

# INTRODUCCIÓN AL MICROCONTROLADOR

Basado en el sitio web <http://usuarios.lycos.es/sfriswolker>

Paul Aguayo S., [paguayo@olimex.cl](mailto:paguayo@olimex.cl)

10 de noviembre de 2004

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN AL MICROCONTROLADOR</b>	<b>3</b>
1.1. ¿Qué es un microcontrolador?	3
1.2. Un poco de historia	3
1.3. Diferencias entre microprocesador y microcontrolador	3
1.4. Ventajas de un microcontrolador frente a un microprocesador	3
1.5. Los microcontroladores hoy día	5
1.6. Tipos de arquitecturas de microcontroladores	5
1.6.1. Arquitectura Von Neumann	5
1.6.2. Arquitectura Harvard	6
<b>2. ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DE LOS MICROCONTROLADORES</b>	<b>6</b>
2.1. El procesador	6
2.1.1. CISC	6
2.1.2. RISC	8
2.1.3. SISC	8
2.2. Memoria	8
2.2.1. ROM con máscara	8
2.2.2. OTP	8
2.2.3. EPROM	9
2.2.4. EEPROM, E2PROM o E <sup>2</sup> PROM	9
2.2.5. FLASH	9
2.3. Puertas de Entrada y Salida	9
2.4. Reloj principal	9
<b>3. RECURSOS ESPECIALES</b>	<b>10</b>
3.1. Temporizadores o Timers	10
3.2. Perro guardián o Watchdog	10
3.3. Protección ante fallo de alimentación o Brownout	10
3.4. Estado de reposo ó de bajo consumo	11
3.5. Conversor A/D (CAD)	11
3.6. Conversor D/A (CDA)	11
3.7. Comparador analógico	11
3.8. Modulador de anchura de impulsos o PWM	11
3.9. Puertos digitales de E/S	11
3.10. Puertas de comunicación	11
<b>4. LA FAMILIA DE LOS PIC</b>	<b>12</b>
4.1. Introducción	12
4.2. La Familia PIC	12
4.3. Gama media. PIC16CXXX con instrucciones de 14 bits	13
4.4. Gama alta: PIC17CXXX con instrucciones de 16 bits.	15

## **Prefacio**

Este curso está orientado a las personas que están interesadas en aprender a programar un PIC y ponen todo su empeño en ello, al igual que yo lo hago en poner toda la información posible para la mejor comprensión de las bases teóricas. Así pues además de aprender todo sobre el mundo del PIC, es necesario saber algo de electrónica y electrónica digital, de lo contrario todo lo que escriba aquí sobre microcontroladores será chino. No descarto la posibilidad de que haya gente que ya esté iniciada en este mundo, pero hay que pensar en todos

# **1. INTRODUCCIÓN AL MICROCONTROLADOR**

## **1.1. ¿Qué es un microcontrolador?**

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje ensamblador por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador. Esto suena un poco complicado, pero sólo es un resumen de 3 líneas. A lo largo de este tutorial veremos algunas de las reglas y trucos de este lenguaje complicado por su sencillez.

## **1.2. Un poco de historia**

Inicialmente cuando no existían los microprocesadores las personas se ingeniaban en diseñar sus circuitos electrónicos y los resultados estaban expresados en diseños que implicaban muchos componentes electrónicos y cálculos matemáticos. Un circuito lógico básico requería de muchos elementos electrónicos basados en transistores, resistencias, etc, lo cual desembocaba en circuitos con muchos ajustes y fallos; pero en el año 1971 apareció el primer microprocesador el cual originó un cambio decisivo en las técnicas de diseño de la mayoría de los equipos. Al principio se creía que el manejo de un microprocesador era para aquellas personas con un coeficiente intelectual muy alto; por lo contrario con la aparición de este circuito integrado todo sería mucho más fácil de entender y los diseños electrónicos serían mucho más pequeños y simplificados. Entre los microprocesadores más conocidos tenemos el popular Z-80 y el 8085. Los diseñadores de equipos electrónicos ahora tenían equipos que podían realizar mayor cantidad de tareas en menos tiempo y su tamaño se redujo considerablemente; sin embargo, después de cierto tiempo aparece una nueva tecnología llamada microcontrolador que simplifica aun más el diseño electrónico.

## **1.3. Diferencias entre microprocesador y microcontrolador**

Si has tenido la oportunidad de realizar un diseño con un microprocesador pudiste observar que dependiendo del circuito se requerían algunos circuitos integrados adicionales además del microprocesador como por ejemplo: memorias RAM para almacenar los datos temporalmente y memorias ROM para almacenar el programa que se encargaría del proceso del equipo, un circuito integrado para los puertos de entrada y salida y finalmente un decodificador de direcciones.

Un microcontrolador es un solo circuito integrado que contiene todos los elementos electrónicos que se utilizaban para hacer funcionar un sistema basado con un microprocesador; es decir contiene en un solo integrado la Unidad de Proceso, la memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada, salidas y otros periféricos, con la consiguiente reducción de espacio.

El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado o embebido (embedded controller).

## **1.4. Ventajas de un microcontrolador frente a un microprocesador**

Estas ventajas son reconocidas inmediatamente para aquellas personas que han trabajado con los microprocesadores y después pasaron a trabajar con los microcontroladores. Estas son las diferencias más importantes: Por ejemplo la configuración mínima básica de un microprocesador estaba constituida por un Micro de 40 Pines, Una memoria RAM de 28 Pines, una memoria ROM de 28 Pines y un decodificador de direcciones de 18 pines; pero un microcontrolador incluye todo estos elementos en un solo Circuito Integrado por lo que implica una gran ventaja en varios factores: En el circuito impreso por su amplia simplificación de circuitería, el costo para un sistema basado

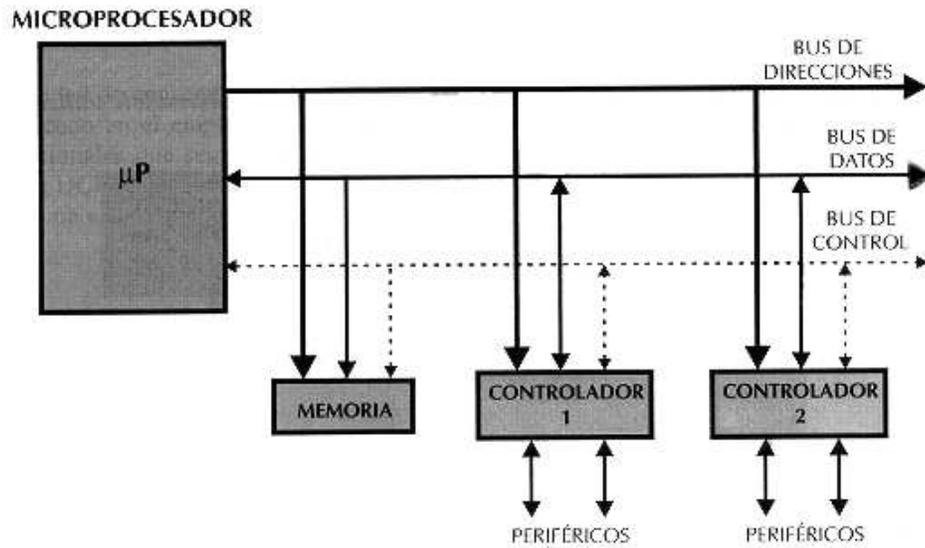


Figura 1: Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador. La disponibilidad de los buses en el exterior permite que se configure a la medida de la aplicación

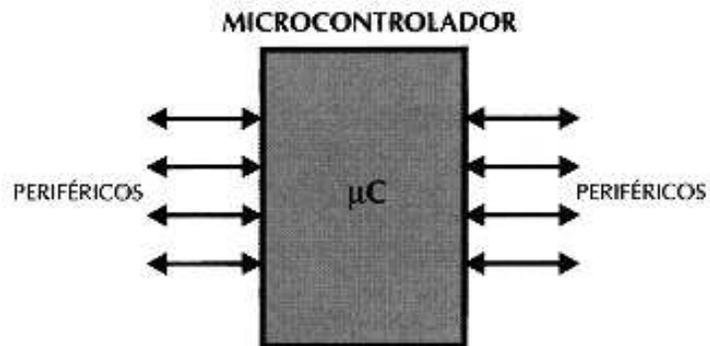


Figura 2: El microcontrolador es un sistema cerrado. Todas las partes del procesador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos.

en microcontrolador es mucho menor y, lo mejor de todo, el tiempo de desarrollo de su proyecto electrónico se disminuye considerablemente.

## 1.5. Los microcontroladores hoy día

Los microcontroladores están conquistando el mundo. Están presentes en nuestro trabajo, en nuestra casa y en nuestra vida, en general. Se pueden encontrar controlando el funcionamiento de los ratones y teclados de los computadores, en los teléfonos, en los hornos microondas y los televisores de nuestro hogar. Pero la invasión acaba de comenzar y el nacimiento del siglo XXI será testigo de la conquista masiva de estos diminutos computadores, que gobernarán la mayor parte de los aparatos que fabricaremos y usamos los humanos. Cada vez existen más productos que incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y coste, mejorar su fiabilidad y disminuir el consumo.

Algunos fabricantes de microcontroladores superan el millón de unidades de un modelo determinado producidas en una semana. Este dato puede dar una idea de la masiva utilización de estos componentes. Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de nuestro coche, etc. Y otras aplicaciones con las que seguramente no estaremos tan familiarizados como instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

## 1.6. Tipos de arquitecturas de microcontroladores

### 1.6.1. Arquitectura Von Neumann

La arquitectura tradicional de computadoras y microprocesadores está basada en la arquitectura Von Neumann, en la cual la unidad central de proceso (CPU), está conectada a una memoria única donde se guardan las instrucciones del programa y los datos. El tamaño de la unidad de datos o instrucciones está fijado por el ancho del bus que comunica la memoria con la CPU. Así un microprocesador de 8 bits con un bus de 8 bits, tendrá que manejar datos e instrucciones de una o más unidades de 8 bits (bytes) de longitud. Si tiene que acceder a una instrucción o dato de más de un byte de longitud, tendrá que realizar más de un acceso a la memoria. Y el tener un único bus hace que el microprocesador sea más lento en su respuesta, ya que no puede buscar en memoria una nueva instrucción mientras no finalicen las transferencias de datos de la instrucción anterior. Resumiendo todo lo anterior, las principales limitaciones que nos encontramos con la arquitectura Von Neumann son:

1. La limitación de la longitud de las instrucciones por el bus de datos, que hace que el microprocesador tenga que realizar varios accesos a memoria para buscar instrucciones complejas.
2. La limitación de la velocidad de operación a causa del bus único para datos e instrucciones que no deja acceder simultáneamente a unos y otras, lo cual impide superponer ambos tiempos de acceso.

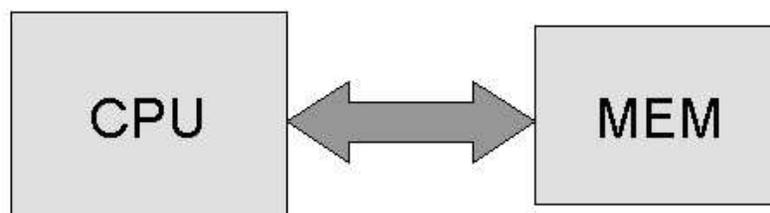


Figura 3: Arquitectura Von Neumann

### 1.6.2. Arquitectura Harvard

La arquitectura Harvard tiene la unidad central de proceso (CPU) conectada a dos memorias (una con las instrucciones y otra con los datos) por medio de dos buses diferentes. Una de las memorias contiene solamente las instrucciones del programa (Memoria de Programa), y la otra sólo almacena datos (Memoria de Datos). Ambos buses son totalmente independientes y pueden ser de distintos anchos. Para un procesador de Set de Instrucciones Reducido, o RISC (Reduced Instrucción Set Computer), el set de instrucciones y el bus de memoria de programa pueden diseñarse de tal manera que todas las instrucciones tengan una sola posición de memoria de programa de longitud. Además, al ser los buses independientes, la CPU puede acceder a los datos para completar la ejecución de una instrucción, y al mismo tiempo leer la siguiente instrucción a ejecutar. Ventajas de esta arquitectura:

1. El tamaño de las instrucciones no está relacionado con el de los datos, y por lo tanto puede ser optimizado para que cualquier instrucción ocupe una sola posición de memoria de programa, logrando así mayor velocidad y menor longitud de programa.
2. El tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos, logrando una mayor velocidad en cada operación.

Una pequeña desventaja de los procesadores con arquitectura Harvard, es que deben poseer instrucciones especiales para acceder a tablas de valores constantes que pueda ser necesario incluir en los programas, ya que estas tablas se encuentran físicamente en la memoria de programa (por ejemplo en la EPROM de un microprocesador).

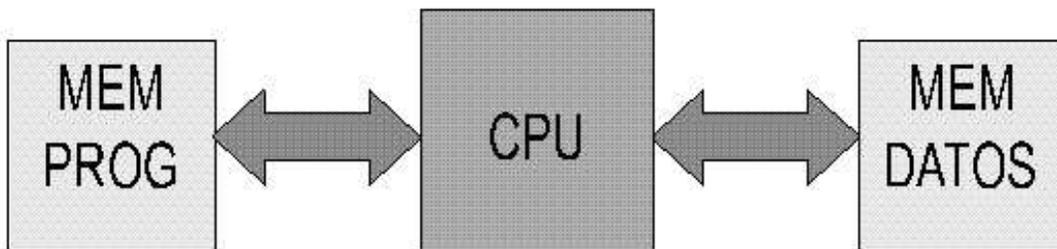


Figura 4: Arquitectura Harvard

El microcontrolador PIC 16F84 posee arquitectura Harvard, con una memoria de datos de 8 bits, y una memoria de programa de 14 bits.

En la Figura 5 vemos la arquitectura interna organizada en bloques interconectados, en donde se incluye la memoria RAM, la memoria EEPROM, los puertos de entrada y salida (I/O), etc.

## 2. ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DE LOS MICROCONTROLADORES

A continuación pasamos a describir los elementos más comunes en todo tipo de microcontroladores y sistemas.

### 2.1. El procesador

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado. Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

#### 2.1.1. CISC

Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio,

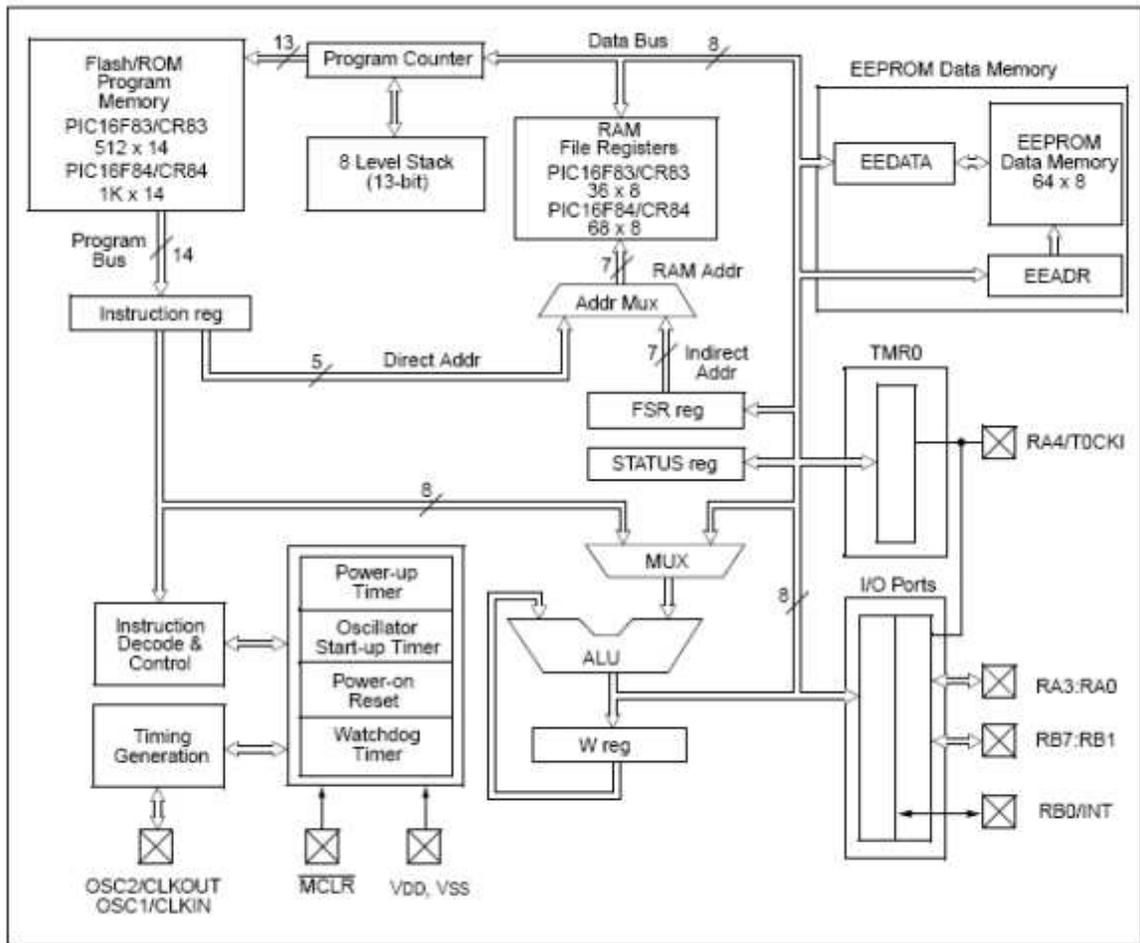


Figura 5: Diagrama de bloques del microcontrolador PIC16F84

algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros, es decir, que si las tuviésemos que implementar con instrucciones básicas, acabaríamos con dolor de cabeza.

### **2.1.2. RISC**

Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

### **2.1.3. SISC**

En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es específico, o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

## **2.2. Memoria**

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales:

No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes. Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.

La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM.

Los usuarios de computadores personales están habituados a manejar Megabytes de memoria, pero, los diseñadores con microcontroladores trabajan con capacidades de ROM comprendidas entre 512 bytes y 8 k bytes y de RAM comprendidas entre 20 y 512 bytes.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

### **2.2.1. ROM con máscara**

Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. Si tenemos idea de cómo se fabrican los circuitos integrados, sabremos de donde viene el nombre. Estos se fabrican en obleas que contienen varias decenas de chips. Estas obleas se fabrican a partir de procesos fotoquímicos, donde se impregnan capas de silicio y óxido de silicio, y según convenga, se erosionan al exponerlos a la luz. Como no todos los puntos han de ser erosionados, se sitúa entre la luz y la oblea una máscara con agujeros, de manera que donde deba incidir la luz, esta pasará. Con varios procesos similares pero más complicados se consigue fabricar los transistores y diodos micrométricos que componen un chip. Ahora ya sabes de donde viene la máscara y no te acostarás sin saber una cosa más. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.

### **2.2.2. OTP**

El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura programable una sola vez por el usuario. OTP (One Time Programmable). Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC. La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas. Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.

### 2.2.3. EPROM

Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read OnLy Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

### 2.2.4. EEPROM, E2PROM o E<sup>2</sup>PROM

Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read OnLy Memory). Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie. Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM una vez instalados en el circuito, pueden grabarse y borrarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo. El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la enseñanza y la Ingeniería de diseño. Se va extendiendo en los fabricantes la tendencia de incluir una pequeña zona de memoria EEPROM en los circuitos programables para guardar y modificar cómodamente una serie de parámetros que adecuan el dispositivo a las condiciones del entorno. Este tipo de memoria es relativamente lenta, como ya veremos más adelante.

### 2.2.5. FLASH

Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM. La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado. Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados en circuito, es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.

## 2.3. Puertas de Entrada y Salida

Las puertas de Entrada y Salida (E/S) permiten comunicar al procesador con el mundo exterior, a través de interfaces, o con otros dispositivos. Estas puertas, también llamadas puertos, son la principal utilidad de las patas o pines de un microprocesador. Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

## 2.4. Reloj principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. Esta señal del reloj es el motor del sistema y la que hace que el programa y los contadores avancen.

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C.

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero lleva aparejado un incremento del consumo de energía y de calor generado.

### 3. RECURSOS ESPECIALES

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software. Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o **Timers**.
- Perro guardián o **Watchdog**.
- Protección ante fallo de alimentación o **Brownout**.
- Estado de reposo o de bajo consumo (**Sleep mode**).
- Conversor A/D (Analógico ->Digital).
- Conversor D/A (Digital ->Analógico).
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM (**Pulse Wide Modulation**).
- Puertas de E/S digitales.
- Puertas de comunicación.

A continuación pasamos a ver con un poco más de detalle cada uno de ellos

#### 3.1. Temporizadores o Timers

Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).

Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso. Cuando se desean contar acontecimientos que se materializan por cambios de nivel o flancos en alguna de las patitas del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o decrementando al ritmo de dichos impulsos. Vaya, nos hemos metido en términos de microcontroladores demasiado pronto. Bueno, con el fin de aclarar que es un registro, anticipamos que es un valor numérico en una posición fija de memoria. Un ejemplo: esto es igual que el segundero de nuestro reloj digital, este va aumentando hasta que llega a 60 segundos, pero en la pantalla pone 00, esto quiere decir que se desborda. Pero cuando cambia da un aviso y se incrementan los minutos. En este ejemplo, el registro es el segundero; estos son fijos ya que sabemos que son los de la derecha del todo y no se van a cambiar.

#### 3.2. Perro guardián o Watchdog

Cuando el computador personal se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicia el sistema. Pero un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. El Perro Guardián consiste en un contador que, cuando llega al máximo, provoca un reset automáticamente en el sistema.

Se debe diseñar el programa de trabajo que controla la tarea de forma que resetee al Perro Guardián de vez en cuando antes de que provoque el reset. Si falla el programa o se bloquea (si cae en bucle infinito), no se refrescará al Perro guardián y, al completar su temporización, provocará el reset del sistema.

#### 3.3. Protección ante fallo de alimentación o Brownout

Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo (brownout). Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al de brownout el dispositivo se mantiene reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor. Esto es muy útil para evitar datos erróneos por transiciones y ruidos en la línea de alimentación

### **3.4. Estado de reposo ó de bajo consumo**

Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se congelan sus circuitos asociados, quedando sumido en un profundo sueño. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo. Para hacernos una idea, esta función es parecida a la opción de Suspender en el menú para apagar el equipo (en aquellos PCs con administración avanzada de energía)

### **3.5. Conversor A/D (CAD)**

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patillas del circuito integrado.

### **3.6. Conversor D/A (CDA)**

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patillas del chip. Existen muchos circuitos que trabajan con señales analógicas.

### **3.7. Comparador analógico**

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra. También hay modelos de microcontroladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

### **3.8. Modulador de anchura de impulsos o PWM**

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de las patitas del encapsulado.

### **3.9. Puertos digitales de E/S**

Todos los microcontroladores destinan parte de su patillaje a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración. Otra vez más nos volvemos a meter con unos, ceros y registros paciencia que pronto llega lo mejor.

### **3.10. Puertas de comunicación**

Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.(Ej: Puerto Serie)

USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona

Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.

USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC.

Bus I2C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.

CAN (Controller Area Network), para permitir la adaptación con redes de conexión multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU. se usa el J1850.

Tanto el I2C en televisores, como el Bus CAN en automóviles, fueron diseñados para simplificar la circuitería que supone un bus paralelo de 8 líneas dentro de un televisor, así como para librar de la carga que supone una cantidad ingente de cables en un vehículo.

## 4. LA FAMILIA DE LOS PIC

### 4.1. Introducción

¿Qué tienen los PIC que están en boca de todo el mundo? En los últimos tiempos esta familia de microcontroladores ha revolucionado el mundo de las aplicaciones electrónicas. Tienen un don especial con el cual han fascinado a programadores y desarrolladores. Quizá sea por su facilidad de uso, programación, integración

Es probable que en un futuro próximo otra familia de microcontroladores le arrebatase ese don. Hay que tener en cuenta que para las aplicaciones más habituales (casi un 90% dado su carácter general, otras familias de microcontroladores son más eficaces en aplicaciones específicas, especialmente si en ellas predomina una característica concreta, que puede estar muy desarrollada en otra familia.

### 4.2. La Familia PIC

Esta familia, desarrollada por la casa Microchip, se divide en cuatro gamas, gamas enana, baja, media y alta. Las principales diferencias entre estas gamas radica en el número de instrucciones y su longitud, el número de puertos y funciones, lo cual se refleja en el encapsulado, la complejidad interna y de programación, y en el número de aplicaciones. En las próximas líneas pasamos a describir brevemente las cualidades de esta familia. Gama baja o gama enana, de 8 patas. Se trata de un grupo de PIC de reciente aparición que ha acaparado la atención del mercado. Su principal característica es su reducido tamaño, al disponer todos sus componentes de 8 patitas. Se alimentan con un voltaje de corriente continua comprendido entre 2,5 V y 5,5 V, y consumen menos de 2 mA cuando trabajan a 5 V y 4 MHz. El formato de sus instrucciones puede ser de 12 o de 14 bits y su repertorio es de 33 o 35 instrucciones, respectivamente. En la Figura 6 se muestra el diagrama de conexión de uno de estos PIC.

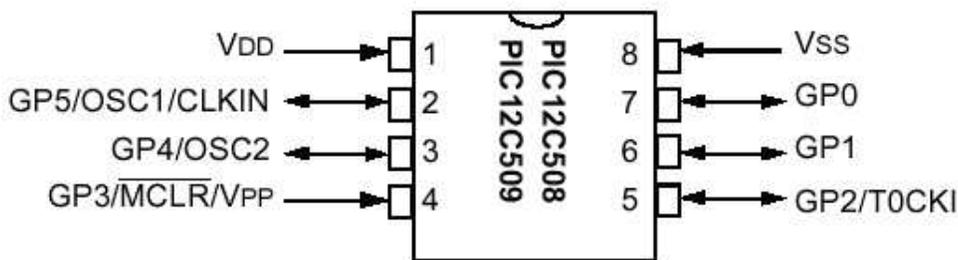


Figura 6: Diagrama de conexiones de los PIC12Cxxx de la gama baja

Aunque los PIC enanos sólo tienen 8 patillas, pueden destinar hasta 6 como líneas de E/S para los periféricos porque disponen de un oscilador interno R-C, lo cual es una de sus principales características.

En la Figura 7 se presentan las principales características de los modelos de esta subfamilia, que el fabricante tiene la intención de potenciar en un futuro próximo. Los modelos 12C5xx pertenecen a la gama baja, siendo el tamaño de las instrucciones de 12 bits; mientras que los 12C6xx son de la gama media y sus instrucciones tienen 14 bits. Los modelos 12F6xx poseen memoria Flash para el programa y EEPROM para los datos.

Se trata de una serie de PIC de recursos limitados, pero con una de las mejores relaciones coste/prestaciones. Sus versiones están encapsuladas con 18 y 28 patitas y pueden alimentarse a partir de una tensión de 2,5 V, lo que les hace ideales en las aplicaciones que funcionan con pilas teniendo en cuenta su bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V y 4 MHz). Tienen un repertorio de 33 instrucciones cuyo formato consta de 12 bits. No admiten ningún tipo

MODELO	MEMORIA PROGRAMA	MEMORIA DATOS	FRECUENCIA MÁXIMA	LINEAS E/S	ADC 8BITS	TEMPORIZADORES	PATITAS
PIC12C508	512x12	25x8	4 MHz	6		TMRO + WDT	8
PIC12C509	1024x12	41x8	4 MHz	6		TMRO + WDT	8
PIC12C670	512x14	80x8	4 MHz	6		TMRO + WDT	8
PIC12C671	1024x14	128x8	4 MHz	6	2	TMRO + WDT	8
PIC12C672	2048x14	128x8	4 MHz	6	4	TMRO + WDT	8
PIC12C680	512x12 FLASH	80x8 16x8 EEPROM	4 MHz	6	4	TMRO + WDT	8
PIC12C681	1024x14 FLASH	80x8 16x8 EEPROM	4 MHz	6		TMRO + WDT	8

Figura 7: Principales características de la gama baja

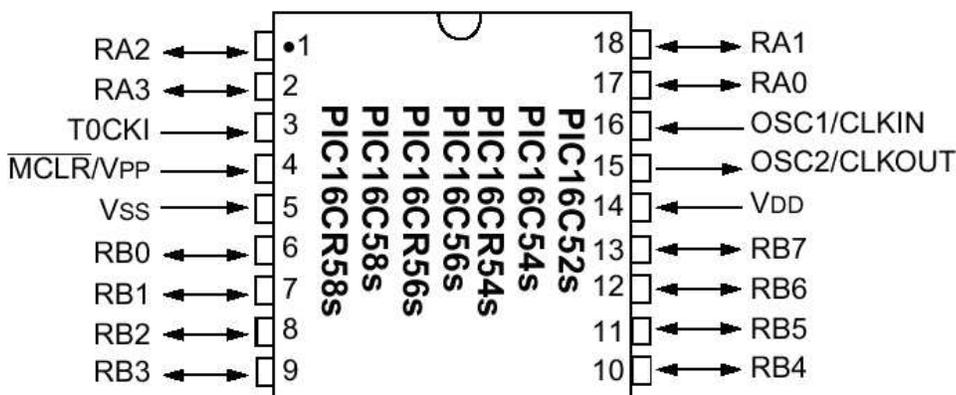


Figura 8: Diagrama de patas de los PIC de la gama baja que responden a la nomenclatura PIC16C54/56

de interrupción y la Pila sólo dispone de dos niveles. En la Figura 8 se muestra el diagrama de conexionado de uno de estos PIC.

Al igual que todos los miembros de la familia PIC16/17, los componentes de la gama baja se caracterizan por poseer los siguientes recursos: Sistema Power On Reset, Perro guardián (Watchdog o WDT), Código de protección, Sep, etc. Sus principales desventajas o limitaciones son que la pila sólo tiene dos niveles y que no admiten interrupciones. En la Figura 9 se presentan las principales características de los modelos de esta subfamilia.

#### 4.3. Gama media. PIC16CXXX con instrucciones de 14 bits

Es la gama más variada y completa de los PIC. Abarca modelos con encapsulado desde 18 patas hasta 68, cubriendo varias opciones que integran abundantes periféricos. Dentro de esta gama se halla el «famoso PIC16X84» y sus variantes.

En esta gama sus componentes añaden nuevas prestaciones a las que poseían los de la gama baja, haciéndoles más adecuados en las aplicaciones complejas. Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertos serie y diversos temporizadores. El repertorio de instrucciones es de 35, de 14 bits cada una y compatible con el de la gama baja. Sus distintos modelos contienen todos los recursos que se precisan en las aplicaciones de los microcontroladores de 8 bits. También dispone de interrupciones y una Pila de 8 niveles que permite el anidamiento de subrutinas. En la Figura 10 se presentan las principales características de los modelos de esta familia. En cuadrado en la gama media también se halla la versión PIC14C000, que soporta el diseño de controladores inteligentes para cargadores de baterías, pilas pequeñas, fuentes de alimentación ininterrumpibles y cualquier sistema de adquisición y procesamiento de señales que requiera gestión de la energía de alimentación. Los PIC 14C000 admiten cualquier tecnología de las baterías como Li-Ion, NiMH, NiCd, Ph y Zinc.

El temporizador TMR1 que hay en esta gama tiene un circuito oscilador que puede trabajar asincrónicamente y que puede incrementarse aunque el microcontrolador se halle en el modo de reposo (sleep), posibilitando la implementación de un reloj en tiempo real. Las líneas de E/S presentan una carga pull-up activada por software.

MODELO	MEMORIA PROGRAMA (x12 BITS)		MEMORIA DATOS (bytes)	FRECUENCIA MÁXIMA	LÍNEAS E/S	TEMPORIZADORES	PATITAS
	EPROM	ROM					
PIC16C52	384		25	4 MHz	4	TMRO + WDT	18
PIC16C54	512		25	20 MHz	12	TMRO + WDT	18
PIC16C54A	512		25	20 MHz	12	TMRO + WDT	18
PIC16CR54A		512	25	20 MHz	12	TMRO + WDT	18
PIC16C55	512		24	20 MHz	20	TMRO + WDT	28
PIC16C56	1 K		25	20 MHz	12	TMRO + WDT	18
PIC16C57	2 K		72	20 MHz	20	TMRO + WDT	28
PIC16CR57B		2 K	72	20 MHz	20	TMRO + WDT	28
PIC16C58A	2 K		73	20 MHz	12	TMRO + WDT	18
PIC16CR58A		2 K	73	20 MHz	12	TMRO + WDT	18

Figura 9: Características de los modelos PIC16C(R)5X de la gama baja

MODELO	MEMORIA PROGRAMA	MEMORIA DATOS		REGISTROS ESPECÍFICOS	TEMPORIZADORES	INTERRUPCIONES	E/S	RANGO VOLTAJE	PATITAS
		RAM	EEPROM						
PIC16C84	1Kx14 EEPROM	36	64	11	TMRO + WDT	4	13	2-6	18
PIC16F84	1Kx14 FLASH	68	64	11	TMRO + WDT	4	13	2-6	18
PIC16F83	512x14 FLASH	36	64	11	TMRO + WDT	4	13	2-6	18
PIC16CR84	1Kx14 ROM	68	64	11	TMRO + WDT	4	13	2-6	18
PIC16CR83	512x14 ROM	36	64	11	TMRO + WDT	4	13	2-6	18

Figura 10: Características relevantes de los modelos PIC16X8X de la gama media.

#### 4.4. Gama alta: PIC17CXXX con instrucciones de 16 bits.

Se alcanzan las 58 instrucciones de 16 bits en el repertorio y sus modelos disponen de un sistema de gestión de interrupciones vectorizadas muy potente. También incluyen variados controladores de periféricos, puertas de comunicación serie y paralelo con elementos externos, un multiplicador hardware de gran velocidad y mayores capacidades de memoria, que alcanza los 8K palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos.

Quizás la característica más destacable de los componentes de esta gama es su arquitectura abierta, que consiste en la posibilidad de ampliación del microcontrolador con elementos externos. Para este fin, las patitas sacan al exterior las líneas de los buses de datos, direcciones y control, a las que se conectan memorias o controladores de periféricos. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de patitas comprendido entre 40 y 44. Esta filosofía de construcción del sistema es la que se empleaba en los microprocesadores y no suele ser una práctica habitual cuando se emplean microcontroladores. En la Figura 11 se muestran las características más relevantes de los modelos de esta gama, que sólo se utilizan en aplicaciones muy especiales con grandes requerimientos.

MODELO	MEMORIA PROGRAMA	MEMORIA DATOS RAM	REGISTROS ESPECÍFICOS	TEMPORIZADORES	CAP	PWM	CAD 10 bit	INTERRUPCIONES	E/S	MULTIPLICADOR HARDWARE	PATITAS
PIC17C42A	2Kx16	232	48	4 + WDT	2	2		11	33	8x8	40/44
PIC17C43	4Kx16	454	48	4 + WDT	2	2		11	33	8x8	40/44
PIC17C44	8Kx16	454	48	4 + WDT	2	2		11	33	8x8	40/44
PIC17C752	8Kx16	454	76	4 + WDT	4	3	12	18	50	8x8	64/68
PIC17C756	16Kx16	902	76	4 + WDT	4	3	12	18	50	8x8	64/68

Figura 11: Características más destacadas de los modelos PIC17CXXX de la gama alta.