatismos que se adapten a sus prestaciones.

B) Laboratorios de Prácticas de carreras técnicas universitarias y ciclos formativos de F.P., especialmente en lo referente al ciclo de grado superior de "Sistemas de Regulación y Control Automáticos" en sus módulos de Sistemas de Control y Desarrollo de Sistemas Secuenciales.



El precio al que se comercializa el PLC es de 78 euros y si se desea añadir una tarjeta para la grabación del microcontrolador con conexión a puerto USB alcanza los 120 euros. Figura 1.

En cuanto a los lenguajes de programación con los que se puede trabajar con el PLC84 con el Ensamblador, el C, el BASIC y para asemejarse con los PLC superiores también se ha desarrollado un lenguaje propio y típico de los diseñadores de automatismos. Dicho lenguaje basado en Macros intenta imitar desde lejos al lenguaje usado por los populares autómatas estándar modelo OMRON\_CQM1H, que permite a los técnicos de automatismos sin conocimientos de

Figura 1. Fotografía del PLC84 basado en el conocido microcontrolador PIC16F84A.

programación informática confeccionar los programas de aplicación de una forma a la que están acostumbrados y que no les exige esfuerzos de aprendizaje.

### Características técnicas

Entre las características más relevantes del Autómata PLC84 se resumen las siguientes:

- El PLC se aloja en una carcasa aislada y con sujeción a rail DIN estándar que permite instalarlo fácilmente en cualquier armario o cuadro de control.
- Alimentación con tensión de red de 220VAC. Incluye la Fuente de Alimentación con protección, filtro de red y led de monitorización de Power On.
- Microcontrolador PIC16F84A con oscilador a 4MHz y 1μS de ciclo de ejecución
- 8 entradas digitales aisladas eléctricamente (opto acopladas) con un rango de excitación de entre 3 y 30 VDC.
- 5 Salidas a relés con contactos conmutados libres de tensión. Especialmente útiles cuando controlamos cambios de sentido de giro de pequeños motores DC, optimizando así el número de salidas necesarias. Dado el carácter didáctico del equipo, tanto las entradas como las salidas están monitorizadas con sus correspondientes diodos leds.
- Incorpora tensión de salida de 15VDC a 200mA totalmente independiente y aislada para activación y prueba de test de las entradas. También se puede emplear como alimentación de los circuitos de excitación de esas entradas. En este caso se aconseja protegerla con un fusible externo de 200mA evitando daños en el equipo ante una sobrecarga o cortocircuito.
- Conmutador PROG/RUN para los modos de Grabación del PIC y el de Ejecución. led de monitorización en el modo PROG.
- Grabación en circuito ICSP sin necesidad de sacar el controlador de la tarjeta, según las especificaciones de Microhip. Se pueden emplear directamente el módulo ICD2 y/o el grabador GTP-USB+ de Ingeniería de Microsistemas Programados.

Especificaciones generales	
Parámetro	Especificación
Tensión de alimentación / Frecuencia	220 VAC / 50 Hz
Consumo máximo	30 mA a 220 VAC
Peso	430 gr
Nº de Entradas	8
Nº de salidas	5
Filtro de red	Pasivo con varistor, toma de tierra y condensadores Y2/X1
Protección de alimentación	Mediante fusible de 50 mA
Sujeción	Rail DIN estándar
Fuente de tensión auxiliar de salida	
Tensión de salida	12VDC rectificadas y filtradas
Corriente máxima de salida	200 mA
Tensión de aislamiento	4 KV
Protección	Mediante diodo en serie con positivo (caída de 0,7V)
Especificaciones de E/S	
ENTRADAS	
Tipo	Opto acoplada
Tensión de aislamiento	3750 V para entre 40% y 60% RH
Tensión de activación	De 3 a 30 VDC
Corriente de activación	De 5 a 12 mA DC
SALIDAS	
Tipo	Relé, contacto conmutado libre de tensión
Potencia de carga para mas de 1M de operaciones	5 A a 220 VAC 5 A a 28 VDC

Tabla 1. Resumen de las características eléctricas del PLC84

### Características eléctricas

Se resumen en la Tabla 1.

### Organización interna y secciones principales

En la Figura 2 se muestra al PLC84 y sus 7 secciones básicas.

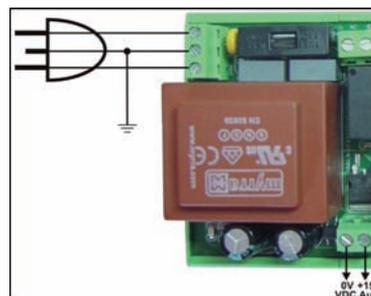


Figura 3. Fotografía de la sección de alimentación del autómata PLC84.

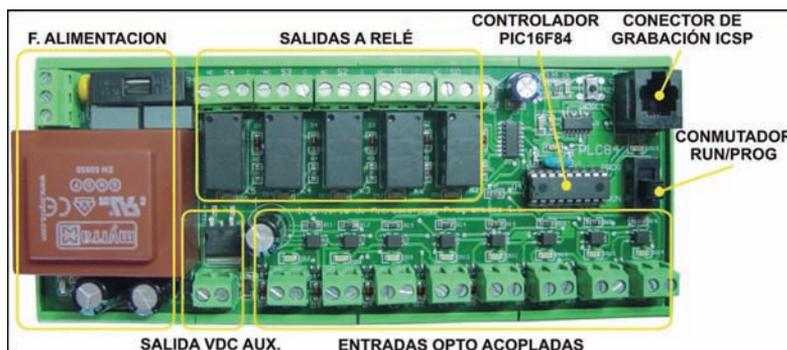


Figura 2. Situación de las siete secciones básicas en las que se organiza el PLC84.

La fuente de alimentación se alimenta con 220VAC/50 Hz con filtro de red pasivo con varistor, toma de tierra y condensador Y2/X1. Proporciona la tensión de 5 VCC estabilizada y monitorizada con un led para ali-

En la figura 4 se muestra la sección de las entradas digitales con un total de 8 entradas independientes y eléctricamente aisladas, con un rango de excitación comprendido entre 3 y 30 VDC. La

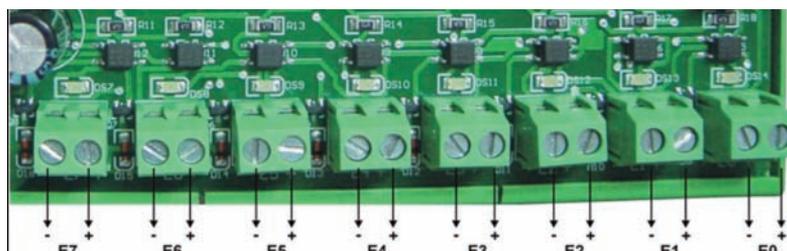


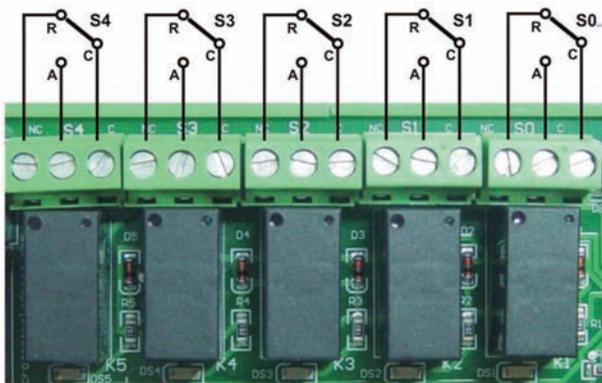
Figura 4. Sección de las 8 entradas digitales independientes y eléctricamente aisladas.

tensión auxiliar de 15 VDC se puede aplicar a cada una de estas entradas con fines de prueba o de carácter didáctico.

El aislamiento de estas entradas es de 3.750 V y quedan conectadas a través de optoacopladores con las correspondientes líneas RB7:RBO de la puerta B del PIC16F84A, que están pilotadas por los correspondientes leds.

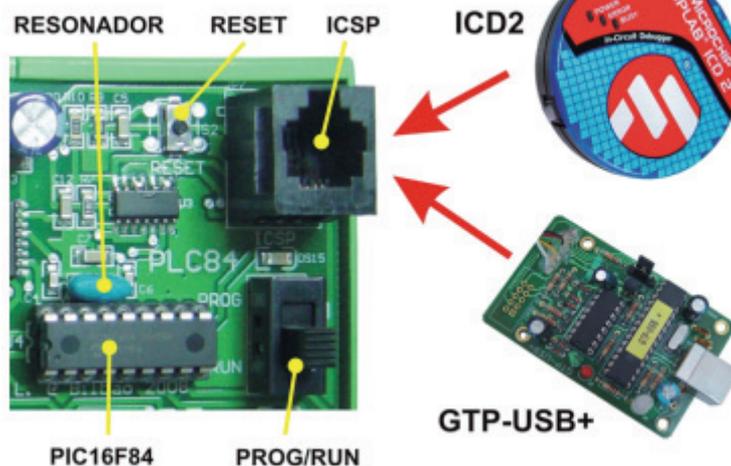
Se dispone de 5 salidas a relés (S4:S0) que corresponden con las líneas RA4:RA0 de la puerta A del microcontrolador. Están monitorizadas con leds. En estado de reposo el contacto común C cierra circuito con el contacto de reposo R. Cuando se activa una salida el contacto C cierra circuito con el contacto de activación A. Figura 5.

Figura 5. Conexión de los contactos de los relés cuando están desactivadas las salidas. Al activarse el contacto C cierra circuito con el de activación A.



Finalmente en la Figura 6 se muestra la fotografía del circuito de control en el que destaca la posible utilización del sistema ICD2 de Microchip o la tarjeta GTP-USB+ de Ingeniería de Microsistemas Programados.

Figura 6. Circuito de control del PLC84. La grabación del microcontrolador puede realizarse desde un ICD2 de Microchip, o bien desde el equipo de grabación de bajo coste GTP-USB+ de Ingeniería de Microsistemas Programados.



### Un lenguaje propio basado en macros

Como alternativa entre el lenguaje ensamblador y los lenguajes de alto nivel, Ingeniería de Microsistemas Programados propone el empleo del lenguaje de las macros. Una macro no es más que un conjunto de instrucciones en ensamblador agrupadas y definidas bajo un nombre determinado. En el caso de los dispositivos PIC se puede crear una macro que contenga una serie de instrucciones como por ejemplo:

```

E_S  MACRO
      movf   PORTB,W      ;Inicio de la macro E_S
      movwf  Entradas    ;Cargar la puerta de entrada
      movf   Salidas,W   ;Salvar en memoria
      movwf  PORTA       ;Leer el estado de las salidas
      ENDM              ;Sacarlo por la puerta de salida
                          ;Fin de la macro E_S
    
```

Las instrucciones PIC contenidas entre las directivas MACRO y ENDM forman una macro llamada "E\_S". Posteriormente, en el programa fuente de aplicación se puede emplear e incluir esas macros como si de nuevas instrucciones se tratara.

mos considerar como una instrucción de lenguaje intermedio, ni es ensamblador ni tampoco se la puede considerar de alto nivel, pero si es una instrucción cuyo empleo es mucho más cómodo e intuitivo que el tener que emplear las cuatro instrucciones que engloba.

Partiendo de esta idea básica y con referencia al autómatas PLC84, en Ingeniería de Microsistemas Programados se ha diseñado un fichero con un conjunto de macros que tratan de emular algunas de las instrucciones típicas del lenguaje de programación

que emplea el autómatas OMRON modelo CQM1H. Este modelo se considera un estándar de la industria.

El nombre del fichero es "Macros\_OMRON\_CQM1H.inc" y, siempre que vaya a ser empleado, se debe incluir en el programa. En el siguiente

*;Ejemplo de demostración que consiste en leer el estado de una entrada y reflejarlo sobre una salida*  
*;Se emplean macros con unos nemónicos y una sintaxis similar a las instrucciones de los autómatas*

```

Include Macros_OMRON_CQM1H.inc      ;Incluir el fichero que contiene las macros

LD      E,0                          ;Lee el estado de la entrada E0
OUT     S,0                          ;Lo refleja sobre la salida S0

ENDPLC                               ;Fin del programa fuente
    
```

En el ejemplo se ha creado una nueva instrucción llamada "E\_S". La puede-

ejemplo se muestra el aspecto que puede tener un programa fuente que emplea alguna de las macros contenidas en ese fichero y que consiste en leer el estado de la entrada E0 y reflejarlo en la salida S0:

Salta a la vista que escribir y analizar un programa fuente como el anterior, es mucho mas sencillo que emplear las instrucciones en ensamblador puro, especialmente para aquellos que estén familiarizados con la programación de autómatas PLC.

En el fondo, una vez que se ensambla el programa, las macros LD, OUT y ENDPLC se sustituyen por sus correspondientes instrucciones puras para obtener el fichero ejecutable que será grabado sobre el PIC del autómatas PLC84, pero esto será transparente para el programador.

El fichero "Macros\_OMRON\_CQM1H.inc" y las macros que contiene son de carácter totalmente experimental. Con él únicamente se pretende dar otro punto de vista en la programación orientada a autómatas programables (PLC). El fichero es totalmente libre y desde estas líneas animamos a su modificación incluyendo nuevas macros que emulen nuevas instrucciones PLC, modificado o corrigiendo las ya existentes, etc.. Incluso proponemos que, mediante la idea original de las macros, se creen macros propias que emulen lenguajes específicos para temas o aplicaciones concretas.

### El lenguaje "PLC"

En primer lugar hay que decir que el fichero "Macros\_OMRON\_CQM1H.inc" además de las macros dispone también de un pequeño sistema operativo que se encarga de iniciar los registros internos del controlador PIC16F84, gestionar las puertas A (salida) y B (entrada), el Timer 0, las interrupciones y la pila LIFO del sistema. Todo ello tiene por objeto simplificar al máximo los programas fuente de la aplicación del usuario haciendo que esas tareas le sean transparente y que se centre exclusivamente en los que es la programación mediante instrucciones PLC.

Antes de entrar a describir las instrucciones PLC (las macros), vamos a realizar una muy breve introducción a la programación de los autómatas comerciales. Las dos formas típicas de escribir un programa PLC son:

#### Diagrama de contactos

Es una forma gráfica de representar un esquema muy apreciada y sencilla para el personal procedente del campo de los automatismos eléctricos. Mediante un software de diseño gráfico específico, se dibujan símbolos que representan contactos abiertos, cerrados, salidas, etc.. Estos símbolos se asocian entre sí y forman esquemas con contactos en serie, en paralelos o mixtos. Estos esquemas se interpretan de izquierda a derecha y de arriba abajo. Figura 7.

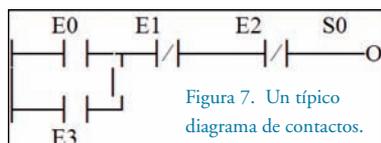


Figura 7. Un típico diagrama de contactos.

#### Modo texto

Mediante un editor de texto se escribe la secuencia de instrucciones PLC que se deben ejecutar para resolver el circuito en cuestión. Hay que recordar que, según el álgebra de Boole, los contactos serie se implementan mediante funciones AND y los paralelo mediante funciones lógicas OR. Este es el método que se aplica en los ejemplos propuestos. Mediante el MPLAB se edita el programa con instrucciones PLC. Siguiendo el esquema anterior, a continuación se muestra el listado de instrucciones PLC del programa fuente de ejemplo:

```
include Macros_OMRON_CQM1H.inc      ;Incluir el fichero con las macros

LD      E,0      ;Lee el estado de la entrada E0
OR      E,3      ;Función OR con la entrada E3
AND_NOT E,1      ;Función AND con la entrada E1 invertida
AND_NOT E,2      ;Función AND con la entrada E2 invertida
OUT     S,0      ;Salida del resultado por S0

ENDPLC      ;Fin del programa PLC
```

Tabla 2. Instrucciones del lenguaje PLC con sus principales características.

INSTRUCCIÓN	PARAMETROS	DESCRIPCION	BIT ASOC.	INSTR.ASOC.
LD	E,# - S,# - M%,# TIM,# - CNT,# - DIF,#	Salva en la pila el resultado anterior y carga el bit indicado		
LD_NOT	E,# - S,# - M%,# TIM,# - CNT,# - DIF,#	Salva en la pila el resultado anterior y carga el bit indicado invertido.		
AND	E,# - S,# - M%,# TIM,# - CNT,# - DIF,#	Función AND entre el valor actual y el del bit indicado		
AND_NOT	E,# - S,# - M%,# TIM,# - CNT,# - DIF,#	Función AND entre el valor actual y el del bit indicado invertido		
OR	E,# - S,# - M%,# TIM,# - CNT,# - DIF,#	Función OR entre el valor actual y el del bit indicado		
OR_NOT	E,# - S,# - M%,# TIM,# - CNT,# - DIF,#	Función OR entre el valor actual y el del bit indicado		
ANDLD		Función AND entre el valor actual y el valor que se recupera desde la pila		
ORLD		Función OR entre el valor actual y el valor que se recupera desde la pila		
RS%	M%,# - S,#	Función Toggle. El bit indicado del registro seleccionado cambia de estado si la condición previa es "1"		
DIFU%		Detecta un flanco de subida en la condición previa.	DIF,#	
SET	M%,# - S,#	Función biestable RS. Activa el bit indicado del registro seleccionado si la condición previa es "1"		RESET
RESET	M%,# - S,#	Función biestable RS. Desactiva el bit indicado del registro seleccionado si la condición previas es "1"		SET
OUT	S%,#	Salida del valor actual		OUT_NOT
OUT_NOT	S%,#	Salida del valor actual invertido		OUT
TIM%		Carga el timer % con el valor a temporizar si la condición previa es "1"	TIM,#	
CNT%		Carga el contador % con el valor a contar si la condición previa es "1"	CNT,#	CNTR%
CNTR%		Borra el contador % si la condición previa es "1"	CNT,#	CNT%
E S		Actualiza y refresca las E/S		
JMP	Etiqueta	Salta a la etiqueta indicada si la condición previa es "1"		GOTO
GOTO	Etiqueta	Salto incondicional a la etiqueta indicada		JMP
ENDPLC		Fin del programa fuente PLC y refresco de las E/S		