

# Unidades De estado solido

## Dispositivos de Almacenamiento con Celdas de Memoria: Funcionamiento, Diseños y Evolución

*Analisis*

*Ventajas*

*comparacion*

*Desventajas*

*Evolucion*

Desde MMC hasta SSD NVMe



# Introducción a los Dispositivos de Almacenamiento con Celdas de Memoria

Los **dispositivos de almacenamiento con celdas de memoria** son sistemas que utilizan tecnología de memoria flash para almacenar datos de forma no volátil, manteniendo la información incluso sin alimentación eléctrica.

Estos dispositivos han revolucionado el almacenamiento digital, ofreciendo mayor velocidad, durabilidad y eficiencia energética en comparación con los sistemas tradicionales.

## Principales Aplicaciones

Smartphones

Cámaras digitales

Tarjetas de memoria

Unidades USB

Discos SSD

Sistemas embebidos



# Funcionamiento de las Celdas de Memoria

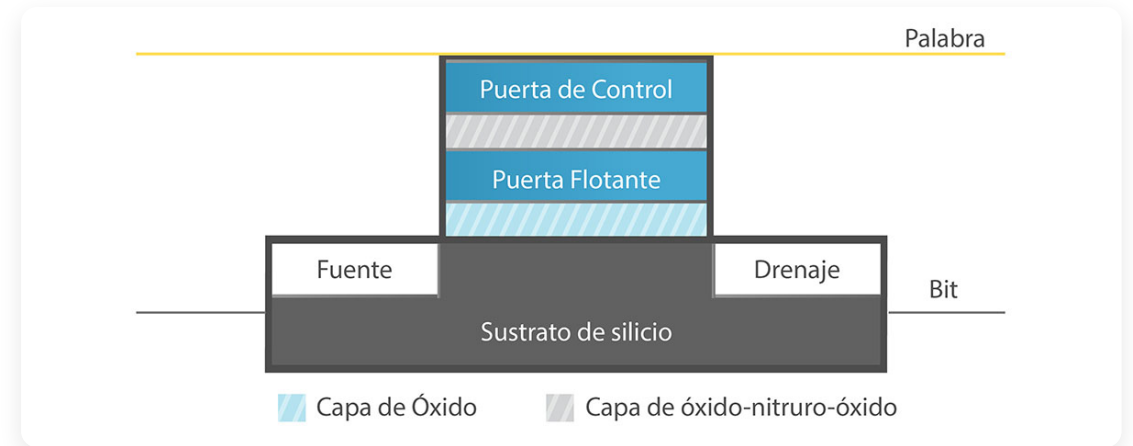
## 🔧 Estructura Básica

- **Transistor de puerta flotante:** componente fundamental
- Puerta de control, puerta flotante aislada y canal de conducción
- La puerta flotante almacena carga eléctrica de forma aislada

## 📁 Almacenamiento de Datos

- Presencia de carga = estado lógico "0"
- Ausencia de carga = estado lógico "1"
- La carga modifica la tensión umbral del transistor

La clave del funcionamiento es la capacidad de retener carga eléctrica en la puerta flotante de forma estable, lo que permite la memoria no volátil.



Estructura de un transistor de puerta flotante en memoria flash

## ⚙️ Operaciones Básicas

- **Lectura:** medir conductividad del transistor
- **Escritura:** inyectar electrones en puerta flotante
- **Borrado:** eliminar electrones de puerta flotante

# Materiales Utilizados en la Fabricación de Celdas de Memoria Flash

## Componentes Principales

### Semiconductores

**Silicio (Si)** como material base para transistores

### Conductores

**Polisilicio** y metales para interconexiones

### Aislantes

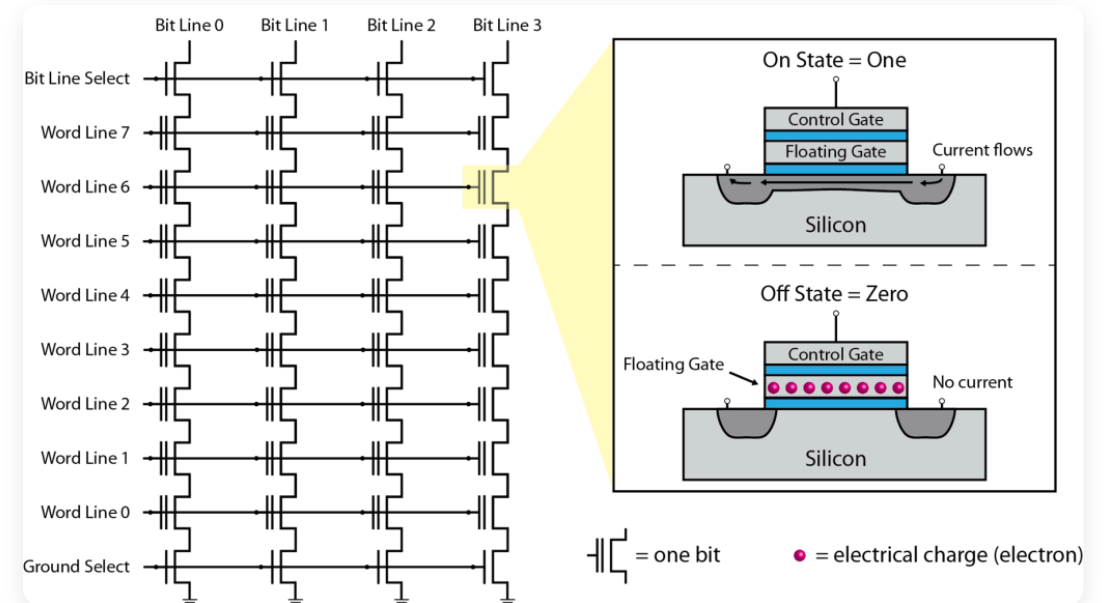
**Óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ )** para aislar la puerta flotante

### Materiales Avanzados

**Nitruro de silicio ( $\text{SiN}_x$ )** para memristores

La evolución de los materiales ha permitido aumentar la densidad de almacenamiento y mejorar el rendimiento de las celdas de memoria.

- Reducción del tamaño de las celdas (miniaturización)
- Mayor número de bits por celda (MLC, TLC, QLC)
- Mejora en la retención de datos y durabilidad



Estructura física de las celdas de memoria flash mostrando cortes transversales

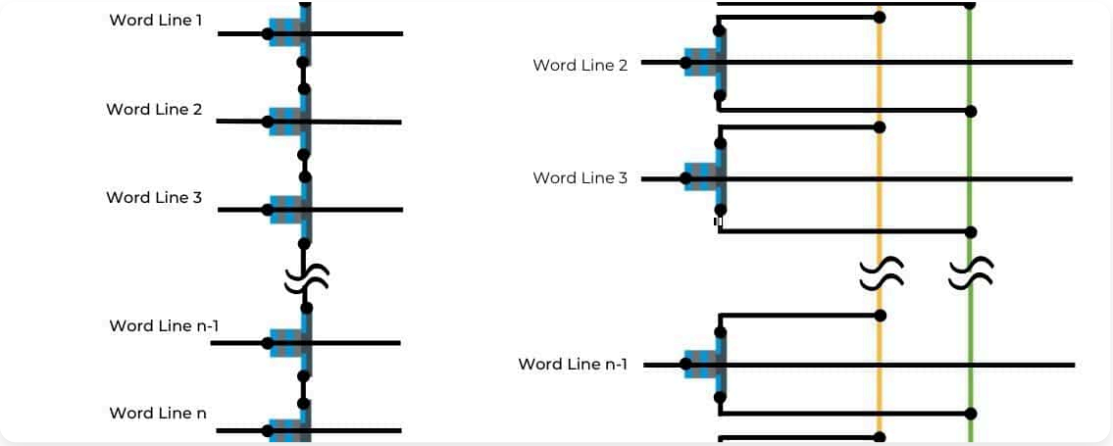
## ◆ Estructura Física

- **Substrato:** base de silicio donde se construyen los transistores
- **Canal:** región donde fluyen los electrones
- **Puerta flotante:** capa aislada que almacena carga eléctrica
- **Puerta de control:** permite controlar el flujo de electrones



# Diseños de Memoria: NAND vs NOR

## Memoria NAND

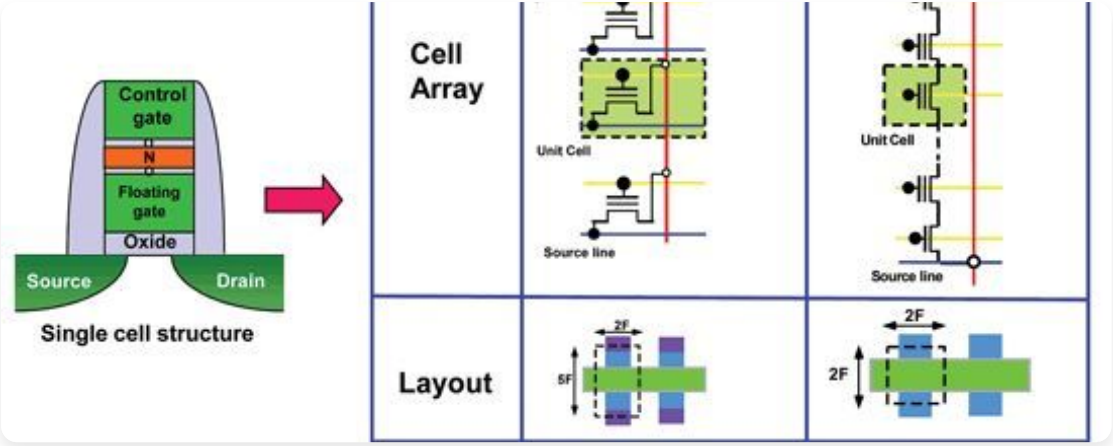


- 🔗 Celdas conectadas en **serie**
- 💾 Mayor **densidad** de almacenamiento
- 📄 Escritura y borrado **más rápidos**
- 💰 Menor **coste** por bit

### Aplicaciones

SSD Tarjetas SD USB Almacenamiento masivo

## Memoria NOR



- ↕ Celdas conectadas en **paralelo**
- 👁 Lectura **aleatoria** rápida
- ✍ Escritura a nivel de **byte** individual
- 🛡 Mayor **fiabilidad**

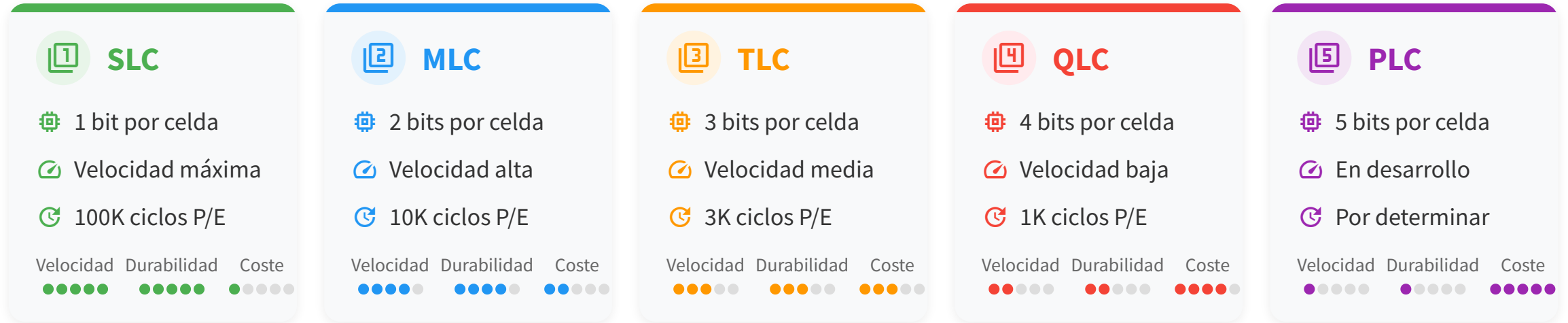
### Aplicaciones

BIOS Firmware Sistemas embebidos Código de programa

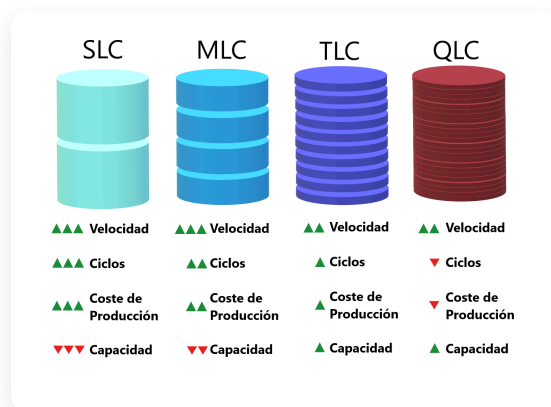
## Comparativa Rendimiento

Característica	NAND	NOR
Velocidad de escritura	Alta	Baja
Velocidad de lectura	Media	Alta
Durabilidad (ciclos P/E)	10K-100K	100K-1M

# Tipos de Memoria según Bits por Celda



## Relación entre Densidad y Rendimiento



- **Mayor densidad** (más bits por celda) = **menor rendimiento** y durabilidad
- **Menor densidad** (menos bits por celda) = **mayor velocidad** y vida útil
- ⚖ **Compensación** entre capacidad, velocidad, durabilidad y coste

# Interfaces de Acceso: SATA vs PCIe vs NVMe



## SATA

Desde 2000

- 🕒 Diseñado para HDD
- 📁 1 cola, 32 comandos
- 🖨️ Controlador AHCI
- 📏 Factor forma: 2.5"

Velocidad máxima

**600 MB/s**



## PCIe

Desde 2003

- 📶 Bus de alta velocidad
- ↔️ Hasta 32 carriles
- ↔️ Comunicación directa con CPU
- ⬆️ Gen 3: 1GB/s por carril

Velocidad máxima

**4.000 MB/s**



## NVMe

Desde 2011

- ★ Diseñado específicamente para SSD
- 📄 65.535 colas, 65.536 comandos
- 🕒 Menor latencia
- 📏 Factores forma: M.2, U.2

Velocidad máxima

**14.800 MB/s**

BUSES DE DATOS: Transportan datos dentro de un sistema

### SATA

Transferencias de hasta...

150MB/seg  
1 CARRIL  
SATA I

300MB/seg  
1 CARRIL  
SATA II

600MB/seg  
1 CARRIL  
SATA III

### PCIe

Transferencias de hasta...

500MB/seg  
Por carril  
16 CARRILES  
PCIe Gen 2

1000MB/seg  
Por carril  
16 CARRILES  
PCIe Gen 3

2000MB/seg  
Por carril  
16 CARRILES  
PCIe Gen 4

## ➡️ Ventajas Clave de NVMe

- 📁 Hasta 24 veces más rápido que SATA III
- 🕒 Menor latencia gracias a ruta de datos optimizada
- 📄 Gestión eficiente de colas reduce carga de CPU

# Problemas de Temperatura y Durabilidad

## 🔥 Efectos de la Temperatura

- **Altas temperaturas** degradan las celdas NAND
- Pérdida de carga eléctrica en la puerta flotante
- Aumento de errores de bits (saltos de bits)
- **Acorta significativamente la vida útil** del dispositivo

## 🔄 Métricas de Durabilidad



Ciclos P/E  
**1K-100K**



TBW  
**100-3000TB**



DWPD  
**0.3-3**

- **SLC**: 100,000 ciclos P/E (máxima durabilidad)
- **QLC**: 1,000 ciclos P/E (menor durabilidad)

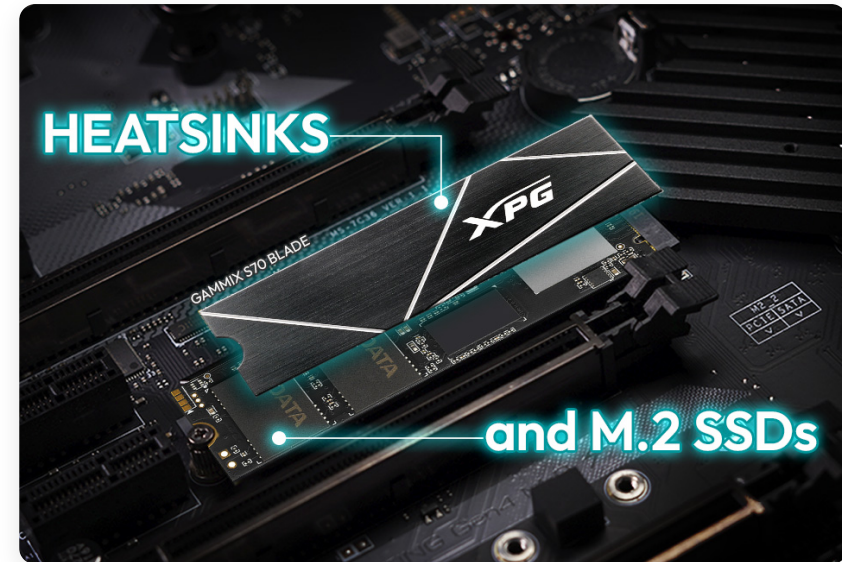
## ✱ Soluciones de Gestión Térmica

❖ Disipadores de calor

⇌ Ventilación activa

🌡️ Control de temperatura

⚙️ Throttling dinámico



SSD M.2 con disipador de calor para gestión térmica

## ⚠️ Señales de Problemas Térmicos

- Rendimiento reducido (hasta 2/3 menos)
- Errores frecuentes de lectura/escritura
- Dispositivo caliente al tacto
- Apagones inesperados

## ⚙️ Recomendaciones

- Mantener **entorno operativo refrigerado**
- Evitar exposición a calor excesivo
- Utilizar SSD con **disipadores de calor**
- Monitorear temperatura regularmente



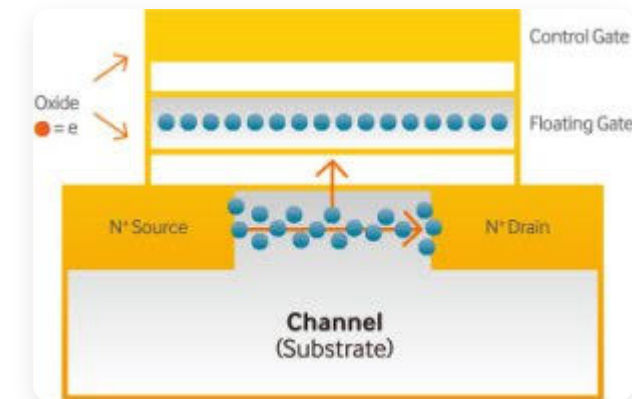
# Proceso de Escritura y Lectura de Datos

## ✍ Escritura de Datos

- 1 Aplicación de voltaje**  
Se aplica un **alto voltaje** a la puerta de control del transistor
- 2 Túnel Fowler-Nordheim**  
Electrones atraviesan la capa de óxido mediante **efecto túnel**
- 3 Almacenamiento de carga**  
Electrones quedan atrapados en la **puerta flotante**, representando un "0"

## 👁 Lectura de Datos

- 1 Aplicación de voltaje**  
Se aplica un voltaje específico a la puerta de control
- 2 Medición de conductividad**  
Se mide si el transistor **conduce corriente**
- 3 Determinación del estado**  
Conducción = "1" (sin carga), No conducción = "0" (con carga)



Estructura y principio de funcionamiento del transistor de puerta flotante

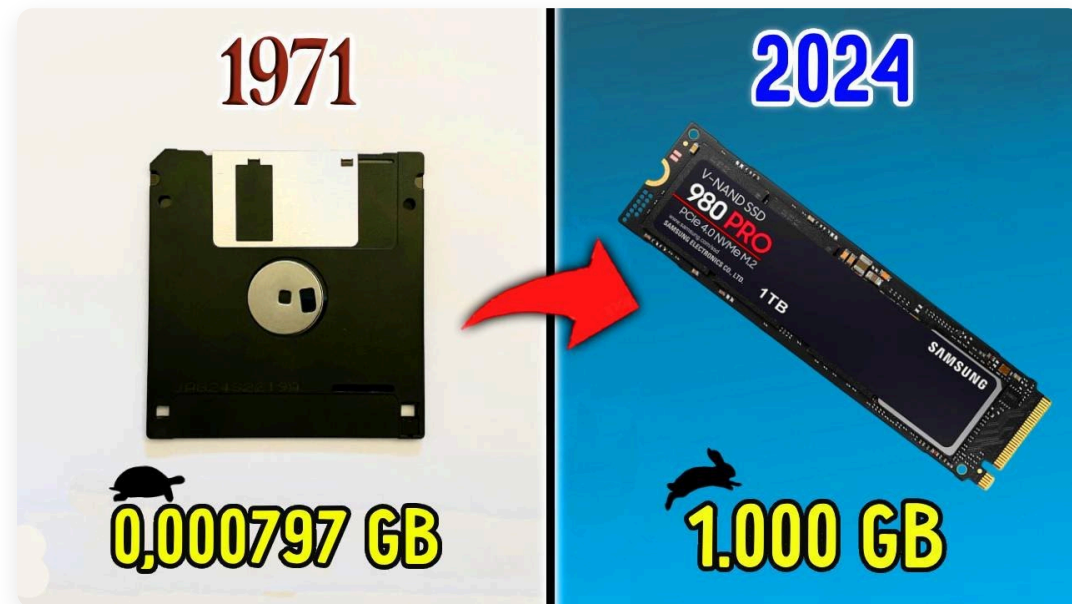
## 🗑 Borrado de Datos

- 1 Voltaje inverso**  
Se aplica un voltaje inverso al utilizado en la escritura
- 2 Liberación de electrones**  
Electrones **abandonan la puerta flotante** mediante efecto túnel
- 3 Borrado en bloque**  
El borrado se realiza en **bloques completos**, no celda por celda

### 💡 Características Clave

- ⚡ El nombre "FLASH" proviene de la velocidad del borrado en bloque
- 🛡 Los datos retenidos sin alimentación (memoria no volátil)
- 🔄 Cada ciclo de escritura/borrado desgasta la celda

# Evolución Histórica: desde MMC hasta SSD NVMe



Evolución de dispositivos de almacenamiento: desde disquetes hasta SSD NVMe

1987

## 💡 Invención de la memoria flash

Toshiba desarrolla el primer prototipo de memoria flash NAND

1997

## 💳 Aparición del MMC

Siemens y SanDisk lanzan el MultiMediaCard (MMC), precursor de las tarjetas SD

2000

## 🔌 Interfaces estandarizadas

Lanzamiento de SATA y popularización de las unidades USB

2009

## 📁 SSD de consumo

Los SSD basados en NAND se vuelven asequibles para el mercado de consumo

2011

## ⚡ NVMe

Aparece el protocolo NVMe, diseñado específicamente para SSD

2015+

## ⤴️ 3D NAND y PCIe 4.0/5.0

Tecnología 3D NAND y nuevas generaciones de PCIe aumentan velocidad y capacidad



### Capacidad

De MB a varios TB en un espacio reducido



### Velocidad

De KB/s a más de 7.000 MB/s con NVMe



### Fiabilidad

Mayor resistencia a golpes y vibraciones



### Eficiencia

Menor consumo energético y menor calor