

TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LOS PROCESADORES DIGITALES DE SEÑAL (DSPs). CONCEPTOS BÁSICOS.

1. Introducción e historia.
 2. Principales aplicaciones de los DSPs.
 3. Estructura interna básica de un DSP.
 4. Principales fabricantes de DSPs.
-

1. INTRODUCCIÓN E HISTORIA

La instrumentación y los sistemas de control y telecomunicación modernos son versátiles, flexibles y de bajo coste porque en la actualidad se dispone de los sistemas digitales denominados sistemas microprocesadores. Estos sistemas se caracterizan por la capacidad de procesar información mediante la ejecución de programas (conjunto de instrucciones que se encuentran almacenadas en dispositivos de memoria de tipo RAM y ROM como los vistos en cursos anteriores) gracias a que van provistos de un módulo denominado **CPU**¹, que es el encargado de interpretar secuencialmente las instrucciones y de realizar la tarea programada. Esta capacidad les permite ser sistemas de propósito general que pueden ser utilizados en infinidad de aplicaciones con sólo cambiar el programa que han de ejecutar.

La historia de los sistemas capaces de procesar información se puede decir que comienza con la primera calculadora mecánica diseñada por Leibnitz en 1694. Esta calculadora era capaz de sumar, restar, multiplicar, dividir e incluso realizar raíces cuadradas demostrándose, ya en aquella época, la ventaja del sistema binario sobre el decimal en la implementación de mecanismos capaces de procesar información.

¹ Siglas que definen al dispositivo digital denominado unidad central de proceso y que proceden del inglés *Central Process Unit*.

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

El primer ordenador digital fue un lector de tarjetas perforadas propuesto por Charles Babbage en 1835. Unos años más tarde, concretamente en 1850, George Boole desarrolló el álgebra que lleva su nombre y que es parte fundamental en el diseño de sistemas digitales. Sin embargo, el hito más importante en la historia de la computación fue un artículo publicado por Von Neumann, en 1946, en el que se plantea la primera arquitectura abierta de un sistema microprocesador, respondiendo la arquitectura de muchos sistemas microprocesadores actuales a la propuesta por Von Neumann.

Dos años más tarde, en 1948, se inventó el transistor y posteriormente aparecen los chips o circuitos electrónicos integrados tal y como los conocemos hoy en día. Por aquel entonces, el diseño y realización del sistema microprocesador pasó a utilizar muchos chips digitales (puertas AND, OR, etc.). El empleo de tantos componentes repercutía en una escasa fiabilidad ya que el fallo de un componente o de una conexión soldada implicaba que todo el circuito dejara de funcionar.

Los siguientes pasos en cuanto a la implementación de los sistemas microprocesadores se dan para aumentar su capacidad de integración. Así, Gilbert Hyatt presentó en 1970 la patente del microprocesador, todo un sistema microprocesador integrado en un único chip digital con una pequeña CPU, memorias y periféricos que facilitaban su comunicación con el exterior. La patente no le fue reconocida hasta 1990, después de una larga batalla legal. En 1971 Hyatt se separó de sus socios creando éstos últimos una nueva compañía que se llamó Intel. Durante aquel año Intel puso en el mercado el primer micro, el Intel 4004. Contenía 2250 transistores y manejaba datos de 4 bits. Posteriormente apareció el Intel 8008, un dispositivo de 8 bits de datos mucho más avanzado y en 1978 aparecieron los primeros microprocesadores de 16 bits: el Intel 8086 (que funcionaba con relojes de 5MHz, 8MHz ó 10MHz), el 68000 de Motorola y el Z8000 de Zilog. Los microprocesadores de última generación son capaces de manejar datos de 64 bits y trabajar con relojes de frecuencias superiores a los 900MHz (el Pentium III que opera a 933MHz fue presentado por Intel el miércoles, 24 de mayo de 2000).

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

A modo de resumen puede decirse que, en la actualidad, un sistema microprocesador es un sistema digital basado en un microprocesador (dispositivo digital provisto de CPU) que se caracteriza por su capacidad para procesar información y que normalmente constituye un sistema electrónico de pequeño tamaño, elevada fiabilidad, poco tiempo de diseño y bajo coste si se compara con cualquier otro tipo de sistema electrónico.

La aparición de los primeros microprocesadores revolucionó completamente el diseño electrónico, especialmente de los sistemas de control. De una forma gráfica podría decirse que el ingeniero electrónico cambió el soldador y el osciloscopio del laboratorio por el ordenador del despacho. En la actualidad el diseño se hace con ordenador, empleándose herramientas que permiten simular el comportamiento del microprocesador antes de pisar el laboratorio. El diseño de la etapa de control de cualquier sistema se ha convertido en la realización de un programa para un microprocesador con lo que se ha aumentado la versatilidad del mismo puesto que una modificación de las especificaciones implica tan sólo la modificación del programa (software) sin necesidad de cambiar ningún elemento de la placa (hardware).

En la actualidad, los dispositivos provistos de una (o varias) CPU se denominan microcontroladores, microprocesadores y DSPs y todos ellos se caracterizan por ser capaces de ejecutar programas ubicados en una memoria.

Un *DSP* es un microprocesador que posee una CPU de gran potencia y que está preparado para el tratamiento digital de señales en tiempo real y para la realización del mayor número de operaciones aritméticas en el menor tiempo posible. El procesado de señales digitales en tiempo real, tal y como lo conocemos hoy día, comenzó realizándose en los años 60 sobre máquinas VAX y DEC PDP. En los años 70, aparecieron algunas máquinas de cálculos que usaban chips de lógica discreta en tecnología TTL y que iban acompañados por una unidad aritmética programable de cuatro bits para realizar las funciones de procesamiento de los datos y en 1982 aparece el primer DSP de la familia TMS320 de Texas Instruments, el TMS32010, diseñado en tecnología TTL. Posteriormente se incorpora la tecnología CMOS al proceso de fabricación y se complica el diseño del chip, hasta llegar a los potentes sistemas

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

de hoy en día, optimizados en el hardware para el procesamiento de la señal. Los *DSP* son similares a otros microprocesadores y microcontroladores que se encuentran en el mercado con la salvedad de que su circuitería interna ha sido optimizada para la realización de funciones tales como el filtrado, la correlación, el análisis espectral, etc., de una señal de entrada al sistema.

Las ventajas de la utilización de un microcontrolador respecto a un microprocesador o un *DSP* provienen, sobre todo, del aumento de la fiabilidad que ofrece el sistema de control, ya que el microcontrolador necesita un reducido número de componentes externos, y de la disminución de costes del sistema de control tanto en su etapa de diseño como en el producto final. Actualmente, la frontera entre microcontrolador, microprocesador y *DSP* cada vez está más diluida. Es fácil encontrar en el mercado microprocesadores y procesadores digitales de señal que incorporan memoria y periféricos internos y microcontroladores con CPU tan potentes como los de un *DSP*. A veces, la diferencia entre ellos es nula y llamarlos microcontrolador, microprocesador o *DSP* se convierte más en una cuestión de marketing.

Inicialmente, los *DSP* disponían de un mercado reducido (sólo se empleaban en sistemas que requerían una elevada potencia de cálculo, como ocurre en instrumentación electrónica de precisión, osciloscopios digitales, etc.) aunque, con la revolución y expansión relacionada con las telecomunicaciones, esta tendencia ha cambiado claramente (raro es el teléfono móvil o el modem que no dispone de un *DSP* en su interior y rara es la familia que hoy en día no dispone de alguno de estos dispositivos electrónicos). Debido al elevado coste que inicialmente suponían, su uso quedó relegado a aplicaciones en grandes sistemas. A partir de 1988, el coste decreció sustancialmente y varios fabricantes japoneses comenzaron una producción masiva de productos que incorporaban *DSPs*, especialmente los teléfonos móviles y modems.

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

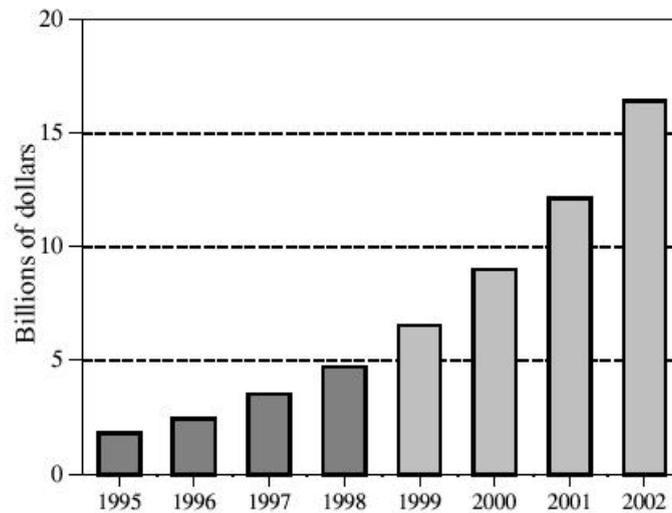


Figura 1.1. Evolución de las ventas de DSPs en los últimos años (datos reales en color oscuro y previsiones en color más claro).

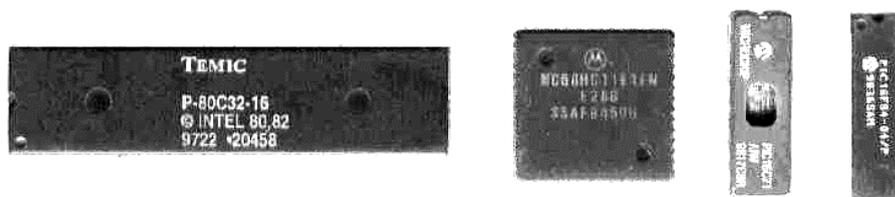


Figura 1.2. Fotografía de varios microcontroladores: 80C32 de Intel, MC68HC11A8 de Motorola y PIC16C71 y PIC16F84 de Microchip.



Figura 1.3. Fotografía de un DSP, TMS230C32, de Texas Instruments y de un microprocesador pentium de Intel.

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

En conclusión, podemos decir que un DSP es un **microprocesador orientado al procesamiento de señales digitales** y a la realización de **cálculos a alta velocidad**. Estos microprocesadores se caracterizan por tener arquitecturas especiales, orientadas a la realización hardware de los cálculos que otro tipo de microprocesadores implementan vía software, mediante la ejecución secuencial de varias instrucciones. El hardware de la CPU de este tipo de sistemas digitales es por ello, generalmente, mucho más complejo que el de otros microprocesadores o microcontroladores. El área de silicio es mucho mayor y, por tanto, el coste del producto aumenta respecto a los microprocesadores y microcontroladores.

La principal diferencia de los DSPs y otros procesadores modernos, es que los primeros **se diseñan para ser escalables**, es decir, se diseñan para poder operar en paralelo con otros dispositivos similares. Para ello, se le añaden periféricos de control y bloqueo del programa (como líneas de entrada-salida que pueden bloquear la ejecución de ciertas instrucciones si se encuentran a un determinado valor) y periféricos de entrada-salida de alta velocidad (como puertos serie síncronos) que permiten la conexión sencilla de varios DSPs para aplicaciones con multiprocesadores.

Las aplicaciones basadas en DSPs son cada día mayores en número. Actualmente cubren prácticamente todos los campos de la industria (telecomunicaciones, control, instrumentación, análisis de imagen y voz, automóvil, medicina). Esto hace que los fabricantes investiguen nuevas arquitecturas, y sobre todo, compiladores más inteligentes y mejores herramientas de desarrollo y depuración.

La principal tendencia en la mejora de las arquitecturas interna de los DSPs se enfocó inicialmente hacia el aumento del paralelismo del sistema. Recientemente han aparecido en el mercado DSPs con múltiples CPUs que pueden trabajar en paralelo (familia de DSPs TMS320C8x de Texas Instrument), grado de paralelismo que es directamente proporcional al número de operaciones que el DSP será capaz de realizar en un ciclo de reloj. En la actualidad, el fabricante Texas Instruments (uno de los más importantes fabricantes de DSPs) ha centrado el desarrollo de sus DSPs (lo que nos daría una idea de la tendencia actual de otros fabricantes) en tres grandes familias de DSPs, TMS320C2000, TMS320C5000 y

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

TMS320C6000, buscando, respectivamente, la aplicación de sus estructuras microprocesadoras al control de procesos industriales que requieren un procesamiento complejo y un tiempo de respuesta bajo (como es el caso de las máquinas eléctricas, aquí se confunde el término DSP y microcontrolador de elevada potencia de cálculo), la optimización del consumo energético asociado a estos dispositivos (con utilidad en telefonía móvil, con idea de aumentar la disponibilidad de un teléfono con la misma batería) y el aumento de la potencia de cálculo del dispositivo (para poder implementar tareas cada vez más complejas en el DSP).

La programación de este tipo de procesadores, que incorporan muchos la posibilidad de procesamiento en paralelo de los datos por parte de varios DSPs, se hace cada vez más y más compleja. El empleo de lenguaje ensamblador complica la implementación de las aplicaciones software. Se hace preciso (más aún que en el caso de otros microprocesadores y microcontroladores) el empleo de lenguajes de programación a más alto nivel, que simplifiquen el desarrollo del software al usuario. Dado que estos sistemas se diseñan para el procesamiento de datos en el menor tiempo posible, este tipo de compiladores debe ser capaz de optimizar el programa en tiempo de ejecución, tarea que complica enormemente el desarrollo de los mismos.

Las principales alternativas que aparecen al uso de DSPs, son:

- **ASICs de función fija ó FPGAs.** A diferencia de cualquier microprocesador, su labor no se realiza mediante la ejecución secuencial de instrucciones, sino que se programa en la circuitería que lleva dentro. Cuando aparecieron estos dispositivos en el mercado, sus principales inconvenientes eran la falta de versatilidad (no valían para otra cosa distinta de aquella para la que fueron diseñados) y el coste de desarrollo que tenían asociado (el diseño de una aplicación basada en FPGAs ó ASICs era mucho más caro en tiempo que el desarrollo de un programa en C o ensamblador para un DSP) y su utilidad principal estaba en el empleo como coprocesadores de los DSPs. En la actualidad, y gracias al desarrollo de las herramientas de programación y de las tecnologías de fabricación y técnicas de integración asociada a estos dispositivos, los **inconvenientes** relacionados

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

con la falta de versatilidad se han solucionado si bien el **coste de desarrollo** sigue siendo superior al ligado a los DSPs.

- **Ordenador personal o estación de trabajo** (*Native Signal Processing*). Está alcanzando popularidad por el, cada vez, menor coste de los sistemas PC-multimedia. El sistema operativo se ejecuta en paralelo con la aplicación de procesado de la señal. Esto resta velocidad de procesado a la aplicación e impide su empleo en tiempo real, limitando su uso al **procesado** de la señal **fuera de línea**. Son más caros que las tarjetas basadas en DSPs y aunque la potencia de los microprocesadores es elevada, no pueden competir con el DSP en tiempo de ejecución de las operaciones aritméticas. El manejo de datos que realizan equivale en rapidez con el de los DSPs pero las operaciones aritméticas suelen realizarse en tiempos más elevados.
- **Microcontroladores**. Se diseñan principalmente para el control de procesos en tiempo real. Los microcontroladores se clasifican en función del tamaño del bus de datos. Los microcontroladores de 8 y 16 bits de bus de datos, no alcanzan en ningún caso las velocidades de los DSPs. Los de 32 bits de bus de dato son tan rápidos como los DSPs y pueden emplearse en aplicaciones con pequeñas constantes de tiempo, del orden de los microsegundos, o frecuencias de trabajo elevadas. Las estructuras internas de estos microcontroladores se asemejan a la de los DSPs pero no están preparados para el trabajo en paralelo mediante arquitecturas multiprocesadores, sino que están pensados, más bien, para el funcionamiento en solitario y con el menor número de dispositivos externos (a ser posibles, el producto final dispondrá de un único integrado, el propio microcontrolador). Lo cierto es que las diferencias entre los microcontroladores de elevada potencia de cálculo y los DSPs son casi nulas, de hecho, hoy en día denominar DSP a un dispositivo microcontrolador está de moda debido principalmente a criterios de *marketing*.

En la tabla 1-1 se muestran los tiempos empleados por varios DSPs y microprocesadores en realizar algunas operaciones aritméticas básicas.

<i>Procesador</i>	<i>Bus datos</i>	<i>Reloj</i>	\pm	\times	$\%$	$\sqrt{\quad}$
		Mhz	ns	ns	μ s	μ s
DSPs						
TMS32010	16 bits	5	200	200	<12.8	<59
TMS32014	16 bits	6.25	160	160	<10.3	<47
TMS32020	16 bits	5	200	200	<3.4	<59
TMS32025	16 bits	12.5	80	80	<1.32	
TMS320C30	32 bits	33	60	60	<2	<2
TMS320C40	32 bits	40	50	50	<1	<1
MC56000	32 bits	10	100	100	<3.7	
MC96002	32 bits	16.5	60	60		
Microcontroladores						
M68HC11	8 bits	8	1000	5000	20.5	
MCS51	8 bits	12	1000	4000	8	
MCS96	16 bits	16	800	1750	2.5	
MC68020	32 bits	16	240	1620	3.36	
MC68030	32 bits	20	200	1400	2.8	
IAPX80286	32 bits	8	375	3000	3.12	>2
NOVIX4000	32 bits	8	125	3130	5.62	10.62

Tabla 1-1. Comparación de tiempos de proceso de DSPs y microcontroladores.

2. PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS DSP

Las principales aplicaciones que podemos destacar actualmente se enumeran en la tabla 1-2.

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

Telecomunicaciones y campos relacionados	
<p>Telecomunicaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Transmisión de voz: Teléfonos móviles (GSM), celulares e inalámbricos. ➤ Cancelación de ecos. ➤ ADPCM Transcoders. ➤ PBXs digitales. ➤ ATM. ➤ Repartidores de línea. ➤ Multiplexado de canales. ➤ Modems de alta velocidad. ➤ Ecuilibradores adaptativos. ➤ Fax. ➤ Interpolación digital del habla. ➤ Conmutación de paquetes. ➤ Transmisión de voz. ➤ Adaptadores de terminal. ➤ Controladores HDLC. <p>Instrumentación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Analizadores de espectro. ➤ Generadores de función. ➤ Osciloscopios digitales: Procesado de datos. ➤ Procesado de datos sísmicos. 	<p>Análisis voz y conversación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Compresión de voz. ➤ Codificación de conversación. ➤ Reconocimiento de voz. ➤ Enriquecimiento de voz ➤ Conversión de texto en voz y viceversa. ➤ Encriptado de voz. <p>Procesamiento de Imágenes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Animación. ➤ Estaciones de trabajo. ➤ Rotación tridimensional. ➤ Reconocimiento de patrones. ➤ Proceso homomórfico. ➤ Compresión y transmisión de imágenes. <p>Aplicaciones digitales.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ventanas de adquisición. ➤ Convolución. ➤ Correlación. ➤ Transformación de Hilbert. ➤ Transformada rápida de Fourier. ➤ Filtrado digital. ➤ Generación de formas de onda.
Otros campos	
<p>Aplicaciones de Control.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Robótica. ➤ Regulación en velocidad de motores. ➤ Servocontrol. ➤ Impresoras. 	<p>Automóvil.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cancelación de ruidos. ➤ Suspensión activa. ➤ ABS. ➤ Máquinas. ➤ Navegación. ➤ Control de entrada de voz. ➤ Posicionamiento. ➤ Análisis de vibraciones.
<p>Consumo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistemas de respuesta. ➤ Autorradios. ➤ Juguetes. ➤ Herramientas. ➤ TV y música digital. ➤ Sintetizadores musicales. 	<p>Militar.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Navegación. ➤ Sónar. ➤ Procesado de imágenes. ➤ Radar. ➤ Guía de misiles. ➤ Seguridad en las comunicaciones.
<p>Medicina.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ayuda a deficientes auditivos. ➤ Monitorización de pacientes. ➤ Equipos de ultrasonido. ➤ Monitor fetal. 	<p>Industria.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medida y control. ➤ Robots. ➤ Control numérico. ➤ Seguridad de acceso. ➤ Medida de la red de alimentación.

Tabla 1-2. Principales aplicaciones de los DSPs.

3. ESTRUCTURA BÁSICA DEL DSP

Los sistemas microprocesadores actuales se clasifican según su funcionalidad en sistemas **CISC** (con un juego de instrucciones complejo, disponen de más de 80 instrucciones en código máquina algunas de las cuales son muy complejas y potentes y requieren muchos ciclos para ejecutarse), **RISC** (con un juego de instrucciones reducido, disponen de pocas instrucciones en código máquina que se ejecutan normalmente en un ciclo y que permiten optimizar el hardware del sistema) y **SISC** (con un juego de instrucciones específico, son microprocesadores destinados a aplicaciones muy concretas cuyo juego de instrucción se adapta a la aplicación concreta a la que se destina el sistema). Los sistemas DSPs que estudiaremos, se engloban dentro de los sistemas CISC, aunque se pueden encontrar en el mercado sistemas DSPs de tipo SISC (dedicados a aplicaciones concretas como telefonía móvil, etc.).

La estructura interna básica de un microprocesador puede ser de dos tipos, de tipo Von-Neumann o de tipo Harvard. La arquitectura básica de los DSPs puede ser de cualquiera de esos dos tipos, aunque predominan las arquitecturas de tipo Harvard.

En las **arquitecturas** de tipo **Von-Neumann**, las instrucciones y los datos son almacenados en memorias (de tipo RAM o de tipo ROM) a las que accede secuencialmente la unidad central de procesos (CPU) a través de un bus de direcciones y otro de datos. La CPU lee las instrucciones de la memoria mediante el bus de datos y seguidamente ejecuta las instrucciones leídas previamente. El sistema microprocesador puede, además, leer y escribir datos en dispositivos externos mediante un buffer de entrada salida, de forma que el acceso a los periféricos externos es similar al acceso a la zona de memoria.

Normalmente, en éste tipo de estructuras microprocesadoras, programas y datos residen en la misma memoria. La memoria de programa y la de datos es accedida por el mismo bus de direcciones de forma que las instrucciones del programa y los datos fluyen por un mismo camino, el bus de datos. En la figura 1.4 se muestra la estructura de un sistema

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

microprocesador de arquitectura Von-Neumann. El sistema microprocesador, que sólo dispone de un bus de datos y otro de direcciones, accede a la memoria de programa para recoger la instrucción a ejecutar. Posteriormente decodifica la instrucción para determinar la secuencia de operaciones que ésta lleva asociada y accede a la memoria de datos para leer los operandos asociados a la instrucción leída. Finalmente, la instrucción se ejecuta y comienza un nuevo ciclo.

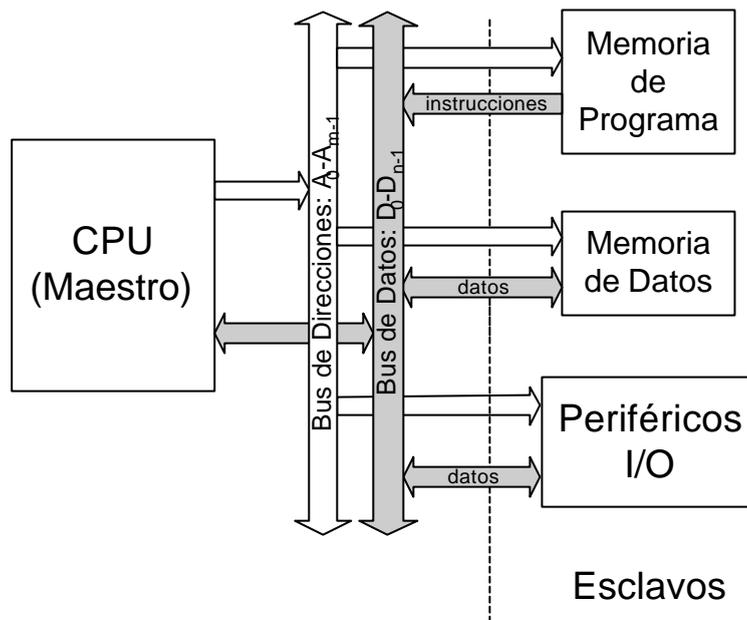


Figura 1.4. Estructura (simplificada) de un microprocesador de tipo Von-Neumann. El bus de control no se representa para simplificar el esquema.

La **estructura Harvard**, que viene implementada en la mayoría de los DSPs, se representa en la figura 1.5. El bus de direcciones de acceso al programa es diferente del bus de direcciones de acceso a los datos. Las instrucciones son recibidas por la CPU a través de un bus de datos reservado para las instrucciones, separado del bus de datos propiamente dicho. La CPU lee las instrucciones de la memoria mediante el bus de datos y paralelamente ejecuta las instrucciones leídas previamente (esta estructura de acceso a datos y ejecución de instrucciones en paralelo se denomina, en terminología anglosajona, estructura *pipelining*). Se simultanea el acceso a las memorias de programa y dato (posible por la duplicidad de recursos, buses, que existe en el sistema).

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

Este tipo de estructuras es más complejo en el hardware que las de tipo Von-Neumann, pero permiten acelerar el tiempo efectivo de ejecución de la instrucción: la CPU prepara (*fetch*) instrucciones de programa mientras y simultáneamente realiza la manipulación de datos de las instrucciones previamente recogidas. La ejecución real de una instrucción se realiza en varios ciclos de reloj, pero mientras una instrucción se está ejecutando, otras instrucciones están en proceso de preparación para ejecutarse. Esto es debido a que, con la estructura Harvard, el hardware destinado a procesar los datos y ejecutar las instrucciones recogidas anteriormente, reside en diferentes partes de la CPU.

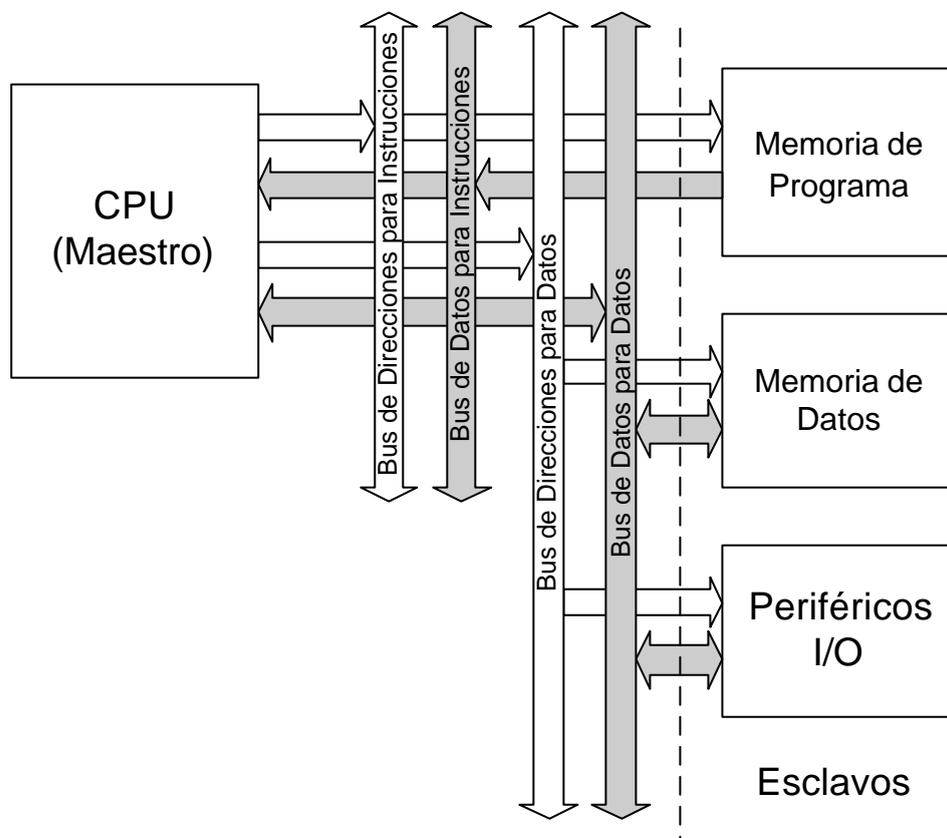


Figura 1.5. Estructura (simplificada) de un microprocesador de tipo Harvard. El bus de control no se representa para simplificar el esquema.

Por último, la zona de manejo de datos y operaciones está compuesta fundamentalmente por una serie de operadores (la denominada unidad aritmético-lógica o ALU, *Arithmetic Logic*

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

Unit) y de registros internos que actúan como operandos o variables de entrada de dichos operadores y como registros de almacenamiento del resultado de la operación.

De entre todos los registros internos de esta zona destaca el denominado registro acumulador que tiene la peculiaridad de funcionar como operando fuente y destino del operador. Si la CPU dispone de un único registro acumulador, cada vez que se realice una operación debe salvarse el resultado obtenido si queremos que éste no se pierda en el futuro, como consecuencia de alguna operación que se vaya a realizar. Las CPU que disponen de un sólo registro acumulador (caso del microcontrolador MC68HC11) se dice que tienen una **estructura interna orientada a acumulador** y su potencia de cálculo se ve limitada por las continuas transferencias que hay que realizar para salvar el valor contenido en el acumulador o para cargar en el acumulador un nuevo operando. Las CPU de mayor potencia de cálculo (caso de los DSPs) no se ven tan limitadas en su potencia de cálculo como las anteriores, gracias a que disponen de varios registros que pueden funcionar como acumulador. Estos registros se pueden emplear como variables de almacenamiento temporal de datos, con lo que disminuye el número de transferencias entre el acumulador de la CPU y la memoria de datos. Este otro tipo de CPU se dice que tiene una **estructura interna orientada a registro**.

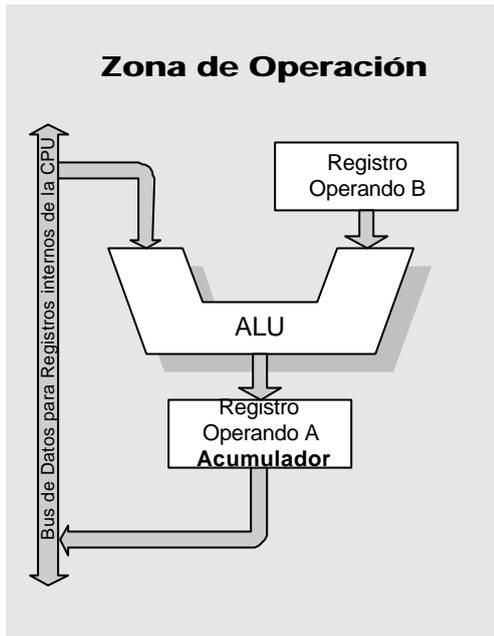


Figura 1.6. Estructura interna orientada a acumulador.



Figura 1.7. Estructura interna orientada a registro.

4. PRINCIPALES FABRICANTES

En este apartado se pretende únicamente que el lector se familiarice con algunos de los más importantes fabricantes de DSPs (y por ende de circuitos digitales) que existen en la actualidad. El orden en que se disponen dichos fabricantes obedece simplemente a la ordenación alfabética de los mismos, en ningún caso se pretende realizar una ordenación que se salga del objetivo anterior.

1. **Analog Devices.**
2. **Hitachi.**
3. **Motorola.**
4. **NEC.**
5. **SGS-Thomson.**
6. **Texas Instruments.**
7. **Zilog.**

Cada fabricante introduce en el mercado sus DSPs, con características similares. Los principales productos que ofrecen los fabricantes antes mencionados se muestran en tabla 1-3 (fuente: Revista EDN- 8 de Mayo de 1997).

Fabricante	DSP 16 bits	DSP 24 bits	DSP 32 bits
Analog Devices	ADSP-2100 ADSP-21cspxx		ADSP-21020 ADSP-2106x
Hitachi	SH-DSP		
Motorola	DSP561xx DSP568xx	DSP5600x DSP563xx	DSP96002
NEC	μ PD7701		
SGS-Thomson	D950		
Texas Instruments	TMS320C1x TMS320C2xx TMS320C5x TMS320C6x TMS320C8x		TMS320C3x TMS320C4x
Zilog	Z893xx		

Complementos de Sistemas Electrónicos Digitales

	Z894xx		
--	--------	--	--

Tabla 1-3. Principales DSPs. Fuente: Revista EDN, Mayo 1997, página 44.