



# Microcontroladores

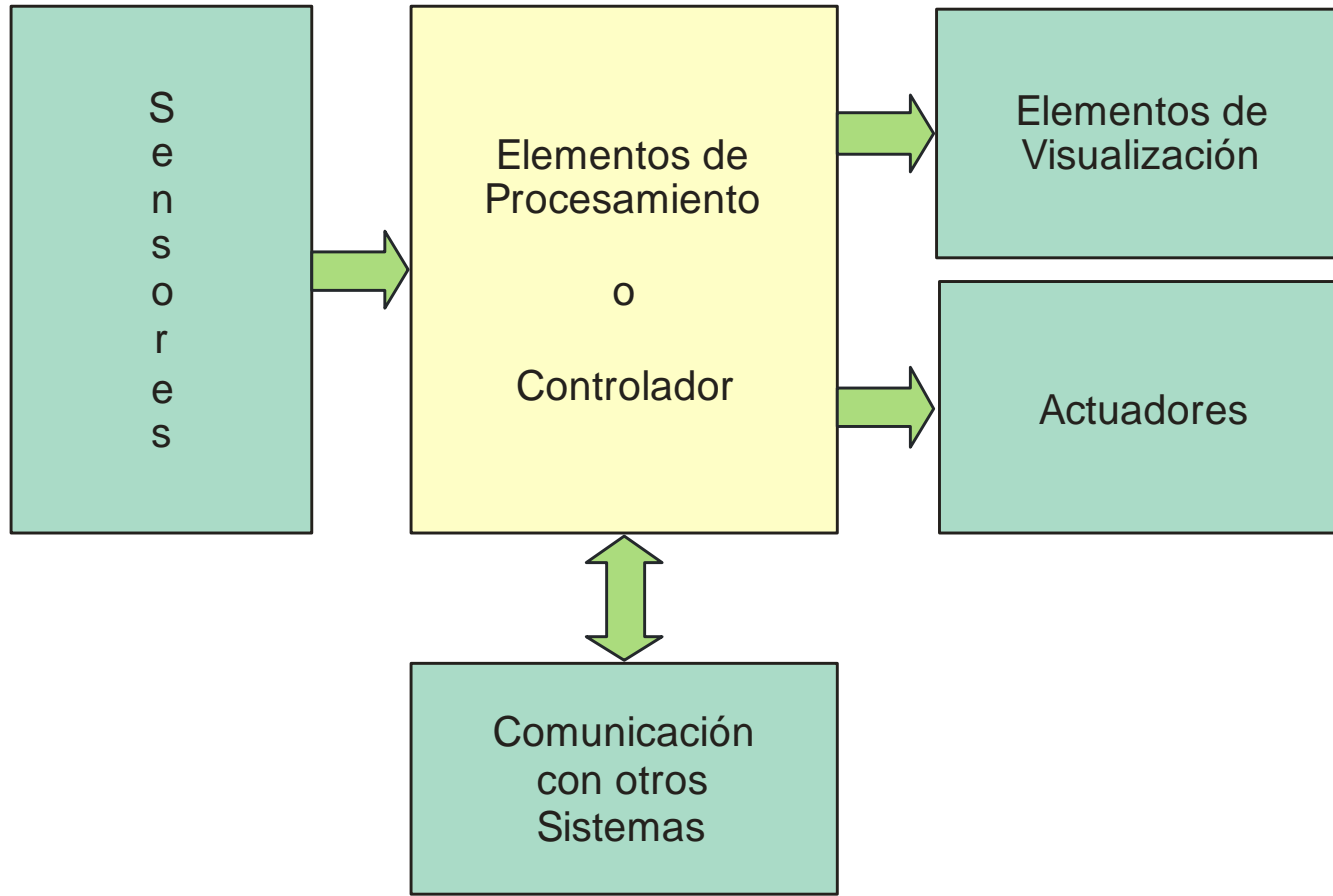
## 1. INTRODUCCIÓN A LOS MICROCONTROLADORES

M. C. Felipe Santiago Espinosa

Marzo / 2017



# ¿QUÉ ELEMENTOS O PARTES ENCONTRAMOS EN UN SISTEMA ELECTRÓNICO?



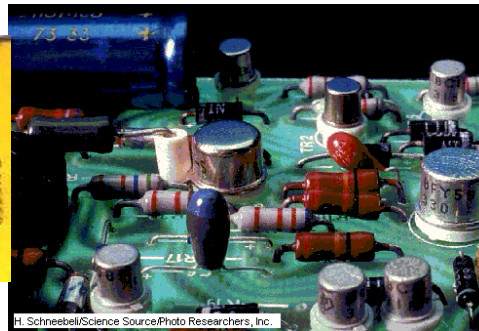
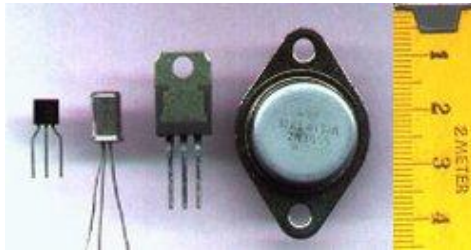


## CONTROLADOR

- Los elementos de procesamiento son dispositivos electrónicos que determinan la funcionalidad del sistema, con el desarrollo de uno o varios procesos.
- Ocasionalmente a estos elementos de procesamiento se les refieren como la Tarjeta de Control de un sistema o simplemente el Controlador.
- El controlador recibe la información proveniente de los sensores y, considerando el estado actual que guarda el sistema, genera algunos resultados visuales, activa algún actuador o notifica sobre nuevas condiciones a otro sistema.

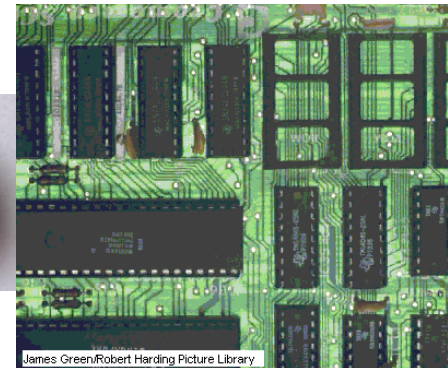
## CONTROLADOR

- El concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, aunque su implementación física ha variado frecuentemente.



Transistores

Circuitos Integrados



# CONTROLADOR



Microprocesadores con sus  
elementos de soporte

SBC: Single Board Computer



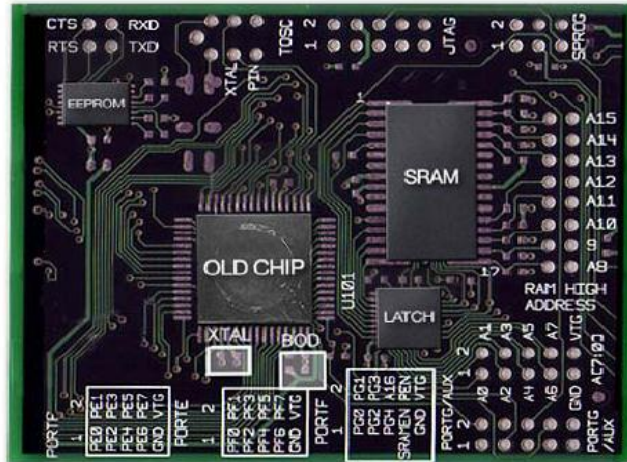
## CONTROLADOR

- Aunque un controlador prácticamente incluye los elementos necesarios para ser considerado como una computadora, frecuentemente no es tratado como tal, ya que su uso típico consiste en el desempeño de funciones de “control” interactuando con el “mundo real” para monitorear condiciones (a través de sensores) y en respuesta a ello, encender o apagar dispositivos (por medio de actuadores).
- Los controladores están enfocados a sistemas de propósito específico, por ejemplo: cajas registradoras, hornos de microondas, videojuegos, videocámaras, equipos de sonido, instrumentos musicales, máquinas de escribir, fotocopadoras, etc.



## CONTROLADOR

- En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un circuito integrado, el cual recibe el nombre de **microcontrolador**. Realmente consiste en un sencillo pero completo sistema contenido en un solo circuito integrado



SBC (Single board Computer)

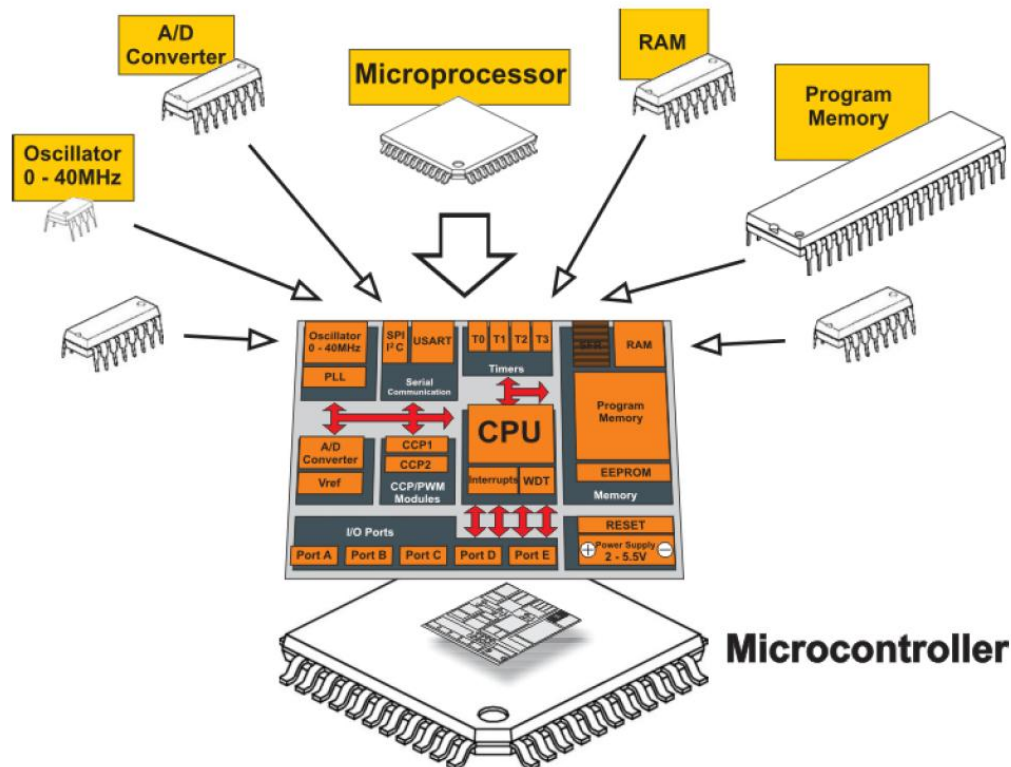


MCU (Micro Controller Unit)



# MICROCONTROLADOR

Es un Circuito Integrado con tecnología VLSI que contiene una Unidad Central de Procesamiento (CPU), memoria para código, memoria para datos, además de otros recursos necesarios para el desarrollo de aplicaciones, por lo general con un propósito específico. Un microcontrolador es de hecho una computadora completa situada en un único chip.

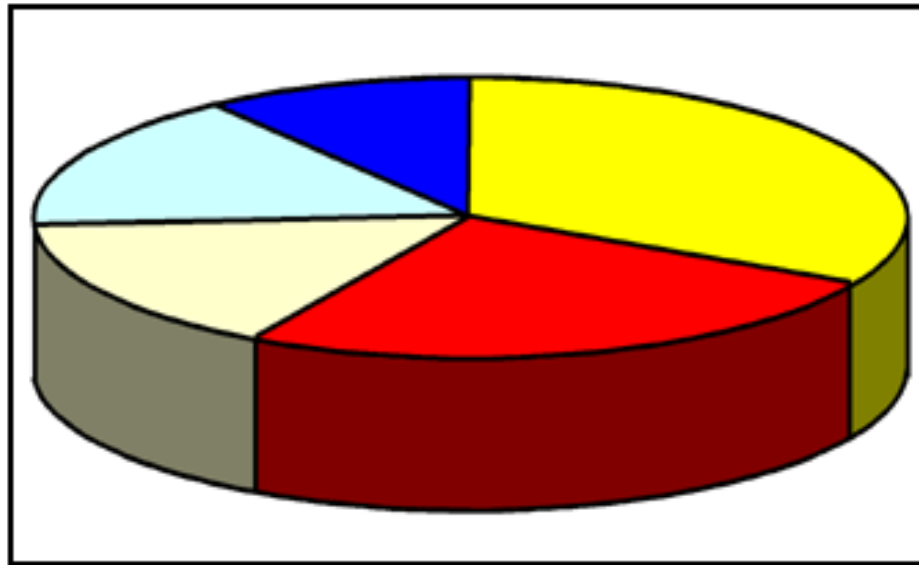


# APLICACIONES DE LOS MCU



## Uso de los Microcontroladores

### Reparto del uso de microcontroladores en las áreas de mayor difusión



- 33% Industria informática.
- 25% Electrodomésticos, Juegos, TV, Vídeo, etc.
- 16% Sistemas de comunicación.
- 16% Industria.
- 10% Automoción.



# Microprocesadores y Microcontroladores

Aunque los microprocesadores y microcontroladores son dispositivos con algunas similitudes, existen diferencias importantes entre ellos:

- **Microprocesadores**
  - Es una Unidad Central de Procesamiento en un circuito integrado.
- **Microcontroladores**
  - Además de la CPU, contiene: RAM, ROM, interfaz serial, interfaz paralela, manejo de interrupciones, temporizadores, etc. Todo en un circuito integrado.



## Limitantes en un Microcontrolador

	MCU (típico)	$\mu$ P
Velocidad de procesamiento	20 MHz	~ GHz
Capacidad de direccionamiento	8 kB (instrucciones) 1 kB (datos)	~Terabytes
Tamaño de los datos	8 bits Manejo directo de 1 bit	Palabras de 32 o 64 bits



# APLICACIONES

## • Microprocesadores

- Los microprocesadores son comúnmente usados como **CPU** en las computadoras. Aunque también existen tarjetas de evaluación y desarrollo con base en algún microprocesador (SBC, Single Board Computer), pero éstas cada vez son menos comunes.
- Son la base para la construcción de sistemas de **propósito general**.

## • Microcontroladores

- Los microcontroladores son encontrados en sistemas mínimos desempeñando actividades orientadas a control.
- Son la base para sistemas con **propósito específico**.
- Sus limitaciones no son una restricción para este tipo de aplicaciones.



## Microcontroladores v.s. FPGA's

### • FPGA

- Bloques e interconexiones configurables, es posible diseñar sistemas a medida.
- El programa define al hardware.
- En un sistema, los diferentes módulos pueden operar en forma concurrente.

### • Microcontroladores

- Unidades funcionales bien definidas.
- El programa determina el comportamiento del hardware.
- Un programa se ejecuta en forma secuencial, aunque exista concurrencia en los recursos, su atención por la CPU será secuencial.





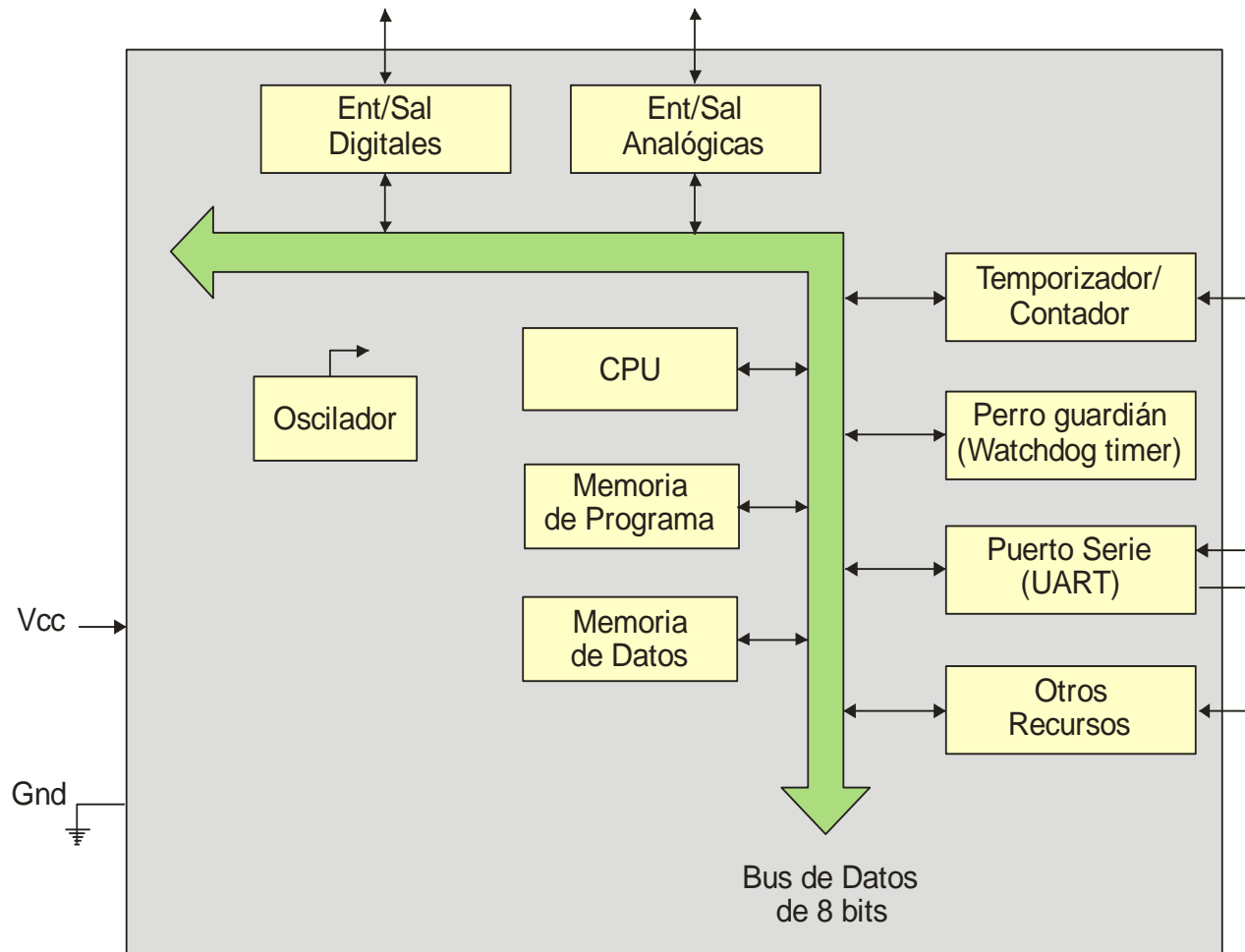
## Microcontroladores v.s. FPGA's

- La gran ventaja de los MCU's con respecto a los FPGA's es que el tiempo para el desarrollo de una aplicación es mucho menor con un MCU que con un FPGA.
- En contraparte, un microcontrolador puede ser descrito y “personalizado” dentro de un FPGA.
- Emplear uno u otro dispositivo dependerá de la aplicación a desarrollar.

# SELECCIÓN DEL TIPO DE DISPOSITIVO

- En forma práctica, debería intentarse emplear un MCU como el controlador de un sistema electrónico.
- Si se requiere de más velocidad o capacidad de direccionamiento, la alternativa sería un MCU con más prestaciones o un microprocesador con sus elementos de soporte.
- Si se va a hacer un procesamiento aritmético intensivo, podría optarse por un procesador digital de señales (DSP, *Digital Signal Processor*).
- Cuando se requiera de un hardware especializado, a la medida del sistema, que trabaje a altas velocidades y con módulos concurrentes, la mejor opción es el uso de un FPGA.

# Organización de un microcontrolador



# LA UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO

- Administra todas las actividades en el sistema y ejecuta todas las operaciones sobre los datos. Su tarea puede reducirse a las siguientes operaciones:
  - Atrapar una instrucción.
  - Decodificarla.
  - Ejecutarla.
- Cada instrucción contiene un código de operación (opcode) y uno o más operandos sobre los que se realizará la operación. Las instrucciones usualmente se organizan por grupos e incluyen:
  - Aritméticas: suma, resta, producto, división, etc.
  - Lógicas: AND, OR, NOT, etc.
  - Transferencia de datos.
  - Bifurcaciones o saltos (condicionales o incondicionales)

Un grupo de instrucciones para un procesador particular forma su **repertorio de instrucciones**.

Una **familia de computadoras** o de **microcontroladores** comparte un repertorio de instrucciones, aunque sus integrantes pueden variar en costo y rendimiento.



## TIPOS DE CPUS

**CISC** : Complex Instruction Set Computers

**RISC** : Reduced Instruction Set Computers

- Las primeras computadoras se construyeron con la filosofía CISC, buscando que el programador escribiera programas compactos . Como consecuencias: hardware complejo y un bajo rendimiento.
- La filosofía RISC busca que el hardware sea simple y que resuelva pocas instrucciones. Alto rendimiento.
- RISC: Pocas instrucciones y generalmente del mismo tamaño.
- CISC: Demasiadas instrucciones con diferentes tamaños y formatos, que pueden ocupar varios bytes.
- La tarea realizada por una instrucción CISC puede requerir de varias instrucciones RISC.

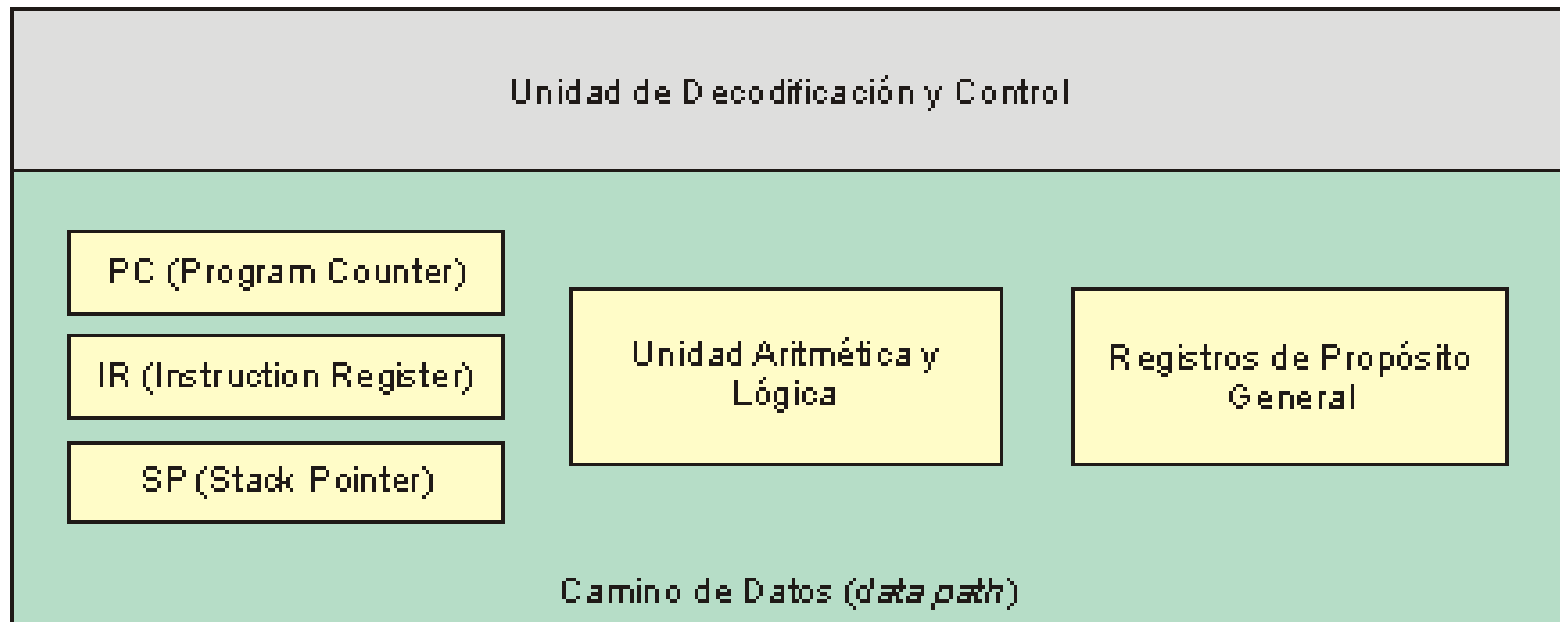


## TIPOS DE CPU'S

- El hardware de un procesador RISC es tan simple, que se puede implementar en una fracción de la superficie ocupada en un circuito integrado por un procesador CISC.
- La organización de los procesadores RISC hace que, aun con tecnologías de semiconductores comparables e igual frecuencia de reloj, su capacidad de procesamiento sea de dos a cuatro veces mayor que la de un CISC, esto porque permite la aplicación de técnicas como la segmentación, mediante la cual es posible solapar diferentes instrucciones en cada una de las etapas del procesador.



# LA UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO (VISIÓN SIMPLIFICADA)



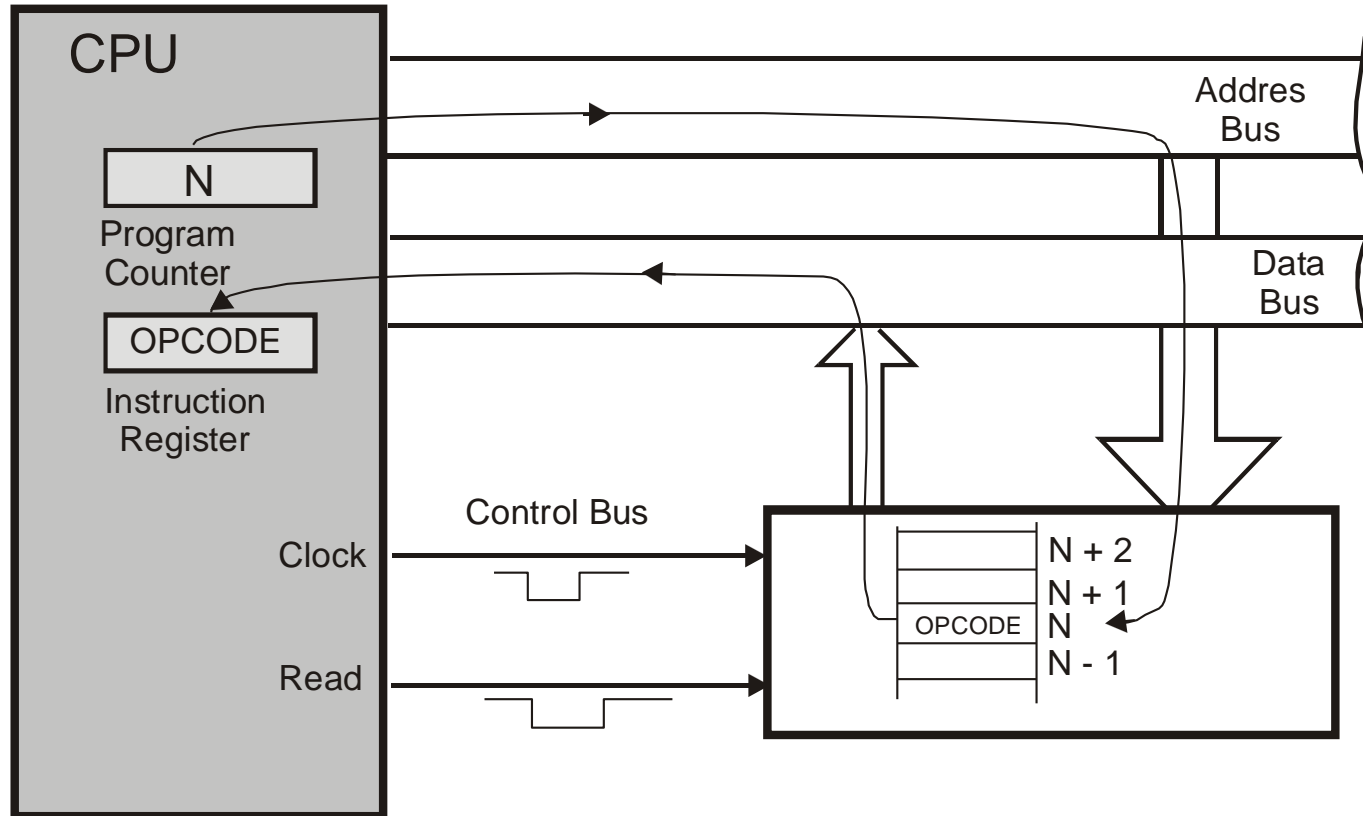




## Tareas de la CPU

- 1) **Atrapar la instrucción:** es una etapa fundamental que involucra los siguientes pasos:
  - a) El contenido del PC es colocado en el bus de direcciones.
  - b) Una señal de control (READ) es activada.
  - c) Un dato (la instrucción) es leído de la RAM y puesto en el bus de datos.
  - d) El dato es colocado en el registro de instrucción (IR).
  - e) El PC es preparado para la siguiente instrucción.

## Tareas de la CPU (2)





## Tareas de la CPU (3)

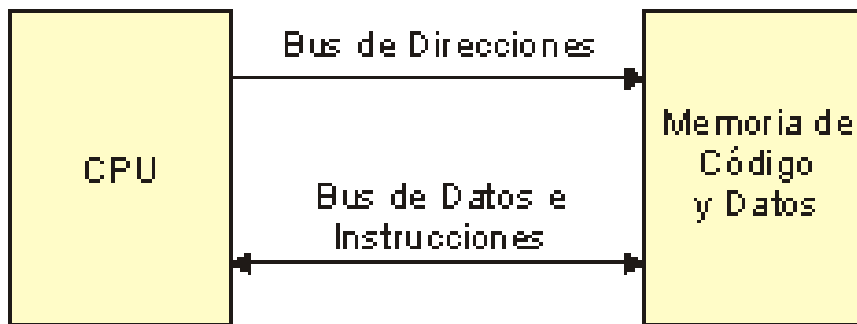
- 2) **Decodificación:** consiste en descifrar el opcode para generar las señales de control necesarias, dependiendo del tipo de instrucción.
- 3) **Ejecución:** consiste en la habilitación de la ALU para obtener algún resultado, cargar datos desde memoria, almacenar datos en memoria, modificar el valor del PC, etcétera (según las señales generadas por el control).

Una serie de instrucciones combinada para realizar alguna tarea significativa es llamado **programa**.

El grado en el cual las tareas son realizadas eficiente y correctamente depende en mucho del software, no de qué tan sofisticada sea la CPU.

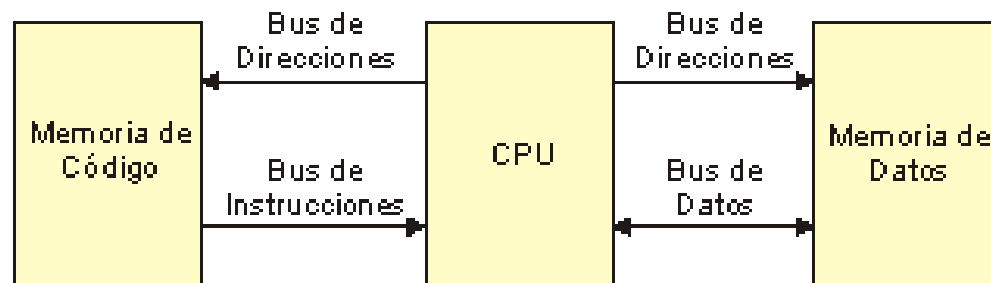
## SISTEMA DE MEMORIA

- Una computadora (y por lo tanto, también un MCU) debe contar con memoria de código y memoria para datos.
- Existen 2 modelos o Arquitecturas, de acuerdo con la organización de la memoria:



← Arquitectura Von Neumann

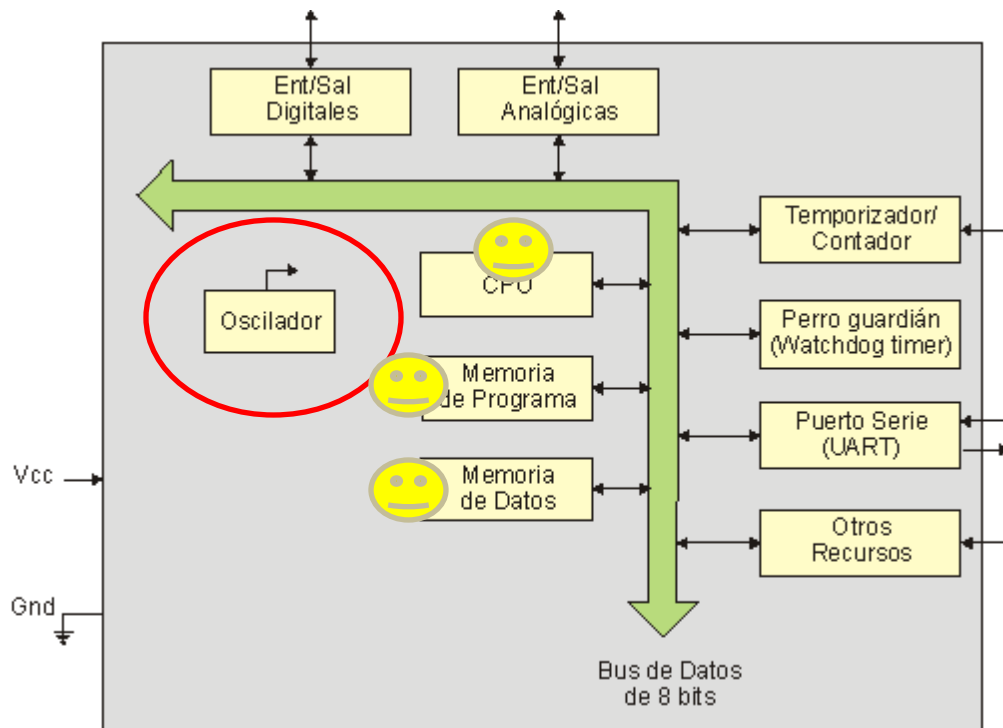
→ Arquitectura Harvard





## SISTEMA DE MEMORIA

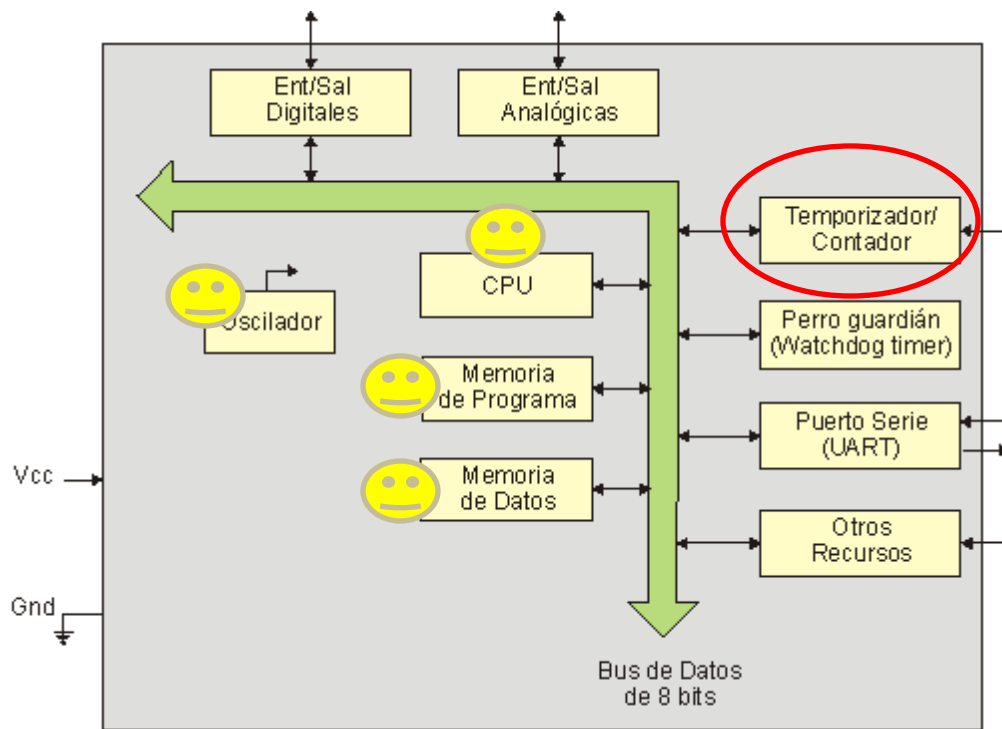
- La mayoría de Microcontroladores utilizan una Arquitectura Harvard.
- La **memoria de código** (de instrucciones o de programa) almacena las instrucciones que forman al programa.
- Para acomodar programas grandes, en algunos microcontroladores la memoria de código se puede dividir en memoria interna y memoria externa.
- La memoria de programa es No Volátil y puede ser del tipo EPROM, EEPROM, Flash, ROM enmascarable u OTP (one-time programmable).
- Para la **memoria de datos** los microcontroladores pueden contener RAM o EEPROM, para el uso de variables o de una pila.
- Todos los microcontroladores tienen memoria interna de datos, en diferentes magnitudes, algunos además cuentan con la capacidad de expansión usando una memoria externa.



## PERIFÉRICOS INCORPORADOS A UN MCU

La CPU va tomando las instrucciones de la memoria de programa a cierta frecuencia. Esta frecuencia está determinada por el **circuito de oscilación**, el cual puede ser temporizado por un circuito RC o un cristal de cuarzo externo.

Tan pronto como se suministra la alimentación eléctrica, el oscilador empieza su operación.



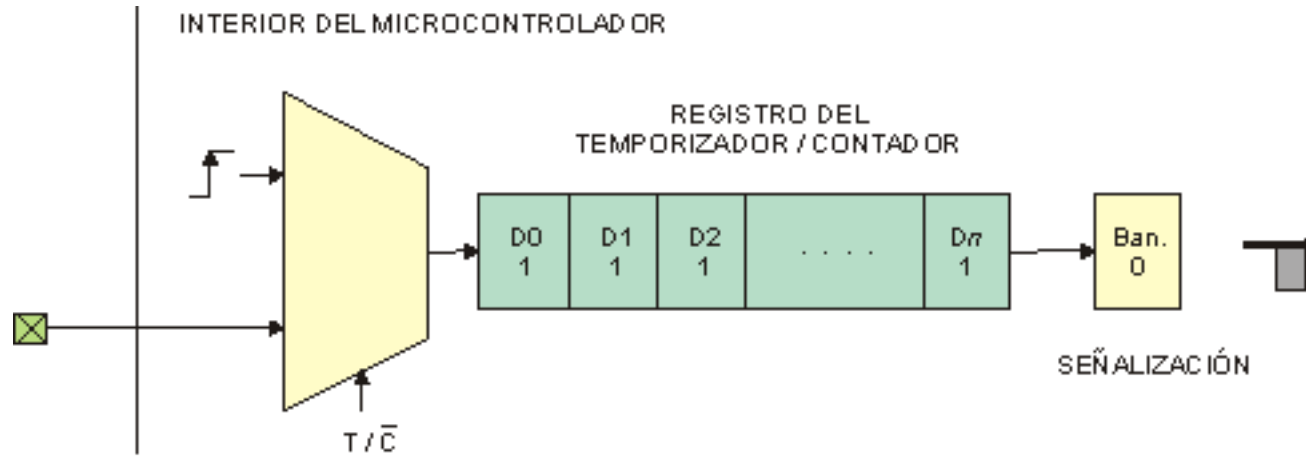
## PERIFÉRICOS INCORPORADOS A UN MCU

El **timer** (Temporizador) es usado para eventos de tiempo, se compone de un registro que se incrementa automáticamente en cada ciclo de reloj y sus desbordamientos indican que ha transcurrido un intervalo de tiempo. El timer también puede ser usado para contar eventos externos, en ese caso el timer funciona como un **contador**.

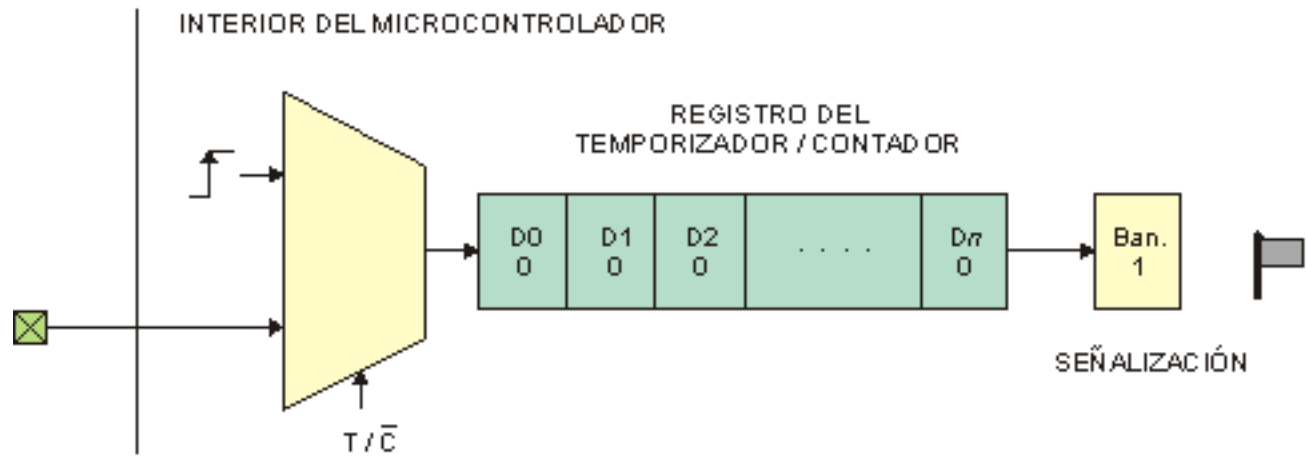
Por ejemplo, si alguna salida debe actualizarse a cierto intervalo de tiempo, el timer genera la señalización que le indica a la CPU cada que transcurre el intervalo deseado.



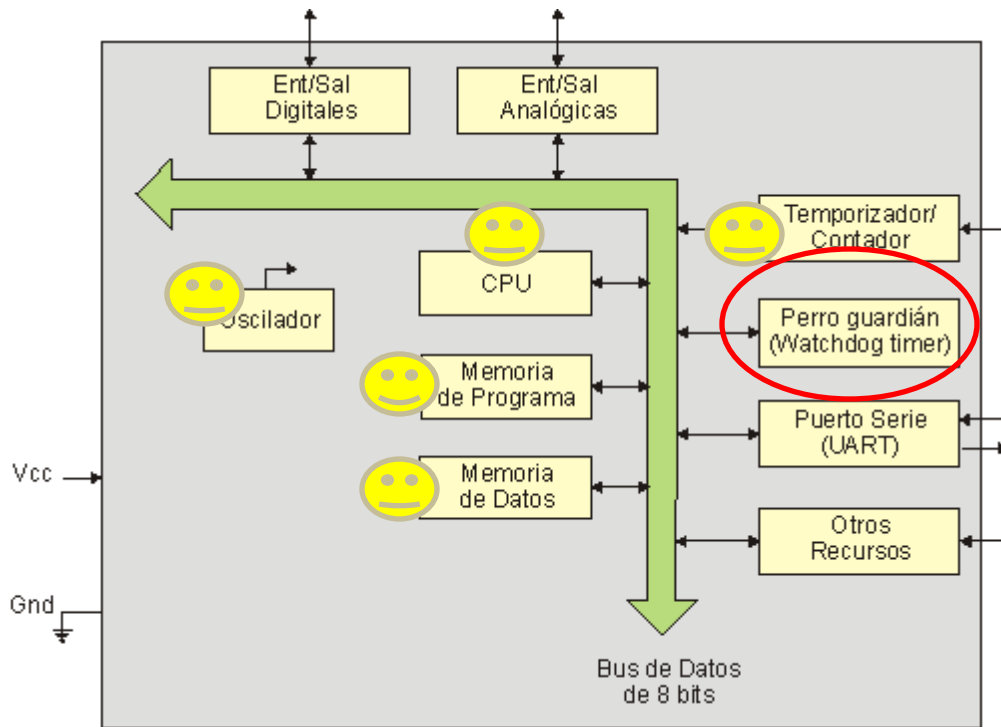
# TEMPORIZADOR/CONTADOR



(a)



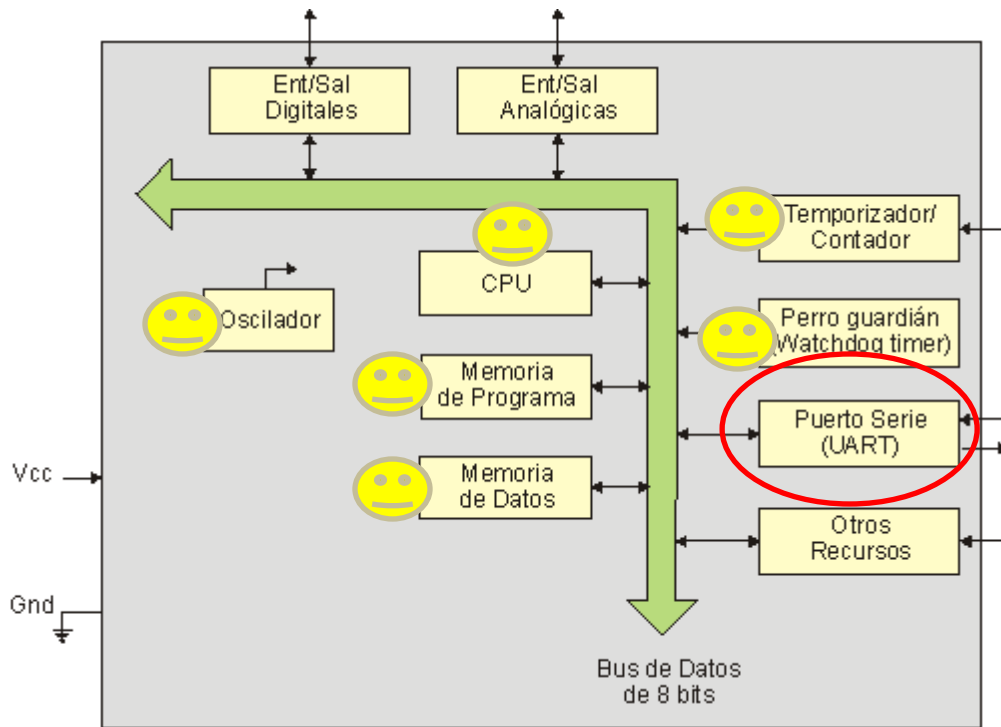
(b)



## PERIFÉRICOS INCORPORADOS A UN MCU

El **Watchdog Timer** (perro guardián) es un temporizador con una función especial, también lleva un control de intervalos de tiempo, pero sus desbordamientos reinician al procesador (aplican un reset). Si se utiliza, en posiciones estratégicas del programa debe incluirse una instrucción que lo reinicie para evitar que desborde.

El WDT sirve para que, si por alguna condición externa el MCU se cicla en algún estado inesperado, el MCU se reinicia y regresa la operación al sistema.

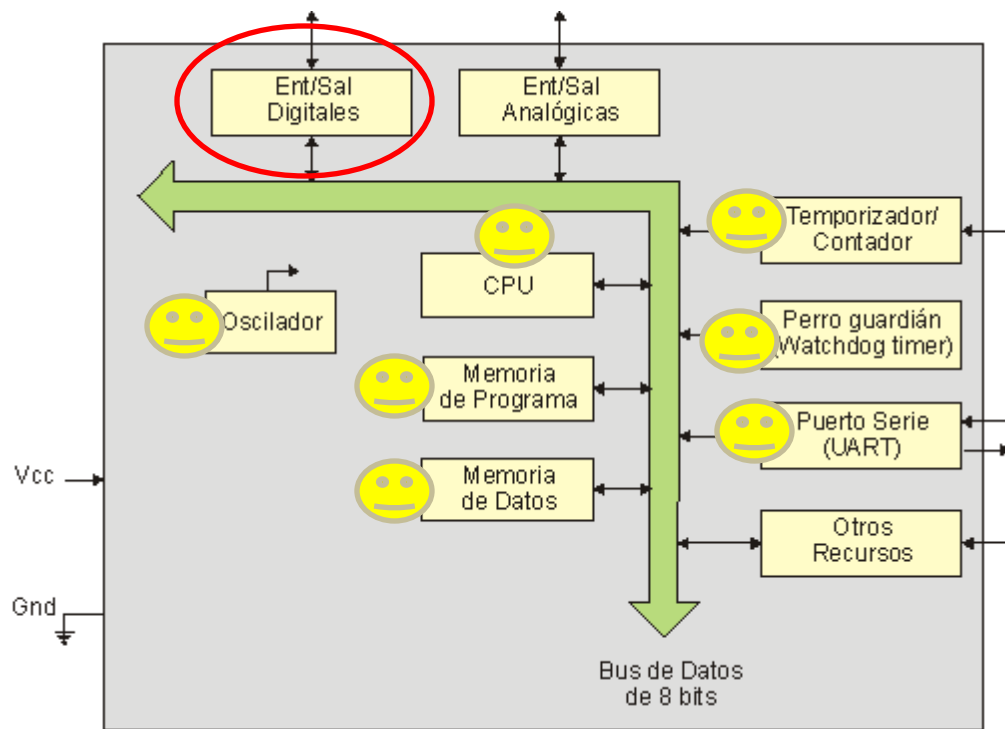


## PERIFÉRICOS INCORPORADOS A UN MCU

La mayoría de Microcontroladores cuentan con una UART (Universal Asynchronous Receiver Transceiver), para **comunicación serial** con dispositivos o sistemas externos, bajo protocolos y razones de transmisiones estándares. La comunicación serial puede ser:

**Síncrona:** Además de la línea de datos se utiliza una línea de reloj.

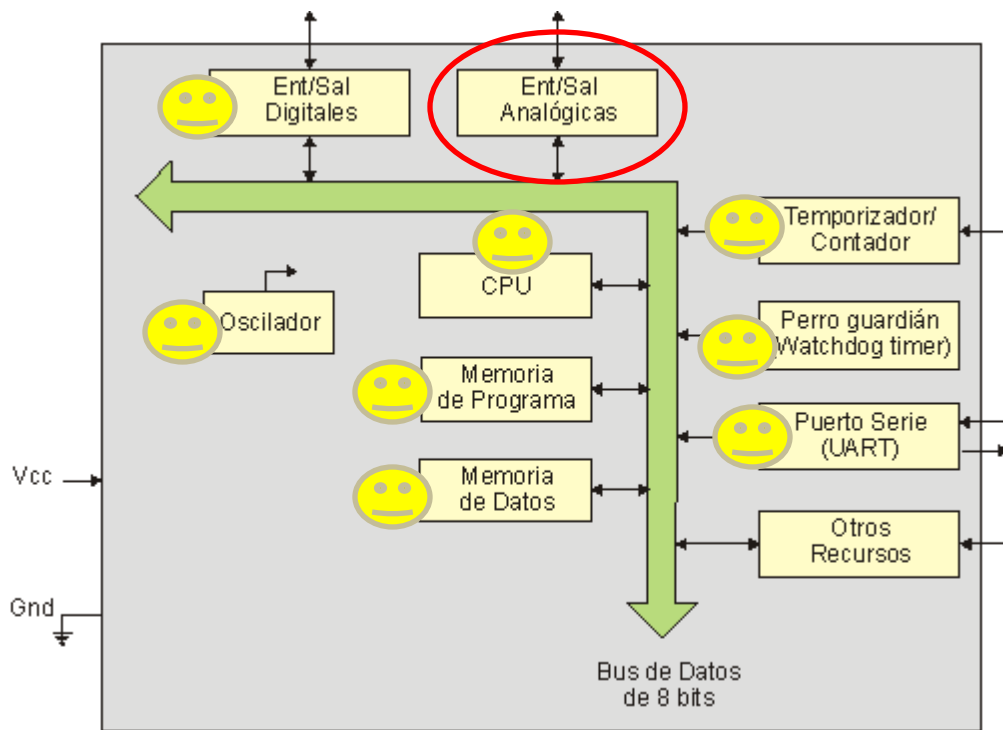
**Asíncrona:** Sólo hay una línea de datos, para el transmisor y receptor se deben configurar el Baud Rate (bits/segundo) y el formato de las tramas.



## PERIFÉRICOS INCORPORADOS A UN MCU

Los microcontroladores incluyen puertos digitales de Entrada/Salida para intercambiar datos con el mundo exterior. A diferencia del puerto serie donde se transfiere un bit a la vez, los puertos digitales permiten el intercambio de bytes.

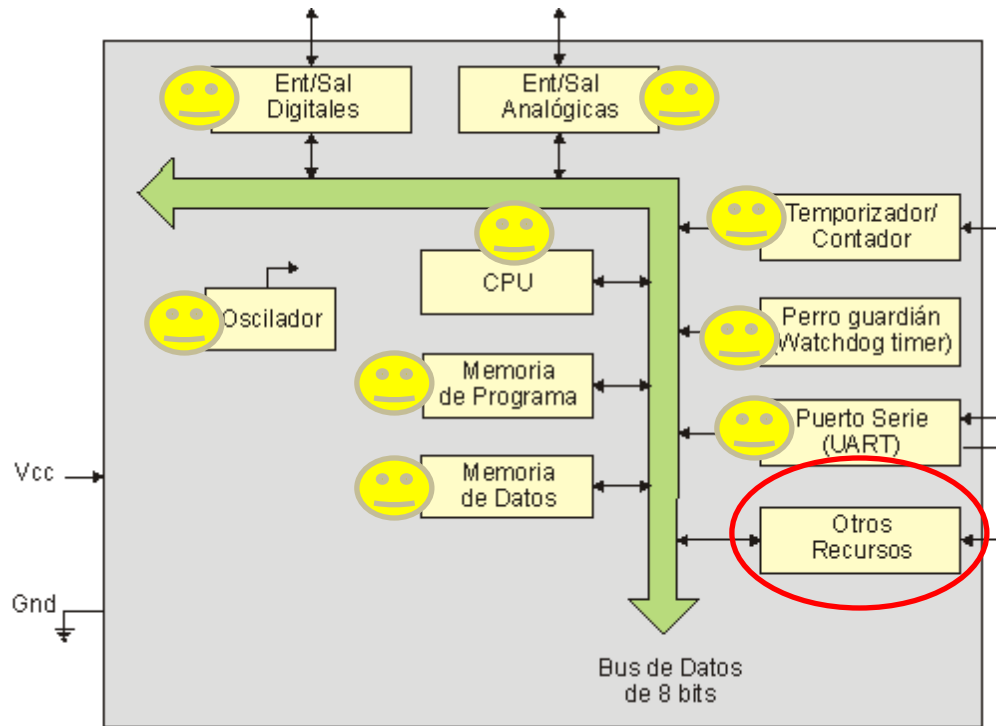
En un puerto funcionando como entrada se pueden conectar botones, interruptores, sensores con salida a relevador, etc., y como salida sirve para el manejo de LEDs, displays de 7 segmentos, activación de motores, etc.



## PERIFÉRICOS INCORPORADOS A UN MCU

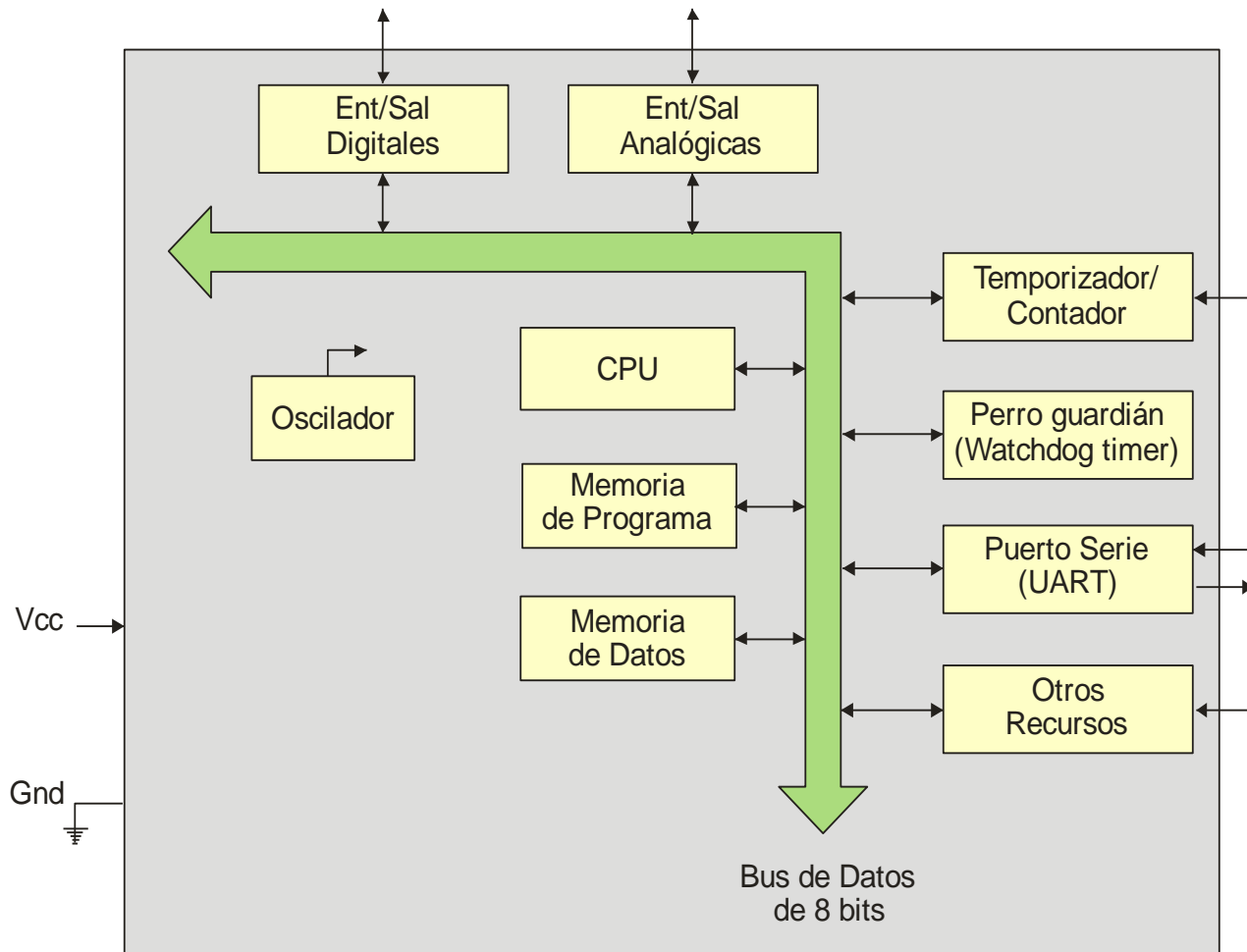
Para **entradas analógicas** algunos microcontroladores incorporan **Convertidores Analógico a Digital (ADC)** o **comparadores analógicos**. Estos son útiles por que sin recursos adicionales permiten obtener información analógica del exterior, para monitorear parámetros como temperatura, velocidad, humedad, etc.

Para **salidas analógicas** se podría pensar en un **Convertidor Digital a Analógico (DAC)** pero no es común que se incluya en un microcontrolador. Lo que algunos microcontroladores incluyen son salidas con **Modulación por Ancho de Pulso (PWM)**, las cuales, con pocos elementos externos pueden generar salidas analógicas.



- Reloj/Calendario
- Interfaz I2C
- Interfaz USB
- Interfaz JTAG
- Módulos para Control con Encoders y PWM
- Etc.

# Organización de un microcontrolador (revisión)





## CLASIFICACIÓN DE LOS MCU'S

- Pueden clasificarse por la arquitectura del procesador como RISC o CISC.
- Por el tamaño de los datos, se tienen microcontroladores de 4 bits, de 8 bits, de 16 bits y hasta de 32 bits.
- Con base en cómo se puede tener acceso a la memoria de código y datos, se tienen 2 modelos Arquitectura Von Neumann y Arquitectura Harvard.
- Por su capacidad de expansión: Un MCU puede tener una Arquitectura Abierta (acondicionado para el uso de memoria externa) o una Arquitectura Cerrada.



- Otra clasificación proviene de la forma en que los datos internos son almacenados y manipulados dentro de la CPU. Es decir, la forma en como la CPU tiene acceso a los datos y ejecuta cada instrucción. Bajo este esquema, se tienen los siguientes modelos básicos:

- Pila
- Acumulador
- Registro-Memoria
- Registro-Registro (Carga-Almacenamiento)

Operación:  $C = A - B$

A, B y C son variables, se encuentran en memoria de datos.

<u>Pila:</u>	
push	A
push	B
Sub	
pop	C

<u>Acumulador:</u>		
Mov	Acc,	A
Sub	Acc,	B
Mov	C,	Acc

<u>Registro-Memoria:</u>		
Load	Rx,	A
Sub	Rx,	B
Store	C,	Rx

<u>Registro-Registro:</u>		
Load	Rx,	A
Load	Ry,	B
Sub	Rx,	Ry
Store	C,	Rx

## FAMILIAS POPULARES DE MICROCONTROLADORES

Se muestran las versiones de menor costo de las familias más populares de microcontroladores de 8 bits:

Compañía	Dispositivo	Memoria Interna	Otras características
AB Semicon Ltd	AB180-20	Nul	Dos timers de 16-bits, UART, ALU de punto fijo, controlador DMA
Atmel Corp	ATtiny11	1-kbyte flash	Timer de 8-bits, comparador analógico, watchdog, oscilador interno, una interrupción externa
Dallas Semi	DS80C310	256-byte RAM	Ciclo de máquina de 4 ciclos de reloj, UART, tres timers de 16-bits, apuntadores dobles, diez interrupciones internas/ seis externas, reset de encendido
Hitachi	H8/3640	8-kbyte ROM 512 byte RAM	Tres times de 8-bits, un timer de 16-bits, un timer PWM de 14-bits, watchdog, dos puertos SCI, ocho ADC's de 8-bits, generador de 32-kHz

Compañía	Dispositivo	Memoria Interna	Otras características
Infineon	C501	8-kbyte ROM 512-byte RAM	Interfaz Serial, tres timers de 16 bits, 32 pines I/O
Microchip	PIC16CR54C	768-byte ROM 25-byte RAM	12 pines I/O, timer de 8-bits, alta corriente para el manejo directo de LED's, watchdog timer, oscilador RC
Mitsubishi	M37531M4	8-kbyte ROM 256-byte RAM	Operación de 2.2 a 5.5V; bus de direcciones de 16-bits; tres timers de 8-bits; watchdog timer de 16 bits; ADC de ocho canales y 10-bits; UART; puerto serie; una interrupción externa; siete salidas con alta corriente para LED's; 29 pines I/O programables; reloj interno
Motorola	68HC705KJ1	1240-byte OTP 64-byte RAM	Timer multifunción de 15 etapas, oscilador interno, reset de bajo voltaje, watchdog, interrupción por teclado, puertos I/O de alta corriente

Compañía	Dispositivo	Memoria Interna	Otras características
NEC	789011	2-kbyte ROM 128-byte RAM	Dos timers de 8-bits, UART, 22 pines I/O, interfaz serial con dos canales
Philips	P87LPC762	2-kbyte OTP 128-byte RAM	Oscilador, watchdog, 32-byte para código programable en EPROM, UART, I2C, comparadores, timers, detector de bajo voltaje, reset de encendido, manejador de LEDs
Samsung	KS86C0004	4-kbyte ROM 208-byte RAM	Oscilador RC, 12-pines para un teclado matricial, timer de 8 bits, 14 fuentes de interrupción, 32 pines I/O
Scenix	SX28AC	3-kbyte flash 136-byte RAM	Comparador analógico, I/O programables, detector de bajo voltaje, timer de 8-bits, watchdog
STMicro	ST6203CB1	1-kbyte ROM or OTP 64-byte RAM	Timer de 8-bits, watchdog, nueve pines I/O con capacidad de alta corriente, oscilador interno, detector de bajo voltaje
Toshiba	TMP87C405 AM	4-kbyte ROM 256-byte RAM	Nueve fuentes de interrupción, watchdog timer, 22 pines I/O programables



## ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROCESAMIENTO

**Primera Consideración:** Prestaciones del dispositivo.

**Gama baja:** Procesadores de 4, 8 y 16 bits. Dedicados fundamentalmente a tareas de control (electrodomésticos, cabinas telefónicas, tarjetas inteligentes, algunos periféricos de computadoras, etc.). Generalmente se emplean microcontroladores.

**Gama media:** Dispositivos de 16 y 32 bits. Para tareas de control con cierto grado de procesamiento (control en automóvil, teléfonos móviles, PDA, etc.). En este caso puede utilizarse un microcontrolador o microprocesador, además de periféricos y memoria externa.

**Gama alta:** 32, 64 y 128 bits. Fundamentalmente para procesamiento (computadoras, videoconsolas, etc.). Casi en su totalidad son microprocesadores más circuitería periférica y memoria.



## ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROCESAMIENTO

Referente a la **tecnología** de fabricación, debe considerarse:

El **consumo de energía**, algunos dispositivos cuentan con modos de ahorro de energía que les permiten un consumo de algunos micro-Watts, mientras que otros llegan a consumir algunas décimas de Watts.

Otro aspecto es el **voltaje de alimentación**, algunos dispositivos puede operar con 5 V, 3.3 V, 2.5 V o 1.5 V, éste es fundamental si el sistema se alimentará con baterías.

La **frecuencia** de operación también es un factor bajo consideración, dado que los dispositivos pueden operar desde kHz a GHz.



## ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROCESAMIENTO

Otros criterios bajo consideración:

- **Costo:** De 2 a 100 dólares
- **Herramientas de desarrollo:** Muchas veces son gratuitas.
- **Experiencia:** Acondicionar un MCU conocido, antes de aprender a usar otro.
- **Tiempo de desarrollo:** Minimizar para mantener competitividad.
- **Compatibilidad:** Pocos ajustes en hardware y software para migrar a otro dispositivo.



## ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROCESAMIENTO

La **vida media de los sistemas electrónicos** cada vez es más corta, actualmente se llega a considerar como obsoleto a un sistema después que ha trabajado un par de años.

Por ejemplo, si se desea desarrollar un decodificador para un receptor satelital con base en un microprocesador y se invierte un tiempo aproximado de dos años, para cuando el producto sea puesto en el mercado, tal vez existan versiones de procesadores que trabajen al doble de velocidad y que consuman la mitad de la potencia, eso implicaría que el producto ya no sería competitivo.

La rápida evolución de la tecnología requiere de tiempos de desarrollo cada vez más cortos para mantener competitividad. Los retrasos de la puesta en el mercado de los nuevos productos pueden producir grandes pérdidas.





# PARA REPASAR CONCEPTOS

- Revisar las preguntas que se encuentran al final del capítulo 1 del libro de Texto.