

# Ingenios electrónicos

Utilizamos lenguajes de alto nivel como PicBasic, PicBasic Pro y C

Dr. Eugenio Martín Cuenca

**E**l enfoque principal será la programación y empleo de los microcontroladores PIC, así como sus aplicaciones en el control, la robótica, bioingeniería, etc. Todos, consciente o inconscientemente, hacemos a diario uso de los microcontroladores. Estos ordenadores (en un solo chip), los más pequeños del mundo, han invadido nuestros hogares e incluso nuestros bolsillos, encontrándose en la mayoría de los dispositivos de uso cotidiano: en nuestras tarjetas, en los futuros monederos electrónicos, en los teléfonos móviles, en el mando a distancia, en el microondas, en la encimera de la cocina, en el encendido electrónico de nuestro automóvil y en cualquier sitio por muy inverosímil que nos parezca.

Su misión sin embargo no es sólo la de hacernos la vida más fácil a las gentes de a pie, también controlan los procesos industriales, los sistemas de navegación de los aviones y otros procesos complejos.

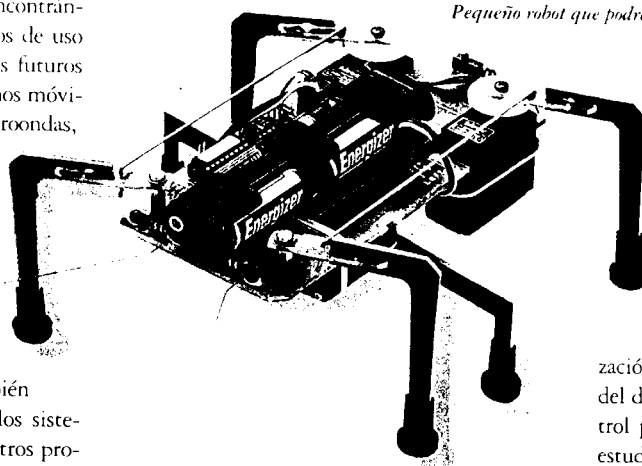
A lo largo de esta serie de artículos el lector aprenderá a programarlos en lenguajes de alto nivel como el Basic y el C. La programación y empleo de los microcontroladores se expondrá con multitud de ejemplos prácticos. Se construirá desde un pequeño robot hexápodo programable, pasando por un brazo articulado, hasta una estación meteorológica como se puede ver en las fotografías. También se realizarán multitud de otros pequeños montajes.

## Cuestión de gustos

Nos encontramos en este punto en un caso paralelo al que ocurre con los hinchas de un equipo de fútbol. Cada diseñador piensa que los microcontroladores que usa son los más idóneos, siendo en muchos casos como una religión, al igual que en el mundo de los ordenadores pasa entre los entusiastas de los Mac y los PCs.

Mis inicios, allá por 1982, se cimentan en el VIC 20 y otros ordenadores de Commodore basados en el 6502 y los Sinclair QL con un microprocesador 68008 de Motorola. De ahí, de alguna forma el «aprecio sentimental» hacia los PIC. Aunque hoy día sea un usuario

*Iniciamos este mes la andadura de una nueva sección dedicada a la domótica, los micro-robots, el control, etc. Actualmente, cualquier dispositivo (alarma, teléfono móvil, tarjeta de crédito, etc.) incorpora un minúsculo ordenador llamado microcontrolador. Este microcontrolador es programable de forma similar a como lo es nuestro PC de sobremesa.*



*Pequeño robot que podremos construir y programar en Basic.*

que algún montaje propuesto no estuviese comercializado, los lectores podrán solicitar al autor las placas de circuito impreso necesarias para su montaje.

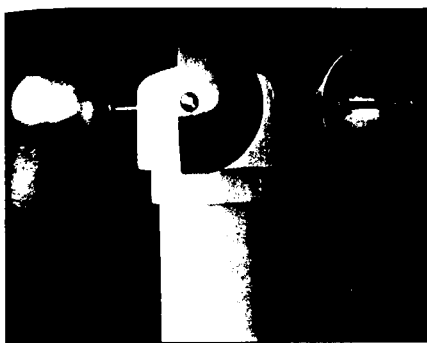
## ¿Por qué los PICs?

El autor de esta serie de artículos, trabaja desde 1982 con microprocesadores, realizando diseños de automatización y control. Hace unos años, con motivo del diseño y realización de un sistema de control para piscifactorías, realizó un exhaustivo estudio de los microcontroladores disponibles en el mercado, eligiendo finalmente los microcontroladores PIC.

Aunque existen otras familias de microcontroladores muy interesantes, los PIC, tienen «algo» que nos fascina. Puede ser su velocidad, su precio, la facilidad de uso, la gran cantidad de información disponible o lo asequible de las herramientas de desarrollo. Todo esto produce una imagen global de sencillez y utilidad. En la actualidad, el autor ha diseñado una serie de kits, incluyendo un programador para múltiples tipos de PICs, el MultiPIC. Todos están disponibles a un precio verdaderamente económico.

## Familias de microcontroladores PIC

Los PIC son una extensa familia de microcontroladores divididos en tres gamas: la gama baja con cuerpo de 12 bits, la gama media y la gama alta con cuerpo de 14 bits. Debido al espacio reducido de una publicación periódica y con el objeto de guiar certeramente al lector, el curso se basará en el PIC16F84 por sus especiales características, pero todo lo que se indique sobre él puede ser aplicado con mínimas modificaciones a cualquier miembro de la familia PIC. Así el



Anemómetro de una estación meteorológica.

Comprender a manejar uno de ellos, capacita para trabajar con cualquier miembro de la familia con un esfuerzo mínimo.

Los PIC-16F84 y PIC-16C84 son microcontroladores que ofrecen muchas ventajas al diseñador. Están basados en memoria Flash/EEPROM que al permitir su borrado y grabado eléctricamente de forma casi instantánea, los hace potentes, flexibles y fáciles de emplear. Pueden utilizarse tanto en el desarrollo como en la producción. Su coste se reduce respecto a otros modelos pues no necesitan encapsulado cerámico con ventana de programación como los chips EPROMs.

Disponen además de una EEPROM de 64 bytes para datos, lo que elimina la necesidad de una memoria EEPROM externa, y aún más importante, pueden ser programados «en circuito» sin necesidad de ser retirados, lo que permite su programación después del ensamblado y que los programas puedan ser actualizados o modificados para eliminar errores detectados con posterioridad o para introducir nuevas versiones más actualizadas del programa.

#### La rueda de reconocimiento

En la «Foto 4» se presentan algunos de los sujetos en la rueda de reconocimiento. De derecha a izquierda se encuentra el BS1-IC y el BS2-IC de Parallax, y el Módulo-01 con el que se trabajará incorporando microcontroladores PIC 16F8XX.

Se preguntará el lector, ¿no estábamos hablando sólo de PIC? Sí, pero en este punto hagamos un poco de historia. La empresa Parallax ha sido la primera en desarrollar un intérprete Basic para los microcontroladores PIC. Lo incluyó en una pequeña tarjeta para construcción de prototipos denominada Basic Stamp 1 (BS-1). El producto se compone de un PIC16C56 funcionando a 4 MHz, una memoria EEPROM serie, la 93LC56 y un circuito de *brownout*. Deja disponibles para el usuario ocho líneas de E/S de propósito general y 256 bytes de memoria de

Los autores de esta obra están «enganchados» desde hace años con los microcontroladores PIC. El profesor Eugenio Martín Cuenca, biólogo, diseña y construye sistemas para su aplicación en bioingeniería así como para la adquisición de datos y automatización de piscifactorías; José María Angulo, profesor de ingeniería, enseña estos dispositivos a los futuros ingenieros con el entusiasmo que le proporciona la seguridad de que los utilizarán en sus proyectos.

El texto consta de una parte de teoría que con sus 11 capítulos proporciona un completo análisis de la arquitectura y la programación de toda la gama de PIC. La segunda parte de prácticas, con 7 capítulos, expone un conjunto de programas, aplicaciones y control de diversos periféricos que intenta «poner en marcha» al lector y lanzarle a la aplicación de todos los conocimientos. También se describen todas las herramientas



tas necesarias para el desarrollo de diseños, incluyendo en muchos casos esquemas.

La obra está enfocada a los profesionales que necesitan utilizar los microcontroladores para resolver sus proyectos y deben disponer de una completa información técnica y una guía rápida y clara para la resolución de casos prácticos y de las herramientas disponibles. Los profesores y estudiantes de Formación Profesional, Ingeniería Técnica y Superiores encontrarán en esta obra todo lo que necesitan para aplicar prácticamente la tecnología que rodea a los ordenadores más pequeños del mundo y que se encuentra en la mayoría de los modernos productos, desde el ratón del PC hasta el teléfono móvil.

**Título:** Microcontroladores PIC. La solución en un chip.

**Autores:** Eugenio Martín Cuenca, Jose María Angulo Usategui e Ignacio Angulo Martínez.

**Editorial:** ITP-Paraninfo.

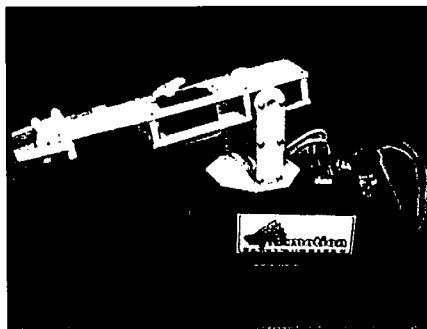
**Número de páginas:** 489.

**Precio:** A consultar.

programa, capaces de contener unas 100 instrucciones.

El intérprete PBASIC integra un editor y un programa que permite el volcado sobre la tarjeta BS1-IC desde el puerto paralelo del PC. Aunque su gran ventaja es la flexibilidad de un intérprete, las desventajas que presenta el PBASIC son principalmente dos: es lento, pues sólo ejecuta 2.000 instrucciones por segundo, y sólo puede ser empleado con la tarjeta Parallax BS1-IC.

Ante este estado de cosas, la compañía MicroEngineering Labs diseñó el compilador PBC (*PIC BASIC Compiler*), totalmente compatible con el intérprete PBASIC de Parallax,



Brazo robot articulado.

pero con la ventaja del gran aumento de velocidad que proporciona un compilador además de poder escribir programas más largos.

El compilador PBC permite escribir los programas desarrollados para el intérprete Basic Stamp 1, compilarlos y ejecutarlos directamente en microcontroladores PIC. Sus principales características son:

- Juego de instrucciones compatible con Basic Stamp 1, además de algunas ampliaciones.

- Verdadero compilador que permite la ejecución de los programas a más velocidad que el intérprete Basic. En algunas operaciones es hasta 100 veces más rápido.

- Comandos I2CIN e I2COUT que permiten el acceso a cualquier periférico I2C.

- Mayor número de variables de usuario, hasta 80 en total.

- Instrucciones PEEK y POKE para acceder a cualquier registro del PIC desde el Basic.

- Velocidad serie de 9.600 baudios.

- Soporta segmentos de código en ensamblador y CALL.

- Puede usarse con los microcontroladores PIC12C76x, PIC14C4000, PIC16C55x, PIC16C6xx, PIC16C7xx, PIC 16c92x, PIC18Cxx y PIC18Fxx.

## PC Práctico

### Microcontroladores

PBASIC	PBC	PBASIC2	PBC-1.0	Función
----	----	----	@	Inserta una línea de ensamblador.
----	ASM....	----	ASM....	Las instrucciones que siguen van en lenguaje ensamblador.
----	ENDASM	----	ENDASM	Salida del modo de instrucciones en lenguaje ensamblador.
BRANCH	BRANCH	BRANCH	BRANCH	GOTO calculado. Equivalente a ON GOTO.
----	----	----	BRANCHL	Branch largo fuera de la página.
BUTTON	BUTTON	BUTTON	BUTTON	Elimina rebotes y autorepite un PIN específico.
----	CALL	----	CALL	Llama una subrutina en lenguaje ensamblador.
----	----	----	CLEAR	Pone a cero todas las variables.
----	----	COUNT	COUNT	Cuenta el número de pulsos en un PIN.
----	----	DATA	DATA	Define el contenido inicial de la EEPROM del PIC.
DEBUG	----	DEBUG	DEBUG	Se ignora en PBC.
----	----	----	DISABLE	Desactiva el proceso ON INTERRUPT.
----	----	DTMFOUT	DTMFOUT	Produce un pulso de tono en un PIN.
EEPROM	EEPROM	EEPROM	EEPROM	Define el contenido inicial de la EEPROM.
----	----	----	ENABLE	Activa el proceso ON INTERRUPT.
END	END	END	END	Detiene la ejecución del programa. Pasa a bajo consumo.
FOR.. NEXT	FOR.. NEXT	FOR.. NEXT	FOR.. NEXT	Bucle iterativo.
----	----	FREQOUT	FREQOUT	Produce hasta 2 frecuencias en un PIN.
GOSUB	GOSUB	GOSUB	GOSUB	Llamada a la subrutina especificada en la etiqueta.
GOTO	GOTO	GOTO	GOTO	Continúa la ejecución en una etiqueta especificada.
HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	Coloca un PIN de salida a nivel alto.
----	I2COUT	----	----	Salida comunicación con dispositivo I2C.
----	I2CIN	----	----	Entrada comunicación con dispositivo I2C.
----	----	----	I2CREAD	Lee bytes de un dispositivo I2C.
----	----	----	I2CWRITE	Escribe bytes en un dispositivo I2C.
----	----	----	HSERIN	Entrada serie asíncrona hardware.
----	----	----	HSEROUT	Salida serie asíncrona hardware.
IF..THEN	IF..THEN	IF..THEN	IF..THEN	Salta si la condición es verdadera.
----	----	----	IF..THEN..ELSE ..END IF	Ejecuta instrucciones condicionales.
INPUT	INPUT	INPUT	INPUT	Coloca el PIN como entrada.
----	----	----	LCDOUT	Muestra caracteres en un LCD.
LET	LET	LET	LET	Ejecuta una operación matemática y asigna el resultado a una variable.
LOOKDOWN	LOOKDOWN	LOOKDOWN	LOOKDOWN	Busca un valor en una tabla.
----	----	LOOKDOWN2	LOOKDOWN2	Busca el valor de una variable o una constante en una tabla.
LOOKUP	LOOKUP	LOOKUP	LOOKUP	Toma un valor de la tabla.
----	----	LOOKUP2	LOOKUP2	Toma el valor de una variable o una constante de una tabla.
LOW	LOW	LOW	LOW	Coloca un PIN de salida a nivel bajo.
NAP	NAP	NAP	NAP	Coloca el procesador en bajo consumo durante un corto período de tiempo.
----	----	----	ON INTERRUPT	Ejecuta una subrutina Basic en una interrupción.
OUTPUT	OUTPUT	OUTPUT	OUTPUT	Coloca un PIN como salida.
PAUSE	PAUSE	PAUSE	PAUSE	Retardo. Resolución un ms.
----	----	----	PAUSEUS	Retardo. Resolución 1µs.
----	PEEK	----	PEEK	Lee un byte de un registro del PIC.
----	POKE	----	POKE	Escribe un byte en un registro del PIC.
POT	POT	POT	POT	Lee un potenciómetro en el PIN especificado.
PULSIN	PULSIN	PULSIN	PULSIN	Mide el ancho de un pulso (10µs de resolución).
PULSOUT	PULSOUT	PULSOUT	PULSOUT	Genera un pulso (10µs de resolución).
PWM	PWM	PWM	PWM	Saca un tren de pulsos PWM por una pin.
RANDOM	RANDOM	RANDOM	RANDOM	Genera un número pseudo-aleatorio.

Tabla 2. Resumen comparativo de las instrucciones de los diferentes Basic.

## PC Práctico

### Microcontroladores

BASIC	PBC	PBASIC2	PBC Pro	Función
----	----	RCTIME	RCTIME	Mide el ancho de un pulso en un PIN.
READ	READ	READ	READ	Lee un byte de la EEPROM.
----	----	RESUME	RESUME	Continúa la ejecución después de una interrupción.
RETURN	RETURN	RETURN	RETURN	Reanuda la ejecución de la instrucción que sigue al GOSUB.
REVERSE	REVERSE	REVERSE	REVERSE	Coloca un PIN que estaba como salida como entrada o viceversa.
SERIN	SERIN	SERIN	SERIN	Entrada serie asincrónica (N81).
----	----	SERIN2	SERIN2	Entrada serie asincrónica.
SEROUT	SEROUT	SEROUT	SEROUT	Salida serie asincrónica (N81).
----	----	SEROUT2	SEROUT2	Salida serie asincrónica.
----	----	SHIFTIN	SHIFTIN	Entrada serie síncrona.
----	----	SHIFTOUT	SHIFTOUT	Salida serie síncrona.
SLEEP	SLEEP	SLEEP	SLEEP	Coloca el procesador en modo de bajo consumo SLEEP, con un segundo de resolución.
SOUND	SOUND	SOUND	SOUND	Genera un tono o ruido-blanco en el PIN especificado.
----	----	STOP	STOP	Detiene la ejecución del programa.
----	----	----	SWAP	Intercambia el valor de dos variables.
----	----	----	WHILE.. WEND	Ejecuta las instrucciones hasta que la condición es verdadera.
TOGGLE	TOGGLE	TOGGLE	TOGGLE	Coloca un PIN como salida y conmuta su estado.
WRITE	WRITE	WRITE	WRITE	Escribe un byte en la EEPROM.
----	----	----	XIN	Entrada X-10.
----	----	XOUT	XOUT	Salida X-10.

Continuación Tabla 2.

El compilador PBC convierte los programas Basic en ficheros \*.hex o binarios que pueden ser grabados directamente en los microcontroladores PIC. La facilidad de uso del lenguaje Basic coloca la programación de los microcontroladores PIC al alcance de todos.

Por último, indicar que también nos ha inclinado a su elección el desarrollo por parte de la empresa Micromint de la serie de módulos PICStic: el PS-1, el PS-2 y el PS-3. A un precio muy económico, estos módulos ofrecen un 16C84 con toda la circuitería necesaria e incluyen además en los casos del PS-2 un reloj en tiempo real y en el PS-3 un convertor A/D de 12 bits. Estos módulos pueden programarse en ensamblador, en PBC o en cualquier lenguaje disponible para los PIC.

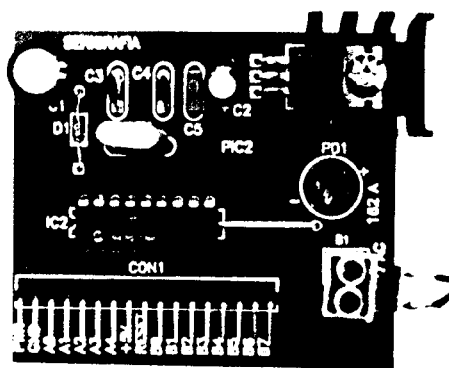
#### PBASIC II para BS2-IC

Con posterioridad Parallax desarrolló el Basic Stamp II (BS2-IC), que ampliaba tanto el hardware como el conjunto de instrucciones Basic del BS1-IC, llamado ahora PBASIC2.

El hardware del BS2-IC es un PIC16C57 a 20 MHz, una memoria serie EEPROM 24LC16 y un circuito de *brownout*, dejando disponibles para el usuario 16 líneas de E/S de propósito general y otras dos para comunicaciones serie y 2 Kbytes de memoria de pro-



Foto 4. Módulos BS2-IC y BS1-IC de la empresa americana Parallax. Abajo Módulo-01 con el que se realizarán los montajes.




grama, capaces de contener unas 600 instrucciones. Además, ejecuta de 3.000 a 4.000 instrucciones por segundo.

Aquí se suma, a su gran ventaja, la flexibilidad de un intérprete, mayor capacidad de memoria, mayor velocidad y un juego de instrucciones más completo. Por supuesto, como cabría esperar, MicroEngineering Labs ha desarrollado un compilador compatible con PBASIC2, llamado PIC Basic Pro Compiler.

Sus principales características son:

- Juego de instrucciones compatible con Basic Stamp I y Basic Stamp II con algunas ampliaciones.
- Verdadero compilador que permite la ejecución de los programas a más velocidad que el intérprete Basic: en algunas operaciones hasta 100 veces más rápido.
- Acceso directo o desde librería a cualquier registro o PIN del microcontrolador.
- Arrays tipo bit, byte y word.
- Control automático del cambio de página de memoria.
- Velocidad serie de hasta 19.200 baudios.
- Soporta segmentos de código en ensamblador y CALL.
- Verdadera instrucción IF THEN ELSE ENDIF.
- Interrupciones en Basic y ensamblador.
- Puede usarse con los microcontroladores PIC12C76x, PIC14C4000, PIC16C55x, PIC16C6xx, PIC16C7xx, PIC 16c92x, PIC18Cxx y PIC18Fxx.
- Control directo de pantallas LCD mediante un simple comando.
- Soporta velocidades de reloj desde 3,58 a 20 MHz.


**Dr. Eugenio Martín Cuenca**  
 (emartin@goliat.ugr.es)  
 Ing. José María Moreno Balboa