

Circuitos y Sistemas Digitales

Memorias

Clase 14



La excelencia no se improvisa



1. Introducción

En el estudio de los sistemas digitales, una vez comprendidos los fundamentos de las como máquinas secuenciales y dispositivos como contadores, registros, controladores y sistemas de procesamiento sincronizado es importante conocer los distintos tipos de memoria que se usan en los dispositivos modernos. En este capítulo se analizarán los principales tipos de memorias utilizadas en circuitos digitales, sus características, funcionamiento interno y aplicaciones.

Las memorias digitales son un componente esencial en el diseño de sistemas electrónicos modernos. La elección del tipo de memoria adecuada depende de múltiples factores: velocidad, volatilidad, densidad, consumo de energía, costo y número de ciclos de escritura. Desde la rápida pero volátil SRAM hasta la lenta pero persistente memoria flash, cada tecnología tiene un papel específico en la jerarquía de memoria de un sistema digital. Comprender sus características y funcionamiento es fundamental para el diseño eficiente y confiable de circuitos digitales.

Clase 14: Memorias.

Resultado o resultados de aprendizaje que será abordado con el contenido de la clase. **(No agregue los criterios)**

Realizar pruebas y depuración de circuitos digitales, para llegar a la identificación y solución de problemas de manera eficiente.

5. Memorias.

Las memorias digitales son componentes fundamentales en cualquier sistema electrónico, desde un microcontrolador hasta una supercomputadora. Su función principal es almacenar información de manera temporal o permanente, permitiendo el acceso a datos e instrucciones necesarias para el funcionamiento de un sistema digital.

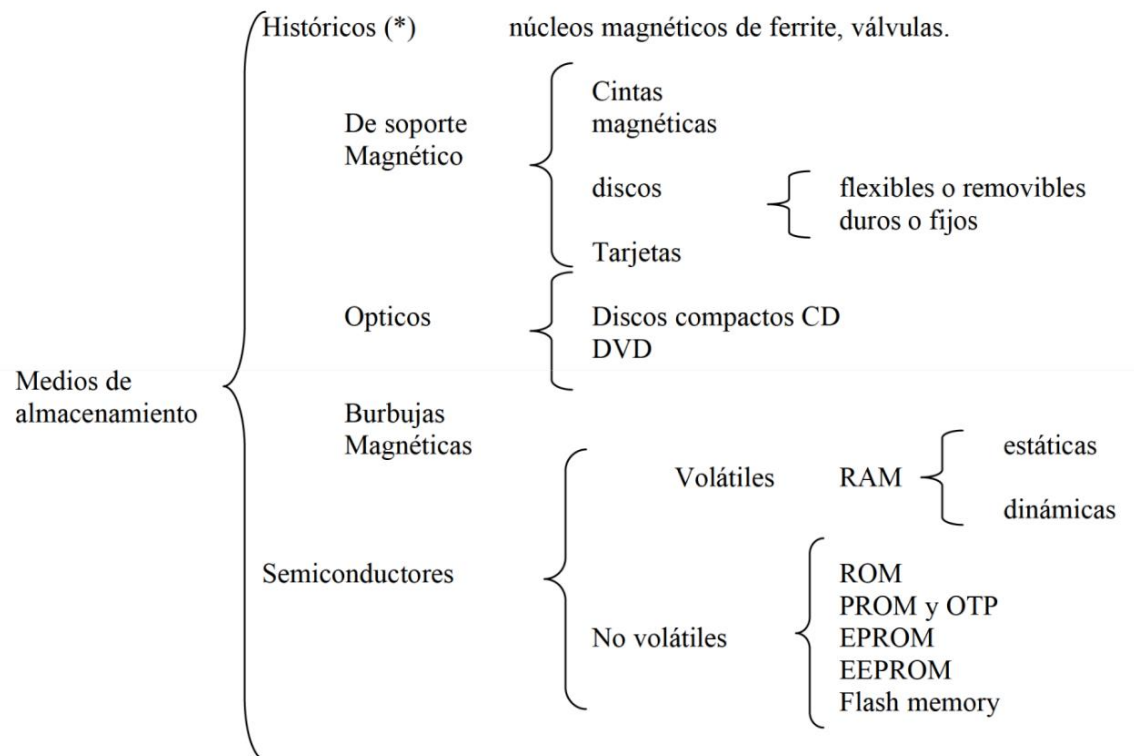
Las memorias se clasifican principalmente en dos grandes categorías: memorias volátiles y no volátiles. Las primeras pierden su contenido cuando se interrumpe el suministro eléctrico, mientras que las segundas conservan la información incluso sin energía. Dentro de estas categorías, existen diversas tecnologías que se adaptan a diferentes necesidades en cuanto a velocidad, densidad, consumo de energía y costo.

[En este enlace puede ver la clasificación de memorias desde el punto de vista comercial junto con su aplicación práctica.](#)

La figura 1 muestra una posible clasificación de memorias, considerando elementos históricos que actualmente tienen uso limitado, como cintas magnéticas o dispositivos ópticos. Por otro lado las memorias basadas en semiconductores han evolucionado hasta convertirse en el estándar moderno de almacenamiento, tanto volátil como persistente.

Figura 1

Clasificación de memorias



Nota: Tomado de; (Recabarren et al., 2020) (Escobar C, 2025)

En cualquier sistema computacional moderno, no se utiliza un solo tipo de memoria, sino una jerarquía que equilibra velocidad, tamaño y costo. Esta jerarquía se estructura en niveles, desde el más rápido y pequeño (registros del procesador) hasta el más lento y grande (discos duros o memorias de estado sólido). Cada nivel actúa como un almacenamiento temporal para el nivel inmediatamente inferior, reduciendo la latencia promedio de acceso a los datos.

- Registros: Integrados dentro del CPU, son los más rápidos y de menor tamaño (típicamente 32 o 64 bits por registro).
- Caché (L1, L2, L3): Actúan como búfer entre registros y memoria principal.
- Memoria principal (RAM): Almacena programas y datos en ejecución.
- Memoria secundaria (flash, SSD, HDD): Almacenamiento persistente y de gran capacidad.
- Memoria terciaria (nubes, cintas magnéticas): Almacenamiento externo, fuera del sistema.

Esta jerarquía es fundamental para que los sistemas digitales puedan ejecutar programas complejos sin que el usuario perciba lentitud, a pesar de las diferencias de velocidad entre componentes.



Veamos con detalle algunas de estas memorias.

5.1 Memorias RAM (Random Access Memory)

La memoria RAM (Random Access Memory) es un tipo de memoria volátil que permite el acceso aleatorio a cualquier posición de memoria en un tiempo constante, independientemente de su ubicación física. Esta característica la hace ideal para ser utilizada como memoria principal en computadoras y otros dispositivos digitales, ya que permite lecturas y escrituras rápidas durante la ejecución de programas.

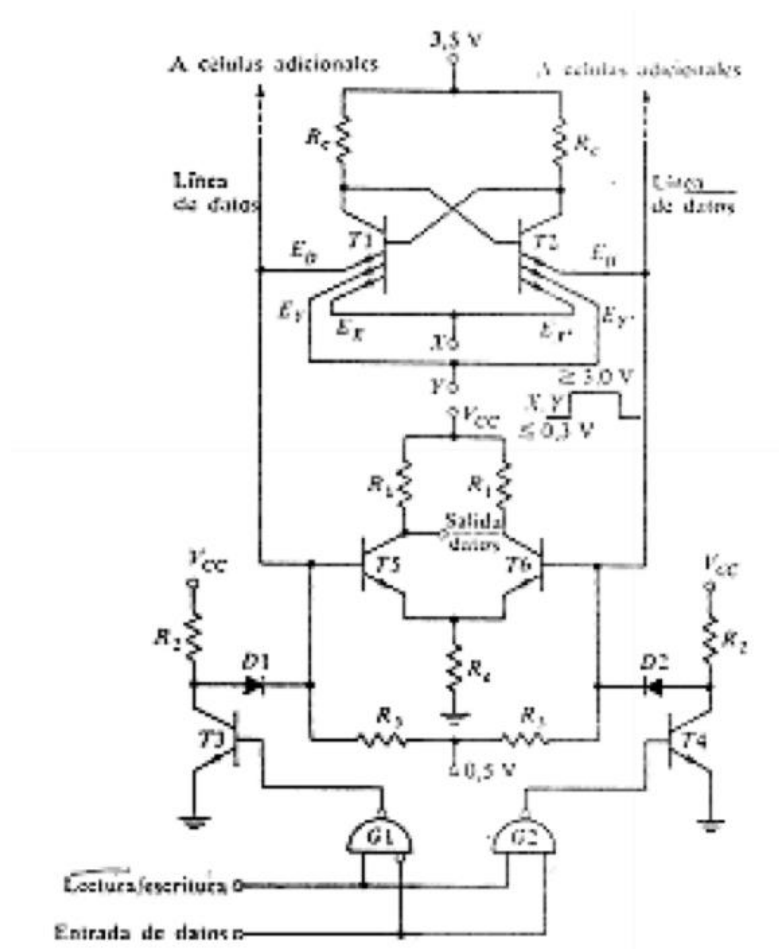
La RAM se utiliza para almacenar datos e instrucciones que el procesador necesita en tiempo real. Su velocidad de acceso es mucho mayor que la de otras memorias, como discos duros o memorias flash, lo que permite un rendimiento eficiente del sistema. Sin embargo, al ser volátil, su contenido se pierde al apagar el dispositivo.

La

Figura 2 muestra una celda de memoria estática bipolar (SRAM BJT), donde la unidad básica de memoria es biestable formado por los transistores T1 y T2 (Recabarren et al., 2020)

Figura 2

Celda de memoria estática bipolar



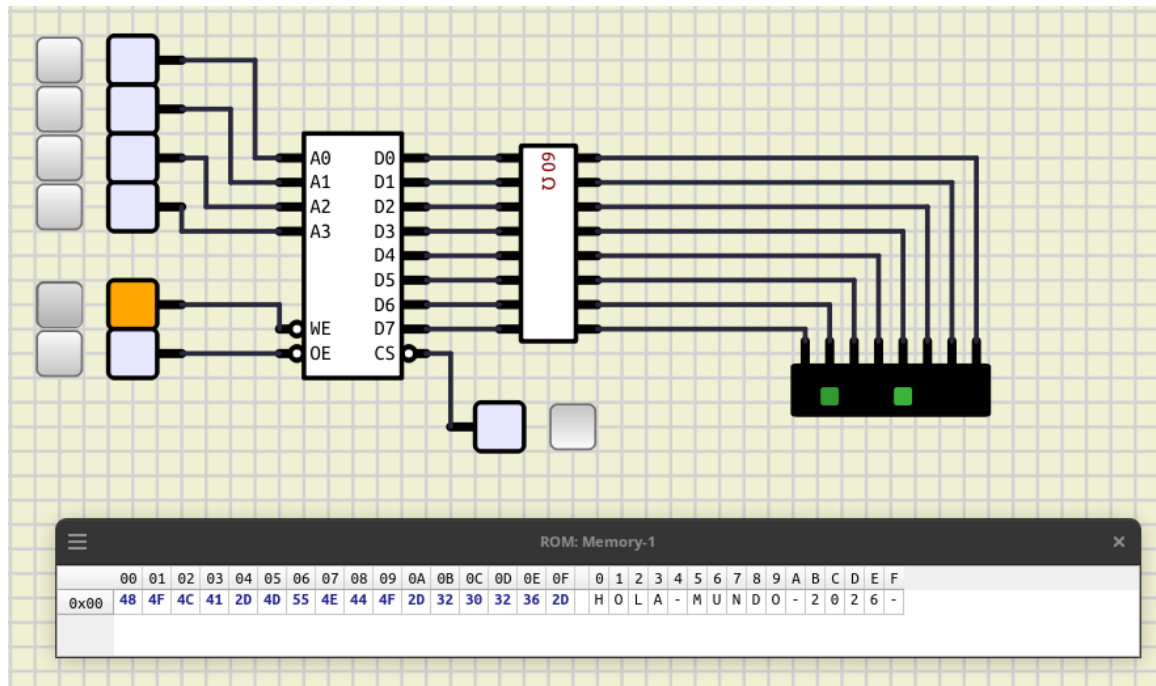
Nota: tomado de (Recabarren et al., 2020)

En la figura 3 se muestra una memoria RAM configurada en SimulIDE, la cual tiene un 4 bits de direcciones con una palabra de datos de 8 bits, configuración que permite almacenar $2^4 \times 8$ bits, es decir 128 bits o 16 bytes. La tabla de datos ha sido cargada con el mensaje HOLA-MUNDO-2026-, la cual puede ser apreciada en la parte inferior del gráfico. Nótese a la izquierda de la memoria los pines de direcciones etiquetados como A3 a A0, siendo A3 el bit mas significativo y viceversa, lo mismo que las señales de control, de lógica negativa, a través de los pines WE (Write Enable), OE (Output Enable) y CS (Chip Select) que son señales de control, que le dicen a la memoria cuándo escribir datos (WE), cuándo sacar datos al bus (OE) o cuándo activarse (CS) para recibir o entregar información, determinando el acceso y la sincronización con la CPU.

La tabla de datos en su dirección "0" contiene el caracter ASCII (American Standard Code for Information Interchange) "H", 01001000 cuyo equivalente en hexadecimal es 48, esto se puede apreciar en el momento de captura de la simulación donde está inhabilitado WE (en alto), habilitado OE (en bajo) y seleccionado el chip CS (en bajo) dónde la salida de los LEDs muestra este estado, dado que la dirección de memoria seleccionada es "0000".

Figura 3

Memoria RAM con 4 bits de direccionamiento y 8 bits de datos en SimulIde



Nota: Elaborado por (Escobar C, 2025)

5.1.1 Tipos de RAM y su funcionamiento (DRAM, SRAM y MRAM)

A. DRAM (Dynamic RAM)

La memoria DRAM es la más comúnmente utilizada como memoria principal en computadoras personales y servidores. Cada bit de información se almacena en un pequeño condensador dentro de un circuito integrado. Debido a que los condensadores se descargan con el tiempo, la información debe ser refrescada periódicamente (cada pocos milisegundos) para mantener los datos intactos. Este proceso de refresco consume energía y limita ligeramente la velocidad de la memoria.

El funcionamiento de la DRAM se basa en la carga o descarga de estos condensadores, lo que representa un bit lógico (1 o 0). Al estar construida con un solo transistor por bit, la DRAM tiene una alta densidad de almacenamiento, lo que permite crear módulos de memoria con gran capacidad a un costo relativamente bajo. Sin embargo, esto también implica que sea más lenta y consuma más energía en comparación con otros tipos de RAM.

B. SRAM (Static RAM)

La memoria SRAM, en cambio, no necesita ser refrescada constantemente. Utiliza una configuración de cuatro o seis transistores por bit para formar un biestable que mantiene el estado lógico mientras se mantenga el suministro eléctrico. Esto permite un acceso más rápido y un consumo de energía más bajo en modo de espera, aunque su consumo en operación puede ser mayor que el de la DRAM.

La SRAM es significativamente más rápida que la DRAM, pero también mucho más costosa y con menor densidad de almacenamiento. Por esta razón, se utiliza principalmente en aplicaciones donde la velocidad es crítica, como en las memorias caché de los procesadores (L1, L2, L3), o en sistemas embebidos que requieren un rendimiento elevado.

C. MRAM (Magnetoresistive RAM)

La MRAM es una tecnología emergente que combina la velocidad de la SRAM con la no volatilidad de las memorias flash. Utiliza elementos magnetoresistivos para almacenar bits de información, lo que le permite retener los datos sin necesidad de energía eléctrica. Funciona mediante la magnetización de pequeñas celdas, donde la orientación de la magnetización representa un bit lógico.

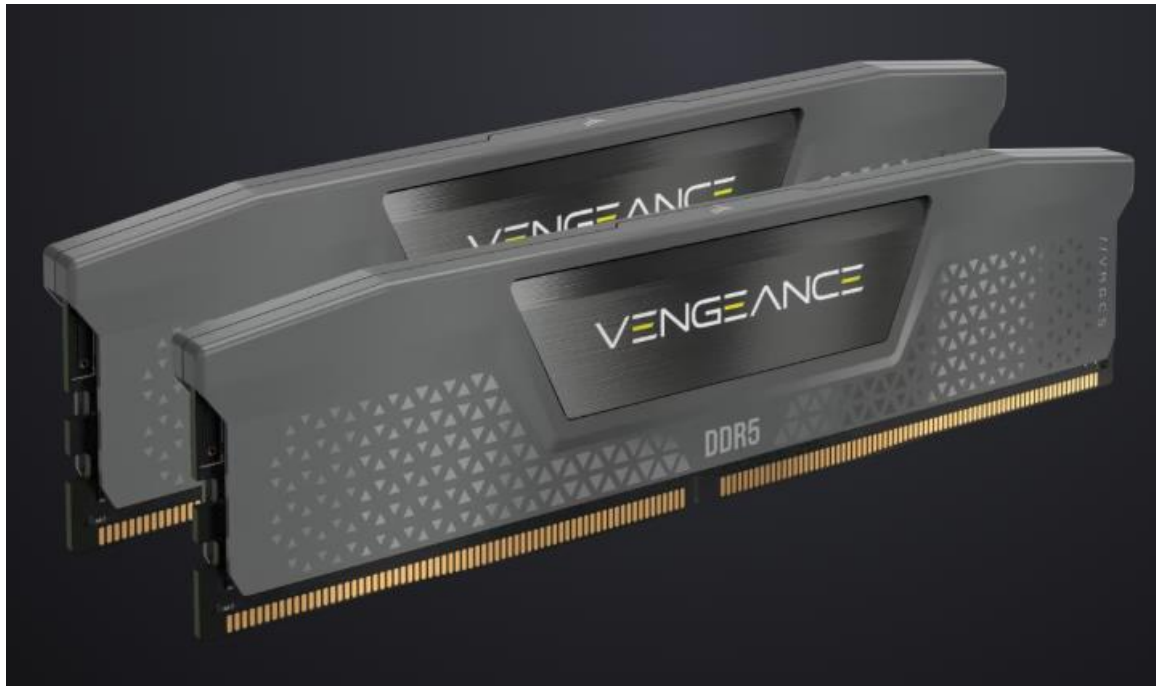
Aunque aún no es tan ampliamente adoptada como la DRAM o SRAM, la MRAM se perfila como una alternativa prometedora para aplicaciones que requieren alta velocidad, bajo consumo y persistencia de datos. Se espera que en el futuro pueda reemplazar a ambas tecnologías en ciertos nichos de mercado, especialmente en dispositivos móviles y sistemas embebidos.

[En este enlace puede ver mayores detalles de los tipos de memoria RAM, así como sus características principales.](#)

La Figura 4 muestra una captura de una memoria comercial de la marca Corsair, tomada de su sitio oficial.

Figura 4

Memoria VENGEANCE® 96GB (2x48GB) DDR5 DRAM 6000MT/s CL30 AMD EXPO & Intel XMP Memory Kit



Nota: Tomado de <https://corsair.com> accedido el 23 de octubre de 2025

5.2 Memorias ROM (Read Only Memory)

Las memorias ROM (Read Only Memory) son memorias no volátiles que se utilizan para almacenar información de manera permanente o semipermanente. A diferencia de las RAM, su contenido no puede ser modificado fácilmente, o en algunos casos, solo puede ser modificado una vez. Estas memorias se emplean principalmente para guardar firmware, como el programa de arranque (bootloader) de un sistema, o configuraciones permanentes del hardware.

5.2.1 Tipos de ROM y su funcionamiento

A. ROM (Mask ROM)

La memoria Mask ROM es el tipo más básico de ROM. Su contenido se graba durante el proceso de fabricación del chip, mediante una máscara que define el patrón de bits. Una vez fabricada, la información no puede ser modificada. Este tipo de memoria es muy económica en grandes volúmenes, pero inflexible, ya que cualquier cambio en el contenido requiere rediseñar la máscara y fabricar un nuevo lote de chips.

Se utiliza principalmente en productos de consumo en masa, como juguetes electrónicos, electrodomésticos o dispositivos muy simples, donde el firmware no necesita ser actualizado.

B. PROM (Programmable ROM)

La memoria PROM permite al usuario grabar los datos una sola vez después de la fabricación. Esto se logra mediante un dispositivo programador que quema fusibles internos del chip para establecer el contenido deseado. Una vez programada, la información no puede ser modificada. Este tipo de memoria es útil en prototipos o productos de bajo volumen donde se requiere una cierta flexibilidad, pero no se esperan cambios futuros en el firmware.

C. EPROM (Erasable Programmable ROM)

La EPROM mejora la flexibilidad de la PROM al permitir que el contenido sea borrado y reprogramado. El borrado se realiza exponiendo el chip a luz ultravioleta a través de una ventana transparente en el encapsulado. Este proceso elimina la carga almacenada en las celdas de memoria, permitiendo una nueva programación.

Aunque reutilizable, el proceso de borrado es lento y requiere equipos especiales. Además, las EPROM tienen un número limitado de ciclos de borrado y programación. Se utilizaban comúnmente en el desarrollo de sistemas embebidos y en aplicaciones donde se necesitaba actualizar el firmware ocasionalmente.

D. EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)

La EEPROM representa una mejora significativa al permitir el borrado y la reprogramación eléctrica, sin necesidad de luz ultravioleta. Esto permite actualizar el contenido del chip mientras está instalado en el circuito, lo que facilita el mantenimiento y las actualizaciones de firmware.

Cada celda de memoria puede ser borrada y reprogramada de manera individual, lo que permite una gran flexibilidad. Sin embargo, el proceso de escritura es relativamente lento y tiene un número limitado de ciclos (típicamente entre 10,000 y 1,000,000). Se utiliza ampliamente en sistemas embebidos, tarjetas inteligentes, y configuraciones de hardware que pueden requerir actualizaciones ocasionales.

5.3 Memorias Flash

Las memorias flash son un tipo de memoria no volátil que combina las ventajas de la EEPROM con una mayor densidad y menor costo. Fueron desarrolladas para aplicaciones que requieren almacenamiento masivo, como memorias USB, tarjetas de memoria, discos SSD y firmware en dispositivos móviles.

A diferencia de la EEPROM, la memoria flash no permite la modificación de bytes individuales, sino que opera por bloques. Esto significa que para cambiar un bit, se debe borrar y reescribir un

bloque completo, lo que puede contener varios kilobytes de información. Aunque esto parece una desventaja, permite una estructura más simple y eficiente, lo que reduce el costo y aumenta la capacidad de almacenamiento.

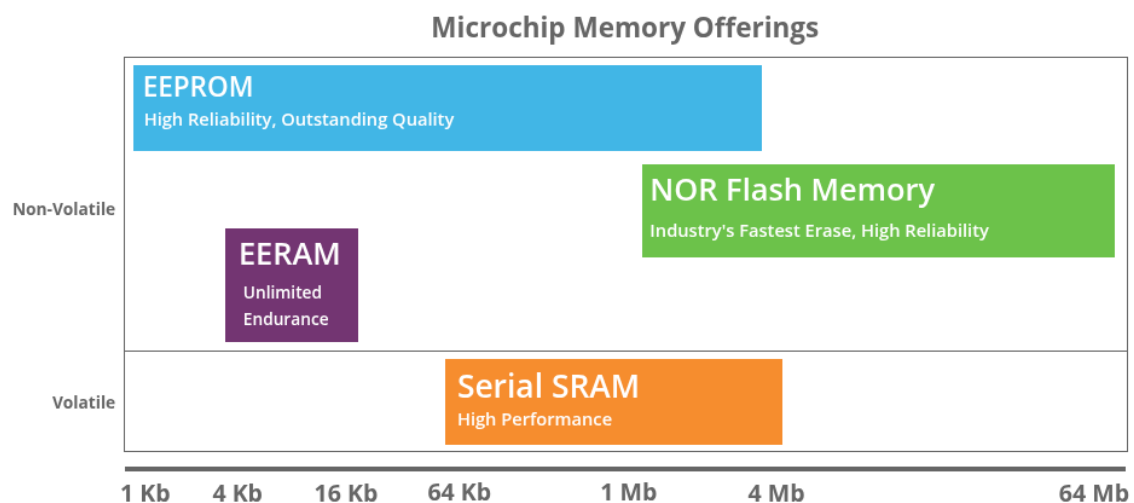
Existen dos tipos principales de memoria flash: NAND y NOR. La memoria NAND Flash es la más común en dispositivos de almacenamiento masivo, como discos SSD y memorias USB, debido a su alta densidad y bajo costo. La memoria NOR Flash, en cambio, permite el acceso aleatorio a los datos, lo que la hace adecuada para almacenar firmware que debe ser ejecutado directamente desde la memoria (ejecución in-place).

La memoria flash tiene un número limitado de ciclos de escritura/lectura (típicamente entre 10,000 y 100,000), lo que requiere algoritmos de gestión del desgaste (wear leveling) para distribuir el uso de las celdas y prolongar la vida útil del dispositivo. A pesar de estas limitaciones, su combinación de no volatilidad, alta densidad y bajo costo la han convertido en la tecnología dominante para el almacenamiento en dispositivos digitales modernos.

La figura 5 muestra parcialmente la oferta de memorias del fabricante Microchip®

Figura 5

Oferta de memorias del fabricante Microchip



Nota: Tomado de <https://www.microchip.com/> accedido el 3 de noviembre de 2025

5.4 Memorias Caché

La memoria caché es un tipo de memoria de alta velocidad que actúa como intermediario entre el procesador y la memoria principal (RAM). Su función es almacenar temporalmente las instrucciones y datos que el procesador utiliza con más frecuencia, reduciendo así el tiempo de acceso a la memoria y mejorando el rendimiento general del sistema.

La caché se basa en el principio de localidad, que establece que los programas tienden a acceder a las mismas direcciones de memoria repetidamente en un período corto de tiempo. Aprovechando esta tendencia, la caché almacena copias de los bloques de memoria más utilizados, permitiendo que el procesador acceda a ellos sin tener que recurrir a la memoria principal, que es significativamente más lenta.

Existen varios niveles de caché, comúnmente denominados L1, L2 y L3:

- Caché L1: Es la más rápida y pequeña, está integrada directamente en el núcleo del procesador y se divide en caché de instrucciones y caché de datos. Su tamaño típico varía entre 16 y 64 KB por núcleo.
- Caché L2: Puede estar integrada en el núcleo o compartida entre varios núcleos. Es mayor que la L1 (típicamente entre 256 KB y 1 MB por núcleo), pero ligeramente más lenta.
- Caché L3: Es compartida entre todos los núcleos del procesador, tiene un tamaño mucho mayor (de 4 MB a más de 64 MB en algunos procesadores de alto rendimiento), pero también es más lenta que las anteriores.

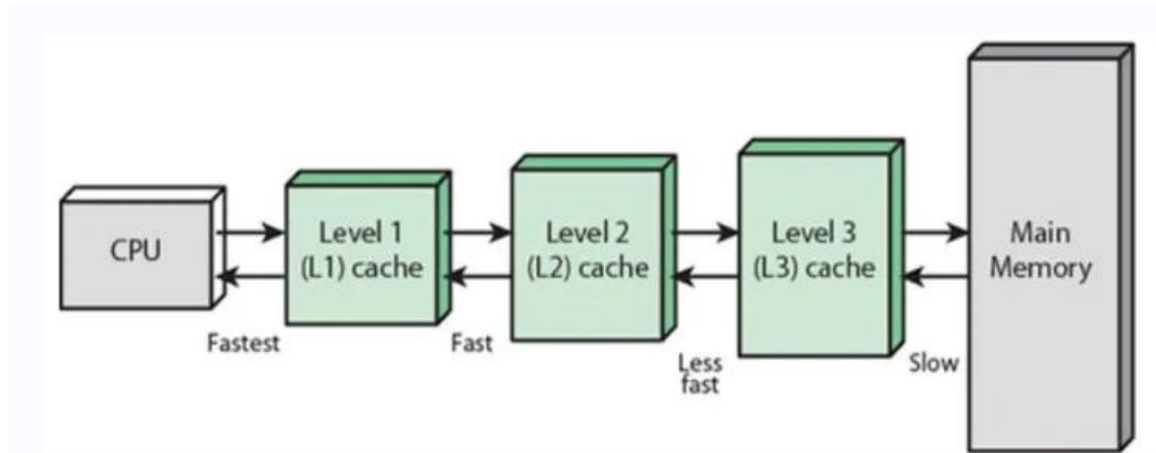
La organización de la caché se basa en líneas (bloques de datos), conjuntos y vías. Cuando el procesador solicita una dirección de memoria, se realiza una búsqueda en la caché. Si el dato está presente, se produce un acierto de caché (cache hit); si no está, se produce un fallo de caché (cache miss), y se debe acceder a la memoria principal, lo que aumenta el tiempo de acceso.

Las políticas de reemplazo (como LRU, Least Recently Used) y de escritura (write-through o write-back) son fundamentales para optimizar el rendimiento de la caché. Además, en sistemas multiprocesador, se debe mantener la coherencia de caché (cache coherence), para asegurar que todos los núcleos vean una imagen consistente de la memoria.

La figura 6 muestra los niveles de una memoria caché y su relación con la CPU.

Figura 6

Esquema de todos los niveles que hay dentro de una memoria caché mostrando la comunicación entre la CPU y la memoria principal.



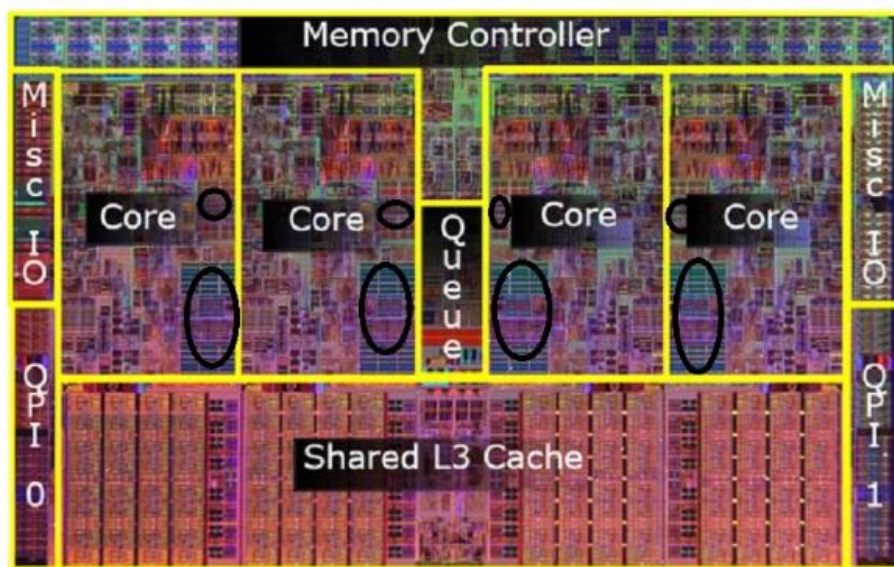
Nota: Tomado de <https://hardzone.es/> accedido el 3 de noviembre de 2025

En la arquitectura actual multi núcleos la memoria caché L1 y L2 por lo general se embeben en cada núcleo del procesador, mientras que la memoria caché L3 es compartida y accedida por todos los núcleos del procesador, tal como se puede apreciar en la litografía del procesador Intel Nehalem que se muestra en la figura 7, el cual está compuesto por cuatro núcleos y tres niveles de memoria caché; L1, L2 y L3.

En este gráfico también se puede apreciar que L1, físicamente tiene el tamaño mas pequeño y es la primera memoria a ser accedida por su núcleo, también es a la vez la memoria mas rápida a ser accedida por su núcleo.

Figura 7

procesador Intel Nehalem con cuatro núcleos y acceso compartido a L3. Los círculos grandes identifican la caché L2, y los pequeños la caché L1.



Nota: Tomado de <https://www.muycomputer.com/> accedido el 3 de noviembre de 2025

Referencias citadas en la Clase 14.

Recabarren, P. G., Recabarren, P. G., & Recabarren, P. G. (2020). Introducción a la electrónica digital. (Versión 307). Jorge Sarmiento Editor - Universitas.

Definición de los términos citados en la Clase.

Memoria RAM (Random Access Memory): es un tipo de memoria volátil que permite el acceso aleatorio a cualquier posición de memoria en un tiempo constante, independientemente de su ubicación física. Esta característica la hace ideal para ser utilizada como memoria principal en computadoras y otros dispositivos digitales, ya que permite lecturas y escrituras rápidas durante la ejecución de programas.

memorias ROM (Read Only Memory): son memorias no volátiles que se utilizan para almacenar información de manera permanente o semipermanente. A diferencia de las RAM, su contenido no puede ser modificado fácilmente, o en algunos casos, solo puede ser modificado una vez. Estas memorias se emplean principalmente para guardar firmware, como el programa de arranque (bootloader) de un sistema, o configuraciones permanentes del hardware.



La excelencia no se improvisa

síguenos

