

# Tema 1: Arquitectura del PC

---

## 1. Introducción

Todos los computadores PC típicos están constituidos por una serie de elementos comunes:

- Caja y fuente de alimentación.
- Placa base.
- Procesador + disipador de calor.
- Memoria.
- Unidad de disco flexible.
- Unidad de disco duro.
- Unidad de CD-ROM o DVD.
- Teclado.
- Dispositivo apuntador (ratón) .
- Tarjeta de video y pantalla.
- Tarjeta de sonido y altavoces.
- Módem, tarjeta de red.
- Cables.
- Diverso material de ferretería (tornillos, tuercas,...) .

Parte de estos componentes, los que constituyen el corazón del computador, se describirán en este capítulo.

## 2. El procesador

### 2.1 Introducción

La oferta de hardware disponible actualmente hace que la selección de componentes pueda convertirse en una tarea increíblemente ardua. Las combinaciones de componentes que pueden seleccionarse son elevadísimas. La elección del procesador (también llamado «microprocesador» o «CPU») del sistema restringe mucho el resto de componentes del sistema que pueden utilizarse y será, por tanto, el primer paso a la hora de construir un computador.

Los criterios de selección son, normalmente tres:

- El rendimiento.
- La relación rendimiento/precio.
- El consumo de energía eléctrica.

Cuando el computador debe destinarse a tareas que usan intensivamente la CPU (como por ejemplo aplicaciones de cálculo científico o de diseño asistido por computador) en las que el coste no es un factor determinante, el rendimiento será el principal factor a tener en cuenta.

Cuando el rendimiento tiene una importancia limitada, bien porque la tarea a la que se destinará el computador no utiliza intensivamente la CPU, bien porque el coste del equipo o equipos a adquirir es un factor importante, la relación rendimiento/precio debe ser el criterio de selección elegido.

El consumo de energía eléctrica tiene mayor importancia en los dispositivos portátiles, ya que a mayor consumo, menor duración de la batería y menos disponibilidad sin conexión a la red eléctrica tiene el dispositivo. En los últimos años el consumo de los procesadores se ha incrementado tanto que ha empezado a tener importancia también en otros ámbitos. Por ejemplo, si se tiene un centro de cálculo con una gran cantidad de procesadores continuamente encendidos, el coste de la energía que consumen a lo largo de sus años de funcionamiento puede llegar a superar el coste inicial de compra; por lo tanto, se puede ahorrar dinero comprando procesadores con menos consumo de energía eléctrica.

Los criterios mencionados son tan generales que incluso los fabricantes presentan distintas gamas de productos:

- Servidores: Procesadores de prestaciones elevadas, lo que se refleja en el precio, que pueden funcionar en solitario o en grupos de dos, cuatro o incluso más procesadores. Ej.: Intel Xeon, AMD Opteron.
- Estaciones de trabajo y juegos: Procesadores con elevadas prestaciones y precio elevado, pensados para realizar tratamientos intensivos de datos (vídeo digital, imágenes, juegos...) pero no para funcionar en grupo. Ej.: Intel Core 2 Extreme, AMD Athlon 64 FX.

- Mercado masivo (*mainstream*): Procesadores con unas prestaciones medias junto con unos precios medios. Ej.: Intel Core 2 Duo, AMD Athlon 64.
- Bajo coste (*value*): Procesadores más económicos, que carecen de elementos que, por su elevado coste, han sido eliminados o minimizados (por ejemplo, la caché) y que, en consecuencia, tienen prestaciones menores. Ej.: Intel Celeron D, AMD Sempron.
- Portátiles (*mobile*): Procesadores que destacan por un consumo eléctrico reducido. Ej.: Intel Core Solo, AMD Turion 64.

## 2.2 Especificaciones de los procesadores

Es posible obtener tablas que muestran una enorme cantidad de especificaciones de prácticamente todos los procesadores del mercado. En los siguientes puntos se describen las más importantes.

### 2.2.1 Identificación del modelo

Un aspecto que ha ido ganando complejidad a lo largo del tiempo es la identificación de los modelos de procesadores. Inicialmente, Intel, que es el principal fabricante por cuota de mercado de procesadores para PC, identificaba sus procesadores con un número de modelo, de tal modo que los números mayores indicaban procesadores más modernos y potentes: 80086, 80286, 80386, 80486. Aparte de este número, se daba un valor de la frecuencia a la que funcionaba el procesador, de tal manera que de dos procesadores con el mismo número de modelo y distinta frecuencia, el que tuviera más frecuencia era el más rápido.

Por motivos de registro de marcas, el siguiente procesador que produjo Intel tras el 80486 fue denominado Pentium. De este procesador sacó diversas generaciones (Pentium Pro, Pentium II, Pentium III, Pentium 4) y el principal indicador del modelo, aparte de su nombre, seguía siendo la frecuencia. AMD, el competidor más directo de Intel, utilizaba este mismo sistema, pero tomó una decisión que en su momento fue muy discutida: con los procesadores Athlon XP comenzó a emplear un número que parecía una frecuencia en MHz (por ejemplo, 2000+) pero no lo era. La razón que adujo AMD para no utilizar la frecuencia como indicador del modelo es que ya no era un indicador tan importante del rendimiento como anteriormente. De hecho, AMD se centró en mejorar su arquitectura de tal manera que a menor frecuencia que los modelos de Intel obtenían mejores resultados.

En el año 2004, Intel cambió su política de nombrado de procesadores y pasó a utilizar un número de modelo que indicaba no sólo la frecuencia sino muchos más aspectos (tamaño de la caché, disponibilidad o no de *hyperthreading*, etc.) que influían en el rendimiento. Esta decisión vino sin duda motivada porque sus modelos más recientes tenían menores frecuencias de reloj que los modelos anteriores; si eran mejores era debido a mejoras arquitectónicas.

En la actualidad es difícil determinar la potencia de un procesador sólo a partir de su número de identificación. En la lista de procesadores actuales de Intel sólo

para escritorio se pueden encontrar más de 75 modelos. En AMD el problema es más bien el contrario: en lugar de haber un exceso de nombres, hay un defecto. Por ejemplo, el Athlon 64 3500+ lo puede haber con y sin extensiones SSE y con tecnología de fabricación de 90 o de 130 nm, con consiguientes las diferencias en potencia y consumo. En este caso, la única forma de diferenciar los modelos es fijarse en el nombre clave del núcleo (*core*). Los nombres clave (por ejemplo, Windsor o Toledo) son nombres que utilizan los equipos de desarrollo para referirse a las distintas gamas de procesadores antes de que salgan al mercado y el departamento de marketing les dé unos nombres definitivos y —en un mundo ideal— más atractivos para el consumidor. Sin embargo, como se puede observar, en el mundo real los nombres a veces ni siquiera sirven para distinguir dos modelos.

Por esta razón es necesario analizar las distintas características que puede tener un procesador para poder realizar comparaciones entre ellos.

### **2.2.2 Tecnología de fabricación**

La tecnología de fabricación de procesadores se especifica en nanómetros y hace referencia al mínimo espacio que debe existir entre los elementos integrados en la pastilla de silicio del chip. Cuanto más juntos estén estos elementos, más cortas serán las conexiones, más rápido circulará la corriente por ellas, y menos calor se disipará debido a su resistencia eléctrica. En la actualidad (febrero de 2007), la tecnología de fabricación más pequeña de procesadores que están en el mercado es de 65 nm, siendo el paso anterior 90 nm y el siguiente, 45 nm.

La tecnología de fabricación está íntimamente ligada al número de transistores que caben en un chip: a menor tecnología de fabricación, mayor número de transistores caben en la misma superficie. El número de transistores es un indicio del rendimiento de la CPU, pues cuantos más transistores hay disponibles, más elementos se tienen para realizar procesamiento o almacenamiento de información. Sin embargo, no importa sólo el número de transistores disponibles, sino que es también muy importante cómo estén organizados, de tal manera que un procesador con menos transistores pero con una arquitectura mejor puede tener mejor rendimiento que otro con más transistores pero una arquitectura peor. Por ejemplo, el Athlon 64 tiene 106 millones de transistores, mientras que el antiguo Pentium 4 con núcleo Prescott estaba formado por 125 millones de transistores y, sin embargo, el rendimiento del Athlon 64 es en general superior al del Pentium 4 Prescott.

### **2.2.3 Tensión de alimentación**

El significado de la tensión de alimentación del procesador es evidente y en la actualidad está alrededor de 1.3 v. A menor tensión de alimentación, menor consumo, menor disipación de calor y más rápido puede funcionar el procesador, ya que la diferencia de tensión entre un 0 y un 1 es menor y se puede alcanzar más rápido.

## 2.2.4 Bus de datos

El bus de datos permite al procesador recibir y enviar los datos que debe procesar. Cuantos más datos pueda comunicar un procesador con el resto de elementos del sistema, mayor rendimiento se obtendrá. Para obtener el ancho de banda teórico del bus de datos es necesario conocer dos elementos:

- El ancho: Es el número de bits que componen cada dato. Desde la aparición del Pentium, son 64 bits.
- La frecuencia: Es el número de transferencias por unidad de tiempo que puede realizar. Inicialmente, en cada ciclo de reloj se realizaba una transferencia. Sin embargo, en los últimos años se han empezado a utilizar técnicas que permiten transmitir 2 datos por ciclo de reloj (DDR, *Double Data Rate*) o incluso 4 (QDR, *Quad Data Rate*). Esto lleva a confusiones porque a veces los fabricantes indican la frecuencia de reloj y otras veces indican la frecuencia de datos o frecuencia efectiva. Por ejemplo, un Pentium 4 con un bus de 200 MHz de frecuencia de reloj y que es QDR tiene una frecuencia de datos de 800 MHz.

Desde el Pentium II, los procesadores tienen una arquitectura basada en dos buses de datos (DIB, *Dual Independent Bus*):

- BSB (*Back Side Bus*): conecta el núcleo del procesador con la caché L2.
- FSB (*Front Side Bus*) conecta el núcleo con el controlador de memoria que forma parte del chipset.

Habitualmente, cuando se habla del bus de datos, se está haciendo referencia al FSB. Su frecuencia de reloj es fundamental porque la frecuencia del procesador se establece como esta frecuencia modificada por un multiplicador.

En los últimos años AMD ha modificado su arquitectura de tal forma que ha introducido el controlador de memoria en el encapsulado del procesador y ha pasado a utilizar una tecnología denominada HyperTransport para realizar las comunicaciones con el exterior.

## 2.2.5 Ancho del bus de direcciones

El ancho del bus de direcciones es el número de bits que puede emplear para acceder a una dirección de memoria del sistema. Así, el ancho del bus de direcciones limita el tamaño máximo de memoria del sistema.

El Pentium original tenía un bus de direcciones de 32 bits, que permitía direccionar hasta 4 GiBs. A partir del Pentium II el bus de direcciones pasó a ser de 36 bits (hasta 64 GiBs), aunque se necesitaban instrucciones especiales para manejar los 4 bits extra. Los ordenadores denominados «de 64 bits» tienen un espacio virtual de direcciones de 64 bits, pero para simplificar el diseño, y teniendo en cuenta que se prevé que durante muchos años no se lleguen a ver memorias de un tamaño tan grande, el mayor ancho del bus de direcciones real es bastante inferior. Por ejemplo, el Athlon 64 tiene 40 bits, lo que permite direccionar hasta 1 TiB.

## 2.2.6 Ancho de los registros de la CPU

El ancho de los registros de la CPU determina el tamaño de los datos con los que puede operar a la vez, el tamaño de los datos que es capaz de mover internamente y el tamaño de sus instrucciones. A partir del 80386 las CPUs para PCs empezaron a tener registros internos de 32 bits.

En 2004, AMD introdujo las primeras CPUs de 64 bits compatibles con la arquitectura x86 (ya existían desde muchos años atrás procesadores no compatibles de 64 bits, como el Alpha o el PowerPC). Esta mejora en el ancho de los registros de la CPU introdujo cambios en el juego de instrucciones; lo que hizo triunfar al juego de instrucciones propuesto por AMD es que estas instrucciones de 64 bits estaban pensadas como una extensión a las instrucciones de 32 bits y, por lo tanto, los ordenadores de 64 bits podían perfectamente ejecutar programas de 32 bits. Intel finalmente adoptó la arquitectura de 64 bits propuesta por AMD<sup>1</sup>.

Además de extender a 64 bits los registros de la CPU, esta tecnología introduce otras mejoras arquitectónicas como, por ejemplo, un incremento en el número de registros, que pueden suponer una mejora de rendimiento incluso cuando no se usen los 64 bits.

## 2.2.7 Frecuencia de reloj

La frecuencia de reloj suele expresarse en MHz o GHz. Indica el número de ciclos de reloj por cada segundo. Está muy relacionada con la velocidad del procesador. Para un mismo núcleo, a mayor frecuencia de reloj mayor velocidad de proceso. Esta señal está proporcionada por la placa base y por un multiplicador de frecuencia interno dentro de la CPU.

La frecuencia de reloj, aunque relacionada con el rendimiento, debe considerarse con cuidado. La velocidad con que una CPU desarrolla una determinada tarea no depende sólo de su señal de reloj, sino también de la cantidad de ciclos de reloj empleados en ejecutar cada instrucción. Por lo tanto, se comete un error si se comparan dos CPUs con diferentes arquitecturas teniendo en cuenta sólo su frecuencia.

Intel, por motivos de marketing, se lanzó en una carrera de incremento de frecuencia. La arquitectura del Pentium 4, por ejemplo, fue pensada para poder llegar a 10 GHz. Sin embargo, a mayor frecuencia, mayor disipación de calor, lo que llegó a causar importantes problemas. El Pentium 4 nunca superó los 4 GHz e Intel tuvo que cambiar su estrategia: en lugar de incrementar la frecuencia, mejorar la arquitectura, que era la estrategia que AMD llevaba siguiendo varios años. En las etapas finales de Pentium 4, los procesadores Athlon 64 de AMD conseguían mejores rendimientos que sus análogos de Intel. Esta tendencia no

---

<sup>1</sup> Un ejemplo de lo kafkiano que puede ser el mundo de la informática: Cuando AMD presentó su juego de instrucciones de 64 bits, lo denominó x86-64, pero más tarde lo renombró a AMD64. Cuando Intel lo adoptó (con diferencias mínimas), lo llamó inicialmente EM64T, aunque antes lo llamaba IA-32e, y más tarde lo llamó Intel 64. Por lo tanto, hay al menos cinco nombres distintos para el mismo concepto. Y es sólo un aspecto del rendimiento de un procesador...

se invirtió hasta que Intel presentó una nueva arquitectura, la Intel Core<sup>2</sup>, y más en concreto con su segunda versión, Intel Core 2.

## 2.2.8 Memoria caché

Mientras la velocidad del núcleo del procesador se incrementa, la velocidad de la memoria principal (la DRAM basada en condensadores) no puede seguir su ritmo. Esto hace que cuando el procesador tiene que acceder a la memoria principal, tenga que esperar, lo que ralentiza el procesamiento. Para intentar reducir estas esperas, se introduce la memoria caché (la SRAM basada en biestables), que funciona a velocidades similares a las del procesador. Además es una memoria especial porque está dotada de cierta «inteligencia»: almacena sólo los datos que con más probabilidad el procesador va a necesitar.

En la mayoría de los PCs actuales hay dos niveles de caché incluidos dentro del encapsulado del procesador:

- Nivel 1 (*Level 1*, L1): Es una memoria dividida en dos partes, una para datos y otra para instrucciones<sup>3</sup>. Aproximadamente en el 90 % de las ocasiones, el procesador encuentra en la caché L1 el dato que necesita, sin que se ralentice en exceso su funcionamiento esperando por la memoria. Este nivel tiene tamaños del orden de unos pocos KiBs.
- Nivel 2 (*Level 2*, L2): La caché de nivel 2 estaba inicialmente fuera del procesador, pero desde hace ya varios años está dentro del encapsulado y trabaja a su misma frecuencia. Este nivel guarda datos o instrucciones indistintamente. El 90 % de las veces que un dato no está en la caché L1 suele estar en la L2, con lo que el procesador sólo tiene que esperar por la memoria principal en el 1 % de los accesos a memoria. Tamaños típicos de este nivel son 512, 1024 ó 2048 KiBs.

Algunos procesadores para servidores, estaciones de trabajo o juegos incluyen un nivel más de caché, la L3. Esta es una de las razones por las que tienen mayor rendimiento y mayor precio.

La velocidad de la caché, como la de cualquier memoria, viene dada por dos parámetros:

- Latencia: Es el número de ciclos que se tarda en acceder al primer dato. Ej.: Pentium 4 Northwood, 2 ciclos; Pentium 4 Prescott, 4 ciclos.
- Tasa de transferencia: Es el número de bytes leídos o escritos por segundo.

---

<sup>2</sup> Otro problema de nomenclatura: Intel ha empezado a utilizar «Core» como nombre de modelo. No se debe confundir con su acepción general en inglés de «núcleo» ni con el nombre en clave de los *cores*. Tampoco se debe confundir un Intel Core 2 con un Core Duo: el «2» indica que es la segunda versión de la arquitectura y el «Duo» que tiene dos núcleos.

<sup>3</sup> En el Pentium 4 en lugar de una caché de instrucciones hay una caché de microinstrucciones.

### 2.2.9 Consumo

El consumo es un factor determinante en el caso de la CPU de un computador portátil, o incluso de sobremesa si pasa mucho tiempo encendido: el consumo de un procesador es similar al consumo de una lámpara incandescente (60-80 W).

Para reducir el consumo se utilizan tecnologías que, en los períodos de tiempo en los que el procesador no necesita mucha capacidad de procesamiento, reducen la tensión utilizada. Con menor tensión hay menos consumo, la frecuencia es menor (con lo que hay menos rendimiento, pero es momentos en los que se necesita) y se alarga la vida del procesador. Ejemplos de estas tecnologías son Power Now! y Cool'n'Quiet de AMD o SpeedStep de Intel.

Además el consumo está relacionado con la disipación de calor. A menor consumo, menor disipación de calor.

### 2.2.10 Juegos de instrucciones avanzadas

Los juegos de instrucciones avanzadas proporcionan instrucciones especializadas para la programación de determinadas aplicaciones, como las multimedia, que mejoran su rendimiento. A lo largo de los años, tanto Intel como AMD han introducido sus propios juegos de instrucciones avanzadas:

- **MMX** (*MultiMedia eXtensions, Matrix Math eXtensions*): es un juego de instrucciones SIMD introducido por Intel a sus procesadores Pentium. SIMD es el acrónimo de *Single Instruction Multiple Data*, o Instrucción Única para Múltiples Datos. Los repertorios SIMD consisten en instrucciones que aplican una misma operación sobre un conjunto más o menos grande de datos. La tecnología MMX tenía dos problemas:
  - Reutilizaba los registros de coma flotante del procesador, inhabilitando el trabajo simultáneo con coma flotante y SIMD.
  - Trabajaba sólo con enteros.
- **3DNow!**, **Enhanced 3DNow**, **Professional 3DNow**: Son tres versiones del juego de instrucciones realizado por AMD que extendía las MMX de Intel y que permitía trabajar con coma flotante.
- **SSE** (*Streaming SIMD Extensions*): Es un juego de instrucciones desarrollado por Intel similar a las 3DNow, pero incompatibles. A lo largo de los años han ido apareciendo extensiones (SSE2, SSE3, SSE4).

### 2.2.11 Tecnología HyperThreading

Es una tecnología desarrollada por Intel que duplica partes del núcleo del procesador, de tal manera que bajo ciertas condiciones pueden estar ejecutándose al mismo tiempo dos hilos. El sistema operativo pasa a ver dos CPUs y puede planificar los hilos en ambas, aunque en la realidad no se ejecutarán siempre a la vez los dos hilos planificados. Según Intel, la mejora obtenida es aproximadamente del 30 %.

### 2.2.12 Número de núcleos

Una de las formas para aumentar el rendimiento que se ha empezado a utilizar en los últimos años —sobre todo a partir de la parada en la carrera de los megahertzios— es incluir en un mismo encapsulado varias CPUs, lo que se conoce como *multi-core* (multi-núcleo). Proporcionan las mismas ventajas que un sistema multiprocesador (un sistema con varias CPUs, cada una en su encapsulado) a un coste muy inferior. Otras ventajas de un sistema multi-núcleo frente a uno multiprocesador están una mayor facilidad para realizar los circuitos de coherencia de caché y un menor consumo, debido a que, al compartir el mismo chip, se eliminan señales de comunicación entre chips. Además, los dos núcleos pueden compartir parte de la circuitería, como el controlador de FSB.

Como desventajas de los sistemas multi-núcleo están que es necesario que los programas sean multihilo para aprovechar las ventajas de rendimiento, que la mayor densidad de integración (hay más transistores en el mismo chip) crea una complejidad añadida para la disipación de calor, además de tener un consumo más elevado que un sistema mono-núcleo. Por último, el FSB puede convertirse en un cuello de botella al tener que suministrar información a varios procesadores.

### 2.2.13 Bit de no ejecución

Una de las brechas de seguridad más habituales es sobre-escribir la información de una zona de datos con código ejecutable. Para evitar esto, AMD introdujo en sus procesadores AMD64 un bit extra para marcar las páginas de memoria como código (ejecutables) o datos (no ejecutables) y lo llamó «NX bit» (de *No eXecutable bit*). Intel utilizó la misma tecnología pero la denominó «XD bit» (de *eXecute Disable bit*).

### 2.2.14 Virtualización

La virtualización consiste en ejecutar un sistema operativo dentro de otro sistema operativo. Aunque desde 1999 existían productos software como VMWare, Microsoft Virtual PC o QEMU que permiten esto, era una tarea muy compleja y con elevadas pérdidas de rendimiento porque la arquitectura x86 no estaba pensada para soportar la virtualización. A partir de 2005, Intel y AMD introdujeron modificaciones en su arquitectura para facilitar esta labor, con las denominaciones Intel VT (IVT) y AMD Virtualization (AMD-V) respectivamente.

Esta característica es importante sobre todo en procesadores para servidores.

### 2.2.15 Encapsulado

Las CPUs necesitan conectar su bus de datos, su bus de direcciones y su bus de control con el resto de elementos del sistema mediante la placa base, y recibir energía eléctrica. Los primeros procesadores se soldaban directamente a la placa base del computador, con lo que para ampliar el sistema o reparar un procesador averiado se debía sustituir todo el conjunto. Actualmente se

conectan a través de zócalos (*sockets*) de conexión sin fuerza (*Zero Insertion Force*, ZIF). Los hay de dos tipos:

- PGA (*Pin Grid Array*)
- LGA (*Land Grid Array*)

Es posible encontrar procesadores en ranuras (*slots*, como las tarjetas de expansión) en sistemas relativamente modernos, especialmente en servidores. Sin embargo, la instalación de procesadores en ranuras se ha abandonado por el momento.

### **2.3 Selección del procesador**

Es imposible, a no ser que se trate de procesadores de la misma familia y con la misma arquitectura, comparar el rendimiento de dos procesadores basándose sólo en sus especificaciones. Así, la selección de un procesador basada en su rendimiento se lleva a cabo utilizando pruebas, *benchmarks*, que son publicados por varias compañías. Aunque algunas de estas compañías son fabricantes de chips, existen compañías independientes que publican los resultados de sus pruebas de rendimiento en el web, permitiendo una selección más o menos objetiva. Algunos de los *benchmarks* más habituales son Sysmark, SPEC y también es habitual hacer pruebas con aplicaciones reales como juegos (buscar el *frame rate* en el Far Cry, por ejemplo) o aplicaciones de creación de contenidos multimedia.

En cualquier caso, medir el rendimiento de un procesador no es fácil: no sólo influye el procesador, sino también otros factores como las placas base, la memoria, la tarjeta gráfica...