

Circuitos y Sistemas Digitales

Memorias

Clase 15



La excelencia no se improvisa



1. Introducción

En el corazón de cualquier sistema computacional moderno se usan dos tipos de memorias que determinan la velocidad, la capacidad y la confiabilidad del dispositivo: las memorias volátiles de alta velocidad y las memorias no volátiles de almacenamiento masivo. En esta sección se revisa la arquitectura y funcionamiento de estas tecnologías que han definido la evolución del hardware en las últimas décadas: la DRAM clásica, su evolución sincrónica (SDRAM) y la familia DDR, así como las memorias flash NAND y NOR. Comprender cómo se almacena, se refresca, se accede y se deteriora cada bit en estos dispositivos es la clave para elegir el componente correcto, dimensionar un sistema, prever cuellos de botella y entregar la experiencia de usuario que la sociedad digital demanda.

Es importante también conocer el ciclo de vida de un dato desde que nace en una celda de condensador que se descarga milisegundos después, hasta que se almacena de forma permanente en una celda de carga atrapada que resistirá años de lecturas, escrituras y borrados. Veremos por qué la DDR5 puede mover más de 500 Gb por segundo mientras la NOR flash permite que un microcontrolador arranque en microsegundos, y por qué la NAND TLC ofrece terabytes a precio de un café pero requiere algoritmos de corrección de errores complejos.

Clase 15: 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.

5.5 Memorias DRAM, SDRAM y DDR SDRAM

Las memorias DRAM (Dynamic Random Access Memory) son un tipo de memoria volátil ampliamente utilizada en sistemas computacionales como PCs, servidores y dispositivos móviles. Su principal característica es que almacenan cada bit de datos en un condensador dentro de un circuito integrado. Debido a que estos condensadores se descargan con el tiempo, las memorias DRAM requieren refresco periódico para mantener la integridad de los datos, lo que las diferencia de las memorias SRAM (Static RAM), que no necesitan refresco.

De manera general el tiempo de acceso es una característica importante de los dispositivos de almacenamiento ya que nos indica cuanto se tarda en una operación de lectura de un dato de la memoria (Recabarren & Recabarren, 2020)

5.5.1. Funcionamiento Básico de la DRAM

Cada celda de memoria en una DRAM está compuesta por un condensador y un transistor. El condensador almacena la carga eléctrica que representa un bit (1 o 0), mientras que el transistor actúa como interruptor que permite al controlador de memoria leer o escribir en la celda. Debido a que la carga del condensador se pierde con el tiempo, es necesario releer y reescribir los datos periódicamente, proceso conocido como refresco y que caracteriza a las memorias dinámicas.

[En este enlace puede revisar con detalle cómo funciona la memoria RAM, así como sus distintas tecnologías.](#)

La Figura 1 muestra el esquema clásico de una celda DRAM formada por un transistor NMOS (T) y un condensador (C) a los que se conectan la línea de palabra (WL), que es la señal que sale de la fila del decodificador y cuando se pone a '1' enciende el transistor. La línea de bit (BL) transporta el dato hacia/desde el amplificador de lectura (sense amplifier).

En el ciclo de lectura se precarga la línea de bit a $V_{dd}/2$ (todos los BL quedan flotando) y se activa WL, con lo que el transistor conduce y comparte la carga del condensador con la línea de bit.

Si C estaba cargado (1 lógico) → BL sube ligeramente.

Si C estaba descargado (0 lógico) → BL baja ligeramente.

El amplificador de lectura (sense amplifier) detecta la minúscula diferencia ΔV y la amplifica a nivel lógico completo. Al mismo tiempo se reescribe el valor leído de vuelta en C (porque la lectura destruye la carga original).

En el ciclo de escritura se coloca el dato (0 o 1) sobre BL y se activa WL con lo que el transistor conecta C a BL.

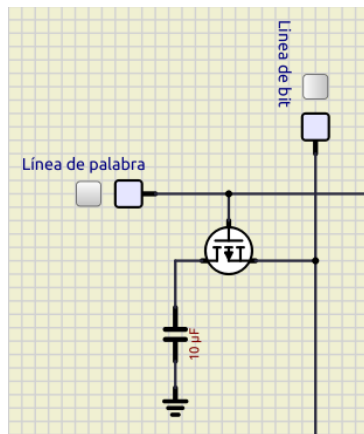
El condensador se carga o descarga hasta el nivel de BL quedando almacenado el bit.

Dado que el condensador tiene fugas (corriente de unión del transistor, resistencia del sustrato), tras unos milisegundos la carga puede cambiar lo suficiente como para perder el dato, por tanto el controlador DRAM lee cada fila periódicamente y reescribe el valor leído, restaurando la carga original (refresh).

Este tipo de celda tiene la ventaja de que requiere solo un transistor y un capacitor, lo que se traduce en un área mínima, alta densidad y bajo costo por bit y es compatible con procesos CMOS estándar.

Por otro lado tiene como desventajas la lectura destructiva, la necesidad de amplificadores de lectura muy sensibles y consumo adicional de energía por los ciclos de refresco.

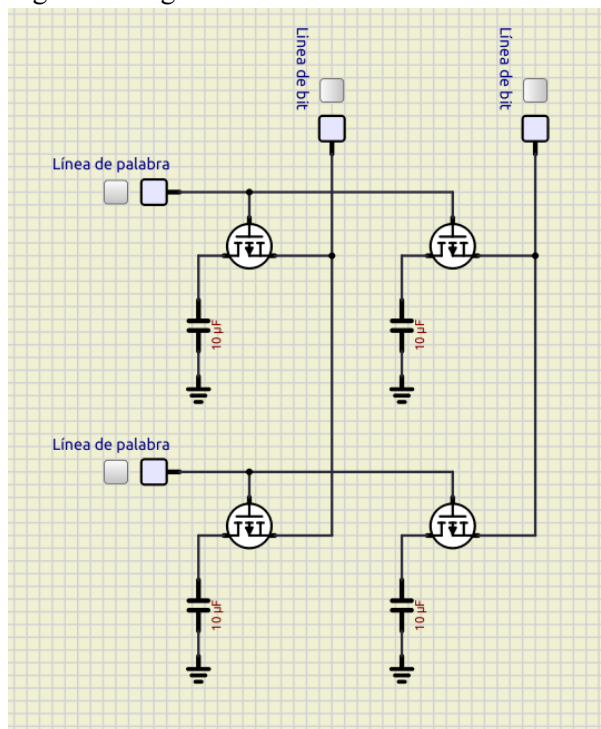
Figura 1
Celda DRAM



Nota: Elaborado por (Escobar C, 2025)

La Figura 2 muestra un arreglo de 4 celdas DRAM, donde se puede apreciar que la configuración de una celda se replica y se establece una matriz de almacenamiento organizada por filas y columnas, donde se puede acceder individualmente a cada una de las celdas tanto para lectura como para escritura

Figura 2 Arreglo de 4 celdas DRAM



Nota: Elaborado por (Escobar C, 2025)

5.5.1. Evolución hacia SDRAM

La SDRAM (Synchronous DRAM) es una evolución de la DRAM tradicional que sincroniza sus operaciones con el reloj del sistema. Esto permite una mejor coordinación entre la memoria y el procesador, mejorando el rendimiento general del sistema. A diferencia de la DRAM asíncrona, donde el controlador debe esperar a que la memoria esté lista, la SDRAM opera en ciclos de reloj definidos, lo que permite transferencias más rápidas y predecibles.

Entre las características clave de la SDRAM se pueden identificar las siguientes:

- Sincronización con el reloj del sistema: permite operaciones más rápidas y eficientes.
- Burst mode: permite leer o escribir bloques consecutivos de datos en un solo ciclo.
- Paginación interna: mejora el acceso a datos en la misma fila de memoria.

5.5.2. DDR SDRAM: Double Data Rate

La DDR SDRAM (Double Data Rate SDRAM) es una mejora significativa sobre la SDRAM convencional. Su principal innovación es la capacidad de transferir datos dos veces por ciclo de reloj, una en el flanco ascendente y otra en el flanco descendente. Esto duplica teóricamente la tasa de transferencia de datos sin aumentar la frecuencia del reloj.

Dada esta característica las memorias DDR se han convertido en el estándar de facto de la industria, incrementando en cada generación su velocidad y capacidad. Así:

- DDR: velocidades de transferencia entre 200 y 400 MT/s (Mega Transferencias por segundo).
- DDR2: mejora la velocidad y reduce el consumo de energía. Velocidades entre 400 y 800 MT/s.
- DDR3: aumenta aún más la velocidad (hasta 1600 MT/s) y reduce el voltaje.
- DDR4: velocidades entre 1600 y 3200 MT/s, menor consumo y mayor densidad.
- DDR5: más reciente, con velocidades superiores a 4800 MT/s, mayor ancho de banda y eficiencia energética**.

**DDR5 trae incorporado un circuito integrado de gestión de energía (PMIC, Power Management Integrated Circuit) sobre la misma barra DIMM, en lugar de depender únicamente de la alimentación que llega desde la placa base.

La tabla 1 muestra una comparativa entre las distintas generaciones de memorias DDR y como han ido evolucionando e incrementando su velocidad y capacidad.

Tabla 1

Comparativa de tecnologías de memoriaDDR

Característica	DDR (DDR1)	DDR2	DDR3	DDR4	DDR5
Año de lanzamiento	~2000	~2003	~2007	~2014	~2020
Voltaje Estándar	2.5 V	1.8 V	1.5 V	1.2 V	1.1 V
Velocidad (MT/s)	200 - 400	400 - 1066	800 - 2133	1600 - 3200	4800 - 8400+
Prefetch (Bits)	2n	4n	8n	8n (con grupos)	16n
Capacidad Máx (Chip)	1 Gb	4 Gb	8 Gb	16 Gb	64 Gb
Gestión de Energía	En placa base	En placa base	En placa base	En placa base	PMIC en el módulo

Nota: Elaborado por (Escobar C, 2025)

La tabla 2 muestra una comparativa de precios entre las generaciones DDR4 y DDR5, dónde se puede apreciar un mayor precio por GB en la Generación DDR5 que se oferta en el mercado local (Tecnomega Store, 2025).

Tabla 2Comparativa de costos entre memorias DDR5 y DDR4 (* Precios de referencia del distribuidor TECNOMEGA)

Imagen	Descripción	Valor referencial (2025/12/10)	Costo por GB
	DIMM KINGSTON FURY 32GB 4G x 64-Bit DDR5-6400	218.00 USD*	6.81 USD
	DIMIM KINGSTON 16GB 2G x 64-Bit DDR4-3200 CL16	95.40 USD*	5.96 USD

Nota: Elaborado por (Escobar C, 2025)

Las memorias de DDR SDRAM presentan las siguientes ventajas:

- Mayor ancho de banda.
- Mejor rendimiento por watt.
- Compatibilidad con arquitecturas modernas de multiprocesamiento.

Mientras que por otro lado, dadas sus características se encuentran presentes en:

- Computadoras personales y laptops.
- Servidores y estaciones de trabajo.
- Consolas de videojuegos.
- Sistemas embebidos de alto rendimiento.

5.6 Memorias NAND Flash

Las memorias flash son un tipo de memoria no volátil, lo que significa que conservan los datos incluso sin energía. Son ampliamente utilizadas en dispositivos de almacenamiento como USB, tarjetas SD, SSDs, entre otros. Existen dos tipos principales: NAND y NOR, cada una con características y aplicaciones específicas.

5.6.1 Memoria NAND Flash

La memoria NAND Flash es una arquitectura de memoria flash que prioriza la densidad y el costo por bit, ideal para aplicaciones de almacenamiento masivo. Su nombre proviene de la puerta lógica NAND, que describe la forma en que se conectan las celdas de memoria.

Estructura y Funcionamiento

En una memoria NAND Flash, las celdas de memoria (transistores con una puerta flotante) se organizan en serie, formando cadenas. Esta configuración permite una mayor densidad de almacenamiento, pero también introduce limitaciones en el acceso aleatorio.

- **Página:** es la unidad mínima de lectura y escritura (típicamente entre 2 KB y 16 KB).
- **Bloque:** es la unidad mínima de borrado (típicamente entre 128 KB y 256 KB).
- **Celda:** puede almacenar 1 bit (SLC), 2 bits (MLC), 3 bits (TLC) o incluso 4 bits (QLC) por celda.

Las memorias NAND flash se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **SLC (Single-Level Cell):** 1 bit por celda. Alta velocidad y durabilidad, pero costosa. Usada en aplicaciones industriales.
- **MLC (Multi-Level Cell):** 2 bits por celda. Balance entre costo y rendimiento.
- **TLC (Triple-Level Cell):** 3 bits por celda. Más barata, pero menor durabilidad. Común en SSDs de consumo.
- **QLC (Quad-Level Cell):** 4 bits por celda. Muy alta densidad, pero menor velocidad y vida útil.

Entre las principales ventajas de las memorias NAND Flash se destacan:

- Alta densidad de almacenamiento.
- Bajo costo por bit.
- Adecuada para almacenamiento secuencial.
- Consumo de energía relativamente bajo.

En contraposición en este tipo de memoria se pueden mencionar las siguientes desventajas

- No es byte-addressable (no permite acceso aleatorio directo).
- Tiene un número limitado de ciclos de escritura/borrado.
- Requiere algoritmos de wear leveling y corrección de errores (ECC).

Dadas sus características en persistencia de datos estas memorias se las usa en aplicaciones como:

- SSDs (Solid State Drives): reemplazan a discos duros tradicionales.
- Tarjetas de memoria: SD, microSD, etc.
- Pendrives USB.
- Smartphones y tablets.
- Sistemas embebidos.

Figura 3

Memoria NAND 2D Kingston Fury Renegade SSD 7300MB PCIe 4.0 NVMe M.2 SSD



Nota: Tomado de (Tienda Nómada, 2025)

[En el siguiente enlace puede ver las especificaciones de un disco de estado sólido comercial SATA NAND de la marca Kingstong](#)

5.7 Memorias NOR Flash

La memoria NOR Flash es el otro tipo principal de memoria flash, diseñada para aplicaciones que requieren acceso aleatorio rápido y ejecución de código directamente desde la memoria (execute in place, XIP). A diferencia de NAND, la NOR permite leer datos byte por byte, lo que la hace ideal para almacenar firmware o sistemas operativos embebidos.

A. XIP (execute in place)

Para comprender de mejor manera XIP (execute in place), se debe tener en cuenta que normalmente, cuando se inicia un programa, el código de la aplicación se copia desde el almacenamiento de largo plazo (disco duro, memoria flash) a la memoria RAM, y la CPU (Unidad Central de Procesamiento) ejecuta las instrucciones desde la RAM.

Con XIP, la CPU puede leer y ejecutar las instrucciones directamente desde la memoria no volátil, eliminando el paso de copia a la RAM, esto permite un arranque más rápido al no tener que copiar grandes cantidades de código a la RAM con lo que el tiempo de inicio del sistema o de la aplicación se reduce significativamente, adicionalmente existe un menor consumo de RAM ya que se necesita menos memoria RAM, ya que el código del programa no reside en ella, esto es especialmente útil en sistemas con recursos limitados (sistemas embebidos, IoT). Y por último XIP tiene menor consumo de energía ya que la transferencia de datos entre memorias consume energía. Al reducir esta transferencia, se puede disminuir el consumo general.

En contraposición XIP tiene rendimiento más lento, esto debido a que las memorias no volátiles (como la flash) suelen ser más lentas que la RAM, por lo tanto, la ejecución de código directamente desde ellas puede ser más lenta en comparación con la ejecución desde la RAM, adicionalmente existe limitaciones de la memoria por el número limitado de ciclos de escritura.

5.7.1. Estructura y Funcionamiento

En la NOR Flash, las celdas de memoria se conectan en paralelo, lo que permite un acceso aleatorio más rápido. Esta configuración es similar a la de una memoria ROM tradicional, lo que permite que el procesador ejecute código directamente desde la memoria sin necesidad de copiarlo a RAM.

Entre sus características se puede destacar que este tipo de memoria es:

- Byte-addressable: permite leer cualquier byte individual.
- Lectura rápida: tiempos de acceso similares a la RAM.
- Escritura y borrado más lentos: requiere operaciones más complejas.

Por otro lado en las memorias NOR Flash se pueden resaltar como ventaja que:

- Permiten ejecución directa de código (XIP).
- Se tiene acceso aleatorio rápido.
- Tiene alta confiabilidad y durabilidad.
- Es adecuada para almacenar código crítico.

Y como desventajas:

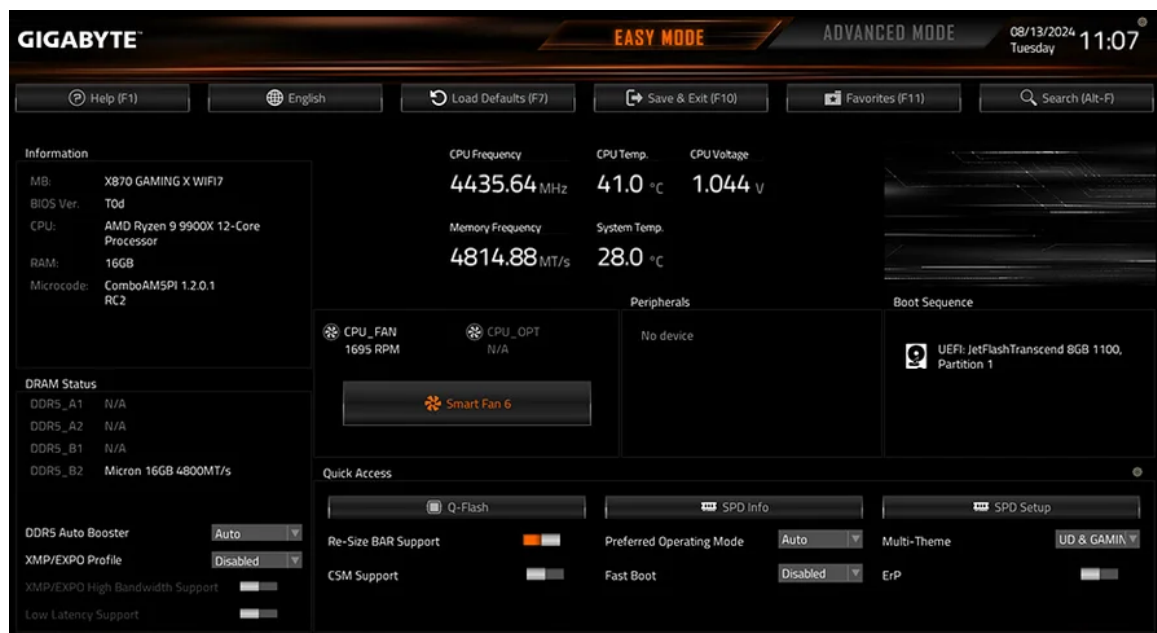
- Tiene menor densidad que NAND.
- Su costo por bit es mayor.
- Su escritura y borrado es más lento.

Este tipo de memoria se encuentra principalmente en

- Firmware de dispositivos.
- Sistemas embebidos.
- BIOS/UEFI en computadoras.
- Código de arranque en routers y equipos de red.
- Aplicaciones industriales y automotrices.

La figura 4 muestra una captura de pantalla de la interfaz del BIOS de un mainboard Gigabyte, la cual incorpora detalles gráficos así como manejo de colores e imágenes, esto es posible en las tecnologías actuales dado que las memorias BIOS contemplan mayor velocidad y capacidad.

Figura 4 Captura de la interfaz del BIOS de un mainboard Gigabyte



Nota: tomado de <https://www.corsair.com/es/es/explorer/glossary/what-is-a-bios/> accedido el 2025/12/12

Estas dos tecnologías NOR Flash y NAND Flash tienen campos de aplicación complementarios y por lo general coexisten en muchos dispositivos modernos, tal como se puede apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3 Comparativa entre las memorias NOR Flash y NAND Flash

Característica	NOR Flash	NAND Flash
Acceso	Byte-level (aleatorio)	Bloque/page (secuencial)
Velocidad de lectura	Alta	Media
Velocidad de escritura	Baja	Media
Densidad	Baja	Alta
Costo por bit	Alto	Bajo
Ejecución directa (XIP)	Sí	No
Aplicaciones típicas	Firmware, BIOS	Almacenamiento masivo

Nota: Elaborado por (Escobar C, 2025)

Referencias citadas en la Clase 15.

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

Tecnomega Store. (2025). <https://tecnomegastore.ec/>

Tienda Nómada. (2025). <https://nomadaware.com.ec/>

Definición de los términos citados en la Clase .

Memoria NAND Flash: Es una arquitectura de memoria flash que prioriza la densidad y el costo por bit, ideal para aplicaciones de almacenamiento masivo. Su nombre proviene de la puerta lógica NAND, que describe la forma en que se conectan las celdas de memoria.

Estructura y Funcionamiento.

Memoria NOR Flash: Es un tipo principal de memoria flash, diseñada para aplicaciones que requieren acceso aleatorio rápido y ejecución de código directamente desde la memoria (execute in place, XIP). A diferencia de NAND, la NOR permite leer datos byte por byte, lo que la hace ideal para almacenar firmware o sistemas operativos embebidos.



La excelencia no se improvisa

síguenos

