

S.I.

Unidad 3

La memoria principal



Unión Europea

Fondo Social Europeo

El FSE invierte en tu futuro



- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores



- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores



- **Arquitectura de la memoria**
 - “Memoria” -> retener información
 - En la unidad anterior estudiamos *programa almacenado*:
 - Todo programa a ejecutar -> almacenado en la “memoria principal”



- **Arquitectura de la memoria**

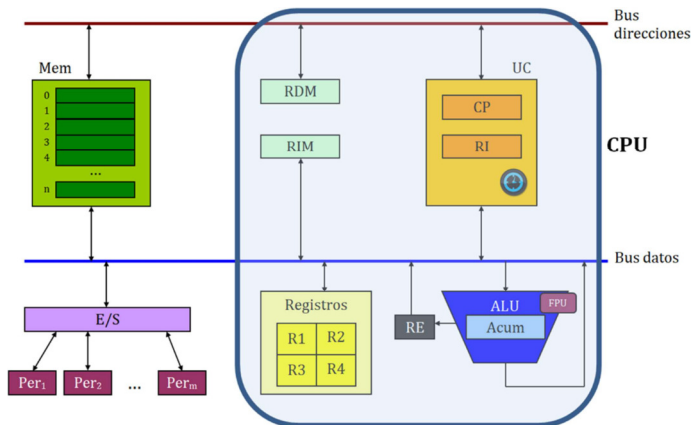
- Las tres ideas de arquitectura de Von Neumann:
 - Memoria principal -> almacena **datos e instrucciones**
 - Se puede acceder a cualquier parte de la memoria mediante una **dirección de memoria**
 - Un programa se ejecuta **secuencialmente**, pasando de una instrucción a la siguiente

Introducción



- **Arquitectura de la memoria**

- La memoria almacena el programa que se va a ejecutar y la CPU lo irá ejecutando
 - La **Unidad de Control** (UC) emitirá las señales oportunas
 - La **Unidad Aritmético-Lógica** (ALU) realizará los cálculos





- **Composición de una memoria**
 - *¿Cómo se diseña una memoria para que almacene información? ¿Cómo se guardan los 1 y los 0?*
 - Se suelen emplear diferentes componentes como:
 - Biestables
 - Condensadores



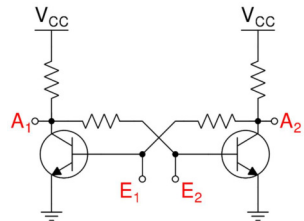
- **Composición de una memoria**

- **Biestables**

- Es un pequeño circuito capaz de almacenar **un bit**
- Más de un bit -> varios biestables

✓ Memorias más **rápidas**

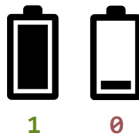
✗ Son más **grandes** físicamente y más **caras**





- **Composición de una memoria**

- Biestables
- Condensadores
 - Varios condensadores + transistor MOS
- ✓ Memorias más pequeñas físicamente y más baratas
- ✗ Necesitan ser “refrescadas” cada cierto tiempo para mantener su valor almacenado
 - ✗ Necesario un circuito de refresco
- Condensador cargado -> bit = 1
- Condensador descargado -> bit = 0

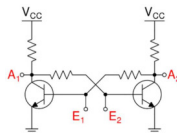




- **Composición de una memoria**

- Memorias basadas en **biestables** -> **SRAM**

- *Static Random Access Memory*
- Utilizadas en **memoria caché**



- Memorias basadas en **condensadores** -> **DRAM**

- *Dynamic Random Access Memory*
- Utilizadas en **memoria principal**





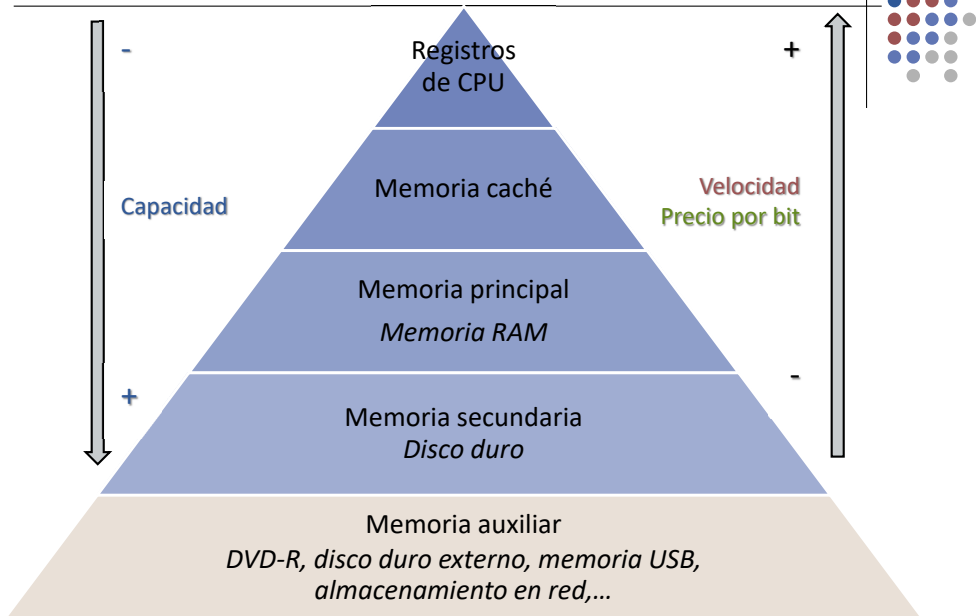
- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores

Jerarquía de memorias



- Organizamos niveles dependiendo de la **capacidad**, la **velocidad** y el **coste por bit**
- El nivel superior estará constituido por memorias:
 - **Menor capacidad**
 - **Muy rápidas**
 - **Menor tiempo de acceso**
 - **Alto coste por bit**
- A menor nivel -> **más capacidad**, es **más lento** y **más barato** que el anterior

Jerarquía de memorias



Jerarquía de memorias



- Registros de la CPU
- Caché
- Principal
- Secundaria
- Auxiliar

Jerarquía de memorias



- Registros de la CPU
 - Muy baja capacidad, velocidad extrema, integradas en el procesador
 - Permiten guardar y acceder a valores muy usados, normalmente en operaciones matemáticas
 - El tiempo de acceso es menor que 1 ns



- Registros de la CPU
- Caché
 - **Baja capacidad, muy alta velocidad**
 - Se interponen entre el procesador y la memoria principal
 - **Acelera el acceso a los datos**, trasladándolos a un medio más rápido cuando se supone que van a utilizarse pronto
 - Acceso por primera vez a un dato -> se copia en la caché
 - Accesos posteriores -> acceso a dicha copia -> tiempo de acceso menor que acceder a la memoria RAM

Jerarquía de memorias



- Registros de la CPU
- Caché
- Principal
 - La memoria RAM
 - Es más **lenta** y de **mayor capacidad** que la caché

Jerarquía de memorias



- Registros de la CPU
- Caché
- Principal
- Secundaria
 - Discos duros y unidades SSD del ordenador (tanto internos como externos) donde se almacenan los programas y archivos para uso posterior
 - Alta capacidad
 - Velocidad mucho menor que la memoria RAM
 - Precio bajo

Jerarquía de memorias



- Registros de la CPU
- Caché
- Principal
- Secundaria
 - En el caso de que la memoria principal sea insuficiente, se utiliza espacio de los discos duros (o unidades SSD) como apoyo
 - A esta técnica se le denomina *memoria virtual*

Jerarquía de memorias



- Registros de la CPU
- Caché
- Principal
- Secundaria
- Auxiliar
 - La **velocidad es la menor**
 - Utilizados como soporte de copias de seguridad

Jerarquía de memorias



Nivel	Tipo de memoria	Capacidad (usual)	Tiempo de acceso (usual)
0	Registros CPU	8 bits – 1 kB	<1 ns
1	Caché	4 MB – 64 MB	<3 ns
2	Principal <i>RAM</i>	8 GB – 32 GB	<9 ns
3	Secundaria <i>Disco duro</i>	500 GB – 6 TB	<12 ms
4	Auxiliar <i>DVD-R</i>	1,44 MB – TBs	>90 ms



- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores

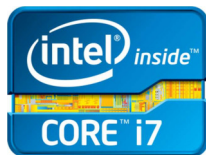


- Ranuras de memoria
 - Conectores para la memoria principal del ordenador, la **memoria RAM** (***R**andom **A**ccess **M**emory*), alojados en la **placa base**
 - La memoria RAM está formada por **varios chips** soldados al módulo de memoria
 - Estos módulos han ido evolucionando en:
 - Tamaño
 - Capacidad
 - Rendimiento
 - Forma de conectarse a la placa
 - Consumo

Ranuras de memoria



- Ranuras de memoria
 - Normalmente, en bancos de **1**, **2** ó **4** ranuras
 - Con los **Intel Core i7**, aparecen, bancos de **6** y **8** ranuras





- Ranuras de memoria

👉 **IMPORTANTE:** Consultad el manual de la placa base para saber el **tipo de memoria** y la **capacidad máxima** que soporta por ranura y en total



- A veces es necesario instalar los módulos por parejas y en ranuras concretas, por ejemplo, para aprovechar la capacidad de doble canal de memoria (dual channel)



- Dual channel $\geq$ Pentium 4
 - Tecnología integrada en los chipsets -> permite el **acceso simultáneo** a **dos módulos** de memoria de **idéntica capacidad**, gracias a disponer de **2 canales** de comunicación con la memoria
 - Aumenta la transferencia de datos por segundo
- ✍ Los módulos de memoria, además de tener la misma capacidad, es altamente recomendable que sean de las mismas características, tales como:
 - Marca
 - Modelo
 - Velocidad

Utilizando memorias de distintas,
el sistema funcionará a la velocidad de las **más lentas**
(ojo, en caso de que haya compatibilidad y funcione)



- Dual channel
 - Kits de memorias -> preparados para dual channel
 - ex: "2 x 8 GB de RAM"
 - Si hay incompatibilidades o sólo 1 módulo de memoria:
single channel





- Dual channel

¿Y 2 módulos de memoria idénticos, pero de **distinta capacidad**?

Por ejemplo, uno de 8 GB y otro de 16 GB (24 GB en total)

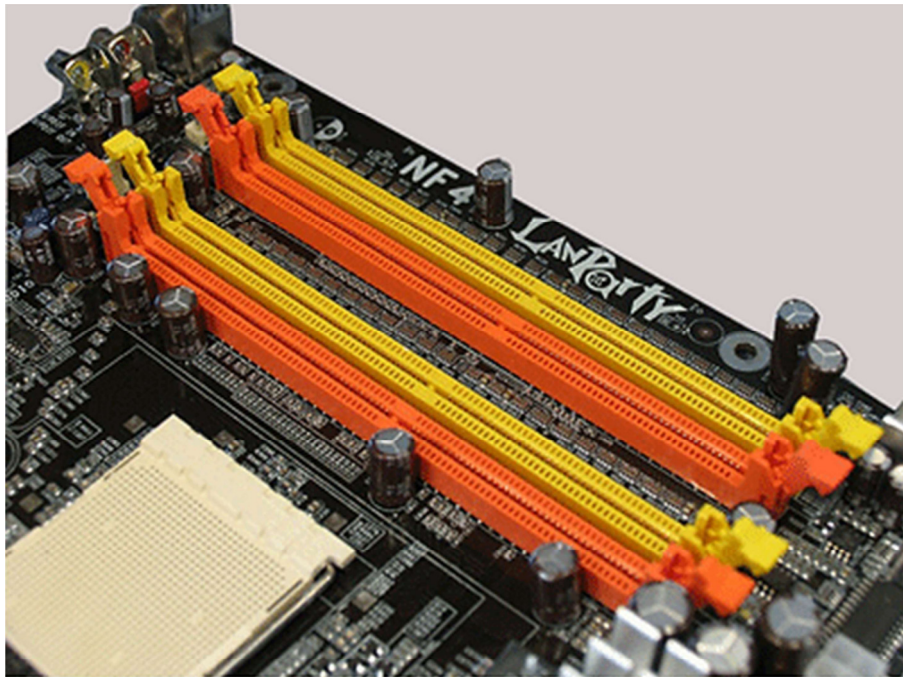
Modo FLEX

Los 8 primeros GB de cada módulo de memoria funcionarían en
dual channel (16 GB en total)

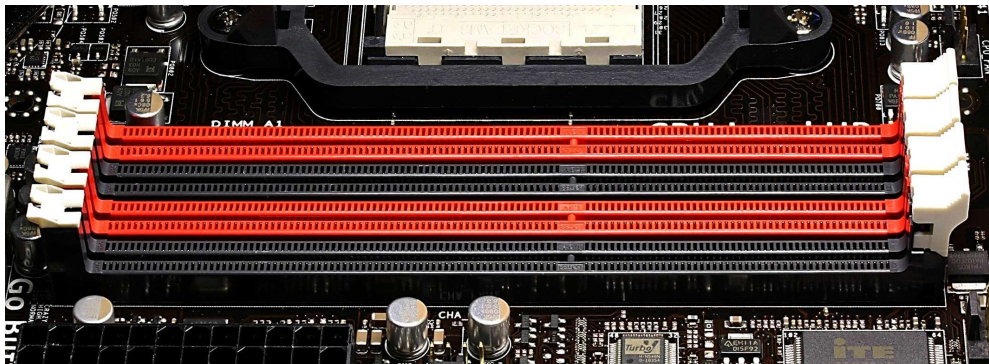
A los 8 GB restantes del módulo de 16 GB se accedería en
single channel



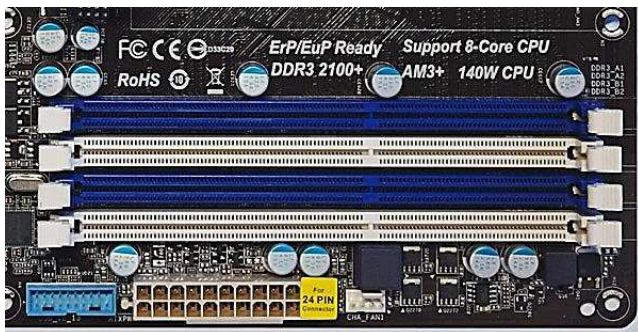
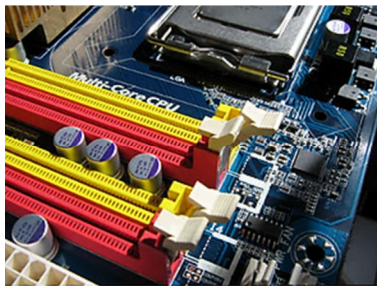
- Dual channel
 - Rendimiento sobre todo con **GPUs integradas**
 - Sin memoria propia → **usan la memoria RAM**
 - Con Dual Channel:
 - **CPU** accede a un módulo para tareas generales
 - **GPU** accede a otro módulo para tareas relacionadas con los gráficos
- 👉 Algunas CPUs disponen de memoria **caché L4** -> destinada a la GPU integrada, entre otras labores*



4 ranuras preparadas para dual channel
(amarillo con amarillo y naranja con naranja)



Otros ejemplos de
dual channel



Ranuras de memoria



- Triple channel
 - Primeros **Intel Core i7** (la gama más *Extreme*) introducen el concepto de **triple canal**
 - Igual que el dual, pero con un módulo más de memoria

6 ranuras preparadas para
triple channel
(negro con negro
y rojo con rojo)





Otros ejemplos de
triple channel



Ranuras de memoria



- Quad channel
 - Con la gama más alta de la 2ª generación de los **Intel Core i7 (Sandy Bridge)**, apareció la tecnología **quad channel**
 - Cuatro módulos de memoria trabajando simultáneamente

8 ranuras preparadas para
quad channel
(negro con negro
y gris con gris)





Otros ejemplos de
quad channel



- Quad channel
 - Sólo en gamas altas de procesadores:
 - Gamas *Extreme* de **Intel** (X / XE)
 - ThreadRipper de **AMD**



También existe **six channel**, **octa channel** y **twelve channel**
Enfocado al segmento de los **servidores**



- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores



- Capacidad
 - Cantidad de información que es capaz de almacenar
 - Hoy en día -> GBs
 - Módulos de 4, 8, 16 o 32 GB es lo más habitual
 - Recientemente estamos comenzando a ver memorias con capacidades **no-binarias** (módulos de 24 GB, 48 GB, ...)

Recuerda:

No te quedes corto de RAM o tu PC comenzará a utilizar *memoria virtual* y notarás que no funciona nada fluido





- Velocidad
 - Sólo aplicable a memorias **dinámicas** (familia DRAM)
 - Las lecturas y escrituras se sincronizan con un reloj
 - Se puede medir:
 - Según la **frecuencia** (**MHz**)
 - Según las **transferencias** (**MT/s**, millones de transferencias por segundo)
- 🌀 Actualmente podemos encontrar memorias entre 200 MHz y unos 1.150 MHz
- 🌀 Aunque los que ya sois aficionados diréis que hay memorias de velocidades más altas, más adelante explicaremos en detalle esto 🤓

Características de las memorias



- Ancho de banda
 - Cantidad máxima de datos por segundo que la memoria puede transferir
 - Lo medimos en **MB/s** o **GB/s**

🔗 Actualmente:

🔗 Memorias gama baja: unos **16 GB/s**

🔗 Memorias gama media: unos **25 GB/s**

🔗 Memorias gama tope: **>60 GB/s**



- Latencia
 - **Retardo** (medido en ciclos de reloj) al acceder a un componente
 - La más representativa -> **latencia CAS** o **CL**
 - Tiempo (medido en número de ciclos de reloj) entre la **petición** y el **primer bit** obtenido
- 🌀 Ejemplos:
- **CL18** (**CAS** *Latency* = **18**)
 - **18-22-22-42** (**CAS**-TRCD-TRP-TRAS)



- Latencia
 - Recuerda: la unidad de medida son los **ciclos** (¡no ns!)
 - En ocasiones, la frecuencia de la memoria **compensa** una latencia alta

ex:

- Memoria A: 100 MHz y CL5
- Memoria B: 1.000 MHz y CL10

Memoria B comienza a enviar los datos 5x más rápido que memoria A



- Voltaje
 - Todo módulo de memoria necesitará un **voltaje** para poder funcionar
 - A mayor voltaje:
 - Mayor consumo
 - Mayor calor disipado
 - Podemos aumentar la velocidad a la que funciona una memoria (**overclocking**) aumentando su voltaje estándar
 - Requerirá sistemas de refrigeración más sofisticados



- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores



- Memorias de sólo lectura
 - Se escriben **una sola vez**
 - *Aunque las más modernas es posible el borrado y reescritura*
 - En ausencia de electricidad **no pierden los datos**
 - Conocidas como memoria **ROM**
 - ROM
 - EPROM
 - EEPROM



- Memorias de sólo lectura
 - ROM (***R**ead-**O**nly **M**emory*)
 - Utilizada para contener programas especiales que sirven para cargar e iniciar el ordenador
 - En ella se encuentra almacenada información referente a componentes hardware del equipo
 - Fabricante de la placa, chipset,...



- Memorias de sólo lectura
 - EPROM (*Erasable Programmable ROM*)
 - Diseñadas principalmente para ser leídas
 - Pueden borrarse y volver a escribirse utilizando dispositivos específicos para ellos
 - Luces ultravioletas
 - Ventanita de cuarzo por la que pasará la luz ultravioleta

Tipos de memoria



- Memorias de sólo lectura
 - EPROM (*Erasable Programmable ROM*)



Tipos de memoria



- Memorias de sólo lectura
 - EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable ROM*)
 - Diseñadas principalmente para ser leídas
 - Pueden borrarse y volver a escribirse eléctricamente



- Memorias de lectura y escritura
 - SRAM (***S**tatic **R**andom **A**ccess **M**emory*)
 - Biestables
 - Más rápidas, más grandes físicamente y más caras
 - Memorias caché



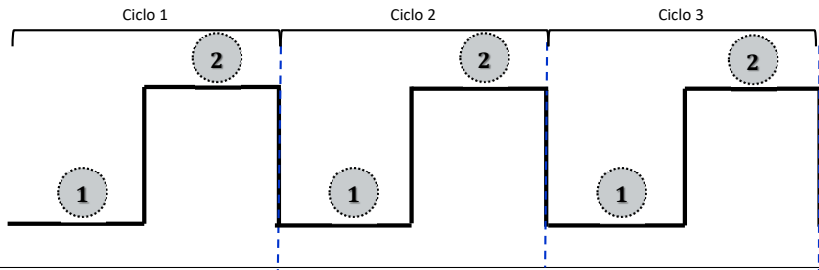
- Memorias de lectura y escritura
 - DRAM (***D**ynamic **R**andom **A**ccess **M**emory*)
 - Condensadores -> Necesitan ser refrescadas
 - Más lentas, mas pequeñas y más baratas
 - Memoria principal (RAM)
 - Refresco -> leer el dato y reescribirlo periódicamente (cada ciertos ms)
 - Parón en las operaciones de la memoria -> las hace más lentas que las SRAM
 - En éstas se basan las memorias SDRAM y la familia DDR SDRAM



- Memorias de lectura y escritura
 - SDRAM (*Synchronous **DRAM***)
 - Memorias DRAM **síncronas**
 - Usan **uno de los flancos** de cada ciclo para realizar operaciones de memoria
 - Tiene un **bus de datos** de **64 bits**
 - En cada ciclo de reloj se envían 64 bits (8 bytes)
 - Pueden soportar velocidades de hasta 133 MHz



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR SDRAM (**Double Data Rate SDRAM**)
 - Usan **ambos flancos** de cada ciclo para realizar operaciones de lectura y escritura
 - Antes sólo se aprovechaban los flancos ascendentes del reloj
 - Esta memoria aprovecha los **ascendentes** y los **descendentes**
 - La velocidad de operación = 2x





- Memorias de lectura y escritura
 - DDR SDRAM (***Double Data Rate SDRAM***)
 - De esta forma, una memoria DDR a 200 MHz **reales** entrega 400 MHz **efectivos** (o MT/s)
 - Aparecen con los **Intel Pentium 4**
 - Se comercializan con velocidades entre 100 y 300 MHz reales (200 y 600 MHz efectivos o MT/s)
 - Características:
 - 2.5V
 - Densidad de hasta 2 GB por módulo de memoria (128 MB x 16 chips)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR SDRAM (***Double Data Rate SDRAM***)
 - Nomenclatura:
 - **DDR-XXX** indica la velocidad de reloj efectiva
 - **PC-YYYY** indica el ancho de banda teórico (redondeado)
 - Ejemplos: **DDR-333**, **PC-2700** ; **DDR-400**, **PC-3200**
 - Significado: **DDR-333**, **PC-2700** es una memoria de 333 MHz (efectivos o MT/s) y un ancho de banda de 2.700 MB/s

El ancho de banda se calcula multiplicando la velocidad de reloj real **por 2** (doble tasa de transferencia) y **por 8**, ya que la DDR es una memoria de 64 bits (8 bytes)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR SDRAM (*Double Data Rate SDRAM*)
 - ✎ Calcula la **velocidad efectiva** y **ancho de banda**.
Indica sus **nombres identificativos**:
 - ✎ DDR a 100 MHz
 - $100 \times 2 = 200 \text{ MT/s}$
 - $100 \times 8 \times 2 = 1.600 \text{ MB/s}$
 - Nombres identificativos: DDR-200, PC-1600
 - ✎ DDR a 266 MHz
 - $266 \times 2 = 533 \text{ MT/s}$
 - $266 \times 8 \times 2 = 4.266 \text{ MB/s}$
 - Nombres identificativos: DDR-533, PC-4300

Nombre del estándar	Velocidad del reloj	Velocidad efectiva	Nombre del módulo	Máxima capacidad de transferencia
DDR-200	100 MHz	200 MT/s	PC-1600	1.600 MB/s
DDR-266	133 MHz	266 MT/s	PC-2100	2.133 MB/s
DDR-300	150 MHz	300 MT/s	PC-2400	2.400 MB/s
DDR-333	166 MHz	333 MT/s	PC-2700	2.667 MB/s
DDR-366	183 MHz	366 MT/s	PC-3000	2.933 MB/s
DDR-400	200 MHz	400 MT/s	PC-3200	3.200 MB/s
DDR-433	216 MHz	433 MT/s	PC-3500	3.500 MB/s
DDR-466	233 MHz	466 MT/s	PC-3700	3.700 MB/s
DDR-500	250 MHz	500 MT/s	PC-4000	4.000 MB/s
DDR-533	266 MHz	533 MT/s	PC-4300	4.264 MB/s
DDR-600	300 MHz	600 MT/s	PC-4800	4.800 MB/s

Nota: En rojo (en esta tabla y siguientes), aparecen velocidades no estándar según la organización [JEDEC](#), ofrecidas por fabricantes que ofrecen memorias overclockeadas de fábrica



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR2 SDRAM
 - Mejora sobre las memorias DDR:
 - Mayores velocidades y capacidades
 - Menor consumo
 - Permite el **doble de transferencias** que DDR (**4 transferencias** en un mismo ciclo de reloj)
 - Su **latencia** es mayor que las DDR, pero su **ancho de banda** es mucho mayor
 - Se comercializan con velocidades entre **100 y 313 MHz** reales (**400 y 1.250 MHz** efectivos o **MT/s**)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR2 SDRAM
 - Aparecen con los últimos **Intel Pentium 4**
 - Características:
 - 1.8V
 - Densidad de hasta 4 GB por módulo de memoria (*256 MB x 16 chips*)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR2 SDRAM
 - Nomenclatura:
 - **DDR2-XXX** indica la velocidad de reloj efectiva
 - **PC2-YYYY** indica el ancho de banda teórico (redondeado)
 - Ejemplos: *DDR2-533, PC2-4200 ; DDR2-800, PC2-6400*
 - Significado: *DDR2-533, PC2-4200 es una memoria de 533 MHz (efectivos o MT/s) y un ancho de banda de 4.200 MB/s*

El ancho de banda se calcula multiplicando la velocidad de reloj real por 4 (4 transferencias por ciclo) y por 8, ya que la DDR es una memoria de 64 bits (8 bytes)



- Memorias de lectura y escritura

- DDR2 SDRAM

✎ Calcula la **velocidad efectiva** y **ancho de banda**.
Indica sus **nombres identificativos**:

✎ DDR2 a 100 MHz

- $100 \times 4 = 400 \text{ MT/s}$
- $100 \times 8 \times 4 = 3.200 \text{ MB/s}$
- Nombres identificativos: **DDR2-400, PC2-3200**

✎ DDR2 a 266 MHz

- $266 \times 4 = 1.066 \text{ MT/s}$
- $266 \times 8 \times 4 = 8.533 \text{ MB/s}$
- Nombres identificativos: **DDR2-1066, PC2-8500**

Nombre del estándar	Velocidad del reloj	Velocidad efectiva	Nombre del módulo	Máxima capacidad de transferencia
DDR2-400	100 MHz	400 MT/s	PC2-3200	3.200 MB/s
DDR2-533	133 MHz	533 MT/s	PC2-4200	4.264 MB/s
DDR2-667	166 MHz	667 MT/s	PC2-5300	5.336 MB/s
DDR2-800	200 MHz	800 MT/s	PC2-6400	6.400 MB/s
DDR2-1066	266 MHz	1.066 MT/s	PC2-8500	8.500 MB/s
DDR2-1200	300 MHz	1.200 MT/s	PC2-9600	9.600 MB/s
DDR2-1250	313 MHz	1.250 MT/s	PC2-10000	10.000 MB/s



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR3 SDRAM
 - Mejora sobre las memorias DDR2:
 - Mayores velocidades y capacidades
 - Menor consumo
 - Permite el doble de transferencias que DDR2 (**8 transferencias** en un mismo ciclo de reloj)
 - Su **latencia** es mayor que las DDR2, pero su **ancho de banda** es aún mucho mayor
 - Se comercializan con velocidades entre 100 y 375 MHz reales (800 y 3.000 MHz efectivos o **MT/s**)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR3 SDRAM
 - Aparecen con los primeros **Intel Core i7**
 - Se incorporó, a posteriori, a chipsets diseñados para modelos de procesadores anteriores a éste (Core 2 y Dual-Core)
 - Características:
 - 1.5V
 - Densidad de hasta 16 GB por módulo de memoria
(1 GB x 16 chips)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR3 SDRAM
 - Nomenclatura:
 - **DDR3-XXX** indica la velocidad de reloj efectiva
 - **PC3-YYYY** indica el ancho de banda teórico (redondeado)
 - Ejemplos: *DDR3-1333, PC3-10600 ; DDR3-1600, PC3-12800*
 - Significado: *DDR3-1333, PC3-10600 es una memoria de 1.333 MHz (efectivos o MT/s) y un ancho de banda de 10.600 MB/s*

El ancho de banda se calcula multiplicando la velocidad de reloj real **por 8** (8 transferencias por ciclo) y **por 8**, ya que la DDR es una memoria de 64 bits (8 bytes)



- Memorias de lectura y escritura

- DDR3 SDRAM

✎ Calcula la **velocidad efectiva** y **ancho de banda**.
Indica sus **nombres identificativos**:

✎ DDR3 a 100 MHz

- $100 \times 8 = 800 \text{ MT/s}$
- $100 \times 8 \times 8 = 6.400 \text{ MB/s}$
- Nombres identificativos: **DDR3-800, PC3-6400**

✎ DDR3 a 266 MHz

- $266 \times 8 = 2.133 \text{ MT/s}$
- $266 \times 8 \times 8 = 17.066 \text{ MB/s}$
- Nombres identificativos: **DDR3-2133, PC3-17000**

Nombre del estándar	Velocidad del reloj	Velocidad efectiva	Nombre del módulo	Máxima capacidad de transferencia
DDR3-800	100 MHz	800 MT/s	PC3-6400	6.400 MB/s
DDR3-1066	133 MHz	1.066 MT/s	PC3-8500	8.533 MB/s
DDR3-1333	166 MHz	1.333 MT/s	PC3-10600	10.667 MB/s
DDR3-1600	200 MHz	1.600 MT/s	PC3-12800	12.800 MB/s
DDR3-1866	233 MHz	1.866 MT/s	PC3-14900	14.930 MB/s
DDR3-2000	250 MHz	2.000 MT/s	PC3-16000	16.000 MB/s
DDR3-2133	266 MHz	2.133 MT/s	PC3-17000	17.067 MB/s
DDR3-2200	275 MHz	2.200 MT/s	PC3-17600	17.600 MB/s
DDR3-2433	300 MHz	2.433 MT/s	PC3-19200	19.200 MB/s
DDR3-2666	333 MHz	2.666 MT/s	PC3-21300	21.300 MB/s
DDR3-3000	375 MHz	3.000 MT/s	PC3-24000	24.000 MB/s



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR3 SDRAM
 - Variantes
 - **DDR3L**
 - Funciona a 1,35 V (10% menos de consumo que DDR3)
 - **DDR3U**
 - Funciona a 1,25 V (17% menos de consumo que DDR3)
 - **LPDDR3**
 - Funciona a 1,20 V (20% menos de consumo que DDR3)

Estas variantes las podemos encontrar en todo tipo de equipos, desde PCs de escritorio y portátiles, a tablets y smartphones



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR4 SDRAM
 - Aparecieron a finales de 2014
 - Mejora sobre las memorias DDR3:
 - Mayores velocidades y capacidades
 - Menor consumo
 - Se incorpora un gran cambio de tecnología interno
 - Actualmente, se comercializan con velocidades entre 266 y 666 MHz reales (2.133 y 5.333 MHz efectivos o MT/s)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR4 SDRAM
 - Aparecen en los **Intel Core i7** de 6ª generación (SkyLake)
 - Características:
 - 1.2V
 - **Densidad** de hasta 64 GB por módulo de memoria
(2 GB x 32 chips)
 - ✓ Simplemente por disminuir de 1.5 a 1.2V, se reduce un 20% el **consumo** → Servidores, portátiles,...
 - ✓ Necesitaremos menos módulos de memoria para **servidores**
 - ✓ Las **velocidades** alcanzables son mucho mayores que con DDR3
 - ✓ Existen también variantes DDR4L, DDR4U y LPDDR4



- Memorias de lectura y escritura

- DDR4 SDRAM

Cuidado: DDR4 **NO** aumenta el número de transferencias por ciclo (sigue estando en 8, como DDR3)

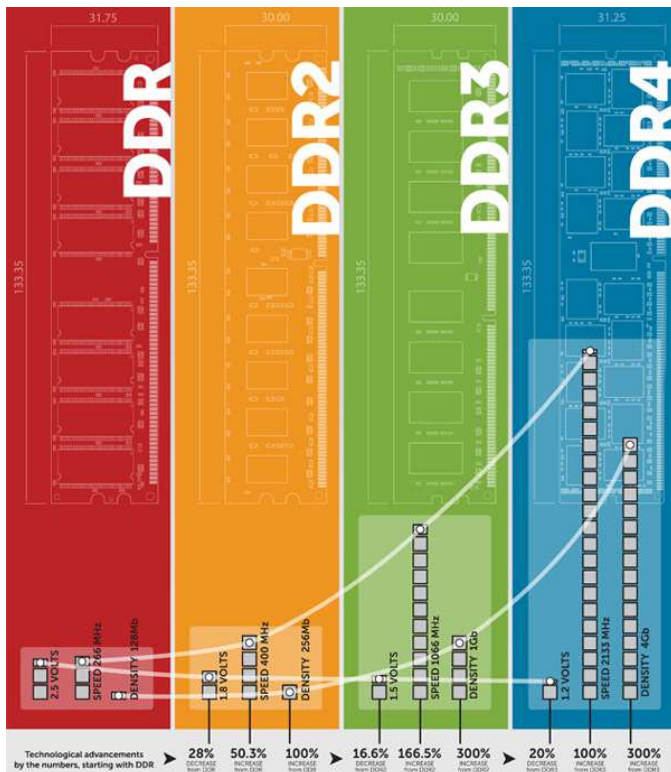
- Nomenclatura:

- **DDR4-XXX** indica la velocidad de reloj efectiva
- **PC4-YYYY** indica el ancho de banda teórico (redondeado)
- Ejemplo: *DDR4-3200, PC4-25600*
- Significado: *DDR4-3200, PC4-25600 es una memoria de 3.200 MHz (efectivos o MT/s) y un ancho de banda de 25.600 MB/s*

El ancho de banda se calcula multiplicando la velocidad de reloj real **por 8** (8 transferencias por ciclo) y **por 8**, ya que la DDR es una memoria de 64 bits (8 bytes)

Nombre del estándar	Velocidad del reloj	Velocidad efectiva	Nombre del módulo	Máxima capacidad de transferencia
DDR4-2133	266 MHz	2.133 MT/s	PC4-17000	17.000 MB/s
DDR4-2400	300 MHz	2.400 MT/s	PC4-19200	19.200 MB/s
DDR4-2666	333 MHz	2.666 MT/s	PC4-21300	21.300 MB/s
DDR4-2800	350 MHz	2.800 MT/s	PC4-22400	22.400 MB/s
DDR4-3000	375 MHz	3.000 MT/s	PC4-24000	24.000 MB/s
DDR4-3200	400 MHz	3.200 MT/s	PC4-25600	25.600 MB/s
DDR4-3400	425 MHz	3.400 MT/s	PC4-27200	27.200 MB/s
DDR4-3466	433 MHz	3.466 MT/s	PC4-27700	27.700 MB/s
DDR4-3600	450 MHz	3.600 MT/s	PC4-28800	28.800 MB/s
DDR4-3733	466 MHz	3.733 MT/s	PC4-29800	29.800 MB/s
DDR4-3866	483 MHz	3.866 MT/s	PC4-30900	30.900 MB/s
DDR4-4000	500 MHz	4.000 MT/s	PC4-32000	32.000 MB/s
DDR4-4133	516 MHz	4.133 MT/s	PC4-33000	33.000 MB/s
DDR4-4266	533 MHz	4.266 MT/s	PC4-34100	34.100 MB/s
DDR4-4400	550 MHz	4.400 MT/s	PC4-35200	35.200 MB/s
DDR4-4600	575 MHz	4.600 MT/s	PC4-36800	36.800 MB/s
DDR4-4800	600 MHz	4.800 MT/s	PC4-38400	38.400 MB/s
DDR4-5000	625 MHz	5.000 MT/s	PC4-40000	40.000 MB/s
DDR4-5133	642 MHz	5.133 MT/s	PC4-41000	41.066 MB/s
DDR4-5333	666 MHz	5.333 MT/s	PC4-42700	42.666 MB/s

De momento...



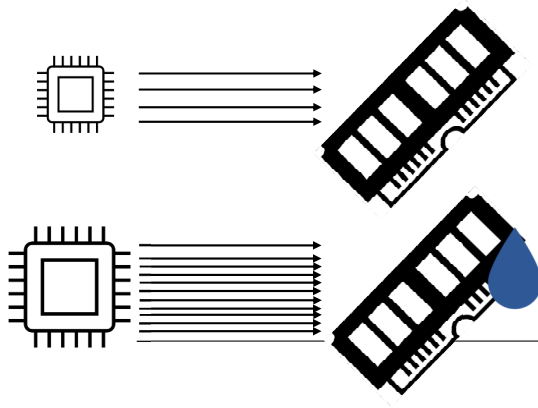
Comparativa de memorias DDR



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR5 SDRAM
 - 12ª gen. de Intel Core y serie 6000 de AMD Ryzen
 - 8 transferencias por ciclo
 - Mayores velocidades y capacidades
 - Parten de 400 MHz reales (3.200 MHz efectivos o MT/s) y llegan a 1.150 MHz (9.200 MHz efectivos o MT/s)
 - Con OC se anuncian de hasta 12.600 MHz efectivos 🤖
 - Densidad de hasta 256 GB por módulo de memoria
 - Menor consumo (1,1V)



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR5 SDRAM
 - Su motivación:
 - Cada vez CPUs con **más núcleos y más rápidos**
 - DDR4 no está escalando bien -> cuellos de botella



Tipos de memoria

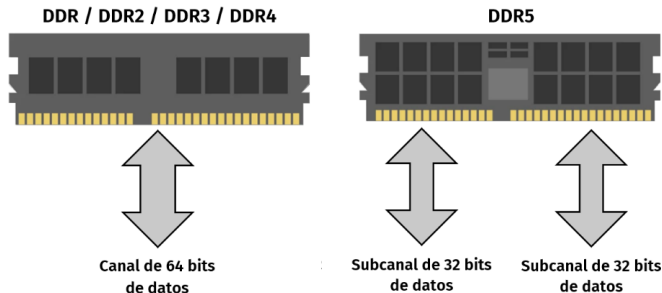


- Memorias de lectura y escritura

- DDR5 SDRAM

- **Concurrencia**

- Hasta ahora, cada módulo -> **canal único** de datos de 64 bits
 - Con DDR5 -> **dos canales independientes** de 32 bits de datos
 - Cada módulo trabaja como si fueran dos distintos -> más paralelismo aún





- Memorias de lectura y escritura
 - DDR5 SDRAM
 - ECC
 - *Error Correction Code*
 - Envío de bits *extra* para:
 - **Comprobar** que los datos están bien
 - **Reconstruirlos** en el caso de algún pequeño problema de integridad de estos
 - Con DDR5, en cada transferencia se enviarán:
 - Los **64 bits** (32 bits + 32 bits) de datos
 - Los **8 bits** *extra* de ECC

Tipos de memoria



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR5 SDRAM
 - ECC

Pero ¿por qué puede haber errores?



⚡ La **radiación cósmica** puede alterar el estado de condensadores de la RAM (cambiar un 0 en un 1, por ejemplo) ⚡

Cuanta más **densidad de información** exista en la RAM -> más propenso a errores



- Memorias de lectura y escritura
 - DDR5 SDRAM
 - **PMIC**
 - *Power Management Integrated Circuit*
 - Regulador de voltaje incorporado en los módulos de DDR5
 - Antes -> CPU decidía los niveles de voltaje de la RAM
 - Con PMIC -> CPU sigue estableciendo el voltaje principal, y la RAM hace microajustes





- Memorias de lectura y escritura
 - DDR5 SDRAM
 - Gracias a todas estas nuevas mejoras:

A igualdad de frecuencia entre DDR4 y DDR5...

DDR5 obtiene entre **30%** y un **50%** de **rendimiento extra**

ex:

DDR4-4800 vs. DDR5-4800





- Memorias de lectura y escritura

- DDR5 SDRAM

Cuidado: DDR5 **NO** aumenta el número de transferencias por ciclo (sigue estando en **8**, como DDR3 y DDR4)

- Nomenclatura:

- **DDR5-XXX** indica la velocidad de reloj efectiva
- **PC5-YYYY** indica el ancho de banda teórico (redondeado)
- *Ejemplo: DDR5-6400, PC5-51200*
- *Significado: DDR5-6400, PC5-51200 es una memoria de 6.400 MHz (efectivos o MT/s) y un ancho de banda de 51.200 MB/s*

El ancho de banda se calcula multiplicando la velocidad de reloj real **por 8** (8 transferencias por ciclo) y **por 8**, ya que la DDR es una memoria de 64 bits (8 bytes)

Nombre del estándar	Velocidad del reloj	Velocidad efectiva	Nombre del módulo	Máxima capacidad de transferencia
DDR5-3200	400 MHz	3.200 MT/s	PC5-25600	25.600 MB/s
DDR5-3600	450 MHz	3.600 MT/s	PC5-28800	28.800 MB/s
DDR5-4000	500 MHz	4.000 MT/s	PC5-32000	32.000 MB/s
DDR5-4400	550 MHz	4.400 MT/s	PC5-35200	35.200 MB/s
DDR5-4800	600 MHz	4.800 MT/s	PC5-38400	38.400 MB/s
DDR5-5200	650 MHz	5.200 MT/s	PC5-41600	41.600 MB/s
DDR5-5400	675 MHz	5.400 MT/s	PC5-43200	43.200 MB/s
DDR5-5600	700 MHz	5.600 MT/s	PC5-44800	44.800 MB/s
DDR5-5800	725 MHz	5.800 MT/s	PC5-46400	46.400 MB/s
DDR5-6000	750 MHz	6.000 MT/s	PC5-48000	48.000 MB/s
DDR5-6200	775 MHz	6.200 MT/s	PC5-49600	49.600 MB/s
DDR5-6400	800 MHz	6.400 MT/s	PC5-51200	51.200 MB/s
DDR5-6600	825 MHz	6.600 MT/s	PC5-52800	52.800 MB/s
DDR5-6800	850 MHz	6.800 MT/s	PC5-54400	54.400 MB/s
DDR5-7000	875 MHz	7.000 MT/s	PC5-56000	56.000 MB/s
DDR5-7200	900 MHz	7.200 MT/s	PC5-57600	57.600 MB/s
DDR5-7600	950 MHz	7.600 MT/s	PC5-60800	60.800 MB/s
DDR5-7800	975 MHz	7.800 MT/s	PC5-62400	62.400 MB/s
DDR5-8000	1.000 MHz	8.000 MT/s	PC5-64000	64.000 MB/s
DDR5-8400	1.050 MHz	8.400 MT/s	PC5-67200	67.200 MB/s
DDR5-8800	1.100 MHz	8.800 MT/s	PC5-70400	70.400 MB/s
DDR5-9200	1.150 MHz	9.200 MT/s	PC5-73600	73.600 MB/s

De momento...

Tipos de memoria



- Tipos de memoria

Resumen para calcular velocidades y anchos de banda:

$$\text{ancho de banda} = \text{velocidad real} \times \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 8 \end{pmatrix} \times 8$$

$$\text{velocidad real} = \frac{\text{ancho de banda}}{\begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 8 \end{pmatrix} \times 8}$$

DDR es una memoria con un bus de 64 bits (8 bytes)

Elegiremos entre (2,4,8) dependiendo de si tratamos con DDR (2), DDR2 (4) ó DDR3/DDR4/DDR5 (8)

Tipos de memoria



- Memorias de lectura y escritura

👁 Dentro de un mismo tipo de memoria, ¿cómo podemos saber **qué memoria es mejor**?

👁 Existe una fórmula empírica que nos puede ayudar:

$$\text{Coeficiente} = \frac{\text{Velocidad efectiva (MT/s)}}{\text{Latencia CAS}}$$

A MAYOR coeficiente, **MEJOR**

Tipos de memoria



- Memorias de lectura y escritura

✍ Ejemplo:

- DDR4-2666 CL14

$$\text{coeficiente} = \frac{2.666}{14} = 190$$

- DDR4-3400 CL16

$$\text{coeficiente} = \frac{3.400}{16} = 212$$

- DDR4-4000 CL20

$$\text{coeficiente} = \frac{4.000}{20} = 200$$

En este caso, las mejores serían:

1º DDR4-3400

2º DDR4-4000

3º DDR4-2666



Caso práctico 1

- Determina las características de los siguientes modelos de memoria RAM:
 - a) Kingston ValueRAM 512 MB PC-2700 6-6-6-24
 - b) Corsair ValueSelect 1 GB DDR-333 CL2.5
 - c) Kingston HyperX 1 GB DDR2-667 CAS 5
 - d) Mushkin Essential DDR2 PC2-8500 2 GB 5-5-5-15
 - e) Corsair XMS3 PC3-10600 2 GB 9-9-9-24
 - f) OCZ DDR3-2000 2 GB 10-10-10-30
 - g) G.Skill Ripjaws 4 DDR4-2666 8 GB CL16
 - h) Corsair Vengeance RGB Pro PC4-34100 16 GB CL19
 - i) Adata XPG Lancer DDR5-5200 16 GB CL38
 - j) Team Group Delta White RGB PC5-51200 32 GB 40-40-40-84



- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores



- Circuito impreso rectangular al que se sueldan diversos chips de memoria
- Tipos:
 - SIMM
 - DIMM
 - DIMM DDR
 - SO-DIMM
 - CAMM2

Módulos de memoria



- **SIMM**

- *Single In-Line Memory Module*
- **Agujeros** para sujetarse a las ranuras de la placa
- Originalmente -> de **30 contactos** (8 bits)
- Fueron sucedidos por los de **72 contactos** (32 bits)

Los contactos de cada cara están conectados entre sí



SIMM de 30 pines



Muecas

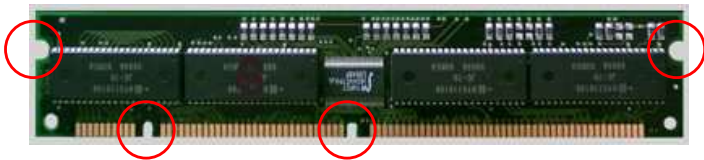
SIMM de 72 pines



- DIMM

Los contactos de cada cara están separados de sus opuestos -> 2x en el mismo espacio

- *Dual In-Line Memory Module*
- Formato es similar al SIMM, pero físicamente es más grande (**168 contactos**, 64 bits)
- Una **muesca** en los dos lados y otras dos en la fila de contactos

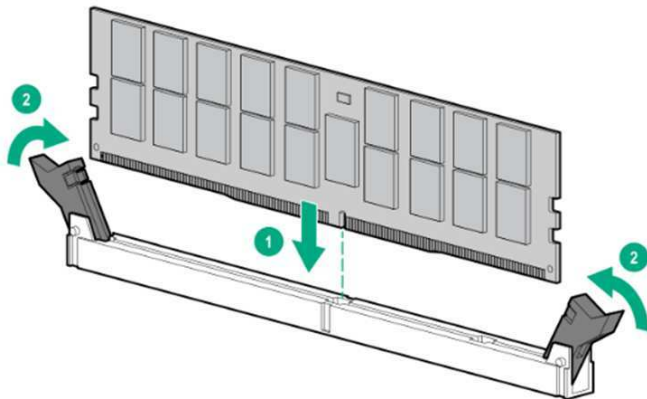


DIMM de 168 pines



- DIMM

- *Dual In-Line Memory Module*
- Se montan de forma distinta a los SIMM



Módulos de memoria



- En placas base más antiguas podemos encontrar combinación de estas dos ranuras
 - Las más cortas (de unos 10cm) son las SIMM
 - Las más largas, son las ranuras DIMM
- Las SIMM deben ser introducidas en ángulos de 45º y levantarse hasta quedar sujetas por las presillas laterales

Ranuras SIMM
(color claro)

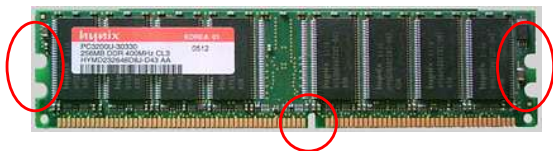
Ranuras DIMM
(color oscuro)

Ivens Huertas





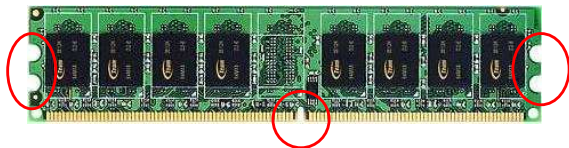
- **DDR**
 - Sustituyeron a los DIMM estándar
 - Diferencias:
 - **184 pines** (*en vez de 168*)
 - **Dos muescas** en los laterales (*en vez de una*)
 - **Una muesca** en la fila de contactos (*en vez de dos*)



DDR de 184 pines



- **DDR2**
 - Muy parecidos a los DDR. Tienen:
 - **240 pines**
 - **Dos muescas** en los laterales
 - **Una muesca** en la fila de contactos (posición distinta a los DIMM DDR)

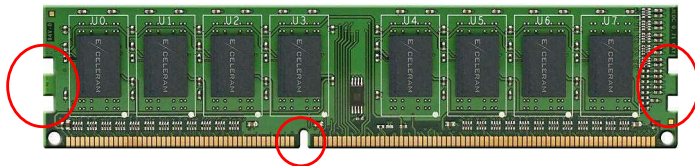


DDR2 de 240 pines



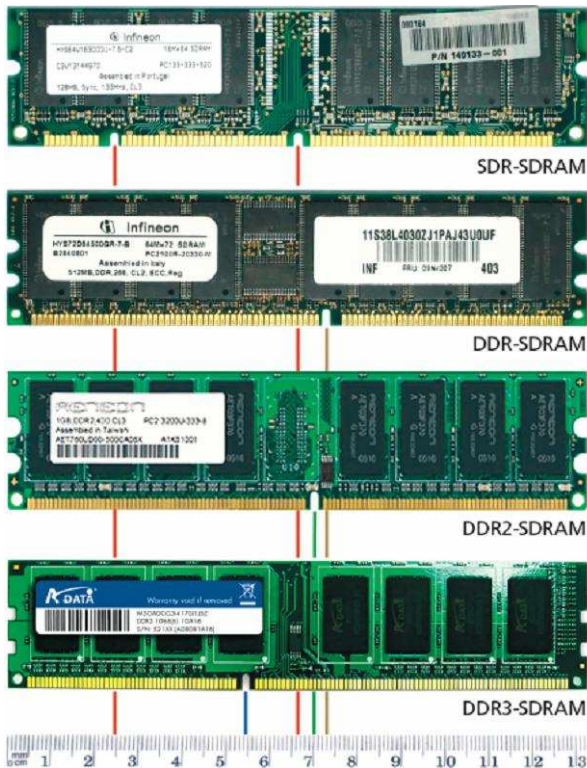
- **DDR3**

- Muy parecidos a los DDR y DDR2. Tienen:
 - **240 pines**
 - **Dos muescas** en los laterales
 - **Una muesca** en la fila de contactos (posición distinta a los DIMM DDR y DDR2)



DDR3 de 240 pines

Comparativa de
posición de las
muestras en
distintas memorias



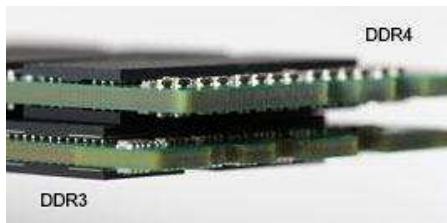


- **DDR4 y DDR5**

- Muy parecidos a sus antecesoras DDR3. Tienen:

- **288 pines**
- **Dos muescas** en los laterales
- **Una muesca** en la fila de contactos (posición distinta a las anteriores DDR)
- **Más gruesas** que las anteriores DDR

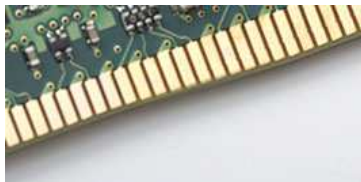
También incompatibles
entre sí



Módulos de memoria



- DDR4 y DDR5
 - **Borde curvo** -> facilita su inserción en la ranura



DDR3

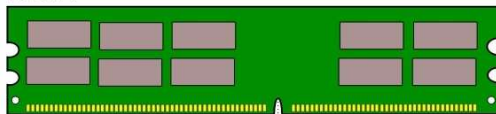


DDR4

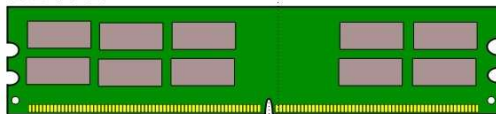


Comparativa de
memorias de la
familia DDR

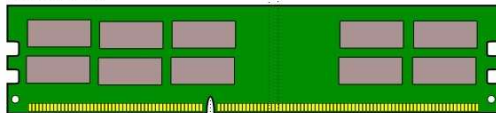
DDR



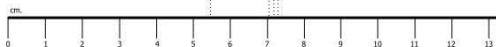
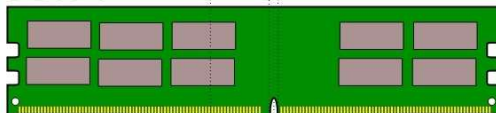
DDR 2



DDR 3



DDR 4



Módulos de memoria



- SO-DIMM

- *Small Outline DIMM*
- Versión compacta de los módulos DIMM, para portátiles



SO-DIMM de 200 pines

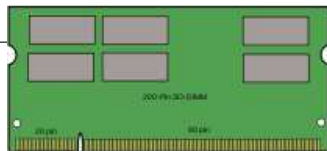


Módulos de memoria

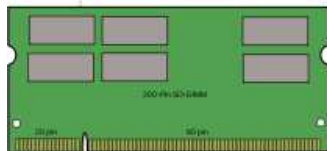
- SO-DIMM

- Los SO-DIMM para memorias (DDR hasta DDR5) se diferencian porque tienen la muesca en distinta posición

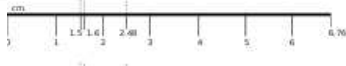
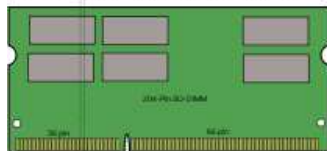
SO-DIMM DDR



SO-DIMM DDR 2



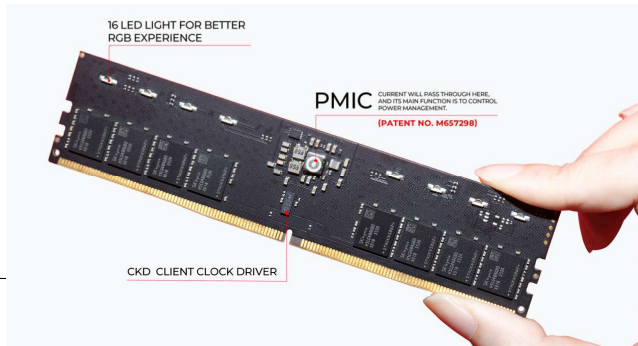
SO-DIMM DDR 3





● CU-DIMM y CSO-DIMM

- Hasta ahora, en PCs de consumo, por defecto todos los DIMM eran *unbuffered* (sin buffer ni controlador de reloj), así que la gente simplemente los llamaba “módulo DIMM”
 - La forma completa de referenciarlos sería **UDIMM** (*Unbuffered DIMM*)
- Recientemente han aparecido en el mercado los llamados módulos **CUDIMM**





- CU-DIMM y CSO-DIMM

- **CUDIMM** (*Clocked Unbuffered DIMM*) -> 2024
- Módulo DIMM “mejorado” para DDR5 de alta velocidad
- Incluye un **controlador de reloj** en el propio módulo:
 - Reduce el ruido eléctrico
 - Mejora la integridad de la señal a frecuencias muy altas (>6.400 MT/s)
- Si buscamos **estabilidad a frecuencias muy elevadas** o montar un sistema de alta gama -> CUDIMM (mejor señal y fiabilidad)
- **Compatible** con la gran mayoría de placas base DDR5 actuales (conviene confirmarlo)



- CU-DIMM y CSO-DIMM
 - **CSO-DIMM** (*Clocked Small-Outline DIMM*)
 - Versión compacta de CUDIMM, destinada a equipos **portátiles** o sistemas embebidos
 - Análogo al modelo DIMM y SO-DIMM visto antes





- CAMM2

- *Compression Attached Memory Module* (el 2 es la revisión)
- Nuevo estándar y factor de forma
- Viene a solucionar los problemas de las limitaciones técnicas de los tradicionales SO-DIMM
 - Mucho **más compacto** que SO-DIMM
 - Colocados de forma **paralela** a la placa base, sobre unos contactos que conectan con la placa y posteriormente **atornillados** a ésta
 - Ventajas de tener la RAM soldada a la placa (equipos más delgados), pero permitiendo cambiar este componente si es necesario



- CAMM2

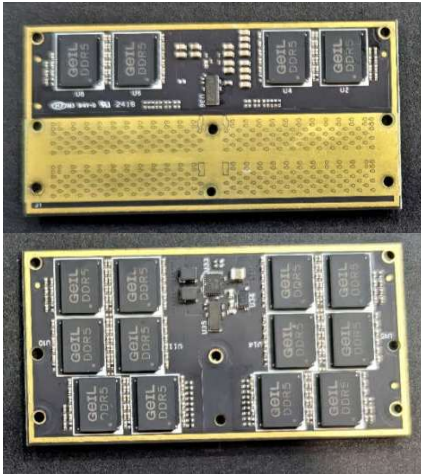
- Permite configuración **dual channel** con un único módulo de RAM
- Dos variantes:
 - Clase DDR5 estándar (**CAMM2**)
 - Clase de bajo consumo LPDDR5 (**LPCAMM2**)



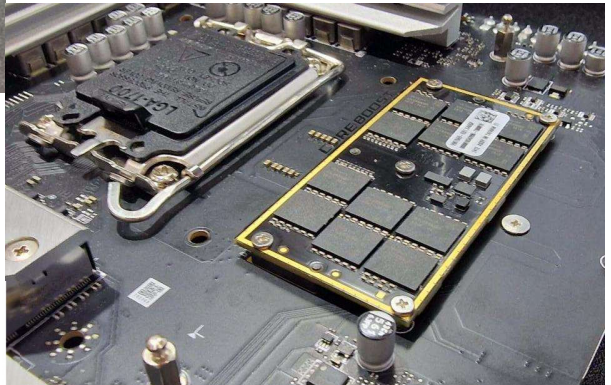
- CAMM2
 - **CAMM2**: portátiles y equipos de escritorio
 - Elimina cualquier incompatibilidad con **disipadores de CPU**
 - Se puede instalar mucho **más cerca del procesador** que las memorias DIMM convencionales
 - Esto reduce la distancia de enrutamiento hacia el procesador, **mejorando las latencias**



Memoria CAMM2 del
reverso (lo que quedaría en
contacto con la placa base)
y vista por la parte superior



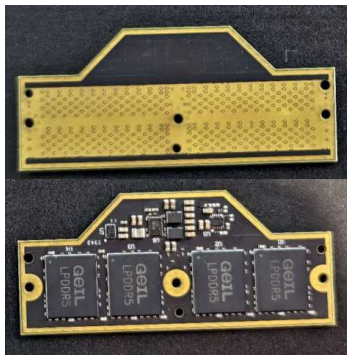
Memoria CAMM2 instalada
en una placa base de
escritorio



Módulos de memoria



- CAMM2
 - **LPCAMM2**: portátiles de bajo consumo
 - Formato rectangular, pero con un pequeño saliente donde se instalan chips adicionales, como son el **SPD** o el **PMIC**





● SPD

- *Serial Presence Detect*
- Estándar para proporcionar **información** de forma automática acerca de un módulo de RAM
- Se usa un pequeño **chip** EEPROM -> almacena **información esencial** del módulo:
 - Fabricante
 - Capacidad
 - Configuraciones soportadas:
 - Velocidades
 - Latencias
 - Voltajes
 - ...





● SPD

- Los módulos de memoria RAM llevan **grabados** los **perfiles por defecto** que marcan los estándares de *JEDEC*

*☞ Son las velocidades **estándar** -> filas de color blanco en las tablas de memorias DDR*

- Al encender el PC -> placa base lee estos perfiles y escoge el óptimo que más se adapte a las velocidades soportadas por la placa
- Esto se hace así porque son **perfiles seguros** -> siguen el estándar definido por la *JEDEC*



● SPD

- Esta característica permite la configuración de la memoria de **manera automática**

Ejemplo 1:

- Nuestra **placa base** admite memorias DDR4 de 3.200, 2.666 y 2.400 MHz.
- Disponemos de **memoria** DDR4 de 2.666 MHz. Su SPD indica que también puede trabajar a 2.400 y 2.133 MHz
 - Al iniciar el PC, la RAM se configurará automáticamente para trabajar a **2.666 MHz**, para maximizar su velocidad
 - Podríamos configurarla, si quisiéramos, para que funcionase a **2.400 MHz**, ya que la memoria y la placa lo soportan (aunque no sería lo óptimo)
 - **No** podríamos configurarla a **2.133 MHz** porque, pese a que la memoria puede trabajar a esa velocidad, la placa no lo soporta



● SPD

Ejemplo 2:

- Nuestra **placa base** admite memorias DDR5 de 4.000, 3.600 y 3.200 MHz
- Disponemos de **memoria** DDR5 de 4.400 MHz. Su SPD indica que también puede trabajar a 4.000, 3.600 y 3.200 MHz
 - Al iniciar el PC, la RAM se configurará automáticamente para trabajar a **4.000 MHz**, ya que es la velocidad máxima de memoria que admite la placa base y es uno de los modos que admite el módulo de memoria (el más veloz de los compatibles con la placa)
 - No podremos sacarle todo el partido a la memoria, ya que la velocidad máxima la satura el tope admitido por la placa base
 - *En lugar de funcionar a 4.400 MHz, ahora funcionará a 4.000 MHz, disminuyendo también su ancho de banda (pasará de 35.200 MB/s a 32.000 MB/s)*





● XMP

- *Intel Extreme **M**emory **P**rofile*
- **Perfiles** almacenados en la memoria para realizar **Overclocking de forma segura**
 - Establecen automáticamente -> parámetros de velocidades, latencias y voltajes
- Las memorias que lo incorporan, están preparadas para soportar estas velocidades OC, **garantizado** por el fabricante de la memoria

AMD tiene su versión:
AMD EXPO (*Extended Profile for Overclocking*)



- **XMP**

- Los fabricantes de RAM, **aprovechan el mismo chip SPD** donde se almacenan los valores de JEDEC para **programar sus propios perfiles XMP**
 - *Lo habitual es que los fabricantes creen uno o varios perfiles XMP extra*





● XMP

● Ejemplo:

- Una **placa base** admite memorias DDR5 de DDR5 de 6.600 (OC), 6.400, 6.200 (OC), 6.000, 5.800 (OC), 5.600, 5.400 (OC), 5.200, 4.800, 4.400, 4.000, 3.600 y 3.200 MHz
- Instalamos **memoria** DDR5 a 5.800 MHz
- Cuando arranque la placa base por primera vez, lo más probable es que cargue los perfiles de **5.600 MHz**, que es el perfil *JEDEC* más alto que tendrán grabados los módulos de RAM en el chip SPD
 - *Ver de nuevo la tabla de velocidades DDR5, valores de filas en blanco*
- Se deberá entrar en el BIOS/UEFI para seleccionar el perfil XMP de la memoria a **5.800 MHz** para dejarlo así establecido





Caso práctico 2

- Disponemos de dos placas base con las siguientes ranuras RAM:

Placa base 1

- 4 ranuras DIMM DDR4 (máximo 64 GB en total)
- Soporte dual channel DDR4
3600(OC)/3400(OC)/3200/2666/2400/2133

Placa base 2

- 4 ranuras DIMM DDR5 (máximo 128 GB en total)
- Soporte dual channel DDR5
5800(OC)/5600(OC)/5400(OC)/5200(OC)/5000(OC)/4800(OC)
4400/4000/3600/3200

-  ¿Qué módulos de los del caso práctico 1 podrían funcionar en estas placas? ¿A qué velocidades y ancho de banda?
-  De estos, ¿cuáles elegirías para conseguir los equipos óptimos?

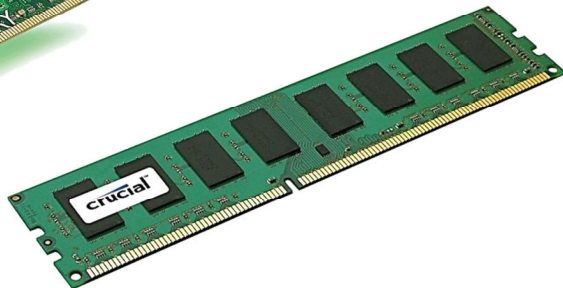
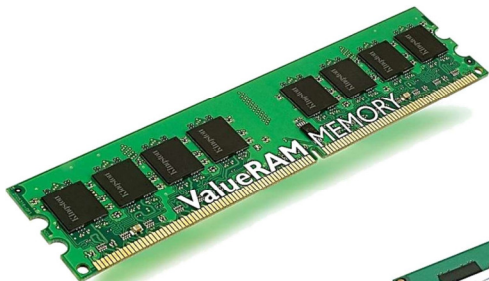


- Índice
 - Introducción
 - Jerarquía de memorias
 - Ranuras de memoria
 - Características de las memorias
 - Tipos de memoria
 - Módulos de memoria
 - Disipadores



- Disipadores
 - Aumento de frecuencias de las memorias -> nuevas soluciones para **disipar el calor** que producen
 - *...aunque también hay mucho marketing detrás*
 - Aparecen esencialmente en las memorias overclockeadas de fábrica, con perfiles **XMP**, las cuales no siguen los estándares **JEDEC**
 - **Recubrimientos** de metal que rodean la parte superior de los módulos y evacúan el calor de los mismos

Memorias
sin disipador



Memorias
con disipador básico



Memorias
con disipador avanzado
(OC, perfil bajo)





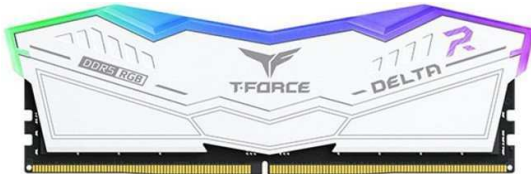
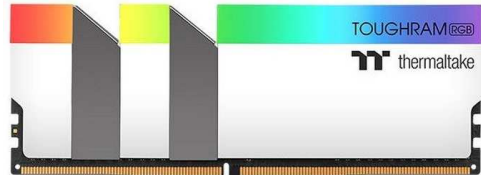
Memorias
con disipador avanzado
(OC, perfil medio)



Memorias
con disipador avanzado
(OC, perfil alto)



Cuidado: podríamos tener
problemas al instalar la ventilación
de la CPU
(colisión física de las dos piezas)





Ventiladores para
memorias



Refrigeración líquida
para memoria RAM



Refrigeración líquida combo para
CPU + memoria RAM

