

- **www.hwinfo.com:** ¿Quiere saber más sobre el hardware del que dispone? Utilice **HWINFO32** o **HWINFO64**. ¿Además quiere poder hacerlo en MS-DOS? Bien, entonces hay pocas opciones y **HWINFO** es una de las mejores.
- **www.dr-hardware.com:** Otra excelente utilidad de análisis completo de todos los elementos del sistema, **Dr. Hardware** además está muy actualizado.
- **www.lavalys.com:** Si busca una utilidad de diagnóstico y pruebas de rendimiento similar a Sandra o Dr. Hardware pero más "profesional", **AIDA64 Extreme Edition** (antes **EVEREST Ultimate Edition**) puede ser la solución; y si además quiere hacer auditoría y monitorización de varios equipos en una red, dispone de **AIDA64 Business Edition** (antes **EVEREST Corporate Edition**). Son de pago, ojo; la versión gratuita, **EVEREST Home Edition** (antes **AIDA32...** vaya lío de nombres), dejó de estar soportada hace años, pero aún se encuentra en **everest.softonic.com**.
- **www.futuremark.com/benchmarks:** Dos de las mejores pruebas de rendimiento se encuentran en esta página: **3DMark** para las tarjetas 3D (es al menos tan exigente como los juegos reales) y **PCMark** para medir el rendimiento global del sistema. Pruebas grandes y serias.
- **www.passmark.com:** Esta gente dispone de pruebas para todo; algunas son poco novedosas, como el **PerformanceTest** para todo el sistema, pero otras son mucho más originales, como **BatteryMon** para la batería del PC portátil, **MonitorTest** (ajá, acertó, para el monitor), **WirelessMon** para la red inalámbrica, **ModemTest** (no insultaré su inteligencia explicando para qué sirve esta útil prueba), **KeyboardTest** para el teclado y **SoundCheck...** sí, para el sonido. Y si quiere todo eso a la vez y más, basta con que instale el potente **BurnInTest**, que existe también en versión para Linux.
- **www.bapco.com:** Muchos sitios de la industria emplean **SYSmark** y **MobileMark** para sus pruebas; son buenos programas y reconocidos a nivel profesional, pero yo los veo algo caros, la verdad.

2. El microprocesador o CPU

Comenzamos la descripción de los componentes del PC por el que suele darle nombre; casi todo el mundo dice que su ordenador es "un Core i5" o "un Phenom", o a veces incluso cosas más genéricas como "un AMD" (algo tan impreciso como decir que un coche es "un Ford" o "un Renault"). Hablamos del microprocesador, también denominado de muchas otras formas: procesador, coloquialmente "micro" o, más técnicamente, mediante las siglas "CPU", del inglés *Central Processing Unit*, unidad central de proceso (aunque el término CPU tiene cierta ambigüedad, pues hay gente que lo emplea para referirse a toda la caja que contiene el micro, la placa base, las tarjetas y el resto de la circuitería principal del ordenador).

Lo llamemos como lo llamemos, se trata de un dispositivo electrónico imprescindible en todo ordenador, quizás el más importante de todos sus componentes por ser nada menos que el cerebro del PC... aunque no crea en absoluto que todo se reduce a tener "un Core i5" o "un Phenom".

2.1. ¿Qué es el microprocesador?

El microprocesador (a lo largo de este libro emplearemos sobre todo este término y, ocasionalmente, el de "micro", aunque recuerde que en inglés es común referirse a él como la "CPU") es un dispositivo digital que contiene millones de minúsculos

elementos electrónicos, casi todos transistores, en un único circuito integrado capaz de realizar las diversas operaciones con los datos que le encomiendan los programas software; veamos a continuación en detalle y de forma comprensible qué significa todo esto.

El mundo de los ordenadores modernos ("computadoras", si prefiere el anglicismo) es un mundo **electrónico y digital**: emplea sistemas basados en el control de determinadas partículas con carga eléctrica, en general electrones, y codifica los valores de los diversos estados posibles de sus elementos con un número de valores finito, discreto, limitado: "digital", que podría contarse con los dedos, en contraposición al espectro de valores continuo que observamos en la naturaleza ("analógico"). En realidad, normalmente bastaría con sólo dos dedos, porque prácticamente todo se expresa con sólo dos estados: "verdadero" (en general correspondiente a activado o con voltaje), representado con un "1", y "falso" (en general correspondiente a desactivado, con voltaje nulo o conectado a tierra), representado con un "0".

En cuanto a los **transistores**, son dispositivos electrónicos increíblemente útiles que entre otras cosas pueden funcionar como interruptores para representar esos estados electrónicos. Fabricados por primera vez por los laboratorios Bell en 1947 (sus creadores recibieron el Premio Nobel por ello y sin duda el invento lo merecía), antes de su llegada las computadoras eran aparatos inmensos que debían funcionar con relés o válvulas, lo que no sólo era problemático por su gran tamaño, sino sobre todo por su escasa fiabilidad, elevadísimo consumo y gran dificultad de mantenimiento.

Juntando todo lo anterior llegamos a los **circuitos integrados** digitales, un tipo de circuito electrónico digital, circuitos eléctricos capaces de realizar operaciones basándose en la llamada "álgebra de Boole" y en la aritmética binaria, la que emplea el 2 como base (recuerde que hay dos estados, "0" y "1") en lugar del 10. Son "integrados" porque en ellos se encuentran miniaturizados numerosos elementos electrónicos (ya hemos dicho que en un microprocesador pueden ser *millones*, sobre todo transistores); además de como circuitos integrados, es común referirse a ellos como microchips o simplemente **chips**. Se considera que el primero fue el creado por Jack Kilby (otro Premio Nobel, por supuesto) en 1947 para Texas Instruments.

Finalmente, el tipo de circuito integrado con las características de interpretación y ejecución de datos que se denomina **microprocesador**, apareció en 1971 con el "modelo 4004" de una empresa de la que ya habrá oído hablar, Intel... aunque como muchas otras ocasiones en que una tecnología está ya madura pero no acaba de llevarse a la práctica física, el honor de ser los primeros hay quien se lo otorga a Texas Instruments o incluso al ejército de EEUU (que, en todo caso, mantuvo en secreto el desarrollo de tan interesante aparatito, como es lógico). Cuando IBM lanzó en 1981 su PC, utilizó un microprocesador de Intel, el 8088... y el resto es historia.

2.1.1. Fabricación de un microprocesador

Los microprocesadores son unos elementos tan interesantes a nivel de diseño lógico (bueno, si a uno le gustan estos temas, claro) como a nivel físico: su creación es un proceso que conjuga las más avanzadas técnicas industriales de diseño y fabricación, en instalaciones espectaculares (y en gran parte secretas, no en vano requieren una inversión de *miles de millones de euros*) cuya limpieza está al menos a la altura de la de un centro de control de enfermedades infecciosas: un quirófano y sus aseados cirujanos serían considerados de una suciedad absolutamente inaceptable en las "habitaciones limpias" de una fábrica de microprocesadores.



Figura 2.1. Sala limpia de una fábrica de microprocesadores AMD
(copyright de la imagen Sven Doering - AMD)

Los materiales empleados en la fabricación de los microprocesadores son los **semiconductores**, que como su nombre indica tienen una conductividad eléctrica intermedia entre la de un conductor y un aislante. Los semiconductores más comunes son el germanio, el arseniuro de galio y, sobre todo, el **silicio**. Por eso a la industria de fabricación de chips, incluidos los microprocesadores, se la denomina con frecuencia industria de los semiconductores o del silicio, y de ahí el nombre del famoso valle californiano donde se ubican muchas empresas, el Silicon Valley (¡del silicio, no de la silicona!).

Dejando aparte el proceso de diseño del chip, que tiene en cuenta muchas cuestiones relacionadas con la fabricación y el funcionamiento físico (no todo lo que puede dibujarse en un papel puede llevarse a la práctica, especialmente a

determinadas escalas), para lograr un microprocesador se llevan a cabo multitud de procesos químicos y ópticos, que no describiremos con demasiado detalle por su gran número de pasos y su complejidad.

El material de partida, silicio de extrema pureza (*extrema* de veras), se conforma en lingotes cilíndricos monocristalinos de un diámetro de hasta 300 mm y se corta en finos discos llamados "oblas", *wafers*, en las que se grabarán los microprocesadores. El diámetro de la oblea es un parámetro muy importante para el coste del proceso: las obleas de mayor diámetro son más aprovechables, se obtiene un mayor porcentaje de chips útiles por cada oblea (cuántos, exactamente es un misterio que ningún fabricante revela), por lo que el paso de las obleas de diámetro 200 mm que venían usándose para microprocesadores a las actuales de 300 mm fue de gran importancia para ahorrar costes y poder reducir el precio de los chips.



Figura 2.2. Técnico de Intel sosteniendo una oblea de 300 mm de micros Pentium 4 (fuente de la imagen Intel Corporation)

Aunque no sea fácil saber cuántos chips pueden sacarse de cada oblea (como es lógico el porcentaje mejora según avanza la experiencia del fabricante con ese chip en concreto), lo más importante es que muchos procesos son casi igual

de caros realizándolos en un diámetro que en otro (una vez que se logran llevar a la práctica, claro) y que una oblea de silicio de 300 mm de diámetro tiene una superficie de unos 706 centímetros cuadrados, mientras que una de 200 mm tiene un área de sólo 314 centímetros cuadrados.

Sobre la oblea se graba el circuito electrónico del chip mediante un proceso de **fotolitografía**, en el caso de los microprocesadores a escala de unas decenas de nanómetros (nm, la millonésima parte de un milímetro, casi nada). Esto se consigue mediante la proyección de algún tipo de radiación (hoy por hoy luz ultravioleta) sobre una fotomáscara que permite esculpir el diseño; con perdón, como emplear una plantilla para pintar con un *spray*. Por supuesto, estas operaciones son *muy* complicadas; por ejemplo, para alcanzar las escalas actuales se puede sumergir la oblea en una capa de líquido que haga de lente, se debe diseñar la máscara teniendo en cuenta diversos fenómenos de interferencia y "difuminado" de la luz que permiten grabar diseños más reducidos, etc.

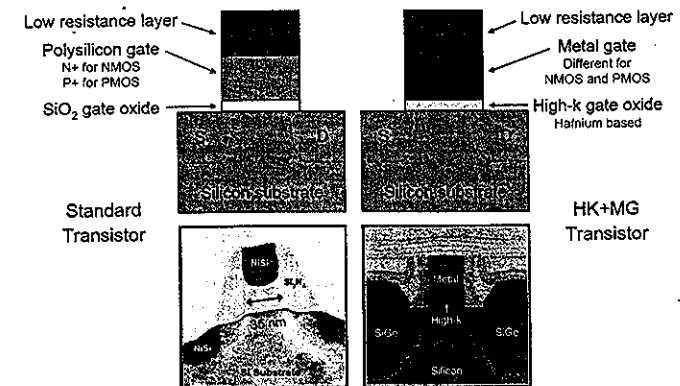


Figura 2.3. Transistores de micros Intel de 65 nm (puerta de 35 nm) y de 45 nm (imágenes a distinta escala; fuente documentación de Intel Corporation)

El silicio de la oblea es contaminado, "**dopado**", con cantidades casi insignificantes (impurezas) de diversos materiales que le confieren el carácter de semiconductor apropiado. Además, se depositan varias **capas** superpuestas de aislante y de un material conductor (hasta no hace mucho aluminio, actualmente cobre), interconectadas entre ellas para unir los dispositivos electrónicos, y se realizan multitud de procesos químico-físico-térmicos avanzados (deposición química de vapor, limpieza mediante bombardeo de plasma y/o iones, etc.) entre las diversas partes del proceso, obteniéndose finalmente la oblea con los chips prácticamente terminados.

La oblea se somete a una batería de pruebas, se corta en los chips individuales, que en esta parte del proceso en la que aún están "desnudos" se denominan *die*, procediéndose a **encapsularlos** para que puedan ser manejados: el minúsculo *die* (a veces llamado incorrectamente *core*, núcleo, pese a que un *die* moderno suele incluir varios núcleos) se introduce dentro de un material plástico o cerámico y se conecta a sus conectores externos macroscópicos, además de añadirle una superficie disipadora (en modelos modernos) para poder distribuir por una superficie mayor el elevado calor que generará.

Llegados a este punto, los chips se prueban, se clasifican (ya que pueden no ser válidos para funcionar a una determinada velocidad pero sí para velocidades inferiores), procurándose a menudo limitar la velocidad máxima a la que puede hacerseles funcionar para evitar falsificaciones posteriores y dificultar el *overclocking*, y pasan a la fase de acabado final y serigrafiado.

2.1.2. Estructura externa del microprocesador

Cuando observamos el microprocesador de nuestro PC, lo que vemos realmente es un cuadrado con contactos eléctricos: el **encapsulado** (en inglés *package*) del microprocesador, que protege al chip en sí, extremadamente delicado. El encapsulado ha ido evolucionando a lo largo de la historia de los microprocesadores PC, siendo los más importantes los siguientes:

- **DIP, Dual In-line Package:** Es la clásica "cucaracha" negra, de material cerámico o plástico, con conectores en forma de patas rectas (*in-line*) en sus laterales, patas que se sueldan o insertan en zócalos. Absoluta y totalmente desfasada desde hace dos décadas en lo que respecta a microprocesadores, se empleó en los primeros, como los Intel 8088 y 8086.
- **PGA, Pin Grid Array:** Su nombre puede traducirse como matriz rectangular de contactos cilíndricos, "pines", que se encuentran en su base (normalmente distribuidas sólo en un marco, aunque en modelos modernos pueden ocupar toda la superficie) y que lo hacen mucho más fácil y resistente de instalar. Su variante de material cerámico se empleó durante bastante tiempo, desde el 286 en adelante, aunque posteriormente se desarrollaron variantes como el **PPGA** (*Plastic PGA*, evidentemente de material plástico), el **OPGA** (de material orgánico, empleado por AMD), el **FC-PGA** (*Flip-Chip PGA*, con el núcleo del micro girado boca arriba, *flip*, empleado en Intel desde el Pentium III) o su evolución moderna el **FC-PGA2** (un FC-PGA con disipador de calor).

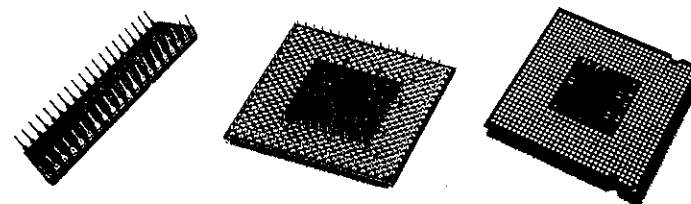


Figura 2.4. Encapsulados DIP, OPGA y LGA (de izquierda a derecha)

- **LGA, Land Grid Array:** Un encapsulado en el que se intercambian los papeles, ya que los pines pasan a estar en el zócalo de la placa base, mientras que el microprocesador tiene contactos planos en su superficie inferior. Aunque polémico por lo fácil que resulta doblar los pines de la placa, siendo más difíciles de enderezar que si estuvieran sobre el micro, se supone que permite una mayor densidad de pines y mayores velocidades de bus y que económicamente el problema de doblar los pines sería menos grave, normalmente la placa base es más barata que el microprocesador. Es empleado por los micros Intel desde el Pentium 4.
- **Otros:** Se han utilizado muchos más tipos, sobre todo en microprocesadores que no está previsto actualizar (como era el caso de muchos de la época del 286, 386 y 486), ya que resulta difícil o imposible liberar el chip de alguno de ellos. Por ejemplo, tenemos el **QFP** y el **PLCC** (aproximadamente cuadrados y con contactos en forma de patas en todos sus laterales), el **LCC** (con contactos laterales dispuestos horizontalmente) o los utilizados para SoC ARM, como **ISM** y **PoP**.
- **Formatos de ranura:** En realidad no se trata de encapsulados, porque éste propiamente dicho es de uno de los tipos anteriores, pero está sobre una placa de circuito, cubierta por un cartucho plástico que se inserta en una ranura en lugar de un zócalo. Como veremos más adelante, se usó en la época de los Pentium II y III y su Celeron correspondiente (cartuchos SECC, SEPP y SECC2, muy similares), pero hoy en día está en desuso en el mundo PC.

Y acabamos de mencionar la palabra "**zócalo**"; se trata del conector para el microprocesador de la "placa base" (el dispositivo sobre el que se instalan gran parte de los elementos básicos del PC, como por ejemplo la memoria), que desde hace bastante tiempo suele prever el posible cambio del micro mediante el uso de sistemas que faciliten la instalación, como los zócalos tipo **ZIF** (*Zero Insertion Force* [*socket*], zócalo de fuerza de inserción nula) para micros de encapsulado

PGA o los zócalos LGA 775 para micros Pentium 4 y Core 2 con encapsulado LGA de 775 contactos; estos tipos de zócalo incluyen un sistema mecánico de palanca que permite introducir el micro sin necesidad de fuerza alguna.

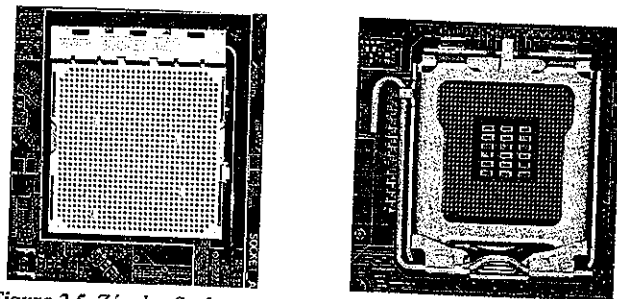


Figura 2.5. Zócalos Socket AM3 (para Athlon II / Phenom II, izquierda) y LGA 775 (para Intel Core 2, derecha)

Si desea saber más sobre los diversos tipos de zócalo para microprocesador que han existido en la historia del PC, le remito al capítulo sobre la placa base.

Atención: Tenga en cuenta que cada microprocesador necesita un tipo de placa base específico, que le dé soporte tanto a nivel físico como lógico, con un zócalo adecuado, un suministro de voltaje concreto, un tipo de bus y chipset adecuados, etc. Esto provoca que para cambiar a un modelo de microprocesador superior muy a menudo sea necesario cambiar también la placa base, o como mínimo actualizar su BIOS si sólo se trata de añadir algunos pequeños detalles a nivel lógico. Desgraciadamente, que la placa base sea compatible a nivel de zócalo no siempre resulta suficiente, incluso cuando se intenta, no siempre es fácil comprar una placa que garantice la compatibilidad con futuros micros.

2.1.3. La refrigeración del microprocesador

Los primeros microprocesadores para PC no requerían ninguna refrigeración especial, simplemente se refrigeraban al aire de forma totalmente "pasiva"; sin embargo, ya desde la época del 486 empezó a ser necesario añadir sistemas que mejorasen la refrigeración, primero **disipadores** pasivos (elementos con aletas para aumentar la superficie de disipación, fabricados en materiales altamente conductores del calor, como el aluminio o, preferiblemente, el cobre) y posteriormente,

con los primeros Pentium, instalar sobre el disipador ventiladores que renovasen continuamente el aire, una refrigeración "activa". Lamentablemente, la situación se ha disparado: actualmente los microprocesadores pueden disipar más de 100 vatios de forma continua (muchos Pentium 4, Core 2 Extreme, Phenom I, Core i7 de gama alta, etc.), lo que requiere enormes disipadores equipados con ventiladores girando a altas velocidades y generando un ruido realmente molesto.

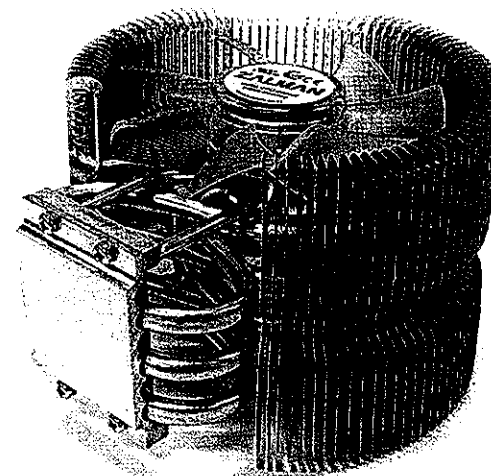


Figura 2.6. Conjunto de disipador y ventilador de gama alta

Además, el peso de los disipadores empieza a ser tan alto que resulta preocupante que puedan llegar a doblar la placa base (a lo que no ayuda el cobre, mejor conductor que el aluminio pero también más pesado) y se requieren incluso sistemas de **heatpipe** (tubos huecos sellados, casi siempre de cobre, en cuyo interior se encuentra un fluido refrigerante; al calentarse el extremo del tubo donde se encuentra el microprocesador, el fluido se evapora y absorbe calor, que cede al condensarse en el otro extremo). Una locura.

Aviso: Refrigerar correctamente un microprocesador moderno es algo absolutamente imprescindible, no sólo para mantener un funcionamiento estable sino además para evitar que literalmente se queme: si no entran en acción sistemas de protección implementados en el microprocesador y/o en la placa base (y no siempre funcionan bien), un microprocesador

moderno sin ventilador puede durar pocos minutos, si además prescindieramos del disipador, se quemaría en segundos. E incluso aunque lo resista, la estabilidad del sistema se irá al garete y la vida útil del micro se verá seriamente reducida. Le recomiendo invertir en un buen sistema de refrigeración del microprocesador, que sea potente y que a la vez no le vuelva loco por el ruido.

Si desea saber más sobre este tema, consulte al final del libro el apartado dedicado a dispositivos de refrigeración del capítulo dedicado a "otros componentes, dispositivos y periféricos" y el apéndice sobre *overclocking*.

2.2. Arquitectura interna del microprocesador

Sin llegar a extremos exagerados, por ser éste un libro divulgativo y no un texto para futuros ingenieros en electrónica y diseño de microprocesadores, vamos a comentar las principales partes que conforman un microprocesador a nivel interno y qué hace funcionar al invento. Si lo que quiere son parámetros prácticos de funcionamiento, más en la línea de lo que se encuentra en los anuncios, pase directamente al siguiente apartado.

2.2.1. Principales partes lógicas de un microprocesador

El microprocesador, para procesar (je, je), dispone de una serie de recursos internos que le permiten manejar los distintos tipos de datos e instrucciones a los que se enfrenta. Uno de estos recursos son los **registros**, pequeñas cantidades de memoria extremadamente rápida en los que el microprocesador almacena los valores sobre los que está operando actualmente. El tamaño de cada uno de estos registros es bastante importante, afectando al rendimiento del microprocesador (si el software está apropiadamente programado para ellos), y por eso suele afectar al calificativo del microprocesador.

Por ejemplo, cuando un microprocesador se dice que es "de 32 bits", *normalmente* nos referimos a que cada registro puede almacenar dicha cantidad de memoria (un **bit** es la unidad mínima de información en informática, capaz de almacenar uno de dos estados, "no" o "sí", 0 ó 1; el conjunto de varios bits, casi siempre

ocho, constituye un **byte**, que por ejemplo puede representar una letra concreta). He utilizado "normalmente" porque en ocasiones se habla de microprocesadores de "x bits" en relación con otros elementos que veremos a continuación.

Un elemento que utiliza registros y que debe estar presente en todo microprocesador es la **unidad de ejecución**, la parte que realiza las operaciones sobre los datos solicitadas por los programas software; los microprocesadores modernos disponen de varias de estas unidades funcionando en paralelo, denominándose "superescalares".

La **unidad aritmético lógica** o **ALU** (*Arithmetic Logic Unit*) es una parte del microprocesador de la que quizás haya oído hablar alguna vez; es bastante importante, porque se encarga de ejecutar numerosos cálculos, como los realizados sobre números enteros o las operaciones lógicas. Como acabamos de comentar, los microprocesadores actuales tienen múltiples unidades de ejecución, entre ellas varias ALU.

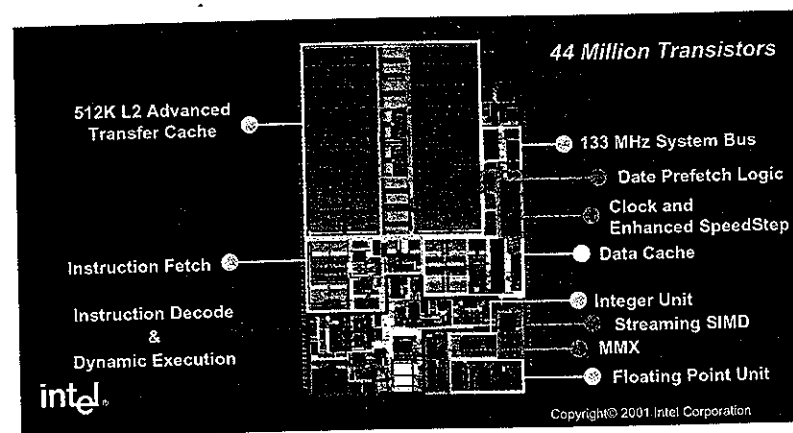


Figura 2.7. Esquema del núcleo de un Pentium III Mobile

Otro elemento de gran importancia es la **unidad de control**, que como su nombre sabiamente indica, "controla", dirige la actividad de los otros elementos del microprocesador, además de decodificar las instrucciones recibidas.

Si la ALU se encargaba de operaciones con enteros, la **unidad de coma flotante** o **FPU** (*Floating Point Unit*) se encarga de las realizadas con este tipo de números, así como de otras operaciones como la división de enteros. En los primeros tiempos del PC los microprocesadores no incluían esta unidad, que podía incorporarse en la forma de un **coprocesador matemático** o bien debían realizarse los cálculos mediante software o "emuladores"; de esta situación se ha

pasado al extremo opuesto, no sólo incorporando la FPU en todos los microprocesadores desde el Pentium (y en muchos 486) sino ampliando las capacidades matemáticas del microprocesador casi hasta el absurdo; los tiempos cambian, las necesidades también.

Finalmente, los microprocesadores y otros elementos del PC tienen **buses de datos**, caminos para los datos, que comunican las diversas partes del microprocesador y sobre todo a éste con otros elementos del PC, como la memoria. El ancho del bus externo a través del que se comunica con la memoria, que se mide en bits y que actualmente es en general de 64 ó 128 bits (incluso en microprocesadores "de 32 bits") es un parámetro bastante importante, porque los microprocesadores cada vez son más rápidos y no es cosa de dejarles esperando sin hacer nada sólo porque no obtienen los datos con la rapidez suficiente.

Por otro lado, también es importante (aunque en la práctica real menos) el ancho del **bus de direcciones**, porque de él dependerá el tamaño máximo de memoria que es capaz de manejar (direccionar) el microprocesador; durante muchos años (desde la época del 386) este ancho era de 32 bits, coincidente con el tamaño de los registros, de ahí que numerosos procesadores de muy distintas características sean todos "de 32 bits" por doble motivo. Con 32 bits pueden direccionarse hasta 4 GB de memoria (2 elevado a la 32), cantidad más que suficiente para la inmensa mayoría de usuarios (incluso profesionales), aunque ya ha sido superada actualmente; por ejemplo, los Athlon 64, que utilizan 40 bits para el direccionamiento, llegan hasta 1.024 GB. Por cierto, un "GB" es un gigabyte, una cantidad de memoria bastante considerable: más de mil millones de bytes.

Nota: A lo largo de este capítulo, las capacidades de memoria a las que nos referiremos (incluyendo las de la memoria caché L1, L2 y L3) estarán referidas al sistema binario, de manera que cuando expresemos "1 MB" nos estaremos refiriendo a 1 megabyte binario (1 mebibyte), igual a 1.024 KB o 1.048.576 bytes, sin embargo, no utilizaremos la notación KiB / MiB porque históricamente se ha empleado la KB / MB, pese a ser la del sistema decimal.

2.2.2. La arquitectura x86

Aunque el primer microprocesador PC fue el Intel 8088, en realidad éste era una versión recortada (con un bus externo de sólo 8 bits en lugar de 16 bits) del Intel 8086; los siguientes microprocesadores utilizados fueron también de esta familia (80186, 80286, 80386, 80486), por lo que la arquitectura compatible con

ellos recibió el lógico nombre de "x86". En este contexto, lo que define una "arquitectura" para que los programas realizados siguiendo sus directrices sean compatibles entre varios microprocesadores físicamente distintos (incluso radicalmente distintos) es un **conjunto de instrucciones**, las órdenes que el microprocesador es capaz de entender. Sobre este tema, debe tenerse en cuenta que lo único que entiende un microprocesador (animalito) es el denominado **lenguaje máquina**, un código realmente difícil de interpretar por estar compuesto de grupos de bits; afortunadamente, el programador medio no necesita entender tan diabólico lenguaje: emplea lenguajes de programación "de alto nivel", más comprensibles, y deja el trabajo sucio a un programa llamado "compilador" que se encarga de traducir a esas secuencias de bits normalizadas, esas "instrucciones".

Como suele suceder con cualquier aspecto de la informática, la arquitectura x86 no ha permanecido inamovible a lo largo de los años: se ha mantenido la compatibilidad básica pero se ha ampliado mucho el conjunto de instrucciones y de **modos de trabajo del microprocesador**:

- **Modo real:** Es el modo que se definió para el "cabeza de familia", el 8086; en él sólo se puede direccionar 1 MB de memoria (por ridícula que parezca hoy, una cantidad bastante tremenda y cara en su momento) y no se emplean multitud de avances de los que dispone casi cualquier microprocesador no prehistórico. Este modo era el utilizado con los sistemas operativos MS-DOS y, en realidad, sigue empleándose en todos los microprocesadores modernos durante el proceso de arranque BIOS, por lo que teóricamente podrían ejecutar cualquier programa que ejecutase el 8086 (cualquier programa bien escrito, se entiende, los fallos de diseño no cuentan).
- **Modo protegido del 286:** Es un modo que se implantó en el siguiente microprocesador Intel de importancia, el 80286 ó 286 (que por supuesto también soportaba el modo real, como hemos dicho). En este modo, empleado por ejemplo por Windows 3.0, se añadieron numerosos avances:
 - Protección de memoria, reserva un espacio de memoria a cada proceso en ejecución, evitando que invada espacios de otros procesos.
 - Soporte de multitarea, para realizar múltiples tareas (jamás lo hubiese adivinado, ¿verdad?) a la vez (o al menos "a la vez" para la lenta experiencia humana) con menor riesgo de que surjan conflictos.
 - Soporte de memoria virtual.
- **Modo protegido del 386 (386 enhanced mode):** El modo protegido anterior no era malo, pero éste es mejor; tanto que aún hoy se emplea. Divide la memoria en zonas llamadas "páginas", mejorando el mecanismo de la

memoria virtual, aparte de que el 386 expandió todo a 32 bits: registros, direccionamiento de memoria (hasta 4 GB) y hasta el bus de datos. Es el modo "nativo" de los sistemas operativos modernos, como Linux o los Windows basados en núcleo NT (XP, Vista, 7).

- **Modo real virtual o modo 8086 virtual:** También introducido con el 386, se trata de un método para poder ejecutar software diseñado para modo real (como el de MS-DOS) desde el modo protegido de 32 bits; con esto el esquema estaba completo.

Dada la importancia de las mejoras introducidas con el 386 de 32 bits, la arquitectura x86 moderna es conocida con frecuencia como **IA-32** (*Intel Architecture-32*, arquitectura Intel de 32 bits).

Aunque como podrá suponer los cambios introducidos con el 286 y el 386 no son ni mucho menos insignificantes, no son para nada los únicos; veamos a continuación unos cuantos más que se merecen apartado propio.

2.2.3. Nuevas instrucciones x86: MMX, 3DNow!, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4 y AVX

En 1996, Intel abrió la caja de Pandora de las nuevas instrucciones x86 con el microprocesador Pentium MMX, que incluía unas nuevas instrucciones **SIMD** (operaciones en las que cada instrucción maneja datos múltiples, de utilidad típicamente en procesos **multimedia** de vídeo o sonido; no viene al caso entrar a fondo en estos detalles o nos quedaríamos sin páginas) llamadas precisamente **MMX**, para acelerar las operaciones matemáticas con enteros, para lo que se definieron ocho registros de 64 bits (sin que esto haga al micro de 64 bits, ojo). No es que tuviesen un éxito apabullante a la hora de acelerar el software, entre otras cosas porque prácticamente obligaba al programador a elegir entre utilizar MMX o emplear la clásica FPU, pero comercialmente fueron de interés... y empezaron la carrera.

AMD no quería quedarse detrás de Intel, por lo que decidió nada menos que *mejorar* las MMX con sus nuevas **3DNow!**, introducidas con el AMD K6-2. La idea era extender el campo de aplicación hasta las operaciones de coma flotante, lo que podía mejorar el rendimiento en aplicaciones gráficas 3D. Más tarde, con los Athlon, se amplió el número de estas instrucciones en lo que se denominó **Enhanced 3DNow!**, aunque la cosa no quedó ahí: el Athlon XP llegó más lejos, con las **3DNow! Professional**. AMD no se relajó porque Intel no estaba ni mucho menos parada: con el Pentium III decidió que las MMX estaban anticuadas y eran

limitadas (algo bastante cierto) y lanzó las **SSE** (*Streaming SIMD Extensions*), añadiendo ocho registros de 128 bits completamente independientes de la FPU y permitiendo operaciones de coma flotante, al tiempo que se mantenía el soporte para MMX (sea más o menos útil, una vez implementado es increíblemente raro que un fabricante elimine algo de sus microprocesadores). En el mundo AMD las SSE clásicas están presentes desde los Athlon XP.

Información: Antes de continuar hablando de otras instrucciones, dejemos claro que para que esta clase de mejoras internas de un microprocesador se aprovechen se requiere soporte por parte de los programadores, que normalmente tardan un cierto tiempo, a menudo excesivo, en usarlas. El avance que suponen puede ser nulo, escaso, medio o significativo, dependiendo de lo optimizado que esté un programa para estas instrucciones; por ello, no deberían ser un argumento de compra excepto cuando se emplea algún programa que se espera las adopte pronto, especialmente actualmente, que existen tantas y tan variadas que las diferencias al introducir aún más instrucciones resultan difíciles de apreciar.

Nada se detiene en el mundo de los microprocesadores, así que la llegada del Pentium 4 vio transformarse a las SSE en las SSE1, porque aparecieron las SSE2 que mejoraban el soporte en coma flotante (ahora de números de doble precisión, de 64 bits en lugar de 32 bits) y añadían soporte para manejar enteros en los registros introducidos con las SSE. Bastante interesantes, la verdad, motivo por el que también están soportadas por toda la familia de microprocesadores AMD Athlon 64.

En la última de las revisiones del Pentium 4, la de núcleo *Prescott*, se añadieron más instrucciones, las SSE3, que por una vez no incluían cambios en los registros. AMD incluyó soporte de estas instrucciones en sus últimos micros, excepto dos instrucciones específicamente diseñadas para la tecnología Hyper-Threading de Intel.

Parece que no hay límite al número de instrucciones nuevas; por ejemplo, los Intel Core 2 añadieron las SSSE3 y las SSE4, cuya utilidad depende del número de programadores que decidan utilizarlas... algo nada claro, AMD tardó en demostrar interés en ellas, incluso añadió otras *distintas* llamadas SSE128 ó SSE4a.

Afortunadamente, la familia SSE parece que va a ser sustituida poco a poco por un único nuevo conjunto de instrucciones, más versátil y de hasta 256 bits, las **AVX** (**A**dvanced **V**ector **E**xtensions), soportadas en Intel desde los Core i7 / i5 / i3 de segunda generación ("Sandy Bridge") y en AMD por el reciente FX "Bulldozer" (que además añade soporte de SSE4).

2.2.4. El mundo de los 64 bits

Aunque hace muchos años que parte de los microprocesadores es de 64 bits o más, como *algunos* de sus registros (como los SSE) o el bus de datos externo (para acelerar el acceso a memoria), desde el 386 la mayoría de registros seguían siendo de 32 bits y se seguía direccionando la memoria mediante 32 bits, pudiendo acceder de forma directa a "sólo" 4 GB. Era momento de cambiar algunas cosas.

Intel tomó la iniciativa, como corresponde al líder del mercado... y falló casi estrepitosamente, al menos a nivel comercial. Decidió que era momento de abandonar la clásica arquitectura IA-32 (la x86 de 32 bits definida con su 386) y pasar a una nueva de 64 bits, la IA-64. Esta arquitectura, que es la empleada por sus microprocesadores **Itanium** e **Itanium 2**, es realmente avanzada, pero tiene el problema de requerir software específicamente diseñado para ella; la otra opción es pasar a un modo de compatibilidad con IA-32, *lamentablemente* lento, o bien recurrir a emulación mediante software. Esto echó abajo la idea original de Intel de cambiar algún día a diseños basados en Itanium (sin prisa, pero con esa perspectiva), limitando la aplicación del micro a entornos de servidor donde sobrevive pero sin ser tampoco capaz de liquidar a la competencia.

AMD tomó la dirección contraria, que resultó ser la correcta: ¡nada de eliminar nuestra (bueno, de Intel) querida arquitectura IA-32, por favor! Lo que hicieron fue *complementaria*, en la llamada arquitectura **x86-64** o **AMD64** que utilizan sus microprocesadores de 64 bits, las familias **Athlon 64**, **Phenom** y sus hermanos profesionales **Opteron**.

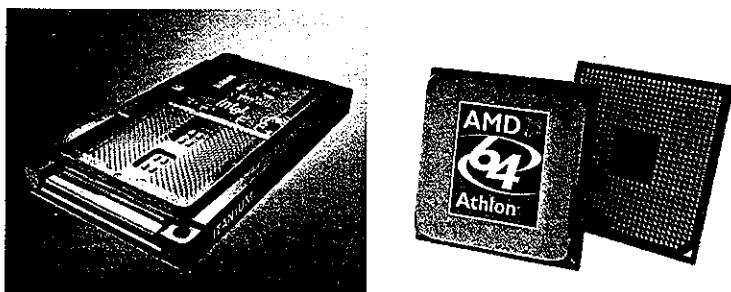


Figura 2.8. Intel Itanium y AMD Athlon 64

En la arquitectura AMD64 (refirámonos a ella por este nombre, AMD se lo merece), *todos* los modos de funcionamiento anteriores de la arquitectura x86 se soportan por completo y a alta velocidad, lo que evita tener que adquirir a toda prisa un nuevo sistema operativo (que en todo caso ya existen, tanto Windows como

Linux) y software diseñado para esta arquitectura. Simplemente se ha añadido un nuevo modo nativo de 64 bits, el **modo largo** (*long mode*, la bibliografía al respecto aún es en gran parte en inglés), en el que además hay extensa compatibilidad con aplicaciones de 32 bits y acceso a los nuevos registros de 64 bits.

Además, el direccionamiento de memoria ha aumentado, aunque por el momento muchos micros no usan los 64 bits completos, sino "sólo" 44 bits, lo que permite direccionar ¡16 terabytes, 16.384 GB!, de memoria; más de lo que yo tengo previsto emplear durante algunos años. Y por supuesto, se ha hecho una limpieza y lavado de cara de la clásica x86: más registros, soporte nativo de instrucciones tipo SSE (con más registros propios), etc. Finalmente, no hablamos tanto de la arquitectura AMD64 por favoritismo hacia AMD, sino por su gran éxito: Intel se vio obligada a adoptarla para sus futuros microprocesadores, aunque por supuesto no podía aceptar tal humillación sin retocarla muy ligeramente para llamarla **EM64T** o **Intel 64**, soportada desde los últimos micros Pentium 4. Intel adoptando algo inventado *por AMD*; cómo cambian las cosas... ¡y qué poco duran!

2.2.5. La arquitectura ARM para SoC

Hasta hace muy pocos años, nadie habría creído que los PC empezarían a derivar, o al menos diversificar, de la arquitectura Intel x86 a la ARM... aunque tampoco habría creído nadie que Apple se pasaría a la x86, ya que estamos.

ARM es una arquitectura (una ISA) de **32 bits** (desde su origen, no como la x86), en pleno proceso de definición de su paso futuro a 64 bits, que desde el principio se diseñó teniendo en mente las aplicaciones de **muy bajo consumo, del orden de 1 W**, que a la vez normalmente no requieren un rendimiento enorme. La arquitectura ARM está controlada por ARM Holdings, una empresa de diseño sin fábricas que vende licencias a otras empresas para que desarrollen microprocesadores basados en ARM, o bien para que utilicen los diseños de núcleo de CPU que la propia ARM Holdings desarrolla y los incorporen en sus propios SoC, "**sistemas en un chip**", elementos de alta integración CPU (núcleos y cachés) + memoria + GPU + controladoras varias en encapsulados PoP, SiP o simples BGA en una placa de circuito.

En los treinta años de historia de ARM, se han fabricado literalmente *miles de millones* de chips ARM, en diversas versiones de la arquitectura, que a menudo coexisten en el mercado; la que se emplea actualmente en el campo de las *tablets* y los *smartphones* es la **ARM v7**, a la que pertenece la familia **Cortex-A** (-A8, -A9, -A15 y -A7, de más antiguo a más moderno, aunque el -A15 es el más potente), núcleos que son y serán los más utilizados entre 2011-2013.

Esta arquitectura también dispone de instrucciones específicas para operaciones **SIMD**, concretamente las **NEON**, incluidas en los Cortex-A ya comentados (si bien en los Cortex-A9 son opcionales). Entre los sistemas operativos con soporte

de ARM, los más utilizados en el mundo PC son Apple iOS (en iPad y iPhone) y Google Android (en multitud de tablets y smartphones), a los que en breve se les unirá Windows 8.

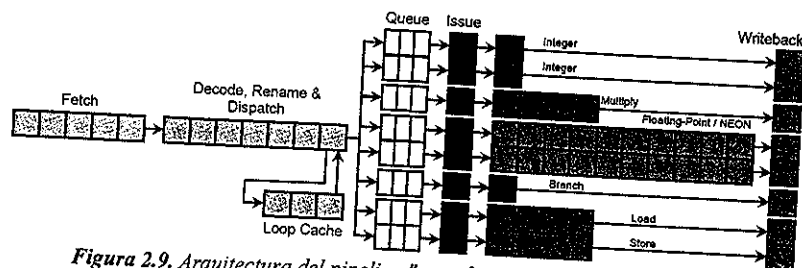


Figura 2.9. Arquitectura del pipeline "out-of-order" del ARM Cortex-A15 (fuente ARM Holdings)

2.3. Parámetros de funcionamiento de un microprocesador

Un título tan válido como cualquier otro para un apartado en el que hablaremos de los diversos valores diferenciadores que suelen encontrarse en los anuncios de microprocesadores y PC, excepto algunos detalles más técnicos como los conjuntos de instrucciones adicionales (MMX, SSE, etc.) y la cuestión de si tienen o no "64 bits", que ya hemos comentado en las páginas anteriores.

2.3.1. Velocidad de reloj (MHz o GHz)

Los microprocesadores son dispositivos que realizan numerosas tareas por etapas, de manera que necesitan una forma de que todas sus partes "lleven el mismo ritmo" (si lo prefiere en términos técnicos, que funcionen de forma síncrona); esto se consigue mediante una **señal de reloj**, generada por un oscilador de cuarzo, cuya frecuencia en pulsos por segundo, segundos a la menos uno o "hercios" (Hz), es lo que se conoce como "velocidad de reloj o frecuencia del microprocesador". Por supuesto, incluso el primer microprocesador de la historia PC era un poco demasiado rápido para hablar de su frecuencia en Hz (eran ya casi cinco millones de hercios), por lo que se emplean múltiplos; durante muchos años el megahercio (MHz, un millón de hercios; no escriba Mhz, es un error muy común) y actualmente el gigahercio (GHz, mil millones de hercios o mil megahercios).

Atención: La velocidad en MHz jamás ha sido un parámetro demasiado bueno para evaluar la velocidad real, la que percibe el usuario, de un microprocesador; sólo debe utilizarse para comparar microprocesadores de la misma familia: dos 486, dos Pentium 4, dos Athlon 64, etc., que sean idénticos en todo lo demás. Esto se debe a que las diferencias de diseño entre dos microprocesadores pueden ser realmente grandes, realizando cantidades de trabajo distintas en cada ciclo de reloj. Si fuese posible hacer funcionar un 486 a 5 GHz, le garantizo que sería incapaz de superar a un Athlon a "sólo" 2 GHz ejecutando cualquier tipo de software.

El momento clave que hizo poco menos que estúpido comparar dos microprocesadores distintos (en general uno de Intel y otro de AMD) sólo por su velocidad de reloj fue el paso de Intel a la arquitectura Pentium 4, que funciona a mucha velocidad de reloj pero realiza menos trabajo (procesa menos instrucciones) por cada ciclo que un Athlon o un Pentium III. Esto obligó a AMD a pasarse definitivamente a denominaciones "comparativas" para definir a sus microprocesadores; por ejemplo, un "Athlon XP 2400+" realmente funcionaba a 2 GHz (2.000 MHz), pero su denominación indicaba que rendía al menos tanto como un Pentium 4 a 2,4 GHz; *de media*, porque en algunas tareas le superaba y quedaba por detrás en otras. No comparemos peras con manzanas, por favor.

Actualmente el tema se ha llevado aún más allá, con denominaciones casi arbitrarias como "Core i5 2500", que sólo nos dice que es un modelo internamente similar pero más rápido que el "Core i5 2310" (por si tiene curiosidad, el primero funciona a 3,3 GHz y el otro a 2,9 GHz). Es imprescindible acudir a la página web del fabricante para saber qué demonios está uno comprando...

Nota: Casi todos los micros "de reciente hornada" tienen velocidades de reloj variables, ya que pueden aplicar modos Turbo que incrementan el reloj de algunos de sus núcleos o incluso de todos cuando parte del micro está ocioso y/o se encuentra por debajo de su consumo máximo de diseño o "TDP".

2.3.2. Velocidad de bus (ancho en bits y MHz)

Hace unas páginas comentamos que los microprocesadores tienen un **bus de datos** para comunicarse con el resto de elementos del sistema; bien, es de este bus del que hablamos ahora. Normalmente está conectado a uno de los dos chips del chipset, el *northbridge* (para detalles sobre esto, por favor acuda al capítulo sobre

la placa base), que le comunica con la memoria, los buses de tarjetas de expansión como PCI y otros dispositivos. Su denominación clásica era **Front Side Bus**, bus frontal o FSB.

Por supuesto, cuanto mayor sea el caudal de datos que puede transmitirse por el bus mucho mejor irá la comunicación; si sobra caudal no pasará nada, pero a las enormes velocidades de los microprocesadores modernos es más probable que falte. El primer parámetro que afecta a esto es el **ancho en bits** del bus, el número de bits que puede transmitir en cada pulso de reloj; a lo largo de la historia de los micros PC este ancho de bus creció desde 8 hasta 64 bits, aunque el bus HyperTransport de AMD cambió esta dinámica.

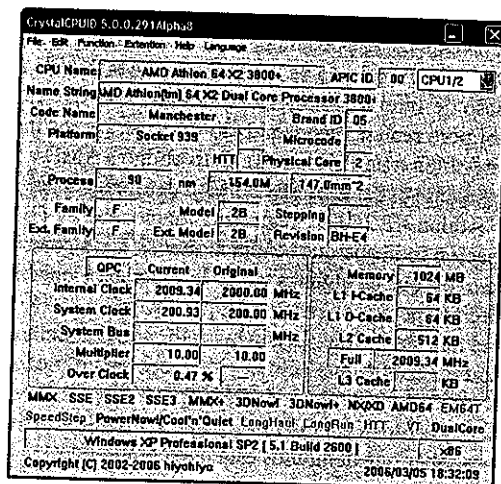


Figura 2.10. Características de un Athlon 64 X2 3800+

El segundo parámetro de importancia es la **velocidad de reloj** a la que funciona el bus; debido a la extrema dificultad de fabricar componentes electrónicos que funcionen a las inmensas velocidades de MHz o GHz habituales en el interior de los microprocesadores modernos, la velocidad del bus suele ser *bastante inferior* a la del micro en sí; por ejemplo, un Pentium III a 733 MHz utilizaba un bus a 133 MHz; como veremos con más detalle al final del libro, la velocidad del microprocesador se configura como un múltiplo de la velocidad del bus, múltiplo que para ese Pentium III era 5,5 veces la del bus (5,5x).

... Sin embargo, las cosas no podían ser tan sencillas (espero que al menos hasta aquí se lo parecieran); los microprocesadores modernos emplean buses con **aprovechamiento múltiple de la señal de reloj**, de manera que mandan varios grupos

de datos por cada pulso de reloj, en lugar de sólo uno. Por ello, suele hablarse de una velocidad de bus en "megahercios equivalentes" o "megatransferencias", MT/s, porque en realidad tanto da que se mande un único grupo de datos a muy alta velocidad o que se manden varios grupos a menor velocidad. Un ejemplo característico de esto son los Pentium 4 y Core 2, que aprovechan *cuádruplemente* cada señal de reloj; suele decirse que emplean buses "FSB533", "FSB800", "FSB1066" o "FSB1333", refiriéndose a buses que funcionan a 133, 200, 266 ó 333 MHz *físicos*, respectivamente, pero con cuádruple aprovechamiento de la señal, de forma que realizan 533, 800, 1.066 ó 1.333 MT/s.

Además, la velocidad del bus del microprocesador suele estar estrechamente relacionada con la de otros buses, como el de **memoria** y los AGP, PCI y PCIe, mediante multiplicadores o divisores, aunque en algunos chipsets modernos estas velocidades pueden ajustarse por separado o bloquearse a valores fijos, algo muy útil cuando se está realizando *overclocking* (forzar el microprocesador y/o su bus por encima de su velocidad de reloj normal).

Finalmente, un apunte sobre el bus de los AMD Athlon 64 y posteriores, el llamado **HyperTransport**, a veces denominado HT (pero no confundirlo con la Tecnología Hyper-Threading de Intel) o LDT, de su nombre original (*Lightning Data Transport*), pese a que fue rebautizado nada menos que a comienzos de 2001. HyperTransport es un bus realmente avanzadísimo, aunque (o gracias a ser) muy distinto de un FSB clásico:

- Es un bus serie, en lugar de paralelo, lo que significa que manda menos bits en cada pulso de reloj (actualmente 16 bits).
- Funciona a mucha mayor velocidad de reloj (característica típica de los buses serie modernos, si no a nadie se le ocurriría utilizarlos), habitualmente 1 GHz (Hz físicos) y hasta 3,2 GHz en la reciente versión 3.1.
- Emplea doble aprovechamiento de la señal, llegando hasta 6,4 GT/s.
- Y además es *full-duplex*, puede funcionar al mismo tiempo en ambos sentidos, lo que implica hasta 12,8 GB/s por sentido en HyperTransport 3.1.

La velocidad que ofrece HyperTransport es tan alta que con micros de gama media mucha gente no aprecia *ninguna* diferencia entre una velocidad u otra (que, por cierto, será un múltiplo de una velocidad "base" de 200 MHz); en realidad, incluso la velocidad más baja implementada nunca en el bus HyperTransport, la de 600 MHz (2,4 GB/s y sentido) del chipset nForce3-150 era razonablemente buena.

Para colmo, otra característica que diferenció a los AMD Athlon 64, Phenom, etc., es que incorporan el controlador de memoria *dentro* del microprocesador, en lugar de dentro del *northbridge* como era la costumbre desde siempre. Esto deja

sin sentido gran parte de las consideraciones clásicas sobre el funcionamiento de un chipset y del bus del microprocesador, aparte de que por supuesto acelera mucho el rendimiento de memoria.

... Si bien AMD ya no está sola en estas modernas prácticas: los Intel Core i7 de gama alta emplean **QuickPath Interconnect (QPI)**, un bus muy similar a HyperTransport (los demás emplean **DMI**, parecido a PCIe x4), y desde la arquitectura Nehalem (Core i7 / i5 / i3) tienen todos el controlador de memoria integrado. Cuando una idea es buena, es buena.

2.3.3. Memoria caché

La memoria caché es una memoria muy rápida que se emplea para almacenar una copia de los datos que con más probabilidad requerirá a continuación el microprocesador, acelerando el rendimiento al reducir el número de veces que debe accederse a la memoria principal o RAM, más lenta.

Se empezó a implantar en la época del 386, con chips situados sobre la placa base; con la llegada del 486, que incluía una pequeña cantidad de memoria caché integrada dentro del núcleo del micro (el *die* o *core*), se empezó a hablar de "niveles de caché", más cercanos al microprocesador y más rápidos cuanto menor fuese su número de nivel:

- **Caché primaria o de nivel 1 (L1):** Es siempre interna, está integrada en el propio núcleo del microprocesador y por tanto funciona siempre a su misma velocidad, la máxima; suele estar dividida en dos partes, caché de datos y caché de instrucciones. En el 486 era de 8 KB, aunque hoy en día ha crecido mucho, en los Athlon 64 llegó hasta 128 KB.
- **Cachés de niveles 2 y 3 (L2 y L3):** Conectadas al microprocesador mediante buses más rápidos que el FSB, como el llamado bus trasero o *back side bus*, pueden estar integradas en el núcleo del microprocesador, en el mismo encapsulado del chip o, hace décadas, ser totalmente externas, mediante chips instalados en la placa base.

Toda la memoria caché se integra dentro del micro desde la época de los Pentium Pro y Pentium III, funcionando a la misma velocidad que el microprocesador, aunque durante un breve periodo existió una solución de compromiso intermedia, en los Pentium II y Athlon que tenían la caché L2 soldada a la placa de circuito del correspondiente cartucho Slot 1 ó Slot A, funcionando a una fracción de la velocidad de éste (a la mitad en el caso de los Pentium II y a la mitad, dos quintas partes o la tercera parte en el caso de los Athlon de formato cartucho, dependiendo de la velocidad del micro).

Cuando el microprocesador busca un dato, lógicamente mira primero en la caché L1 y si lo encuentra allí (*cache hit*) lo aprovecha; si no lo encuentra (*cache miss*) pasa a los siguientes niveles de caché, hasta llegar a la memoria principal.

El mundo de las peculiaridades técnicas del diseño de las memorias caché es apasionante, aunque sin duda también absolutamente complejo, a un nivel muy por encima de lo que pretende este libro; sólo por nombrar dos detalles, decir que las cachés multinivel (L1 y L2, generalmente) pueden ser:

- **Inclusivas:** Todo el contenido de la caché L1 está duplicado en la caché L2. Es el esquema habitual en microprocesadores Intel, tiene la ventaja de que cuando un dato se comprueba que no está en una caché, ya no hace falta buscar en la otra.
- **Exclusivas:** El contenido de la caché L1 no está duplicado en la caché L2, lo que evidentemente ahorra espacio de caché; esto no tiene especial relevancia en microprocesadores de gama media o alta, pero sí en los de gama baja con cantidades de caché L2 muy reducidas. Es el esquema seguido por los micros AMD.

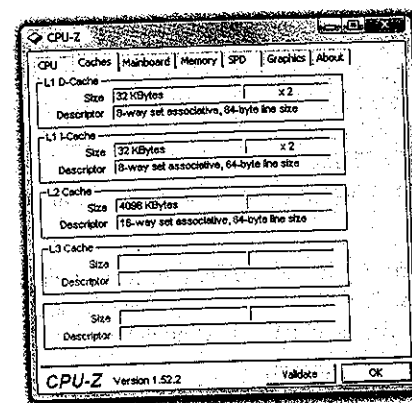


Figura 2.11. Características de la caché de un Intel Core 2 Duo T7300

Otra cuestión técnica que podría desear investigar es la de la **asociatividad** de la caché, el número de posiciones de la memoria caché donde se puede colocar un nuevo dato; como ese dato deberá sustituir a otro (el tamaño de la caché es muy pequeño), cuanto mayor sea la asociatividad (mejor 4-way que 2-way, por ejemplo) más posibilidades habrá de encontrarle un hueco que no eche fuera un dato de demasiado interés... para empezar, habría más consideraciones al respecto.

Actualmente, aumentar el tamaño de las cachés L2 y/o L3 (la L1 requiere rediseñar excesivamente el núcleo) es uno de los métodos más empleados para aumentar el rendimiento. Muchos modelos de microprocesador modernos son idénticos excepto por su cantidad de cachés L2 y L3, que suponen un enorme porcentaje de sus millones de transistores, ocupando la mitad o más de la superficie del núcleo del chip.

2.3.4. Tecnología de fabricación (micras o nm)

Este parámetro puede llegar a tener bastante importancia, tanto para el fabricante como para el comprador del microprocesador. Normalmente lo avanzado de una tecnología de fabricación (o "de proceso") se indica mediante la mitad de la distancia entre dos elementos consecutivos de una parte sencilla del chip, como una celda de memoria (aunque también se habla de la longitud de puerta del transistor, un valor casi la mitad de pequeño).

Al tratarse de dispositivos microscópicos, de los que se integran millones en menos de un centímetro cuadrado, podrá suponer que hablamos de dimensiones bien pequeñas; tanto, que se miden en décimas de micra (una micra es la milésima parte de un milímetro) o en decenas de nanómetros (nm, la millonésima parte de un milímetro). A lo largo de la historia de los microprocesadores PC, se ha pasado de la tecnología de fabricación de 3 micras (3.000 nm) a las actuales de 45, 40 y 32 nm, e Intel, TSMC, Samsung y otros comenzarán en 2012 la producción masiva con tecnologías de 28 y 22 nm.

Por supuesto, no se reduce por puro afán de demostrar hasta dónde llegan los avances tecnológicos:

- Al reducir el tamaño de los elementos puede obtenerse un mayor número de microprocesadores de cada oblea, reduciendo los costes y permitiendo abaratar los precios (si el fabricante quiere).
- Se posibilita alcanzar mayores velocidades de reloj (GHz).
- Disminuye el voltaje necesario para el funcionamiento y por tanto el calor generado (aunque se hace más difícil de eliminar por reducirse la superficie de disipación).
- Y se pueden incorporar nuevos elementos, como memorias caché L2 de enorme tamaño (en la época del Pentium II de 0,25 micras, 250 nm, instalar apenas 512 KB de caché L2 requería varios chips externos al microprocesador, mientras que hoy se integran 4 ó 8 MB en un núcleo mucho más reducido que uno cualquiera de aquellos chips de caché).

Sin embargo, los avances en este campo empiezan a ser problemáticos... y posiblemente no continúen mucho tiempo, porque ya se está teniendo que cambiar gran parte de los materiales (quién sabe si incluso se abandonará el silicio) y las inversiones en reducir el tamaño (miles de millones de euros por fábrica) empiezan a ser *muy difíciles* de amortizar.

Un dato curioso es que la reducción de tamaño de los micros modernos, con sólo 112 milímetros cuadrados para un Pentium 4 con 1 MB de caché, ha dificultado su refrigeración: ese mismo Pentium 4 podía disipar más de 100 vatios de forma continua, una auténtica barbaridad. Si seguimos así acabaremos reduciendo el micro a un filamento incandescente.

Disipar hasta un vatio por milímetro supone al fabricante tener que añadir un disipador integrado en el encapsulado; lo que supone al usuario es tener que añadir refrigeración mediante un enorme disipador (mejor con núcleo de cobre y *heatpipes*) y un ruidoso ventilador. Por cierto, otros micros como los Intel Core 2, Core i7 / i5 / i3, AMD Athlon II y Phenom II, etc., se calientan mucho menos, gracias a que su diseño más eficiente les permite trabajar a menos GHz.

2.3.5. El voltaje del microprocesador

Este parámetro no tiene ningún misterio especial: deberá ser el que diga el fabricante y cuanto menor sea menor será el calor generado. Por otro lado, aumentar el voltaje es extremadamente peligroso (podemos freír el chip), pero puede ser necesario cuando se realiza *overclocking* (que es una técnica peligrosa, que anula la garantía de los componentes).

Antiguamente los microprocesadores se conectaban a un único voltaje, aunque desde el Pentium MMX se han empleado distintos voltajes para el exterior del chip (*I/O*) y para el núcleo, que es el voltaje que verdaderamente interesa (el *core voltage* o *Vcore*), actualmente 1,4 voltios o incluso menos. En los Phenom y Core i7 / i5 / i3, incluso se usan voltajes distintos para el núcleo en sí y para el llamado "un-core", el controlador de memoria y la caché L3 integrados.

2.3.6. Tipos de núcleo y sus mejoras

Las características de un microprocesador, tanto físicas como lógicas, pueden variar mucho a lo largo de los años; aunque parte del diseño siempre se mantiene, durante el tiempo que se emplea una determinada marca comercial el microprocesador evoluciona, fabricándose diversas **versiones del núcleo** que suelen identificarse mediante el nombre clave utilizado internamente en la empresa fabricante durante su proceso de desarrollo (normalmente muy bien conocido, no me pregunte cómo).

Pongamos un ejemplo: los "Pentium 4" realmente fueron varios núcleos bastante distintos: *Willamette*, *Northwood*, *Prescott*, *Prescott 2M* (con 2 MB de caché L2 y otras mejoras) y *Cedar Mill* (fabricado con tecnología de 65 nm). No sólo cambiaron mucho a nivel físico (distintos encapsulados y zócalos, distintos voltajes, distintas velocidades de bus, distintas cantidades de caché), sino que además incorporaron mejoras internas que hacían que un núcleo *Prescott 2M* o *Cedar Mill* se pareciera poco a los primeros Pentium 4 *Willamette*, como:

- Nuevos conjuntos de instrucciones (SSE3 y EM64T / Intel 64).
- Monitorización térmica del chip.
- Hyper-Threading y *pipelines* más largos (más sobre estas dos tecnologías para mejora del rendimiento en un minuto).
- Tecnología de virtualización, para ejecutar a la vez dos sistemas operativos con un rendimiento y estabilidad aceptables (aunque la inmensa mayoría de usuarios no usa esto jamás... una pena).
- Execute Disable Bit, una técnica para impedir determinados problemas relacionados con los virus y otros programas "malignos"; sin embargo, permítaseme dudar un poco de su utilidad, no sustituye en absoluto a un buen antivirus con *firewall* y anti-spyware. Sin embargo, Intel no podía dejar de introducirlo si AMD acababa de hacerlo en sus últimos Athlon 64...

Además, de vez en cuando se realizan revisiones que no varían el diseño principal, pero sí pulen pequeños defectos; éstas se identifican perfectamente mediante un código denominado *stepping*, que puede leerse mediante utilidades de identificación del micro como las de las figuras 2.10, 2.27 y 2.32.

2.3.7. Microprocesadores con núcleo múltiple (*dual core*, *quad core*, etc.)

Aumentar indefinidamente la velocidad de reloj resulta muy complejo sin rediseños importantes del microprocesador y carísimos avances en tecnología de fabricación. Por tanto, hay que buscar nuevos sistemas para mejorar el rendimiento, y sin duda uno bastante eficaz sería emplear varios microprocesadores en lugar de uno.

El soporte de **multiprocesador** (en general en su vertiente de "simétrico", SMP, con recursos compartidos como la memoria) no es nada nuevo; sin embargo, siempre había sido molesto y caro, por requerir una placa base con dos zócalos (o cuatro o incluso ocho), cuyos circuitos son complejos, además de duplicar los

requisitos de refrigeración y consumo de la fuente de alimentación. La solución ha sido aprovechar las ventajas de las tecnologías de fabricación modernas para incluir **varios núcleos (cores) en un único encapsulado**; casi siempre dos o cuatro, y de ahí lo de *dual core* o *quad core*... que me parece un poco tonto, es perfectamente traducible al español. Actualmente, prácticamente todos los micros que se venden en el mercado incluyen como mínimo dos núcleos.

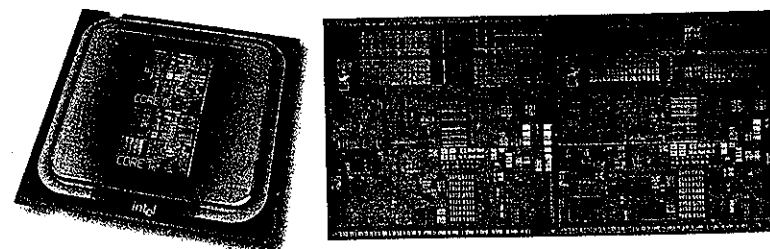


Figura 2.12. Microprocesador Pentium D y detalle de su doble núcleo

Los micros con múltiples núcleos tienen **ventajas** evidentes:

- Solventan las dificultades que presenta mejorar el rendimiento en micros con un único núcleo aumentando sólo la velocidad de reloj.
- Ofrecen una mejor respuesta del sistema durante la multitarea; por mal que se reparta el trabajo, se reparte entre varias CPU.

Sin embargo, también tienen su dosis de **problemas**, no crea:

- Aumentan el calor total a disipar, siendo más difícil refrigerarlos y expulsar dicho calor de la caja del PC silenciosamente.
- Deben fabricarse a velocidades de reloj algo más bajas, para poder ser refrigerados sin métodos muy costosos.
- Necesitan un ancho de bus elevado, pero a menudo emplean buses diseñados para una única CPU; esto es menos grave en el caso de los AMD, por lo avanzado del bus HyperTransport. Lo mismo puede decirse de sus sistemas de acceso a la caché.
- Aún hoy existen muchos programas software que funcionan mejor con un micro de uno o dos núcleos muy rápidos en lugar de cuatro o más núcleos más lentos, los programadores deben optimizar para multiproceso para que sea realmente útil; por ejemplo, los juegos han tardado en aprovechar los micros de varios núcleos.

Este campo es complejo, aunque afortunadamente las recientes tecnologías Turbo Boost y Turbo Core han permitido aprovechar mejor los micros de muchos núcleos con cargas diseñadas para pocos... pero tampoco hacen milagros, como ha aprendido AMD por las malas con su FX "Bulldozer", un micro demasiado orientado a cargas para muchos núcleos.

2.3.8. Marca (¿Intel o AMD?)

Hoy por hoy puede que a alguien le parezca absurdo tener que explicar que AMD es tan buen fabricante como Intel; a mí me lo ha parecido *siempre*. Lamentablemente, la discusión sobre qué micros son mejores es un tema que surge múltiples veces, con una intensidad sólo igualada por las disputas religiosas y futbolísticas.

Por supuesto, esta cuestión ya empezó siendo bastante estúpida; en los primeros tiempos del PC, AMD fabricó sus productos bajo licencia de Intel, igual que otras muchas empresas, así que sus micros debían ser *idénticos* a los de Intel... porque eran micros de diseño Intel, realmente. Cuando Intel iba a lanzar el 386 se cortó esta idílica relación, que acabó de la peor manera posible: en los tribunales.

La disputa se alargó varios años, durante los cuales AMD debió ingeniárselas para sacar microprocesadores compatibles Intel sin ningún tipo de ayuda, algo en lo que triunfó (al igual que otras empresas, hoy por hoy difuntas o retiradas de la carrera).

Posteriormente los diseños se han ido separando cada vez más, hasta ser absolutamente distintos (por supuesto, necesitan placas base específicas) tanto en su diseño como en sus habilidades: *no existe un micro mejor que otro sólo por ser de uno u otro fabricante, es una cuestión de para qué se usará y de cuánto se esté dispuesto a pagar*.

Por ejemplo, los Core i5 "de segunda generación" sin duda son más rápidos que los AMD A6 Fusion Llano en prácticamente todas las aplicaciones... *excepto* en juegos 3D utilizando sus controladoras integradas. Y los Fusion Brazos para netbooks, como el E-450, "dan un repaso" a los Atom. Y sí, hoy en día nada supera a un Core i7 de gama alta... pero son bastante caros, ojo; el rendimiento sólo importa cuando se le pone un precio concreto.

Información: Lo que no debe dudar jamás es que la compatibilidad a nivel de software está garantizada: si un programa fallase (cosa increíble) sería por estar realmente mal diseñado, casi a propósito.

2.3.9. Mejorando el rendimiento: *pipelining*, ejecución especulativa y Hyper-Threading

Antes de entrar en la inevitable visión histórica de la evolución de los microprocesadores, llena de nombres y cifras, veamos algunas zarandajas de índole más técnica con las que los fabricantes intentan mejorar el rendimiento de los microprocesadores, más allá del simple "¡más GHz, es la guerra!".

La primera es el *pipelining* (existen traducciones para esta técnica, pero se emplean poco). Los primeros microprocesadores no la empleaban, de manera que para ejecutar una instrucción debían realizar cada paso necesario uno a uno, un paso por cada ciclo de reloj; de esta manera, si por ejemplo se necesitaban cuatro pasos para ejecutar una instrucción, se consumían cuatro ciclos de reloj, por lo que el número de instrucciones por segundo (IPS) de ese microprocesador era igual a su velocidad de reloj entre cuatro.

(Haciendo un inciso, el número de instrucciones por segundo, generalmente medido en millones y por tanto denominado **MIPS**, es un sistema bastante básico y antiguo para medir el rendimiento bruto de un microprocesador; un sistema ligeramente mejor es emplear las pruebas estándar de la organización SPEC, como SPECint y SPECfp para el rendimiento de enteros y de coma flotante respectivamente, pero en la práctica lo mejor es recurrir a programas reales, como los que emplean demos de juegos 3D comerciales. Al final del capítulo anterior se ha incluido alguna referencia web de interés a este respecto.)

Bien, con el *pipelining* lo que se hace es dividir las unidades de ejecución del microprocesador en etapas secuenciales (el récord lo ostentó el Pentium 4: 31 etapas, lo que sin duda se merecía su calificativo comercial de "*super-pipelining*"), de manera que las unidades puedan estar trabajando en varias instrucciones a la vez; en lugar de tardar varios ciclos de reloj en ejecutar cada etapa, se logra ejecutar varias etapas por cada ciclo de reloj. Además, el *pipelining* **facilita alcanzar grandes velocidades de reloj**, motivo por el que los primeros microprocesadores Pentium 4 supusieron un enorme aumento de los GHz respecto a los anteriores Pentium III... pero no del rendimiento.

En cuanto a los **problemas del *pipelining***, aparecen cuando las instrucciones que estamos ejecutando no son independientes, sino que el resultado de unas es necesario para ejecutar las otras; esto es especialmente grave porque los programas a menudo no siguen el esquema lineal que sería ideal, sino que se desvían por distintos caminos ante una bifurcación condicional. Por ello, un elemento de los más importantes del microprocesador (especialmente en diseños con *pipelines* muy largos, como los del Pentium 4) es el **branch predictor** (predictor de bifurcaciones o saltos de programa, a veces llamado "de ramas")

refiriéndose a los posibles caminos a seguir en lugar de a la bifurcación en sí), que procura adivinar qué camino seguirá el programa para evitar la situación más horrible posible (pero no infrecuente) con un *pipeline* largo: tener que vaciarlo entero por un error de predicción.

Para reducir lo más posible los problemas del *pipelining*, Intel (muy interesada por este tema, porque el diseño del Pentium 4 no permitía prescindir de *pipelines* cada vez más largos) ha utilizado una técnica complementaria a la predicción denominada **ejecución especulativa**, que consiste en la ejecución inmediata de la rama de la bifurcación considerada más probable, *antes* de que se sepa si efectivamente es la correcta (para mantener los *pipelines* tan llenos como sea posible).

Si posteriormente se comprueba que la "adivinación" había fallado, evidentemente se abandona esa ejecución y se empieza la de la rama correcta de la bifurcación. La cuestión es no estar parados; nunca.

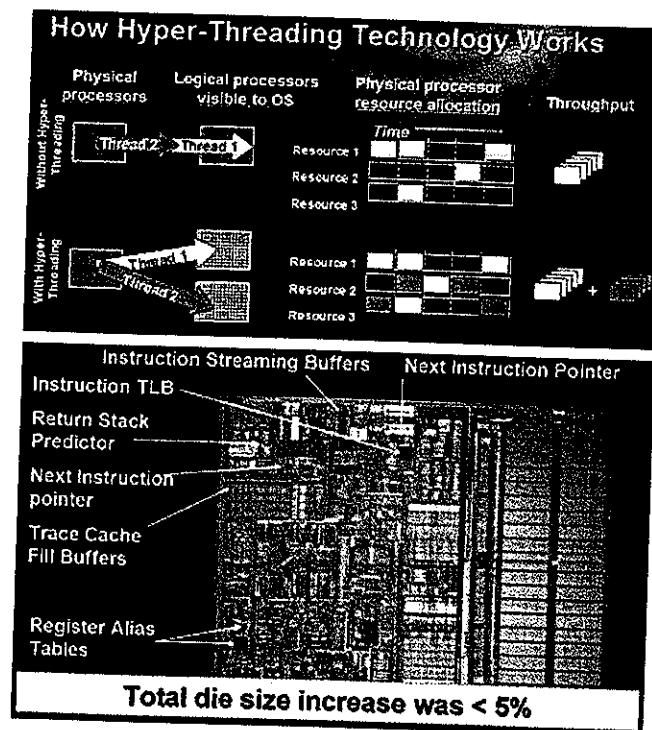


Figura 2.13. La tecnología Intel Hyper-Threading

Finalmente, cambiemos algo de tercio y vayamos con otra técnica de mejora del rendimiento que en este caso no es que sea más importante o necesaria en microprocesadores Intel: es que es *exclusiva* de este fabricante (hoy por hoy y en el mundo PC), pero sólo en modelos concretos desde la época del Pentium 4. Hablamos de la **tecnología Hyper-Threading**, una marca comercial que podríamos traducir como hiper-hilo. Un "hilo" es una parte de un programa que puede ejecutarse como una tarea independiente; la idea de Hyper-Threading es aprovechar al máximo las unidades de ejecución llenándolas en paralelo (a la vez) con instrucciones de diferentes hilos, reduciendo la gravedad de fallos constantes e inevitables como errores de predicción de bifurcación o un fallo de caché. La cuestión es no estar parados; nunca. Lo he dicho antes, lo sé; me reafirmo.

Para facilitar el empleo de la técnica multi-hilo simultáneo (SMT) que es Hyper-Threading, un microprocesador que disponga de esta función (sólo se implementa en modelos concretos) tiene duplicados distintos recursos sencillos que según Intel suponen aumentar su tamaño en sólo un 5%, presentándose ante el sistema operativo como dos microprocesadores, *evidentemente virtuales*; no tiene nada que ver con el soporte real de doble núcleo. Los requisitos para usar Hyper-Threading son:

- Un microprocesador que soporte esta tecnología.
- Soporte del chipset.
- Soporte de la BIOS y que esté habilitada en ella.
- Un sistema operativo con soporte para múltiples procesadores (multiproceso simétrico, **SMP**); idealmente Windows XP, Vista o 7, pero ya con Windows 2000 era posible (y con Linux, claro).

El aumento de rendimiento que supone Hyper-Threading es una cuestión que ha llenado numerosas páginas, porque no existe una única respuesta clara al depender enormemente del tipo de software que se esté utilizando; en realidad, incluso de la versión concreta de un programa concreto. En muchos casos no se aprecia mejora alguna al activar Hyper-Threading, o incluso podría bajar el rendimiento ligeramente (aunque nunca más de un 5%); en otros casos los aumentos de rendimiento reales pueden ir del 10% al 25%. No está mal, considerando que en realidad sale casi gratis.

Hace un par de ediciones comentaba que "dado que los micros de última generación son todos de núcleo múltiple y por tanto multi-hilo de forma nativa, Intel decidió no implementar Hyper-Threading en los Core 2... *por ahora*, porque es una tecnología útil que podría aparecer de nuevo en cualquier momento". Y acerté de pleno (a veces también fallo de pleno, me temo): actualmente la emplean muchos modelos de Core i7 / i5 / i3... ¡y todos los "modestos" Atom!

2.4. Historia de los microprocesadores PC

Vamos a ver ahora los principales microprocesadores empleados en los ordenadores "compatibles IBM PC" desde 1981 y en los Apple Macintosh desde 2006; veremos unas cuantas *decenas*, pero no me atrevo a decir que son "todos" porque muy probablemente nos dejemos en el tintero alguna versión concreta de escasa difusión. Además, por motivos de espacio y falta de utilidad en la actualidad, los datos sobre los anteriores al Intel Pentium 4 y al AMD Athlon se ofrecen más reducidos que en las primeras ediciones. De todas formas, creo que la lista le parecerá bastante completa y entrar en aún más detalles podría ser útil para algún lector concreto, pero sin duda también muy aburrido y requeriría un libro entero dedicado a este tema (se han escrito unos cuantos, no crea).

2.4.1. La Ley de Moore

Antes de empezar con la lista de microprocesadores en sí, no puedo evitar caer en la tentación de comentar la famosa "ley" (en un sentido coloquial, por mucho que algunos intenten darle tal rango) establecida por el cofundador de Intel Gordon E. Moore, que enunciada en su forma más conocida sería: *"El número de transistores de un microprocesador se dobla cada 18 meses"*. En realidad, parece ser que la frase no fue pronunciada exactamente de esa forma por Moore *jamás*, pero el caso es que la idea general se ha demostrado cierta: los microprocesadores han seguido un crecimiento exponencial, aunque no cada 18 meses, sino cada 24 meses. O eso dicen los que lo han calculado en detalle; yo lo he hecho con una calculadora rápidamente y el resultado me satisface: un Intel 4004 de 1971 tenía 2.300 transistores y un Xeon Westmere-EX de 2011 unos 2.600 millones; una Ley de Moore de 24 meses daría 2.412 millones. En mi opinión, un ajuste muy bueno... por el momento, 38.587 millones se me hace demasiado para 2019.

Lo realmente importante de la Ley de Moore es que demuestra el empuje de la industria del semiconductor: no se detiene jamás, por duro que sea el obstáculo. Nuevos diseños, menores tecnologías de fabricación, nuevos materiales, varios núcleos... lo que haga falta para no dejar en mal lugar a Moore.

2.4.2. Primeros microprocesadores PC: del 8088 al Pentium III (y compatibles)

Los principales datos sobre estos microprocesadores se incluyen en la tabla 2.1; los datos son tan fiables como pueden ser, considerando que en algunos casos se fabricaron versiones puntuales "de lanzamiento" o bien sumamente especializadas

y que AMD y otros realizaron sus propias versiones compatibles o "clónicas"... generalmente por su cuenta y riesgo, pero a veces incluso bajo licencia expresa de Intel, como el AMD / Intel 8088 de la figura 2.14.

Tabla 2.1. Características clave de los primeros microprocesadores PC

Micro	Proceso (micras)	Registros (bits)	Ancho bus (bits)	MHz (mín.-máx.)	Año
8088	3	16	8	4,77 - 16	1979
8086	3	16	16	4,77 - 10	1978
286	1,5	16	16	6 - 20	1982
386SX	1	32	16	16 - 33	1988
386SL	1	32	16	20 - 25	1990
386DX	1,5 - 1	32	32	16 - 40	1985
486SX	1 - 0,8	32	32	16 - 33	1991
486DX	1 - 0,8	32	32	20 - 50	1989
486DX2	0,8	32	32	50 - 66	1992
486DX4	0,6	32	32	75 - 120	1994
Pentium	0,8 - 0,35	32	64	60 - 200	1993
Pentium MMX	0,35	32	64	166 - 233	1997

Comentando un poco los datos de la tabla 2.1, el **Intel 8088** fue el microprocesador elegido por IBM para su PC, a una velocidad que hoy en día resulta risible: 4,77 MHz (0,00477 GHz). Era una versión recortada del **8086**, con un bus de datos externo de sólo 8 bits en lugar de los 16 bits del 8086.

El 8088 tenía la friolera de 29.000 transistores y un encapsulado de los más clásicos, tipo DIP, un rectángulo con los conectores en forma de patas rectas en sus dos laterales largos. En los países de influencia soviética se "clonó" masivamente, costumbre muy propia de la entonces aún activa guerra fría.

Tanto el 8088 como el 8086 podían direccionar la misma cantidad de memoria, 1 MB, pequeña limitación que ya hemos comentado que arrastran todos los microprocesadores posteriores cuando trabajan en "modo real" de compatibilidad con estos micros (por ejemplo durante el arranque). El 8086 tiene el honor de haber dado nombre a la arquitectura "x86", aunque luego el 386 la transformase en "IA-32".

El **Intel 80286** 6 286 fue bastante importante porque añadió el modo protegido del que hablamos al comienzo del capítulo y podía direccionar hasta 16 MB de memoria (empleando 24 bits en lugar de los 20 del 8086), una barbaridad casi

imposible de pagar con los precios de entonces. Físicamente empezó a utilizar el encapsulado PGA; IBM lo usó en su modelo AT (*Advanced Technology*), en su momento toda una revolución, con ranuras ISA de 16 bits, nada menos. Por ello, muchos ordenadores "clónicos" que incluían un 286 se conocieron como AT.

El **Intel 386 (80386DX)** supuso una tremenda revolución, además del comienzo de la guerra entre los fabricantes de microprocesadores, con la retirada de licencias por parte de Intel, la fabricación de clones "no autorizados" y numerosas demandas legales cruzadas. Fue el primer micro de 32 bits para PC, que en la versión 386 "completa" (la DX) lo era del todo: registros de 32 bits, direccionamiento a memoria de 32 bits (hasta 4 GB de memoria, cifra increíble en aquel entonces) y bus de datos de 32 bits. El primer PC que utilizó este micro no fue de IBM, sino de Compaq; las cosas empezaban a cambiar. El 386 sentó las bases del funcionamiento moderno con el modo protegido de 32 bits empleado desde el principio en sistemas operativos modernos como Linux y el modo real virtual para ejecutar software diseñado para los micros 8086 desde el modo protegido; por ello, la arquitectura x86 pasó a llamarse en muchos círculos IA-32.

El 386 aún no incluía memoria caché (algunas placas base tenían pequeñas cantidades externas, entre 32 y 256 KB) y admitía el uso de un **coprocesador matemático**, el **80387 ó 387** de Intel o uno compatible, que se instalaba en un zócalo PGA de de la placa base, disparando el rendimiento en coma flotante respecto a la emulación por software; imprescindible para programas como AutoCAD.

La costumbre de las versiones recortadas continuaba, porque supuestamente reducía los costes; puede que en este caso todavía fuese cierto, aunque luego no lo ha sido tanto. El **Intel 386SX** se destinó a los sustitutos de los AT (y se utilizó muchísimo), con bus externo limitado a 16 bits y direccionamiento de "sólo" 16 MB de memoria (mucho más de lo que podíamos pagar la inmensa mayoría de usuarios).

Por otro lado, el **386SL** era una versión de bajo consumo del 386SX, destinada a PC portátiles; incluía algunas funciones internas de ahorro de energía, algo revolucionario por aquel entonces.

El **Intel 486 (80486)** podía considerarse un 386 con coprocesador matemático y caché (8 KB, que eran "caché L1" si la placa base tenía su propia caché "L2") integrados y algunas mejoras internas adicionales; AMD y Cyrix fabricaron modelos compatibles de gran éxito.

Existieron numerosas versiones, como el modelo **Intel 486SL** de bajo consumo, para equipos portátiles, o el **Intel RapidCAD**, para placas de 386, con un falso coprocesador matemático para su zócalo al tenerlo ya integrado el micro principal. El **Intel 486SX** tenía menos justificación, excepto la comercial: era idéntico a un DX, con el coprocesador matemático deshabilitado en fábrica, eran DX defectuosos o simplemente "capados". Al aumentar la velocidad de los microprocesadores se hizo evidente que no se podría mantener la velocidad del bus externo a la misma

velocidad que la interna, el resto de componentes del PC no estaban a la altura; por ello, se empezaron a utilizar multiplicadores que hiciesen funcionar al interior del micro un cierto número de veces más rápido que la velocidad de bus.

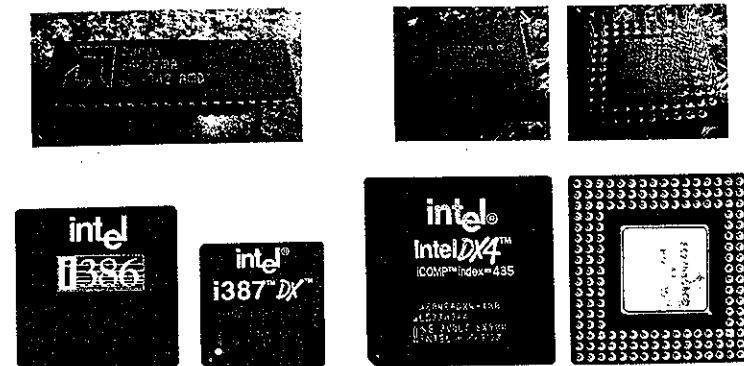


Figura 2.14. Primeros microprocesadores IBM PC: 8088, 286, 386 y su coprocesador 387 y 486 (DX4)

En el caso de los **486DX2**, este multiplicador era "2x", y en los **486DX4** era "3x" (el marketing Intel se imponía a las matemáticas, 3x en lugar de 4x... excepto en un modelo de AMD, el Am5x86 ó AMD 5x86 de 133 MHz con bus a 33 MHz). Lamentablemente, estos microprocesadores tenían ya una velocidad que hacía imprescindible añadir alguna clase de refrigeración, como mínimo un disipador.

2.4.2.1. Intel Pentium y compatibles

Con la increíblemente exitosa marca registrada "Pentium", Intel pretendía evitar que sus competidores aprovecharan para sus micros la misma numeración. Ciertamente, aunque los "clónicos o compatibles" fuesen tan buenos o mejores que los Intel, mucha gente los compraba sin ser informada de su marca por vendedores poco escrupulosos; y que se sintiesen engañados al darse cuenta del cambio no favorecía a la imagen de AMD y Cyrix, la verdad.

El Pentium clásico inauguró el bus externo de 64 bits (algo muy importante para el acceso a la memoria) y la arquitectura superescalar con doble *pipeline* de ejecución, entre otras mejoras... aunque empezó su historia verdaderamente mal, los dos primeros modelos (a 60 y 66 MHz) se calentaban demasiado y además tenían un defecto en su coprocesador matemático integrado, que aunque rara vez llegaba a afectar a los cálculos ni era admisible ni daba buena publicidad. Posteriormente el Pentium mejoró bastante, cambió de zócalo (tiene una lista de zócalos en el

capítulo sobre la placa base), voltaje y proceso de fabricación. Al final incluso se sacó una revisión, el **Pentium MMX**, con el doble de caché L1 (hasta 32 KB) y una serie de instrucciones nuevas, llamadas "MMX", para mejorar el rendimiento multimedia; eran muy inferiores a otras posteriores como las SSE, pero comercialmente se usaron hasta la saciedad, con fuertes campañas de publicidad del "*Intel Inside*" (Intel dentro) que mostraban conjuntos de técnicos electrónicos bailarines con llamativos trajes de colores como los utilizados en las mucho menos entretenidas salas limpias de las fábricas de semiconductores.

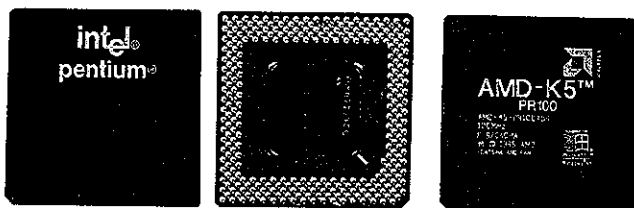


Figura 2.15. Intel Pentium de 133 MHz y AMD K5 PR100

Lógicamente, aunque seriamente perjudicadas por no poder utilizar la marca "Pentium", AMD y Cyrix no se quedaron quietas y sacaron sus micros **AMD K5** y **Cyrix 6x86 (M1)**, más "compatibles" (a nivel de zócalo y de software) que "clónicos", porque internamente empezaban a diferenciarse de manera muy importante de los diseños de Intel; las placas base debieron hacerse compatibles con un amplio rango de velocidades de bus, multiplicadores y voltajes.

Algunos de estos micros eran incluso más rápidos que los Intel, como el **AMD K5 PR133**, que funcionaba a 100 MHz pero que rendía aproximadamente como un Pentium de 133 MHz. Sin embargo, los 6x86 ó M1 tuvieron peor fama por su mal rendimiento matemático (peor que el de los AMD K5, que ya era algo menor que el de los Pentium), calentarse en exceso (algo corregido con los 6x86L) y no ser totalmente compatibles con el Pentium a nivel de instrucciones. En todo caso, IBM fabricó no pocos de estos chips.

2.4.2.2. Pentium Pro, Pentium II, Pentium III y primeros Celeron

Lanzado en 1995, el **Pentium Pro** o "**P6**" supuso un importantísimo avance en la arquitectura de los microprocesadores Intel, tenía diferencias internas muy importantes respecto a los diseños Pentium anteriores:

- era más superescalar;
- su unidad matemática era aún más rápida;

- tenía una avanzada predicción de bifurcaciones con ejecución especulativa;
- y tenía la caché de segundo nivel (L2) en el encapsulado del chip (aunque en un *die* propio, aún no en el mismo *die* del micro), comunicándose mediante un bus "trasero" a la misma velocidad que el microprocesador.

Su número de transistores era tremendo, debido a la integración de la caché L2: 22 millones de transistores en la versión con 256 KB, mientras que un Pentium MMX no llegaba a 5 millones. Su velocidad de reloj era algo más discreta, hasta 200 MHz, con bus FSB a 60 ó 66 MHz.

Eso sí, el Pentium Pro tenía un marcado *carácter profesional*: era muy caro (consecuencia de la dificultad de integrar dos *dies* en el mismo encapsulado), empleaba un enorme zócalo rectangular llamado Socket 8 y *necesitaba* ejecutar software sólo de 32 bits. Con software de 16 bits, o incluso una mezcla de 32 y 16 bits como Windows 95, su rendimiento era incluso menor que el de un Pentium clásico; por eso se centró en el mercado profesional, bajo Windows NT, OS/2 o Linux.

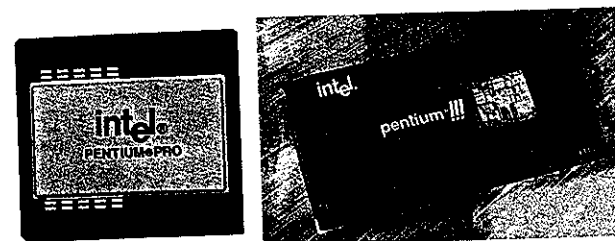


Figura 2.16. Intel Pentium Pro y Pentium III para Slot 1

Reutilizando el diseño del Pentium Pro, un año y medio más tarde se lanzó el **Pentium II**, con mejoras que permitían venderlo como un micro para todos los usuarios: se mejoró el rendimiento con software de 16 bits (que debía haber estado en desaparición para ese momento, pero se resistía), se añadieron las instrucciones MMX (poco útiles, pero no costaba nada ponerlas) y se sacó la caché L2 fuera del micro. O casi.

El Pentium II resultaba inconfundible por utilizar un gran formato de tipo cartucho, negro, que se insertaba en una ranura llamada **Slot 1**. Dentro del cartucho había una placa de circuito sobre la que se situaban el micro en sí y la caché L2 (512 KB) en forma de chips de SRAM independientes, funcionando a la mitad de la velocidad del micro; un retroceso respecto a la caché del Pentium Pro, pero muchísimo más barato de fabricar.

Del Pentium II se fabricaron dos tipos de núcleo (desde entonces es habitual interesarse por el tipo de núcleo, porque a veces introducen cambios muy significativos):

- *Klamath*, de 0,35 micras, de hasta 300 MHz; y
- *Deschutes*, de 0,25 micras, de hasta 450 MHz (como ya explicamos, cuanto menor es la tecnología de fabricación mayor puede ser la velocidad de reloj y menos se calienta el micro).

La velocidad de bus original fue de 66 MHz, aunque llegó hasta 100 MHz con *Deschutes*.

Los primeros **Intel Celeron** fueron una versión recortada de este micro, sin ninguna caché L2, lo que penalizaba mucho su rendimiento. Posteriormente se sacó un nuevo núcleo Celeron mucho mejor, con 128 KB de caché a la misma velocidad que el núcleo: el *Mendocino* o "Celeron A".

El siguiente microprocesador basado en el diseño del Pentium Pro fue, en 1999, el **Pentium III**, también con varios núcleos de nombre famoso:

- *Katmai*, de 0,25 micras y hasta 600 MHz, que añadió las instrucciones SSE, mucho más completas que las MMX (que todavía seguían ahí, por supuesto).
- *Coppermine*, el "auténtico" Pentium III: la utilización de la tecnología de 0,18 micras permitió integrar la caché L2 (256 KB) dentro del *die* del microprocesador y *hacerla funcionar a su misma velocidad*.
- *Tualatin*, de 0,13 micras, que no tuvo la importancia comercial que se habría merecido, al llevar ya Intel bastantes meses y mucho dinero invertidos en el Pentium 4. Una pena, porque tenía 512 KB de caché L2 integrada, bus de 133 MHz y alcanzó hasta 1.400 MHz (1,4 GHz).

La integración de la caché L2 permitió abandonar para siempre el Slot 1, volviéndose a un formato de encapsulado tipo PGA para zócalo, llamado **Socket 370** (para aprovechar las placas Slot 1 se desarrollaron muchos modelos de adaptadores de Socket 370 a Slot 1, bastante económicos).

La marca **Celeron** disponía de modelos Socket 370 basados en Pentium III, que empleaban el núcleo *Coppermine-128*: lo adivinó, un *Coppermine* con 128 KB de caché L2 integrada. Buenos micros, pero penalizados de manera artificial hasta los 766 MHz debido a un ridículo bus de 66 MHz (no era cosa de que hiciesen sombra al hermano mayor); a continuación se les dejó utilizar un bus de 100 MHz, que tampoco era mucho pero con el que se arrastraron hasta los 1,1 GHz.

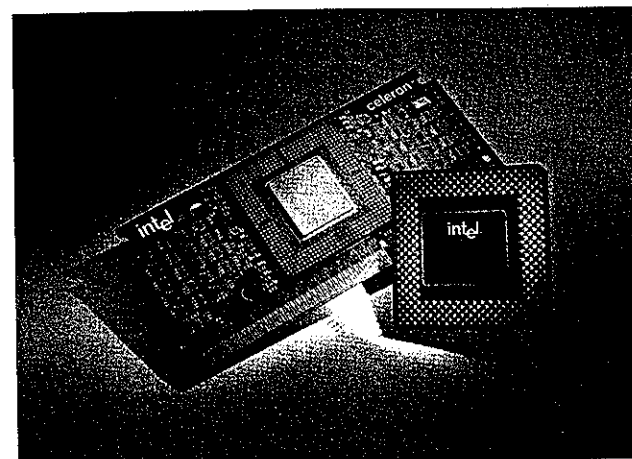


Figura 2.17. Intel Celeron para Slot 1 y para Socket 370

2.4.2.3. Micros OverDrive

Llegados a este punto, hablemos de los microprocesadores que puso Intel en el mercado para que los usuarios pudieran actualizar sus PC sólo con cambiar el micro (aunque su alto precio hacía que cambiar la placa base e incluso ésta y la memoria fuese a menudo la opción más inteligente): los OverDrive. Existieron cuatro familias con diversos modelos:

- **OverDrive 486DX2 y 486DX4:** Microprocesadores 486 para actualizar placas base cuyos zócalos y/o voltajes no eran adecuados para los 486DX2 ó 486DX4 normales. Poco interesantes.
- **OverDrive Pentium para 486:** Micros Pentium para placas 486; el aumento de velocidad conseguido no era excesivo, dada la baja velocidad de bus de estas placas y que sólo podía llegarse a 66 ó 83 MHz, para colmo con elevada generación de calor.
- **OverDrive Pentium para Pentium:** Micros Pentium que fundamentalmente se emplearon para actualizar los dos primeros modelos de Pentium, de 5 V y a 60 ó 66 MHz, doblándoles la velocidad hasta 120 ó 133 MHz; también existieron otros modelos, menos interesantes, para los Pentium de 3,3 V.
- **OverDrive Pentium II:** Un Pentium II a 333 MHz con 512 KB para actualizar placas Pentium Pro. Caro, aunque podía ser rentable en entornos de servidor con alta inversión en micros Pentium Pro.

Intel dejó pronto de fabricar este tipo de micros para actualización, aunque diversas empresas continuaron con la idea, añadiendo reguladores de voltaje, actualizaciones de BIOS y sistemas de voltaje a micros estándar.

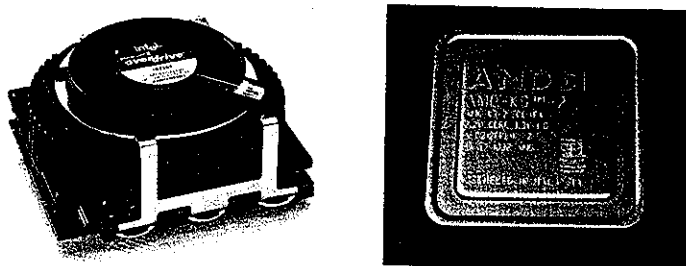


Figura 2.18. Intel OverDrive Pentium II y AMD K6-2

2.4.2.4. AMD K6, K6-2 y otros micros anteriores al AMD Athlon

AMD y los fabricantes de chipsets competencia de Intel, como VIA y ALi, aprovecharon el pronto abandono de Intel de las placas para Pentium y Pentium MMX con zócalo Socket 7 y las mejoraron con mayores velocidades de bus y ranura AGP, denominándolas Super 7 y demostrando que aún eran francamente útiles para micros que en muchos casos estaban a la altura del Pentium II.

El **AMD K6** era un desarrollo basado en gran parte en diseños de una empresa adquirida por AMD, NexGen, como el microprocesador **Nx586**, que había fracasado por no ser compatible a nivel de zócalo con el Pentium; el K6 sí lo era, además de ser un excelente micro, con caché L2 sobre la placa base pero con 64 KB de caché L1, MMX y velocidades de reloj de hasta 300 MHz, aunque con un bus máximo (oficial, sin *overclocking*) de 66 MHz.

La versión **K6-2** tuvo la osadía de introducir su propio conjunto de instrucciones multimedia, las **3DNow!**, además de velocidades de hasta 500 MHz y bus de hasta 100 MHz; no era de extrañar que en aplicaciones no profesionales estuviese como mínimo a la altura del Pentium II.

Finalmente, el **K6-III** no fue excesivamente exitoso, aunque tiene el mérito de haber sido el primer micro AMD en incorporar la caché L2 dentro del encapsulado del microprocesador, 256 KB a la misma velocidad que el micro, utilizando además la caché L2 que pudiera haber en la placa base como caché L3. Esto le daba un rendimiento más que excelente, aunque tal vez demasiado para su tecnología de 0,25 micras: se calentaba bastante, lo que no le permitió funcionar a más de 450 MHz. En todo caso, un digno final para la familia K6.

(Existieron algunas otras versiones de micros de la familia K6, como los K6-2+ y K6-III+, pero tuvieron muy poca presencia en el mercado, casi testimonial; había llegado la hora de diseño más avanzados como el Athlon.)

Otros micros Socket 7 / Super 7 fueron (apenas nombrarlos, no tuvieron mucho éxito y hace mucho tiempo que desaparecieron del mercado):

- **Cyrix 6x86MX (M II):** Lógicamente, un 6x86 con MMX, una especie de Pentium MMX compatible. Tras este chip, Cyrix moriría lentamente, con algo de su legado (poco) en VIA.
- **Centaur IDT WinChip:** Varias versiones (C6, C6+, WinChip2), tipo Pentium MMX pero poco exitosas, bajo rendimiento matemático aunque al final incluyeran las 3DNow!

En general estos chips eran baratos, aunque muy poco extendidos (al menos en España), con un rendimiento bastante bueno en programas de oficina pero escaso o francamente malo en aplicaciones profesionales.

2.4.2.5. Cyrix III, VIA C3 y VIA C7

Como acabamos de comentar, Cyrix desapareció como empresa tras el modelo M II; VIA adquirió sus restos y también a Centaur Technology, lanzando una versión actualizada del diseño WinChip bajo el nombre de Cyrix III.

Posteriormente ha fabricado el VIA C3, uno de los últimos micros en utilizar el Socket 370, aunque más pensado para venderse soldado a la placa base (a menudo de la propia VIA e increíblemente pequeña, 170 x 170 mm o incluso 120 x 120 mm); el rendimiento del C3 es muy discreto pero suficiente para programas de oficina, ver vídeos DVD o DivX y aplicaciones similares, con un consumo y una disipación de calor casi ridículos.

Finalmente, el VIA C7 es una versión más moderna que puede alcanzar hasta 2 GHz con una insignificante generación de calor, 20 vatios; con bus de 800 MHz y soporte de SSE2 y SSE3, ha sido muy interesante para fabricantes de equipos baratos con micros integrados, muy comunes en Asia (véase la figura 2.19).

2.4.3. AMD Athlon y Duron

Si en Intel tienen mucho aprecio a la marca Pentium, en AMD *reverencian* a la marca Athlon. Este microprocesador fue lanzado en el verano de 1999, pocos meses después del Pentium III... al que superaba en casi cualquier aspecto, algo que le hizo falta para convencer a los fabricantes de chipsets y placas base de lo interesante de diseñar modelos específicos para Athlon; AMD incluso se vio obli-

gada a pluriemplearse como fabricante de chipsets, con el AMD 750. El primer Athlon o "K7" se fabricó con tecnología de 0,25 micras y utilizaba un formato tipo cartucho, el Slot A (incompatible con el Slot 1 de Intel), por el mismo motivo que el Pentium II: poder alojar la memoria caché L2 de forma económica, externamente y a una fracción de la velocidad del micro (la mitad, dos quintas partes o la tercera parte, según el modelo).

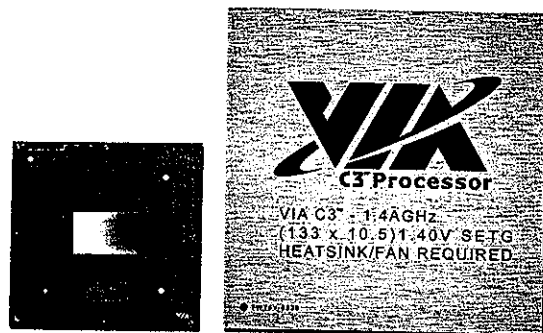


Figura 2.19. VIA C7 (izquierda) y VIA C3, ambos en formato para integración (tamaño real aproximadamente 21 x 21 mm y 35 x 35 mm)

Los avances del Athlon eran numerosos: 128 KB de caché L1 (una barbaridad, el Pentium III sólo tenía 32 KB), bus a 200 MHz (100 MHz físicos con doble aprovechamiento de la señal, a todos los efectos 200 MHz "equivalentes" en lugar de los sólo 100 ó 133 MHz de los Intel), una unidad de coma flotante de altísima velocidad (todo un cambio para AMD, pasó de estar por detrás a comandar este aspecto) y 512 KB de caché L2, aunque fuese externa. Una maravilla, con velocidades de entre 500 y 700 MHz.

Además, el núcleo *Thunderbird* de 0,18 micras mejoró mucho las cosas, al poder integrar la caché L2 dentro del micro (256 KB, ya a velocidad completa) y pasar a un formato para zócalo, que se denominó **Socket A** o **Socket 462** y que ha durado bastante. El mismo camino seguido por Intel, aunque con el mérito de partir de una situación bastante más difícil. Con este núcleo el Athlon llegó hasta 1.400 MHz, con bus de 266 MHz, aunque ya calentándose bastante (véase la figura 2.20).

Dado el éxito del Athlon y el hecho de que la plataforma Socket 7 había desaparecido, el siguiente procesador "económico" de AMD, el **Duron**, se basó muy de cerca en el Athlon; en realidad su primer núcleo, *Spitfire*, era idéntico al *Thunderbird* excepto por tener sólo 64 KB de caché L2 (desde el principio en lugar de desactivando zonas de caché como en algunos Intel, así el *die* es más pequeño y por tanto el chip más barato); empleaba un bus de 200 MHz.

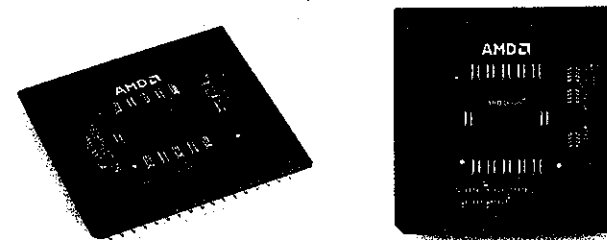


Figura 2.20. AMD Athlon para Socket A y AMD Duron

El Duron fue un excelente micro, muy superior en todos los aspectos a casi cualquier Celeron de Intel excepto quizás los "Celeron D". Los siguientes núcleos Duron fueron *Morgan*, que añadía las instrucciones SSE y llegaba hasta 1.300 MHz, y *Applebred*, con bus de 266 MHz y velocidad de hasta 1.800 MHz.

2.4.4. Athlon XP y Sempron para Socket A

Otro buen y exitoso micro de AMD... o el mismo, porque realmente las mejoras son exiguas y más que nada se realizaron para que siguiese siendo competitivo, ya que el Athlon clásico no podía superar los 1.400 MHz.

El primer núcleo de Athlon XP fue el *Palomino* de 0,18 micras, un Athlon algo optimizado, con nuevas instrucciones (SSE y 3DNow! Professional) y hasta 1.733 MHz (modelo 2100+).

Nota: La velocidad del Athlon XP empezó a designarse mediante un sistema de "rendimiento comparativo", para que no quedasen dudas de que el Pentium 4 podía funcionar a más velocidad de reloj (más MHz o GHz) pero no por eso tenía por qué ser más rápido; este sistema fue seguido luego por otros micros AMD y finalmente incluso por Intel.

A continuación se lanzó el núcleo *Thoroughbred*, cuya primera versión tenía ciertos problemas de calentamiento que le impidieron superar los 1.733 MHz (2100+); *Thoroughbred-B* corrigió estos problemas y permitió llegar hasta 2.250 MHz (2800+). Los *Thoroughbred* empleaban un bus de 266 ó 333 MHz y estaban fabricados con tecnología de 0,13 micras.

Finalmente, los últimos núcleos Athlon XP fueron *Barton* y *Thorton*, en realidad núcleos muy similares a *Thoroughbred* pero con el doble de caché L2, 512 KB, estando la mitad desactivada en el caso del *Thorton* (por fallos en la fabricación o,

más probablemente, por motivos comerciales). Con ellos el Athlon XP llegó hasta 2.200 MHz (3200+). Los núcleos *Thoroughbred* y *Barton* también se emplearon para el modelo Socket A de la nueva marca comercial AMD para micros económicos, el llamado **Sempron para Socket A**, a todos los efectos un Duron o Athlon XP con instrucciones SSE, bus a 333 MHz y 256 ó 512 KB de caché L2.

2.4.5. Pentium 4 y Celeron basado en P4

Hemos visto gran parte del recorrido de AMD desde el verano de 1999, pero Intel no estuvo ni mucho menos parada, claro; en realidad, a finales del año 2000 sacaron al mercado uno de sus modelos más exitosos a nivel de marca comercial, aunque no tanto a nivel técnico: el Pentium 4.

El diseño del Pentium 4 era casi totalmente nuevo, muy distinto a los diseños inspirados en el del Pentium Pro empleados hasta el Pentium III; la idea era realizar un microprocesador que realizase menos trabajo por cada ciclo de reloj, con largos *pipelines* de 20 etapas o más, pero que compensase esto manteniendo los *pipelines* lo más llenos posible y sobre todo alcanzando enormes velocidades de reloj; se dice que esperaban en al menos 7 ó 8 GHz, algo quizás exagerado, pero sin duda sí pensaban en al menos 7 ó 8 GHz. Sin embargo, la así denominada "microarquitectura NetBurst" no salió como estaba previsto, siendo imposible incluso actualmente alcanzar los 5 GHz sin utilizar sistemas de refrigeración complejos y caros.

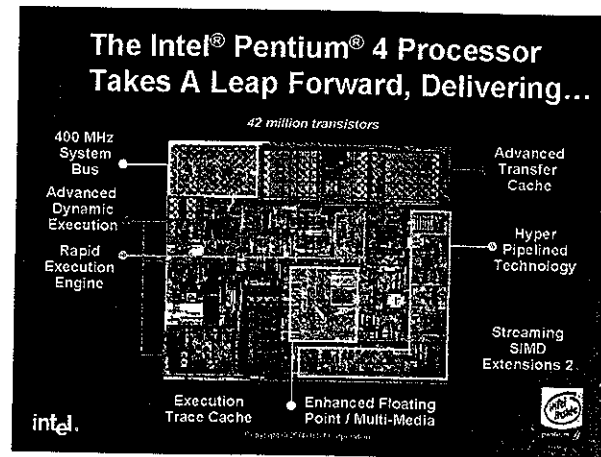


Figura 2.21. Microarquitectura NetBurst del Pentium 4

Para colmo, el primer núcleo Pentium 4, *Willamette*, parecía un tanto "de pruebas": tenía un excelente bus de 400 MHz (100 MHz físicos con cuádruple aprovechamiento), una caché no muy grande pero muy optimizada (caché L1 de 8 KB para datos y de 12.000 micro-operaciones decodificadas, caché L2 de 256 KB) y soporte de las instrucciones SSE2, pero todo lo demás era un tanto limitado: tecnología de 0,18 micras y, sobre todo, una velocidad absolutamente insuficiente para un diseño como el NetBurst: 1,4 GHz. Esto lo hacía más lento que los micros AMD, e incluso más que los mismos Intel Pentium III. Para colmo, las decisiones a nivel de placa base fueron nefastas: el único chipset disponible (el Intel 850) necesitaba memoria RDRAM (Rambus DRAM), muy cara y poco querida por el resto de la industria, y el micro empleaba un zócalo (Socket 423) que tenía los días contados. Un pésimo estreno.

Eso sí, el núcleo *Northwood* de 0,13 micras cambió las cosas para mucho mejor: el doble de caché L2 (512 KB), mayores velocidades, menor generación de calor y ligeras optimizaciones internas. Lamentablemente, los micros necesitaban un nuevo zócalo, el Socket 478, que para empeorar las cosas fue utilizado por algunos modelos con el viejo núcleo *Willamette*. Posteriormente se han fabricado más variantes del Pentium 4 que de cualquier otro micro Intel, intentaremos comentarlas todas (cosa nada fácil); la primera es la de núcleo *Northwood* con **Hyper-Threading**, una interesantísima versión por ofrecer un "doble núcleo virtual" que aumentaba un poco el rendimiento y la capacidad de respuesta del sistema al hacer multitarea, además de aumentar el bus hasta 533 ó 800 MHz.

El siguiente núcleo, *Prescott*, fue poco muy apreciado por los usuarios más técnicos: se calentaba como un demonio, pese a estar fabricado con tecnología de 90 nm (0,09 micras), disipando hasta más de 100 vatios de forma continuada. Eso sí, tenía sus ventajas: soporte de instrucciones SSE3, 1 MB de caché L2 y, en las últimas versiones, compatibilidad con las instrucciones de 64 bits desarrolladas por AMD y protección antivirus "Execute Disable Bit"; lamentablemente, algunos *Prescott* no soportaban Hyper-Threading. Se fabricó en versiones para Socket 478 y para el nuevo zócalo LGA 775 (Socket T). (Véase la figura 2.22.)

Con el núcleo *Gallatin* Intel lanzó una nueva marca comercial, **Pentium 4 Extreme Edition**; muy similar a un *Northwood* con Hyper-Threading pero añadiendo 2 MB de caché L3 integrada, útil sólo con ciertas aplicaciones. Muy caro, existen versiones con bus de 800 MHz y con bus de 1.067 MHz.

Los núcleos Pentium 4 más modernos fueron el *Prescott 2M*, una variante del *Prescott* con 2 MB de caché L2 y todas las posibles características opcionales (SSE3, Hyper-Threading, etc.), y el *Cedar Mill*, prácticamente idéntico pero de 65 nm, que mejoraba algo los problemas de calor de *Prescott*. La velocidad máxima oficial de un Pentium 4 fue 3,8 GHz, bastante lejos del objetivo original y motivo de que se buscasen nuevas soluciones.

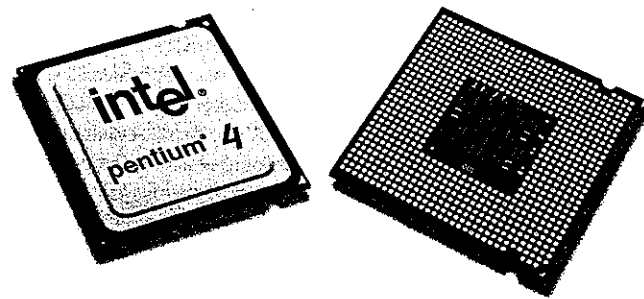


Figura 2.22. Pentium 4 Prescott para zócalo LGA 775

Atención: Lamentablemente, hoy en día los microprocesadores emplean nomenclaturas con códigos muy poco intuitivos ("Core 2 Q6700", "Pentium E2180", "Celeron 440", "Phenom 9600", "Athlon X2 BE-2350", etc.) que hacen casi imposible saber qué demonios se está comprando exactamente sin acudir a comprobarlo al sitio web del fabricante, lo que recomiendo encarecidamente... porque, para colmo, los sistemas que rigen estas nomenclaturas suelen cambiar en ciclos de menos de dos años.

Por su parte, la marca **Celeron** tuvo bastantes modelos basados en núcleos Pentium 4; los primeros, para **Socket 478**, eran francamente poco recomendables por tener sólo 128 KB de caché L2 y un bus de 400 MHz, lo que limitaba muchísimo su rendimiento. Sin embargo, los modelos denominados **Celeron D**, para **Socket 478** o para **LGA 775 (Socket T)**, tenían el doble de caché (L2 de 256 KB), bus de 533 MHz e instrucciones SSE3, siendo más aceptables. Alcanzaron hasta 3,33 GHz.

2.4.6. Athlon 64, Athlon 64 FX y Sempron A64

Sin duda AMD ha crecido mucho como empresa; comercialmente ni es como Intel ni lo será nunca, ya que Intel tiene una capacidad de producción decenas de veces superior a la máxima que tuvo AMD, pero el diseño de sus microprocesadores está en un excelente nivel. Prueba de ello es la familia Athlon 64, anteriormente conocida como **Hammer** o "**K8**", los primeros microprocesadores de 64 bits en triunfar en el mundo PC (que no los primeros en términos absolutos, pero el Itanium de Intel ha sido un cierto fracaso incluso en el limitado campo de los servidores de alta gama).

Lanzada en 2003, la familia AMD de micros de 64 bits ha tenido un éxito espectacular, gracias a su excelente rendimiento con el actual software de 32 bits y a detalles interesantes como una disipación de calor realmente baja. El primero fue el profesional Opteron, pero meses más tarde aparecieron los modelos **Athlon 64**, una versión "de consumo" para zócalo **Socket 754** y otra "para entusiastas" denominada **Athlon 64 FX**, para **Socket 940**. El zócalo **Socket 940** quedó pronto reservado sólo a los Opteron, tanto los Athlon 64 como los Athlon 64 FX (que siempre han sido un poco caros) cambiaron a otro zócalo llamado **Socket 939**; posteriormente todas las familias Athlon 64, incluyendo los Opteron, se reunieron de nuevo bajo el **Socket AM2** con soporte de memoria **DDR2**.

Todos los Athlon 64 tienen la importantísima ventaja de incluir el controlador de memoria dentro del microprocesador, en lugar de en el **northbridge** del chipset como ha ocurrido siempre en los micros para PC. Esto aumenta mucho su rendimiento, que ya de por sí sería elevado gracias a sus 128 KB de caché L1 exclusiva (no se duplica su contenido en la L2, ahorrando caché), sus 512 KB ó 1 MB de caché L2, soporte de instrucciones como x86-64, SSE2 e incluso SSE3 en modelos modernos, y un novedoso bus frontal (si puede dársele ese clásico nombre pese a que no lo necesite para comunicarse con la memoria), el **HyperTransport** a 800 ó 1.000 MHz físicos con doble aprovechamiento (1,6 ó 2 GT/s, ancho de banda de 3,2 ó 4 GB/s).

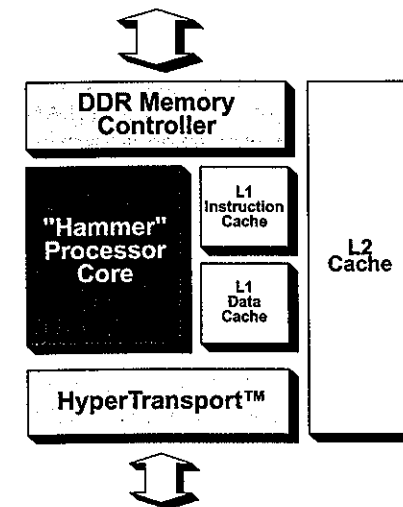


Figura 2.23. La arquitectura Hammer / K8 de los AMD Athlon 64 y Opteron, con controlador de memoria integrado y bus HyperTransport

Los modelos para Socket 939 ó Socket 940 eran preferibles a los Socket 754 por ofrecer la posibilidad de juntar dos canales de 64 bits para comunicarse con la memoria (*Dual Channel*), doblando el ancho de banda, algo también posible en su sucesor para DDR2, el Socket AM2. En todo caso, todos los Athlon 64 son francamente rápidos y se calientan poco, aunque por si acaso disponen de una tecnología de reducción de consumo denominada Cool'n'Quiet. Su tecnología de fabricación ha sido de 0,13 micras, de 90 nm o incluso de sólo 65 nm en los últimos modelos, en todos los casos de la avanzada variante SOI (*Silicon On Insulator*, silicio sobre aislante).

Nota: En los siguientes apartados a menudo omitiremos los nombres de los núcleos en los que se basa cada microprocesador, porque la familia Athlon 64/FX/X2 ha utilizado unos 20 tipos de núcleo (Clawhammer, Newcastle, Winchester, Venice, San Diego, Toledo...), con características (MHz, caché, disipación, etc.) variables según cual de los casi 200 modelos fabricados se trate; el caso de Intel es totalmente idéntico. Además, el tipo de núcleo es un dato que no se incluye en los anuncios (al menos en los de las tiendas normales) y cambia a un ritmo vertiginoso. Insisto: si realmente le interesa saber con exactitud qué está comprando, apunte la referencia completa del micro y acuda a la página del fabricante.

Se han fabricado modelos de Athlon 64 "económicos", los **Sempron**, inicialmente para Socket 754 (con canal de memoria simple, no *Dual Channel*) y 128 ó 256 KB de caché L2, y luego para el mismo Socket AM2 que el resto de la familia. Los primeros modelos de Sempron no incluían soporte de 64 bits (las instrucciones x86-64 ó AMD64), pero eso realmente importaba poco, menos aún en este segmento de precios.

2.4.7. Pentium D

Se trata de la marca comercial que eligió Intel para sus primeros microprocesadores con doble núcleo, a todos los efectos dos microprocesadores en un mismo zócalo y compartiendo el mismo bus FSB.

Los primeros modelos se basaban en el núcleo *Smithfield*, en realidad dos núcleos (dos *dies*) *Prescott* dentro del mismo encapsulado; la memoria caché L2 total era de 2 MB (2 x 1 MB). Utilizaban el zócalo LGA 775, funcionaban a hasta 3,2 GHz con bus a 800 MHz y se calentaban bastante (aunque no más que los Pentium 4 de alta velocidad). Dado que el núcleo *Presler* tampoco logró llegar a 3,8 GHz, los Pentium D se abandonaron.

Nota: En ningún caso deben confundirse los Pentium D con los económicos Celeron D, que no son micros con doble núcleo.

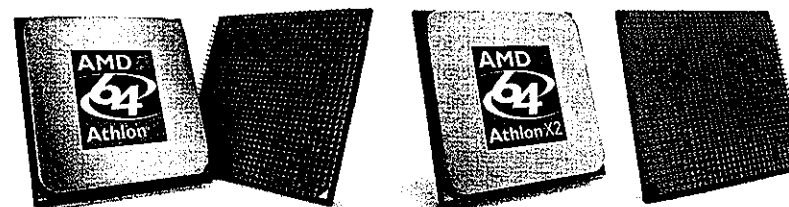


Figura 2.24. AMD Athlon 64 y Athlon 64 X2, ambos para Socket 939

2.4.8. Athlon 64 X2 (Athlon X2)

Obviamente, es la versión de doble núcleo de los Athlon 64. Inicialmente utilizó el Socket 939 con soporte de memoria DDR y *Dual Channel*, doble canal de memoria, aunque posteriormente cambió al zócalo Socket AM2 para DDR2; disponía de 2 x 512 KB ó 2 x 1 MB de caché L2 según el modelo, las últimas mejoras a nivel de instrucciones (incluso SSE3) y bus HyperTransport a 1 GHz.

Algunos modelos modernos, los BE-xxxx, caracterizados por un consumo eléctrico muy bajo (sólo 45 W de potencia de diseño), abandonaron el número "64" en su designación y se denominaban simplemente "Athlon X2"; esto se debe a que desde 2006 *todos* los microprocesadores AMD soportan instrucciones de 64 bits. De forma un poco confusa, unos pocos "Athlon X2" eran en realidad micros Phenom con dos núcleos desactivados, de consumo bastante más elevado.

2.4.9. Intel Core 2 (Solo, Duo, Quad, Extreme)

Aunque el Pentium 4 fue un importante éxito comercial, técnicamente no cumplió todas las expectativas para las que se había diseñado: su rendimiento por MHz era relativamente bajo, disipaba mucho calor y no alcanzó las altas velocidades en MHz que se esperaban. Los ingenieros de Intel lograron enmascarar algunas de estas limitaciones mediante diversas mejoras en el diseño, como la interesante técnica Hyper-Threading, y reducciones en el tamaño proceso de fabricación, pero cuando AMD lanzó la familia Athlon 64 fue evidente en Intel que se requerían cambios más profundos.

Tomando lo mejor de la clásica arquitectura P6, los avances utilizados en micros para portátiles como el Pentium M, algunas mejoras como la ejecución de instrucciones de 128 bits en un único ciclo en lugar de dos y todo lo aprovechable de la arquitectura NetBurst, como su excelente predicción y ejecución especulativa, se logró una arquitectura con una filosofía totalmente opuesta a la del Pentium 4: realizar mucho trabajo por cada ciclo de reloj, con un *pipeline* de sólo 14 etapas en lugar de las 31 de los últimos Pentium 4, y hacerlo con un consumo energético lo más eficiente posible.

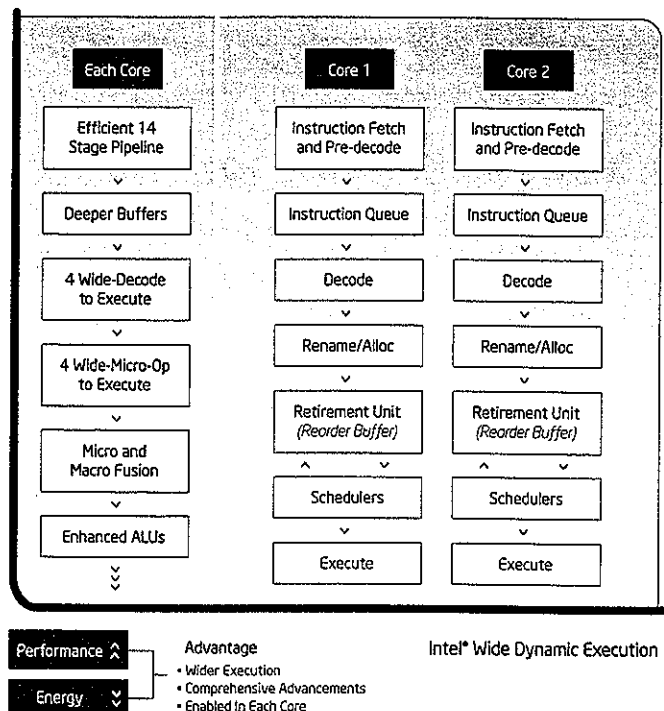


Figura 2.25. Algunos detalles de la arquitectura Intel Core

El nombre de esta arquitectura, que por supuesto incluye soporte de 64 bits, es "arquitectura Intel Core", resaltando su similitud con algunas de las características de los microprocesadores Intel Core utilizados en PC portátiles... aunque estrictamente los micros Intel Core, de 32 bits y menos avanzados, no pertenecen a esta arquitectura, al contrario que los:

- **Core 2 Solo:** Con un único núcleo, destinados a portátiles de poca potencia con muy bajo consumo.
- **Core 2 Duo:** La gama de consumo general, con dos núcleos (*dual core*) y versiones para portátiles y sobremesa.
- **Core 2 Quad:** Evidentemente, con cuatro núcleos.
- **Core 2 Extreme:** Modelos de alta gama, con dos o cuatro núcleos, grandes cantidades de caché L2 y multiplicadores no bloqueados para facilitar el *overclocking*.
- **Otros:** Los núcleos con arquitectura Intel Core se han usado también en los Xeon para servidores y en algunos modelos de las marcas de gama baja "Pentium Dual-Core" y Celeron.

En ordenadores de sobremesa, los Core 2 utilizan el mismo **zócalo LGA 775** que los últimos modelos de Pentium 4, pero la compatibilidad a nivel de placa base requiere además:

- Chipset con soporte para Core 2, como los Intel 945GC, 945GT, familia 965 y 975X, familia nForce 500 y otros chipsets más modernos; algunos chipsets más antiguos pueden soportar micros Core 2, pero sólo en placas base concretas.
- BIOS con soporte para Core 2, algo poco problemático... si el fabricante de la placa ha decidido publicar la correspondiente actualización.
- Regulador de voltaje compatible con la especificación VRD 11.0; éste es el requisito más restrictivo para el usuario final, que evidentemente no se va a poner a modificar el esquema eléctrico de su placa base (salvo algunos héroes del *mobo modding*).

Aviso: Como supondrá (y si no, hágase a la idea), la compatibilidad total y absoluta de una placa base LGA 775 "antigua" con los micros Core 2 es una especie de lotería: a veces una placa base excelente de un fabricante "de lujo" no soporta estos micros, mientras otra placa "económica" funciona perfectamente, por pura casualidad (y con la BIOS adecuada), y lo mismo puede decirse de los Core 2 fabricados con tecnología de 45 nm. Lamentablemente, no hay nada como una placa base con el último chipset del mercado.

Las características de los Core 2 dependen, evidentemente, del modelo concreto del que hablemos... y se han fabricado *decenas*, incluso sin contar los destinados a portátiles. Pongamos dos ejemplos para hacernos una idea:

- Core 2 Duo E6400: Gama media/media-alta de la primera hornada, mayo de 2006, funciona a 2.133 MHz (multiplicador 8x fijo), con 2 MB de caché L2, FSB a 1.066 MT/s (266 MHz con cuádruple aprovechamiento) y potencia de diseño de 65 W.
- Core 2 Extreme QX9650: Cuádruple núcleo de última generación, a 3 GHz (multiplicador 9x, no bloqueado), con 12 MB de caché L2 (dos *die* con 6 MB cada uno), FSB a 1.333 MT/s, disipación de 130 W y nuevas instrucciones SSE4; apenas 999 dólares en su lanzamiento.

Los microprocesadores Core 2 empezaron a fabricarse con tecnología de 65 nm y luego pasaron a 45 nm, pudiendo implementar dos núcleos y 6 MB de caché L2 en sólo 107 milímetros cuadrados; sin duda Intel tiene un enorme poderío industrial y suficientes fábricas como para poder permitirse un ritmo "tic-tac" casi de metrónomo.

2.4.10. AMD Phenom (K10)

La arquitectura "K10" o "familia 10h" de AMD supone numerosos avances sobre la K8 de los Athlon 64... pero nada tan revolucionario como el radical paso del ineficaz Pentium 4 al optimizado Core 2. Algunas de sus novedades son las siguientes:

- Diseño multinúcleo optimizado para tres o cuatro núcleos de forma nativa (un único *die*, en lugar de varios en el mismo encapsulado).
- Caché L3 de 2 MB compartida entre los núcleos.
- HyperTransport 3.0, 16 bits a 1,8 GHz físicos con doble aprovechamiento: 7,2 GB/s por sentido (*full duplex*).
- Doble plano de voltaje, distinto para los núcleos en sí y para el "*un-core*" (la caché L3 y el controlador de memoria integrados), velocidades de reloj ajustables para cada núcleo y otras mejoras de ahorro energético (Cool'nQuiet 2.0, AMD CoolCore).
- Controlador de memoria mejorado, soporte oficial de hasta DDR2-1066.
- Mejoras internas en el subsistema de caché, soporte SSE (operaciones de 128 bits, "SSE4a"), predicción de ramas y "*out of order*" mejorados, etc.

... Por nombrar sólo *algunos* de los cambios introducidos en esta arquitectura, capaz de humillar al más rápido Pentium 4 ó Pentium D. Sin embargo, los Intel Core 2 son algo más rápidos que los Phenom a la misma velocidad de reloj, lo

que implica que AMD ha tenido que venderlos también ligeramente más baratos para ser competitivos... algo poco apetecible cuando la capacidad de producción de tu competidor es muy superior.

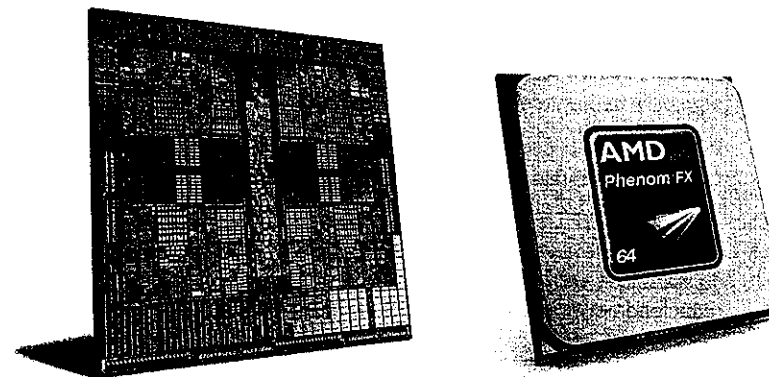


Figura 2.26. AMD Phenom y su die de cuatro núcleos

En cualquier caso, los Phenom son excelentes micros, con la ventaja añadida de una **compatibilidad fenomenal** (AMD inventó el chiste, se lo juro): prefieren el zócalo Socket AM2+, pero están diseñados para funcionar perfectamente en placas base AM2 "antiguas", con la única desventaja de perder algunas mejoras de ahorro energético y reducir su velocidad HyperTransport a la de la versión 2.0.

Evidentemente, si se necesita actualizar la BIOS y lo ideal sería tener una placa AM2+, pero una placa AM2 y un buen ventilador hacen perfectamente asumible funcionar con un único plano de voltaje (¡mucha gente ni siquiera activa Cool'nQuiet!) y la diferencia entre las distintas velocidades de HyperTransport es casi indistinguible para casi todos los usuarios.

Los Phenom típicos, con 450 millones de transistores fabricados con tecnología de 65 nm, eran de cuatro núcleos (aunque existían modelos de tres), 512 KB de caché L2 dedicada para cada núcleo (por tanto, 2 MB en los de cuádruple núcleo), 2 MB de caché L3 compartida entre los núcleos y poco más de 2 GHz de velocidad de reloj; su potencia de diseño variaba entre 65 W y 140 W, según modelo.

2.4.11. AMD Phenom II

Como comentaba, los Phenom originales tenían un *único problema*: eran micros excelentes, pero los Intel Core 2 eran algo más rápidos. Según se demostró, esto era consecuencia en gran medida del hecho de haberse fabricado aún con tecno-

logía de 65 nm, lo que impedía incrementar su velocidad (GHz) o añadirles más caché L3 sin convertirlos en tostadoras; ¡el consumo de diseño TDP de un Phenom original a 2,6 GHz eran unos tremendos 140 W!

Aunque algo tarde, los **Phenom II** solucionaron el problema, gracias a los siguientes motivos:

- Fabricación en 45 nm (SOI con litografía de inmersión, un avanzado proceso algo caro de implementar pero de excelente calidad).
- Incremento de la caché L3 hasta 6 MB (compartidos por todos los núcleos, claro), una cantidad más razonable para un diseño nativo de cuatro núcleos; mantienen su L2 en 2 MB (512 KB por núcleo).
- Incremento de la velocidad de reloj y disminución del consumo, alcanzando 3,2 GHz con unos razonables 125 W de TDP ó 2,6 GHz con sólo 95 W y reduciendo el consumo de los núcleos inactivos.
- Micros "AM3", capaces de funcionar tanto en las nuevas placas AM3 para memoria DDR3 como en las AM2+ para memoria DDR2 (y, en muchos casos, también en las ya antiguas AM2, pero eso no se garantiza, depende mucho de la placa base concreta).

Los Phenom II siguen siendo diseños nativos de cuatro núcleos, "X4", pero existen modelos de tres y de dos núcleos, X3 y X2, que permiten aprovechar los micros X4 parcialmente defectuosos; sin perjuicio alguno para el usuario, dado que su caché L3 permanece en 6 MB, su consumo es menor y su velocidad de reloj incluso mayor, con un precio más barato que los hace realmente atractivos, especialmente considerando que sus placas base son económicas (o gratis, si se trata de reutilizar una AM2+, o incluso una AM2... si hay suerte).

Los Phenom II sirvieron a AMD para ponerse a la altura de los Intel Core 2 de cuádruple núcleo (a veces aún *minimamente* por debajo, pero por encima si consideramos su coste), pero no a la de los Core i7 / i5, contra los que sólo han podido competir reduciendo precios. En todo caso, una situación técnica y comercialmente menos mala que con los Phenom "I".

2.4.12. AMD Athlon II

El paso a la fabricación en 45 nm llevó a reutilizar la marca AMD Athlon para la gama media y media-baja, en microprocesadores caracterizados por:

- Tener un precio casi ridículamente bajo, ofreciendo un rendimiento bastante adecuado comparado con los Core 2 de gama media.

- Micros "AM3", compatibles tanto con placas base AM3 para memoria DDR3 como con placas AM2+ para DDR2 y también con *algunas* placas base AM2 (siempre tras actualizar la BIOS, claro).
- Modelos X4 de cuatro núcleos, con 2 MB de caché L2 (512 KB por núcleo), X3 de tres núcleos (X4 con un núcleo desactivado) y X2 de dos núcleos (estos con el doble de L2, 1 MB por núcleo).
- TDP de 65 W en los X2 y 95 W en los X3 y X4, ¡y también modelos X2, X3 y X4 de "muy bajo consumo", sólo 45 W!

Fáciles de refrigerar, con un rendimiento de casi el 90% del de los Phenom II en muchas aplicaciones (las que no sufren por su carencia de caché L3, principal diferencia entre los Athlon II y los Phenom II) y de muy bajo coste, son micros "para todos los públicos" muy adecuados, en especial para actualizar una placa AM2+ para memoria DDR2.

2.4.13. Intel Core i7 / i5 / i3 de primera generación (arquitectura "Nehalem")

Los últimos años han sido realmente buenos para Intel: la revolucionaria arquitectura Core de los Core 2 situó a los micros Intel ligeramente por delante de los AMD en la relación potencia / consumo energético; sólo ligeramente, pero incluso eso es más que de sobra cuando se parte de una posición empresarial tan fuerte como la de Intel.

Pero a finales de 2008 ya habían pasado dos años desde la presentación de la arquitectura Core y, según la reciente filosofía de "tic-tac" de Intel, tocaba presentar una nueva para afianzar esta posición ventajosa... y parece que lo han logrado, con la **arquitectura Nehalem** de los llamados Core i7 e i5 (y, en versión Westmere de 32 nm, Core i3).

Nehalem, y por tanto los micros basados en ella, construye sobre todo lo ganado con Core y presenta muchas características nuevas, o al menos no usadas en el mundo Intel en los últimos años:

- **Controlador de memoria** (para DDR3) **integrado** en el microprocesador, en lugar de en el chipset como era costumbre en micros Intel (AMD llevaba ya cinco años haciéndolo, desde el Athlon 64).
- **Nuevos buses de sistema**, en lugar del clásico FSB: **QuickPath Interconnect (QPI)** para los modelos de gama muy alta (muy adaptable, enlaces punto-a-punto bidireccionales *full-duplex* de unos 12 GB/s por sentido, más de uno

en micros para sistemas multiprocesador... en fin, totalmente equivalente al HyperTransport de AMD) y **Direct Media Interface (DMI)** para el resto de gamas (muy similar a un enlace PCIe x4 a 2,5 GT/s).

- **Hyper-Threading** (sólo en los Core i7), una tecnología para aprovechar mejor los recursos del microprocesador incluida en algunos Pentium 4 pero no en los Core 2, con la que el sistema operativo ve doblado (virtualmente) el número de núcleos en los que ejecutar hilos (*threads*).
- **Diseño monolítico nativo** para micros de cuatro o más núcleos (es decir, todos fabricados dentro del mismo *die*), lo que implica ventajas de velocidad a costa de complicar la fabricación... pero Intel parece no tener problema alguno con ello.
- Inclusión de un **tercer nivel (L3) de caché**, compartida por todos los núcleos y de gran tamaño (8 MB), con muy pequeñas (256 KB) cachés L2, individuales para cada núcleo; un diseño similar al de los AMD Phenom y Phenom II, si bien con cachés más rápidas, una de las especialidades de Intel.
- **Turbo Boost** (el nombrecito se las trae, la verdad) para incrementar la velocidad de reloj, los GHz, de algunos núcleos del micro cuando los otros estén en reposo, mejorando el rendimiento en programas con pocos hilos en los que es mejor tener pocos núcleos muy rápidos a tener muchos núcleos de velocidad media.

Evidentemente, todo esto (y más, como mejoras en el sistema de predicción de ramas y otros refinamientos) supone que los Core i7 / i5 son más rápidos que los Core 2, ¡sin incrementar su consumo de diseño (TDP), ya que para lograr el mismo rendimiento necesitan consumir mucho menos!

Tabla 2.2. Principales núcleos Nehalem y Westmere de escritorio

Núcleo	Bloomfield	Lynnfield	Clarkdale
Marcas comerciales	Core i7 (9xx)	Core i7 (8xx), i5 (7xx)	Core i5 (6xx), i3 (5xx)
Litografía fabricación	45 nm	45 nm	32 nm (GPU 45 nm)
Zócalo placa base	LGA 1366	LGA 1156	LGA 1156
Nº núcleos físicos	4	4	2
Hyper-Threading	Sí	Sí (i7) / No (i5)	Sí
Caché L3	8 MB	8 MB	4 MB
Bus de sistema	QPI	DMI 1.0	DMI 1.0
Controlador memoria	Triple canal	Doble canal	Doble canal

Núcleo	Bloomfield	Lynnfield	Clarkdale
Veloc. máx. memoria	DDR3-1066	DDR3-1333	DDR3-1333
PCIe integrada	No	16 lanes 2.0	16 lanes 2.0
GPU integrada	No	No	Intel HD Graphics*
AES-NI (encriptación)	No	No	Sí (i5) / No (i3)
Consumo (TDP)	130 W	95 W	73 W

(* la GPU integrada no puede utilizarse con el chipset Intel P55, diseñado para usarse sólo con tarjetas gráficas independientes)

Como no podía ser menos, la arquitectura Nehalem produjo *decenas* de modelos basados en *demasiadas* variantes; concretamente, los Core i7 y Core i5 Nehalem se dividen en dos familias principales, que se detallan en la tabla 2.2. En todo caso, la adopción de estos micros planteó diversas **cuestiones de orden práctico**:

- Requieren una placa base nueva, no sirven las de Core 2; la suma de una placa LGA 1366 y un micro **Bloomfield** es particularmente cara, resultan más razonables las LGA 1156 para micros **Lynnfield**.
- Por supuesto, el ventilador / disipador del micro también debe ser nuevo, salvo que su diseño fuese increíblemente versátil.
- La memoria debe ser DDR3 y es muy recomendable que de voltaje relativamente bajo, como máximo 1,65 V.
- Para sistemas multi-gráfica (SLI o CrossFire) *de muy alta gama* (y de elevadísimo coste), las placas LGA 1366 ofrecen una pequeña ventaja, ya que los Lynnfield tienen que dividir en dos canales PCIe x8 los 16 lanes de su controladora PCIe interna.
- El **overclocking** cambia un poco, como los Phenom estos micros tienen *dos* velocidades de reloj: la de los núcleos en sí y sus cachés, "*core*", y la del resto (caché L3 y controladoras, de memoria y PCIe), "*un-core*"; son múltiplo de una velocidad de base (BCLK, que nominalmente suele ser 133 MHz) y pueden ajustarse por separado... con la placa base y el conocimiento adecuados y con mucho cuidado. Véase la figura 2.27.

Siguiendo su estricto modelo de trabajo *tick-tock* (tic-tac), 13 meses más tarde de Bloomfield, Intel lanzó la versión de **32 nm** de la arquitectura Nehalem, **Westmere**, con las siguientes características (tabla 2.2, columna de la derecha):

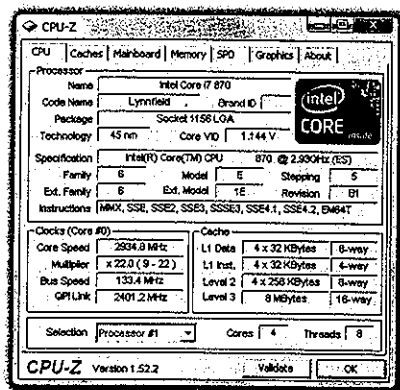


Figura 2.27. Características de un Core i7 Lynnfield

- **Dos núcleos** y un total de 4 MB de caché L3, con Hyper-Threading para que se comporten como cuatro núcleos "virtuales"; no tan potente como los cuatro reales con 8 MB de L3 de las versiones anteriores, pero con un consumo muy bajo, unos 73 W en las versiones de escritorio Clarkdale.
- Nueva marca comercial, **Core i3**, para la gama media-baja (sin Turbo Boost, si bien su rendimiento es bastante bueno) y nuevos modelos para el difícil sistema de identificación de Intel: **6xx** (680, 670...) para los Core i5 Clarkdale y **5xx** (560, 550...) para los Core i3.
- **Controladora gráfica semi-integrada**, dos *die* distintos en el mismo encapsulado, el de la gráfica o "GPU" de 45 nm.
- El rendimiento de esta controladora es mucho mejor que el de modelos Intel anteriores, pero no va a hundir el negocio gráfico de NVIDIA y AMD / ATI, sigue siendo insuficiente para jugar de forma seria.
- Nuevas instrucciones AES-NI (sólo en los i5) para optimizar la **encriptación** de datos, por ejemplo discos duros con BitLocker bajo Windows Enterprise / Ultimate.

Además, en la gama muy alta (placas LGA 1366) se añadieron modelos Core i7 con 6 núcleos, **12 núcleos virtuales** con Hyper-Threading! Los micros Westmere supusieron el despegue definitivo de los Core i7 / i5 / i3, retirando gradualmente a los Core 2.

2.4.14. Intel Core i7 / i5 / i3 de segunda generación (arquitectura "Sandy Bridge")

Y pasaron 12 meses casi exactos y llegó el "tock" (tac) de Intel para 2011, la nueva arquitectura Sandy Bridge, una "limpieza general" para adaptar del todo el diseño a la tecnología de 32 nm y a la integración de la GPU en la CPU, con un resultado muy bueno:

- Micros de **4 núcleos físicos** en los Core i7 y Core i5, con Hyper-Threading en los Core i7 y i3 para obtener el doble de núcleos virtuales (en los Core i3 muy necesario, ya que lamentablemente siguen siendo de 2 núcleos físicos).
- Considerables **cambios internos**: rediseño completo (a mejor) de la unidad de predicciones de saltos / ramas (*branch prediction unit*) y caché de micro-operaciones con mayor ancho de banda y menor latencia (80% de "aciertos de caché", nada menos... Intel conoce el arte de hacer cachés).
- Integración total de la controladora gráfica **GPU en la CPU**, en un **único die de 32 nm**, con uso compartido de la caché L3 entre GPU y núcleos de la CPU y comunicación entre todos estos elementos mediante un bus basado en anillos (*rings*) de diseño escalable, alto ancho de banda y baja latencia.
- **Turbo Boost** mejorado (lástima que no en el nombre...), versión 2.0, con capacidad para aplicar "turbo" a la CPU y/o a la GPU; por ejemplo, un Core i5 2400 funciona a 3,1 GHz, con GPU a 850 MHz, pero según la carga del sistema puede elevar automáticamente la velocidad de algunos de sus núcleos hasta 3,4 GHz y/o la de su GPU hasta 1,1 GHz.
- **Rendimiento gráfico muy mejorado**, con GPU denominadas Intel HD Graphics 2000 ó 3000, según tengan 6 ó 12 "unidades de ejecución", que ya permiten jugar en 3D... a bajas resoluciones y con baja calidad, eso sí.
- Tecnología **Quick Sync para recodificación de vídeo**, que ofrece un rendimiento impresionante en el *transcoding* de vídeo MPEG-2 / MPEG-4 a otras resoluciones... ¡si y sólo si el software de codificación soporta Quick Sync específicamente, ojo! La calidad visual es ligeramente peor que la codificación "no acelerada", pero absolutamente aceptable para muchos usos y usuarios.
- Nuevas instrucciones **AVX (Advanced Vector Extensions) de 256 bits**, diseñadas para mejorar el rendimiento en coma flotante; suponen un avance significativo respecto a la familia SSE que venía usándose y a las que progresivamente se espera que sustituyan, aunque por supuesto también las soportan.

Tabla 2.3. Intel Core i "de segunda generación" (Sandy Bridge)

Marca comercial	Core i7 2xxx	Core i5 2xxx	Core i3 2xxx
Nº núcleos físicos	4	4*	2
Hyper-Threading	Sí	No*	Sí
Caché L3	8 MB	6 MB	3 MB
Turbo Boost	Sí	Sí	Sólo GPU
GPU integrada	Sí**	Sí**	Sí**
AES-NI (encriptación)	Sí	Sí	No
Consumo (TDP)	95 ó 65 W	95, 65, 45 ó 35 W	65 ó 35 W
Características comunes	Fabricación con litografía de 32 nm, zócalo LGA 1155, bus de sistema DMI 2.0 (x4, 5 GT/s), doble canal de memoria de velocidad máxima DDR3-1333, 16 lanes PCIe 2.0 integrados		

(* excepto el i5 2390T, un "i3 con Turbo Boost", velocidad entre 2,7 y 3,5 GHz)

(** Intel HD Graphics 2000 ó 3000; no puede utilizarse con el chipset Intel P67, diseñado para usarse sólo con tarjetas gráficas independientes)

En el aspecto puramente práctico, de nuevo nos encontramos con el triste requisito de tener que cambiar de placa base, en este caso a una con zócalo LGA 1155... sería deseable que Intel fuese más previsora a este respecto, pero no lo espere, también venden chipsets...

Además, la nomenclatura cambia a "Core i7 / i5 / i3 2xxx" (Core i7 2600, i5 2400, i3 2120...), para señalar que se trata de la "segunda generación", si bien al final de estas cifras puede venir una letra como sufijo:

- **2xxx (sin letra):** Micros "normales", con Intel HD Graphics 2000 (rendimiento 3D bastante bajo), multiplicador bloqueado (*overclocking* difícil, ya que el BCLK ofrece poco margen), consumo TDP de 95 W para los i7 / i5, 65 W para los i3.
- **2xxxK:** Gama "muy alta", con Intel HD Graphics 3000 (rendimiento 3D medio-bajo), multiplicador libre (*overclocking* muy fácil), TDP de 95 W. No existen en versión Core i3.
- **2xxxS:** De "consumo reducido", como los "normales" pero con TDP de 65 W y a unos pocos GHz menos.
- **2xxxT:** De "consumo ultra-reducido"; sólo cuatro modelos: Core i5 2500T (45 W, 4 núcleos), i5 2390T (35 W... pero sólo 2 núcleos físicos), y los Core i3 2120T y 2100T (35 W).

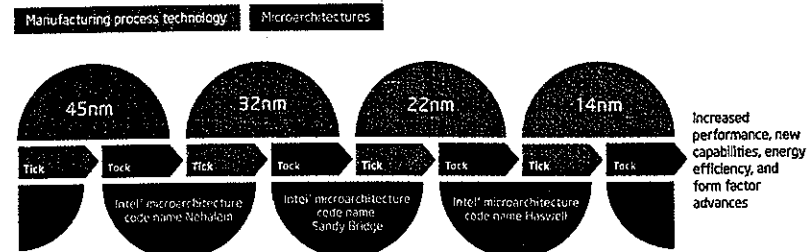


Figura 2.28. Principales hitos del modelo tick-tock (tic-tac) de Intel

(Sí, ha leído bien: Intel llama "i5" al 2390T, pero si no es un i3, que venga Dios y lo vea... ah, no, ¡que tiene Turbo Boost, ojo!)

2.4.15. Intel Core i7 Extreme / LGA 2011 (Sandy Bridge-E)

Un apunte rápido sobre estos micros y sus placas base, todo muy interesante... pero caro. Mucho. Unos mil euros, euro más o menos.

Se trata de micros con tecnología de 32 nm que:

- Tienen 6 núcleos y Hyper-Threading, ¡12 núcleos virtuales!
- Incluyen ¡12 ó 15 MB de caché L3, nada menos!
- Alcanzan velocidades Turbo Boost de casi, casi 4 GHz.
- Utilizan placas base de altísima gama con zócalo LGA 2011 y soporte de ¡cuádruple canal de memoria!
- Consumen bastante, claro, su TDP es de 130 W.

En fin, si le sobra el dinero ya sabe en qué gastarlo. Y cuando llegue Ivy Bridge, no se preocupe: habrá versiones *Extreme*, no lo dude.

2.4.16. Intel Core i7 / i5 / i3 ¿de tercera generación? (micros "Ivy Bridge")

Según escribo estas líneas, se cree casi inminente el siguiente "tick" del reloj de Intel, el paso de la arquitectura Sandy Bridge a la tecnología de fabricación de 22 nm Tri-gate (transistores no planos), diseño denominado "Ivy Bridge" que, si

- Fabricación de **32 nm SOI**, que permite TDP competitivos, 65 W en casi todos los modelos de sobremesa, 100 W a partir de 2,6 GHz con 4 núcleos.
- **GPU Radeon HD integrada**, de potencia similar a la gama moderna más baja de tarjetas independientes (HD 6450, por ejemplo, que cuesta unos 40 euros)... no mucho, pero fácilmente *el doble* de lo que ofrece la Intel HD Graphics 3000, la mejor GPU de los Core i "de segunda generación".

Resumiendo, son microprocesadores con núcleos ligeramente anticuados si buscamos el máximo rendimiento en codificación de vídeo, CAD, etc., pero absolutamente excelentes para tareas típicas y además con la posibilidad de jugar ocasionalmente de forma bastante digna.

... Si además escogemos un modelo de 3 ó 4 núcleos, son claramente superiores a los Core i3; con los Core i5 ya sería otra cuestión, pero para jugar en el Intel requeriríamos casi siempre una tarjeta independiente.

2.4.19. AMD FX (Bulldozer)

La gran esperanza de futuro de AMD es (¿o era?) la renovada arquitectura Bulldozer, que redefine el concepto de "núcleo", que siguen empleando comercialmente aunque en realidad la unidad básica del micro sea el "**módulo**", cada uno de los cuales incluye:

- Dos "núcleos" con unidades de ejecución de enteros, cada uno con su propia caché L1 *de datos*, de pequeño tamaño (16 KB).
- Un "núcleo de ejecución de coma flotante", compartido por los dos núcleos y formado por dos *pipelines* de 128 bits que pueden fusionarse en uno de 256 bits.
- Una caché L1 *de instrucciones*, de tamaño medio (64 KB) y otra caché L2, de gran tamaño (normalmente 2MB), *compartidas* entre los dos núcleos de cada módulo.

... Y, a su vez, una caché L3 de 8 MB compartida por todos los módulos (y por tanto por todos los núcleos, claro), a lo que se añaden los habituales enlaces HyperTransport (normalmente a 2 GHz físicos) y la controladora de memoria integrada. En fin, un esquema complejo que busca optimizar los recursos y el espacio disponible, ni más ni menos. A todo esto se le suman otras características interesantes:

- Uso del zócalo **AM3+**, ya disponible anteriormente (en algunos casos incluso funcionan con el AM3, pero no se garantiza, ojo).
- Fabricación con tecnología de **32 nm SOI**.

- Soporte de las nuevas instrucciones **AVX** de 256 bits, además de **FMA**, **SSE4** (y anteriores) y **AES-NI** para encriptación.
- **Turbo Core 2.0** para incrementar la velocidad de varios núcleos (¿por parejas?) cuando no todos los núcleos estén ocupados, e incluso la de todos a la vez si hay margen hasta el consumo TDP.

... Pero no ha sido suficiente: *su rendimiento no ha cumplido las expectativas, sobre todo con cargas poco multi-hilo*, cargas para uno o dos núcleos; para desgracia de AMD, no todo el mundo tiene un servidor, y tener la unidad de coma flotante compartida le penaliza ligeramente en algunos programas multi-hilo mientras no se emplee más AVX...

Todo parece indicar que su velocidad de reloj "nominal" es algo baja y que Turbo Core no es suficiente para compensarlo, lo que apunta a fallos en el diseño para 32 nm o problemas de fabricación, porque el TDP ya está al límite: 95 W e incluso 125 W en algunos modelos.

Ah, para colmo, puede que Windows 7 no esté suficientemente optimizado para un esquema de "módulos / núcleos por parejas" como el de Bulldozer; es probable que Windows 8 mejore esa situación, pero es poco consuelo para hoy... si la revisión prevista para mediados de 2012 no mejora las cosas, AMD seguirá con los problemas que tenía antes de Bulldozer: buenos micros, *pero*...

2.4.20. Micros y SoC ARM para tablets

Los SoC, "**sistemas en un chip**", con núcleos de arquitectura ARM son algo muy distinto de los clásicos Intel x86, sin duda: su consumo está entre cientos de *milivatios* hasta cifras de **apenas 1 ó 2 W**. Comparado con eso, un Atom es una tostadora...

Los núcleos **ARM v7** más utilizados actualmente y previsiblemente en 2012-2013 en el campo de las *tablets* y los *smartphones* son los siguientes:

- **Cortex-A8**: Un único núcleo (superescalar, dos instrucciones por ciclo de reloj), frecuencias típicas de 600 MHz a 1 GHz, rendimiento de 2 DMIPS/MHz.
- **Cortex-A9**: Dispone de hasta cuatro núcleos (habitualmente dos), frecuencia típica de como mínimo 800 MHz, rendimiento de 2,5 DMIPS/MHz por núcleo.
- **Cortex-A15**: Velocidades típicas de 1 a 2 GHz, multinúcleo, rendimiento aproximado 3,75 DMIPS/MHz por núcleo. Hay múltiples SoC en pleno desarrollo que empezarán a llegar al mercado en 2012.

- **Cortex-A7:** Diseño multinúcleo relativamente simple, superescalar pero *in-order*; pequeño (en 28 nm) y barato de fabricar, con rendimiento de cada núcleo algo superior a un Cortex-A8. Para aplicaciones que prefieran bajo consumo a enorme velocidad o como núcleos acompañantes de los potentes Cortex-A15 (configuración "**big.LITTLE**"), para conmutar a ellos en momentos de escasa demanda de potencia.

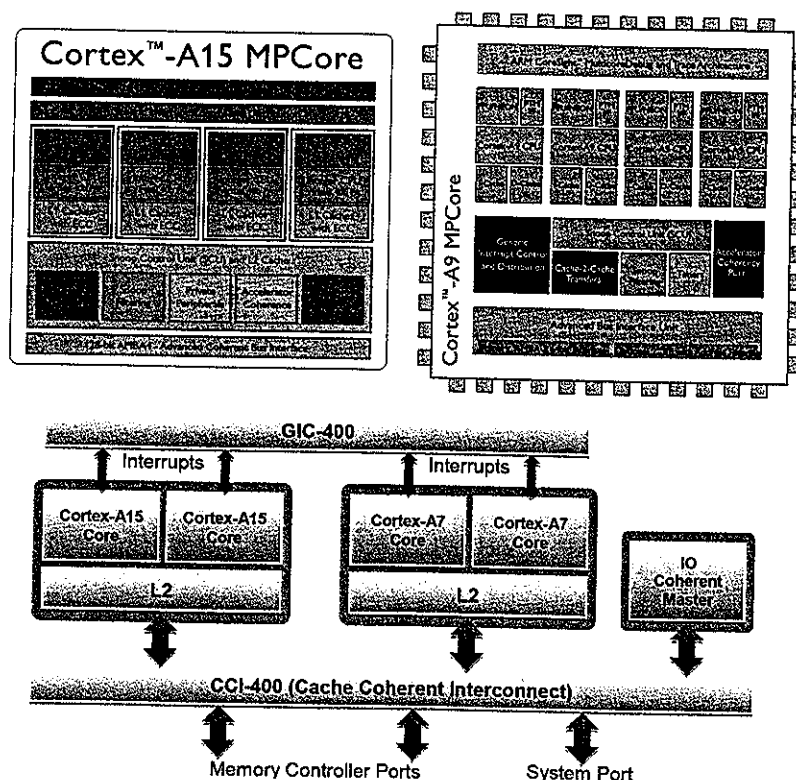


Figura 2.29. Estructura de los ARM Cortex-A15 y -A9 y configuración **big.LITTLE** con núcleos Cortex-A7 y -A15 (fuente ARM Holdings)

Una de las características de los SoC ARM es su gran número de opciones para satisfacer el mismo mercado: un único Cortex-A15 o dos A9, núcleos "estándar" de ARM Holdings o versiones personalizadas, núcleos más lentos pero GPU más rápidas... algunos de los SoC más frecuentes hoy se recogen en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. SoC frecuentemente utilizados en tablets

SoC	Tipo GPU	N. núcleos	Velocidad	Fabricación
Apple A4 (iPad)	Cortex-A8	1	1 GHz	45 nm
Apple A5 (iPad2)	Cortex-A9	2	1 GHz	45 nm
NVIDIA Tegra 2	Cortex-A9	2	1 a 1,2 GHz	40 nm
NVIDIA Tegra 3	Cortex-A9	4	1 a 1,3 GHz	40 nm
Qualcomm Snapdragon S3	Scorpion*	2	1,2 a 1,5 GHz	45 nm
Qualcomm Snapdragon S4	Krait*	2 ó 4	1 a 1,7 GHz	28 nm
Samsung Exynos 4210	Cortex-A9	2	1 a 1,4 GHz	45 nm
Samsung Exynos 4412	Cortex-A9	4	1,5 GHz	32 nm
Samsung Exynos 5250	Cortex-A15	2	2 GHz	32 nm
TI OMAP 4430	Cortex-A9	2	1 a 1,2 GHz	45 nm
TI OMAP 4470	Cortex-A9	2	1,5 a 1,8 GHz	45 nm
TI OMAP 5430/5432	Cortex-A15	2	2 GHz	28 nm

(* diseños propios, Scorpion similar al Cortex-A8 pero con mayor rendimiento y Krait similar al Cortex-A15; las GPU asociadas, "Adreno", son muy potentes)

2.4.21. Micros x86 futuros (hacia 2013)

Atención: Este apartado entra en la categoría de "adivinación del futuro" para predicción, conjetura, pronóstico. Aunque sinceramente creo que esta bien informada, es adivinación, no lo dude, está sometida a posibles errores o cambios de última hora de los fabricantes.

Por el momento no se espera que Intel tenga problemas en mantener su filosofía tic-tac, de manera que 2013 debería ser el momento de presentarnos un nuevo "tac", la arquitectura **Haswell**. Fabricada con tecnología de 22 nm (y de 14 nm en 2014, si todo en Intel sigue igual de bien engrasado), Haswell dispondrá de:

- Probablemente más caché, aprovechando la tecnología de 22 nm.
- GPU rediseñada de nuevo y con soporte de DirectX 11.1.
- Mejoras de ahorro energético y ligeras bajadas del TDP, que optimizaría su comportamiento configurable y su relación con Turbo Boost para permitir su integración en ultra-portátiles ultra-finos.

- Casi con total seguridad un nuevo zócalo, probablemente "LGA 1150", y nuevos chipsets, que esperemos soporten de forma nativa Thunderbolt / Light Peak.

... Difícil afinar más con los datos disponibles; su marca comercial podría ser "Core i de cuarta generación, 4xxx", pero quizás nos sorprendan con algo más original.

Por su parte, **AMD** debe estar removiendo cielo y tierra con vistas al lanzamiento en 2012 de la primera revisión optimizada de la arquitectura **Bulldozer**, **Piledriver**; *debe* hacerlo, por su bien y por el nuestro, la escasez de competencia nos perjudica mucho.

Si todo sale bien, la versión más extendida de **Piledriver** será la **APU Fusion Trinity**, que permitiría portátiles de rendimiento realmente interesante, con micros de dos o tres módulos / cuatro o seis núcleos y una GPU de cierta categoría; casi seguro que para un zócalo nuevo, Socket FM2... veremos si funcionan o no con el Socket FM1.

Y en 2013 tocaría pasar **Bulldozer** a 22 nm, aunque con el reciente historial de aplazamientos y cancelaciones, uno ya no sabe si se fabricará en exclusiva en GlobalFoundries, en TSMC o donde AMD consiga ciertas garantías, que falta le hacen.

Finalmente, se sabe que tanto Intel como AMD planean evolucionar sus líneas **Atom** y **Fusion Brazos/Bobcat**, intentando orientarlas hacia las *tablets* en lugar de los netbooks... aunque es complicado, dada la competencia de los ARM, ya muy competentes. Aun así, sin duda veremos los Atom Cedar Trail, Medfield (jun SoC!) y Silvermont (22 nm); ¡Intel no se rinde!

2.4.22. Micros Intel para servidores y estaciones de trabajo: Xeon e Itanium

Intel lleva mucho tiempo fabricando microprocesadores para aplicaciones profesionales de servidores y estaciones de trabajo, donde se busca un rendimiento elevado pero sobre todo una excelente fiabilidad, a menudo reduciendo bastante la velocidad del bus y de la memoria RAM respecto a las cifras utilizadas en equipos normales para garantizar una estabilidad máxima. Casi todos estos equipos son multiprocesador, con placas base de varios zócalos; es muy común incluir enormes cantidades de memoria caché de tercer nivel (L3).

Tras el **Pentium Pro**, un micro que sólo rendía todo su potencial en entornos profesionales, la primera marca comercial Intel específicamente dirigida a este segmento fue la **Xeon**, que ha visto numerosos modelos muy distintos internamente:

- **Pentium II Xeon**: Usaba un formato tipo cartucho para conectarse al denominado Slot 2. Hasta 450 MHz, hasta 2 MB de caché L2 y bus de 100 MHz.
- **Pentium III Xeon**: Conector Slot 2, hasta 1 GHz, hasta 2 MB de caché L2 y bus de hasta 133 MHz.
- **Xeon**: Basado en el **Pentium 4** pero llamado simplemente Xeon, supuso el estreno de los zócalos Socket 603 (bus de hasta 400 MHz y múltiples opciones de caché, incluso L3) y Socket 604 (bus de hasta 800 MHz y múltiples opciones de caché).
- **Xeon MP**: Basado en el Pentium 4, con soporte para configuraciones de servidor con cuatro o más microprocesadores. Múltiples opciones de caché, hasta 4 MB de caché L3.
- **Xeon "Dual-Core"**: Muy similares a los Pentium D de doble núcleo pero con hasta 4 MB de caché L2 y caché L3 en algunos modelos; los primeros en utilizar el moderno zócalo LGA 771.
- **Xeon de arquitectura "Intel Core"**: Diseños contemporáneos de los Core 2, de doble o cuádruple núcleo y bajo consumo energético.
- **Xeon de arquitectura "Nehalem"**: Similares a los Core i7 más potentes, pero con hasta 30 MB de caché L3 y hasta 10 núcleos, unidos por enlaces QPI de alta velocidad, con controlador de memoria de tres o cuatro canales y un consumo energético muy razonable, para placas LGA 1567.



Figura 2.30. Intel Pentium III Xeon, Xeon e Itanium 2

Intel dispone de otra gama de microprocesadores profesionales totalmente distintos, los **Itanium**. De 64 bits, su rendimiento con aplicaciones de 32 bits es realmente bajo, requiriendo software específicamente programado para su arquitectura IA-64; el "Itanium" original con núcleo Merced fue un fracaso comercial absoluto, porque además sólo alcanzaba 800 MHz, con un precio absurdamente alto para su bajo rendimiento.

Actualmente Intel ofrece varios **Itanium de cuádruple núcleo** (Tukwila, ¡de 65 nm!) que, aunque no resulta muy rápido y tiene muy poco éxito comparado con la gama Xeon o las ofertas de AMD, al menos alcanza los 1,73 GHz, con caché L3 de hasta 24 MB y bus QPI... ¡no sé, yo pediría más por mis 3.838 dólares!

2.4.23. Micros AMD para servidores y estaciones de trabajo: Athlon MP y Opteron

Los **Athlon MP** no eran más que microprocesadores Athlon XP cuyo funcionamiento multiprocesador en placas duales (con dos zócalos) estaba garantizado por AMD; una primera incursión de AMD en el campo de los servidores, de muy escasa relevancia.

Sin embargo, los primeros micros AMD de 64 bits se destinaron al mercado profesional en una clara declaración de guerra a Intel, porque se trata del segmento más lucrativo con mucha diferencia. Son los **Opteron**, con una arquitectura interna idónea para sistemas multiprocesador (el bus HyperTransport ayuda mucho en estas tareas), existiendo modelos para equipos con entre uno y ocho microprocesadores, además de modelos con doble núcleo.

Al principio los Opteron emplearon el zócalo Socket 940, aunque también se fabricaron modelos "de gama media-baja" para Socket 939 y AM2. Posteriormente han utilizado el Socket F ó 1207, con soporte de memoria DDR2, el AM3 para DDR3 y actualmente los Socket C32 y G34, para ¡hasta 16 núcleos Bulldozer!

Aunque AMD era novata en este mercado, ha crecido a un ritmo bastante bueno... y falta le hace, no tiene el margen de maniobra de Intel para jugar a vender más reduciendo los precios (figura 2.31).

2.5. Microprocesadores para PC portátiles

Originalmente, los portátiles utilizaban los mismos microprocesadores que los PC de escritorio. Sin embargo, el aumento imparable de la potencia de estos microprocesadores implicaba incrementos de consumo y calor disipado que

reducían la vida de la batería considerablemente y obligaban a instalar sistemas de refrigeración con ventiladores demasiado ruidosos. Por ello, se empezaron a diseñar microprocesadores específicos para portátiles, bien desde cero o retocando diseños ya empleados en PC de escritorio, con distintas gamas según su consumo y potencia.

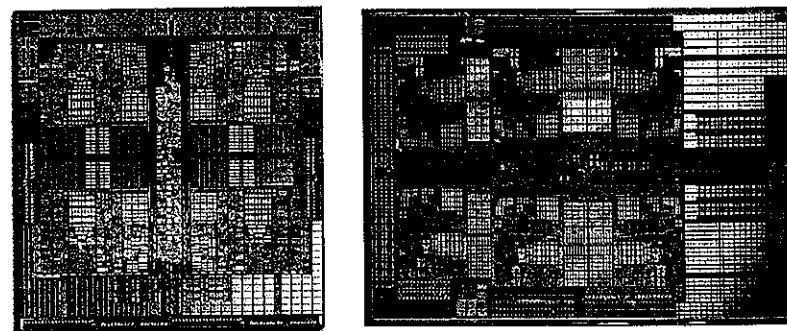


Figura 2.31. Dos die de AMD Opteron, de cuatro núcleos y de seis núcleos

Al igual que en los micros para PC de escritorio, la nomenclatura basada en los MHz reales dio paso a una basada en los MHz "equivalentes" y, finalmente, se va implantando una que emplea códigos de letras y números, donde lo único que queda claro a primera vista es que un código con un número superior indica más rendimiento que uno con un número inferior...

2.5.1. Plataformas Centrino, Turion 64, VISION...

Intel fue pionera en empezar a clasificar a los portátiles como compatibles o no con una cierta "plataforma tecnológica", en su caso llamada Centrino. Así, un portátil **Centrino** no incluía un microprocesador llamado así, pero sí uno específico para portátiles (de Intel), un chipset de Intel y una tarjeta de red inalámbrica de Intel.

En fin, una simple estrategia comercial que le funcionó muy bien a Intel (casi nunca fallan en eso, la verdad), por lo que AMD decidió sacar sus propias marcas de tecnología portátil, empezando primero **Turion 64** (que incluía un microprocesador Turion 64 X2, claro) y ahora **VISION** para las APU A8 / A6 / A4... Yo creo que mejor es dejarse de "marcas comerciales" y fijarse más en lo que hay debajo.

2.5.2. Pentium M

Este microprocesador fue el modelo de Intel más común en portátiles "de uso general", casi todos pertenecientes a la plataforma Centrino, excluyendo a los modelos ultraligeros (con modelos capaces de funcionar a menor voltaje, por tanto de menor consumo) y a los sustitutos de PC de escritorio.

Las principales características de algunos de estos Pentium M (ojo, sólo "M", no confundir con los "Pentium 4 M", de mucho mayor consumo), concretamente los basados en el núcleo *Dothan* de 90 nm, se recogen en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Características clave de los Pentium M de voltaje normal

Pentium M de voltaje normal		
Código de modelo	780, 770, 760, ... 730	765, 755, 745, ... 715
Velocidad interna	2,26 (780) a 1,6 GHz	2,1 (765) a 1,5 GHz
Caché L1	64 KB	64 KB
Caché L2	2 MB	2 MB
Velocidad de bus	533 MHz	400 MHz
Disipación TDP	27 W	21 W

El diseño del Pentium M mezclaba una base de Pentium III con detalles propios del Pentium 4 (como la velocidad del bus FSB, aunque sin soporte para la tecnología Hyper-Threading), y otros específicamente diseñados para este micro. Podía utilizar memoria DDR-2, bastante recomendable por su bajo consumo, pero sólo con el chipset i915.

Su consumo era bastante reducido, pudiendo reducirse más si el software estaba adecuadamente configurado para utilizar la tecnología Enhanced Intel SpeedStep, que reduce el voltaje y la frecuencia a diversos escalones inferiores según la carga de trabajo de cada instante.

Si se requería aún menor consumo, podían utilizarse los modelos de Pentium M con voltaje reducido o incluso *ultrarreducido*:

- 10 W en los de velocidad máxima 1,6 GHz (7x8).
- 5,5 W en los de velocidad máxima 1,3 GHz (7x3).

Por supuesto, su rendimiento era menor aunque razonable para aplicaciones de oficina y se agradecía la duración extra de la batería... aunque *un portátil ultraligero nunca es barato*, ojo.

2.5.3. Turion 64

Los primeros microprocesadores AMD para portátiles compartían gran parte de su diseño con el Athlon 64 de escritorio, un micro de consumo bastante razonable que sólo requería ligeros ajustes para su uso portátil; además, gracias a su diseño interno, a su altísima velocidad de bus y a tener integrado el controlador de memoria, resultaban muy rápidos. En realidad, originalmente incluso usaban un zócalo de escritorio, el Socket 754.

Las principales características del Turion 64, que era la competencia directa del Pentium M de Intel, se recogen en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Características clave de los AMD Turion 64

Turion 64		
Código de modelo	ML-44, ML-42, ... ML-28	MT-40, MT-37, ... MT-28
Velocidad interna	2,4 (ML-44) a 1,6 GHz	2,2 (ML-42) a 1,6 GHz
Caché L1	128 KB	128 KB
Caché L2	1 MB ó 512 KB	1 MB ó 512 KB
Velocidad de bus	1600 MHz	1600 MHz
Disipación TDP	35 W	25 W

Posteriormente se fabricaron dos modelos basados en otro núcleo y destinados a un nuevo zócalo para portátiles, el Socket S1:

- MK-38: 2,2 GHz, 512 KB, disipación 31 W.
- MK-36: 2 GHz, 512 KB, disipación 31 W.

Así pues, como puede verse, la designación de los Turion 64 era ML-xy para los modelos de potencia disipada de diseño (TDP) de 35 W, MK-xy para los modelos de 31 W y, finalmente, MT-xy para los modelos de bajo consumo, solamente 25 W. Teóricamente el sistema de nomenclatura está abierto, de forma que en el futuro podría llegarse a modelos que en lugar de las letras L y T empleasen otras más cercanas a la Z (consumo ridículamente reducido) o la A (altísimo consumo).

Los micros AMD también disponen de una tecnología específica para la reducción del consumo en varias etapas, conocida con el nombre de PowerNow! Su utilización resulta sin duda imprescindible, especialmente cuando se trabaja con la batería.

2.5.4. Celeron M y Sempron de bajo consumo

Tanto Intel como AMD han puesto en circulación en el mercado modelos de microprocesador de bajo coste para portátiles económicos, aunque en general solamente recomendables para usuarios que no se plantean realizar actividades como juegos 3D, sino sólo tareas de oficina, navegación por Internet y algo de multimedia.

No deben confundirse estos microprocesadores, llamados Celeron M y "Sempron for Thin and Light notebooks" (Sempron para portátiles delgados y ligeros) o "Mobile Sempron", con otros micros de bajo coste que por su mayor consumo entrarían en la categoría de "sustitutos de PC de escritorio", los Celeron D y "Sempron for Full-Size notebooks" (Sempron para portátiles de gran tamaño).

Tabla 2.7. Características clave de los Celeron M y Sempron

	Celeron M	Sempron for Thin & Light n
Código de modelo	450 a 410 y 390 a 350	4000+, 3800+, ... 2600+
Velocidad interna	2 a 1,46 y 1,7 a 1,3 GHz	2,2 (4000+) a 1,6 GHz
Caché L1	64 KB	128 KB
Caché L2	1 MB	128, 256 ó 512 KB
Velocidad de bus	533 ó 400 MHz	1600 MHz
Disipación TDP	27 ó 21 W	25 W

En general los Sempron eran igual de rápidos o incluso ligeramente más que los Celeron M, pese a su baja cantidad de memoria caché, gracias a su mayor frecuencia de funcionamiento, a su altísima velocidad de bus y a que su caché era de tipo exclusivo, de forma que la caché L1 no está duplicada en la L2 y por tanto ahorran 128 KB.

En cuanto a consumo se refiere, las diferencias existentes eran también muy reducidas, puesto que los Sempron disponen de un valor de disipación TDP superior pero por otra parte soportaban la excelente tecnología de ahorro de energía por etapas PowerNow!, mientras que los Celeron M no disponían de soporte para la Enhanced Intel SpeedStep (quizás para mantener las diferencias con el Pentium M).

Sin embargo, se fabricaron **Celeron M de menor consumo**, los modelos de voltaje ultrarreducido (383, 373 y 353), siendo el más potente y recomendable el 383 (1 GHz y 1 MB de caché L2).

2.5.5. Microprocesadores para sustitutos de PC de escritorio

En determinados momentos ha existido una amplia oferta de microprocesadores para portátiles "transportables", con mayor potencia pero un consumo eléctrico medio o alto que los hacía muy poco interesantes comparados con los micros puramente portátiles.

En todo caso, si no importaba lo más mínimo la duración de la batería porque sólo se buscaba un PC de tamaño contenido, económico y potente, estos micros cumplían perfectamente la tarea... aunque calentándose un poco, no se le ocurra apoyar uno de estos "transportables" en las rodillas si pertenece usted a la parte masculina de la especie en edad de reproducirse.

Los principales micros para sustitutos de PC de escritorio fueron:

- **Pentium 4 Mobile:** Modelos 552, 548, 538, 532, 518; entre 3,46 y 2,8 GHz, con 1 MB de caché L2, FSB a 533 MHz y disipación de 88 W.
- **Athlon 64 Mobile:** Modelos 4000+, 3700+, ... 3000+; entre 2,6 y 1,8 GHz, con 1 MB de caché L2, FSB a 1600 MHz y disipación de 62 W.
- **Celeron D:** Modelos (muchos) 365 a 310; entre 3,6 y 2,13 GHz, con 256 ó 512 KB de caché L2, FSB a 533 MHz y disipación de 65 ó 73 W.
- **Sempron for Full-Size notebooks:** Modelos 3300+, 3100+, 3000+; entre 2 y 1,8 GHz, con 128 ó 256 KB de caché L2, FSB a 1600 MHz y disipación de 62 W.

Ninguno de estos microprocesadores era recomendable, dado su elevadísimo consumo; los Celeron D ni siquiera soportaban tecnologías de ahorro de energía, que al menos reducían algo el consumo en los otros.

2.5.6. Intel Core Duo y Core Solo

En enero de 2006 Intel lanzó por fin al mercado los esperadísimos microprocesadores con núcleo *Yonah* fabricado con tecnología de 65 nanómetros, bajo las marcas comerciales Core Duo y Core Solo, que tuvieron el honor de ser los primeros micros Intel utilizados en los Apple Macintosh (en los iMac, Mac Mini y MacBook).

El más impresionante de los dos era sin duda el **Core Duo**, con doble núcleo. Además del aumento de rendimiento que supone esto al realizar multitarea, el Core Duo destacaba por su:

- Velocidad de hasta 2,33 GHz (modelo Core Duo T2700).
- 2 MB de caché L2 compartida por los dos núcleos.
- Bus a 667 MHz (sólo 533 MHz en unos pocos modelos).
- Chipset (i945) con soporte de memoria DDR2-667.
- Muy reducido consumo, idéntico o inferior al de los Pentium M (31 W en los modelos "T" y sólo 15 W en los "L").

El Core Solo era mucho menos interesante, por ser idéntico en todo al Duo excepto en lo más importante: sólo tenía un núcleo, lo que baja su disipación muy poco, hasta 27 W (modelos "T"). Como es habitual, también se fabricaron modelos de voltaje reducido (LV) y ultrarreducido (ULV), con entre 5,5 y 9 W.

2.5.7. Athlon / Turion 64 X2, Athlon / Turion Neo, Turion II / X2 Ultra Dual-Core...

AMD presentó su primera versión de doble núcleo para portátiles varios meses después que Intel, en mayo de 2006; este retraso y el éxito de las marcas Centrino, Core y Core 2 no ayudó a estos micros, aunque desde entonces AMD ha fabricado una *enormidad de modelos* (y de marcas comerciales), de muy buen nivel técnico:

- **Athlon / Turion Neo X2:** doble núcleo, 1 MB caché L2; 18 W a 1,6 GHz en el modelo L625.
- **Turion II / Turion X2 Ultra Dual-Core Mobile:** doble núcleo, 2 MB caché L2; 35 W a 2,6 GHz en el modelo M640.
- **Athlon II / Turion II Dual-Core for Notebooks:** doble núcleo, 1 MB caché L2; 35 W a 2,3 GHz en el modelo M520.
- **Athlon Neo for Ultrathin Notebooks:** núcleo simple, 512 KB caché L2; 15 W a 1,6 GHz en el modelo MV-40.
- **Sempron for Ultrathin Notebooks:** núcleo simple, 256 KB caché L2; 15 W a 1,5 GHz en el modelo 210U, 8 W a 1 GHz en el 200U.

... Y aún existen más modelos; *todo* lo que se le pueda ocurrir derivar de los modelos Athlon II y Phenom II de escritorio, AMD lo ha hecho ya. Estos portátiles tienen una potencia sobrada para ejecutar la mayoría de funciones sin un consumo excesivo, pero tienden a estar relegados al mercado doméstico; curiosamente,

dado que AMD adquirió a ATI, a menudo incluyen chips gráficos que los hacen globalmente *mucho* más potentes en juegos 3D que los Intel con controladora integrada en el chipset.

2.5.8. Intel Core 2 Solo, Duo y Extreme

Lógicamente, una arquitectura como la Intel Core de los Core 2, basada en gran parte en el diseño del Pentium M, debía ofrecer excelentes microprocesadores portátiles, y así ha sido. Pese a tener menor consumo y menor FSB, usar memoria menos rápida y venir en distinto encapsulado, lo cierto es que apenas son distintos a nivel interno de los Core 2 de escritorio, existiendo en las mismas gamas:

- **Core 2 Solo:** Con un único núcleo, se han implementado en versión ULV de muy bajo consumo, sólo 5,5 W para hasta 1,2 GHz, 1 MB de caché L2 y FSB a 533 MHz (modelo U2200).
- **Core 2 Duo:** Doble núcleo de consumo general; con muchos modelos, entre los que podríamos destacar el T5600 (1,83 GHz, 2 MB L2, FSB 667 MHz) y el T7500 (2,2 GHz, 4 MB L2, FSB 800 MHz), de consumo 34 y 35 W respectivamente.
- **Core 2 Extreme:** Una gama (alta) poco explotada aún, por ahora ofrece simplemente más velocidad de reloj, hasta 2,8 GHz en el X7900, a costa de una mayor disipación, 44 W.

La frontera entre microprocesadores de escritorio y portátiles cada vez está más desdibujada, algo realmente de agradecer; ya sólo falta que se consiga meter la potencia de dos tarjetas gráficas de alta gama en la carcasa de un portátil para que la mayoría de usuarios abandonen definitivamente esas enormes y ruidosas cajas rectangulares que muchos aún asociamos mentalmente con la idea de "PC".

2.5.9. Intel Atom

Este microprocesador, cuyo diminuto núcleo de menos de 25 milímetros cuadrados sin duda es calificable como "de escala atómica", fue el culpable del fenómeno de los "netbook"... para mal y para bien. Algunas de sus características son todo un viaje al pasado, casi hasta la época del Pentium original:

- Arquitectura superescalar, pero de sólo dos instrucciones por ciclo de reloj (en otros micros, actualmente unas cuatro... ¡por núcleo!).
- Un único núcleo en muchos modelos (Zxxx, N2xx, N4xx).

- Ejecución "en orden" de las instrucciones de programa, salvo por algunos trucos para casos concretos carece de la reordenación de los comandos y ejecución especulativa que se habían convertido en algo estándar desde la presentación del Pentium Pro en 1995!
- Afortunadamente, incluye diversas optimizaciones modernas, una buena caché L2 y Hyper-Threading, para aprovechar al máximo sus capacidades y ser "suficientemente rápido"; interesante concepto.

Por supuesto, todo tiene un motivo: consume entre 10 y 2,5 W, *dos vatios y medio*, que se reducen a milivatios cuando está en reposo; la autonomía de un equipo con Atom puede ser muy buena... si el resto de componentes está a la altura, su primer chipset, el Intel 945GSE, consumía casi cuatro veces más que el propio Atom. Otro chipset, el US15W Poulsbo, reducía el consumo total a sólo 5 W, pero se usó poco por su mayor coste.

Y hay otra justificación: en una oblea de 300 mm caben unos 2.600 de estos micros (de 45 nm), en lugar de apenas 570 micros Core 2 Duo, de manera que es francamente rentable para Intel.

En fin, es un microprocesador de rendimiento increíblemente bajo según todos los criterios actuales, pese a su razonable velocidad de reloj (1,66 GHz en los modelos más habituales), pero que ofrece gran autonomía y suficiente potencia para ejecutar Word, Excel, Firefox, Messenger, Buscaminas, etc. ... Para multimedia va más justo, los vídeos de alta definición se le atragantan, salvo con reproductores optimizados, preferiblemente en versiones de doble núcleo. Y de jugar, ni hablamos.

2.5.9.1. VIA Nano

En breve: este micro es de filosofía muy similar al Intel Atom (pequeño, bajo consumo, rendimiento suficiente), ha demostrado múltiples veces ser *mucho* más rápido que el micro de Intel... pero se ha utilizado en muchos menos modelos de netbook. Curioso (o lamentable), pero nada raro en el mundo PC.

2.5.10. AMD C-xx / E-xxx / Z-01 (Fusion Brazos)

Si la palabra de moda actualmente en informática es "tablet", la palabra de moda en 2008-2009 era sin duda "netbook", y visto el éxito de los "discretos" (cuando no mediocres) Intel Atom, AMD se planteó hacer algo mejor... Y de nuevo tardó más de lo recomendable, pero sí dio con un buen producto. Los AMD "Fusion Brazos" se resumen fácilmente: su CPU es la respuesta de AMD al "pequeño, barato, de

bajo consumo", una arquitectura sencilla pero más avanzada que la del Atom, al ser "out of order" (reordena las instrucciones para aprovechar mejor los ciclos de trabajo), que AMD denomina Bobcat...

... CPU a la que se ha sumado una GPU Radeon HD integrada de rendimiento suficiente; por tanto, se trata de "micros" tipo APU (en realidad unos meses anteriores a los Fusion Llano, aunque aquí los exponga después).

Existen modelos para distintos segmentos, de los que destacaría:

- **Z-01**, con dos núcleos a 1 GHz, TDP de 5,9 W.
- **C-50 y C-60**, similares al Z-01 pero con TDP de 9 W.
- **E-350 y E-450**, modelos "potentes", con dos núcleos a 1,6 / 1,65 GHz y TDP de 18 W.

Poco más que comentar: si sus necesidades pasan por la ofimática, navegar por Internet y reproducir vídeos, *incluso en alta definición*, no lo dude: un AMD Fusion Brazos es bastante mejor que un Atom, a veces hasta más barato... y siempre menos frecuente, la marca Intel pesa mucho. Eso sí, evite los juegos, para eso necesitaría un Fusion Llano.

2.5.11. AMD A8 / A6 / A4 / E2 (Fusion Llano)

No voy a repetir aquí todo lo comentado ya en el apartado 2.4.18, claro; sólo señalar de nuevo que estas APU (CPU con GPU integrada) son espléndidas para las tareas típicas de un portátil y además con la posibilidad de jugar ocasionalmente de forma bastante digna.

Los modelos Fusion Llano para portátiles tienen:

- 2 núcleos, en los modelos A4 y E2;
- 4 núcleos, en los modelos A6 y A8.

... Con un consumo de 35 ó 45 W, dependiendo de su combinación de número de núcleos y velocidad en GHz. Y una gráfica integrada decentita, muy por delante de la de los...

2.5.12. Intel Core i7, i5, i3 para portátiles (y Pentium y Celeron derivados)

Como sucede también en el caso de los AMD Fusion Llano, no repetiré todo lo de los apartados 2.4.13 y 2.4.14. El primer Core i7 para portátiles (núcleo Clarksfield de 45 nm, con cuatro núcleos), apenas se utilizó por ser de coste y

consumo energético elevados (TDP de 45 ó 55 W); el despegue definitivo se dio con los Core i7 / i5 / i3 con controladora gráfica integrada (Westmere y Sandy Bridge):

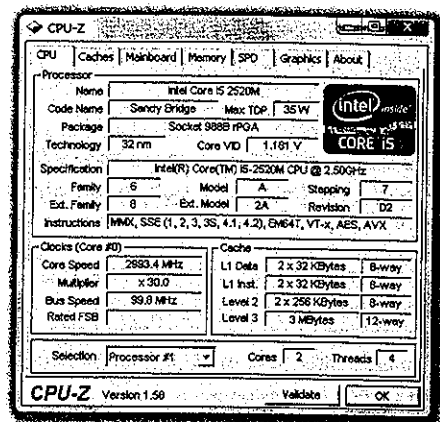


Figura 2.32. Características de un Intel Core i5 portátil Sandy Bridge (2520M)

- 2 núcleos + Hyper-Threading de forma estándar.
- 4 núcleos + Hyper-Threading en los Core i7 de muy alta gama (modelos con 6 ó 8 MB de caché L3).
- TDP "estándar" de 35 W, con versiones de menor velocidad de reloj para TDP reducidos, 25 W ó 17-18 W.

... Sin duda excelentes para absolutamente todo excepto para jugar en 3D de forma mínimamente seria, eso requeriría una GPU dedicada de NVIDIA o ATI, lo que incrementa el precio del portátil considerablemente.

Ah, según la rumorología, los **Ivy Bridge** (¿Core i3xxx?) para portátiles copiarán este esquema de forma casi idéntica, sólo que a más GHz y con una gráfica integrada más potente, quizás ya suficiente para 3D.

Finalmente, para terminar con este largo capítulo, destacar que también en portátiles Intel "recorta" micros Nehalem / Sandy Bridge y los vende bajo las marcas **Pentium** y **Celeron**; casi todos son tipo "Core i3 sin Hyper-Threading (ni Turbo) y con menos caché L3", aunque unos pocos Celeron son particularmente malos, ¡sólo tienen un núcleo! Evite por tanto los Celeron o mejor compruebe las especificaciones en la web de Intel.

2.6. Recursos de interés en Internet

- www.intel.com/cd/corporate/techtrends/emea/spa/324535.htm (o buscar "fabricación de Intel" en www.intel.com): Aunque evidentemente llena de autocomplacencia, la información que ofrece Intel sobre la fabricación de microprocesadores es realmente impresionante.
- ark.intel.com y products.amd.com/en-us/: Hoy en día es casi imposible comprar "por catálogo" sin consultar antes en los fabricantes a qué GHz, tamaño de caché, etc., corresponde la incomprensible referencia del micro. Además, ofrecen utilidades, *drivers* y multitud de documentación técnica sobre todas las tecnologías implicadas... aunque enseguida pasan del español al inglés, claro.
- www.anandtech.com/show/2045 y números 2702, 2832, 4083, 4444, 4955, 2493 y 4023: Cada uno tiene sus páginas web favoritas; sin duda, una de las más es AnandTech. Las direcciones son de los artículos de presentación del Core 2, del Phenom II, del Core i7 Lynnfield, de los Sandy Bridge, de los Fusion Llano, del FX Bulldozer y de los Atom y Fusion Brazos. Para comparar su rendimiento, eche un vistazo a los "CPU Charts" de Tom's Hardware, en www.tomshardware.com/charts/
- arm.com/products/processors/cortex-a/index.php: Para información sobre núcleos ARM como los Cortex-A, acuda a ARM Holdings, claro.
- www.cpubid.com: Si quiere comprobar con detalle las características de su microprocesador (velocidad, multiplicador, caché, *stepping*...), el programa CPU-Z es lo que necesita; incluso podrá comprobar la información sobre los módulos de memoria RAM. Y pruebe también HWMonitor, TMonitor...
- www.alcpu.com/CoreTemp/: Finalmente, no olvide nunca comprobar que su micro está bien refrigerado... ¡especialmente si el equipo presenta inestabilidad o está usted iniciándose en el *overclocking*!