

---

# Unidad 2. Circuitos electrónicos y familias lógicas

Circuitos Electrónicos Digitales  
E.T.S.I. Informática  
Universidad de Sevilla

Jorge Juan <jjchico@dte.us.es> 2010-2019

You are free to copy, distribute and communicate this work publicly and make derivative work provided you cite the source and respect the conditions of the Attribution-Share alike license from Creative Commons.

You can read the complete license at:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>

# Contenidos

---

- Circuitos electrónicos
  - Cargas y conductores
  - Dispositivos electrónicos
  - Circuito eléctricos
  - Materiales y dispositivos semiconductores
  - Tecnología: dispositivos discretos e integrados
- Familias lógicas
  - Circuitos digitales
  - Puertas y operadores lógicos
  - Familias lógicas
  - Parámetros eléctricos y de conmutación

# Competencias

---

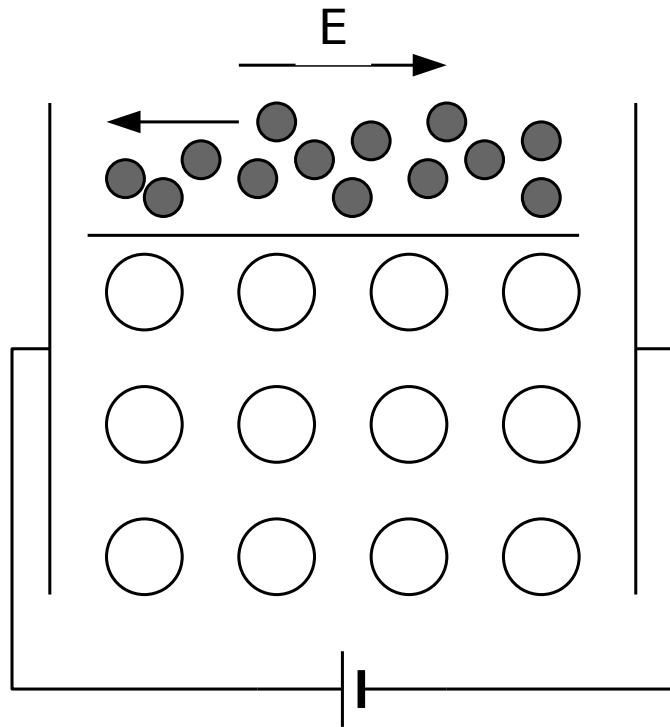
- Competencias principales
  - 1) Resolver circuitos sencillos con resistencias: divisor de tensiones, etc.
  - 2) Comprender cualitativamente la operación de diodos y transistores en modo de conmutación.
  - 3) Localizar y saber interpretar los principales parámetros eléctricos de los dispositivos digitales: tensión de polarización, corrientes máximas de entrada/salida y potencia máxima. (F)
  - 4) Determinar la compatibilidad entre dispositivos de igual o distintas familias lógicas en base a sus parámetros eléctricos, y determinar los márgenes de ruido. (F)
  - 5) Saber calcular el fan-out máximo entre dispositivos de la misma y distintas familias lógicas. (F)
  - 6) Comprender y saber medir los parámetros de conmutación de las señales digitales: tiempos de transición y retraso de propagación.

# Competencias

---

- Otras competencias
  - Comprender las características básicas de los circuitos eléctricos: conductores, tensión eléctrica, corriente eléctrica, potencia eléctrica, etc.
  - Conocer a grandes rasgos los procesos de conducción de corriente eléctrica en conductores y semiconductores.
  - Comprender cualitativamente la operación de circuitos RC simples.
  - Saber explicar cualitativamente la operación de puertas lógicas sencillas construidas con transistores.
  - Conocer las generaciones de circuitos integrados y la Ley de Gordon Moore.

# Conductores y portadores de carga



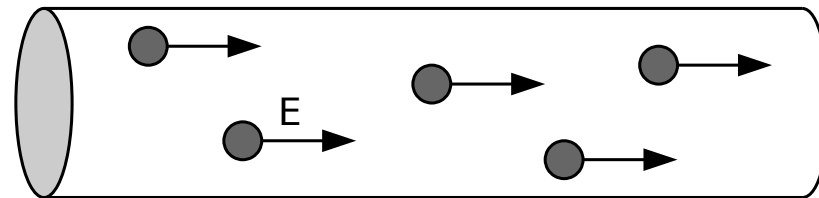
- Átomos metálicos
- Electrones libres

- Los portadores de carga pueden ser positivos (+) o negativos (-).
- Los portadores más “típicos” son electrones libres en metales.
- Cuando se aplica un campo eléctrico (E) los portadores se mueven y producen una corriente eléctrica.
- Existe un campo eléctrico entre dos puntos siempre que exista una diferencia de potencial eléctrico (tensión) entre los mismo.

# Propiedades básicas de los conductores

---

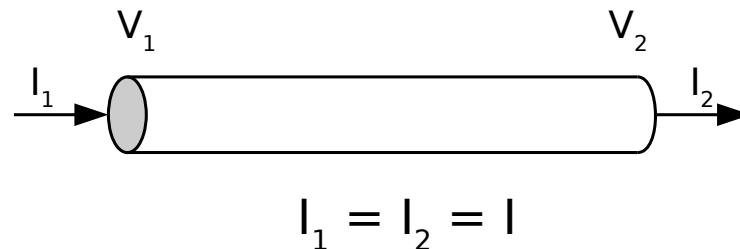
- Conductores en circuitos eléctricos
  - Normalmente tienen forma de cable.
  - La carga (portadores) y el campo eléctrico están confinados en su interior.
- La carga no se acumula en los conductores. El conductor permanece neutro (o casi).



# Magnitudes eléctricas

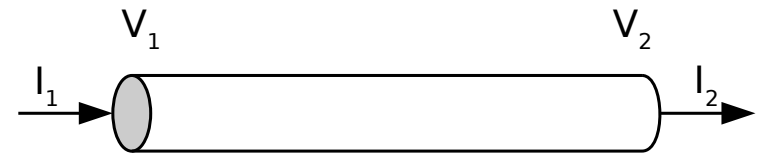
- **Tensión eléctrica:** diferencia de potencial eléctrico (energía de las cargas) entre dos puntos del circuito (Voltios [V]).
  - El campo eléctrico (fuerza sobre las cargas) se orienta desde las zonas de mayor a menor tensión.
  - Las cargas se mueven hacia los puntos en que tienen menor energía.
  - No existe un valor absoluto de la tensión. Se suele definir un punto del circuito como tensión cero (nodo de masa).
- **Corriente eléctrica:** carga por unidad de tiempo que atraviesa la sección del conductor (Amperios [A]).
  - Como la carga no se acumula, la corriente eléctrica es la misma en todas las secciones del conductor.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$



# Ley de Ohm

- Ley de Ohm
  - Resistencia: relación entre la tensión y la corriente entre los extremos de un conductor.
  - Ohmios  $[\Omega]=[V]/[A]$
- Conductores ideales ( $R=0$ )
  - Cables metálicos: se usan para hacer conexiones en circuitos. Pueden considerarse conductores ideales casi siempre.
  - Consecuencia: la tensión eléctrica es la misma en todos los puntos de un cable.



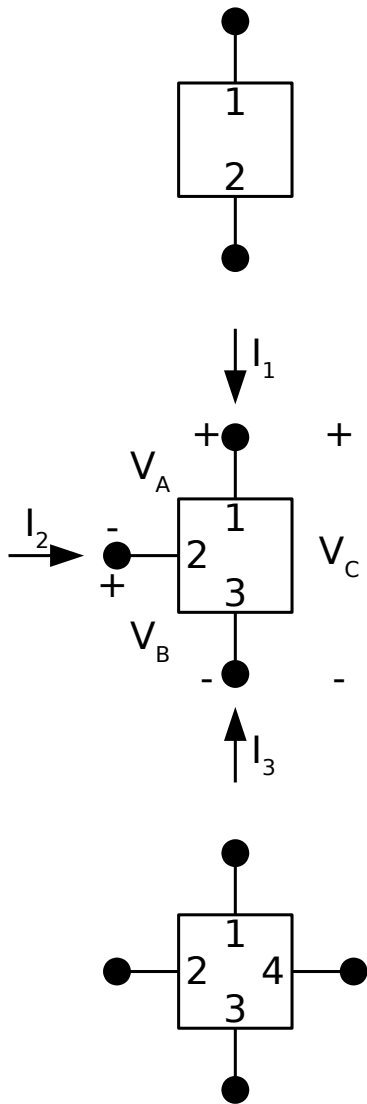
$$I_1 = I_2 = I$$

$$R = \frac{V_1 - V_2}{I}$$

$$R = 0 \Rightarrow V_1 = V_2$$



# Dispositivos electrónicos

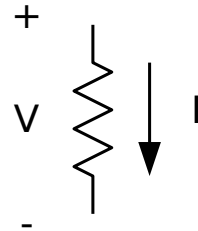


- Elementos electrónicos con dos o más terminales (puntos de conexión)
- Imponen una relación matemática entre las corrientes y tensiones de sus terminales.
- La carga no se acumula en los dispositivos:
  - $I_1 + I_2 + I_3 + \dots = 0$

# Dispositivos electrónicos básicos

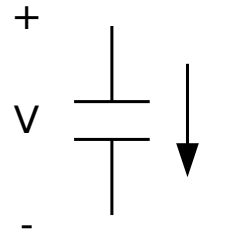
---

Resistencia  
Ohmios [ $\Omega$ ]



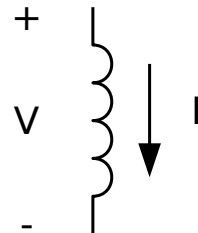
$$V = IR$$

Condensador  
Faradios [F]



$$I = C \frac{dV}{dt}$$

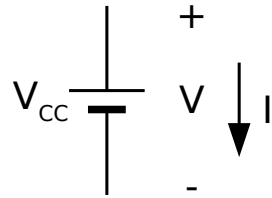
Inducción  
Henrios [H]



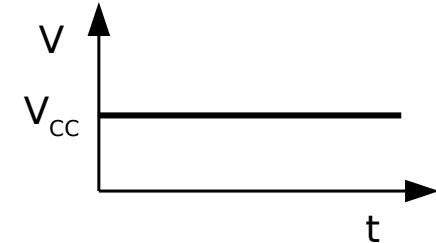
$$V = -L \frac{dI}{dt}$$

# Dispositivos básicos: fuentes ideales

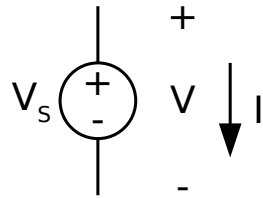
Fuente de tensión constante  
(batería)



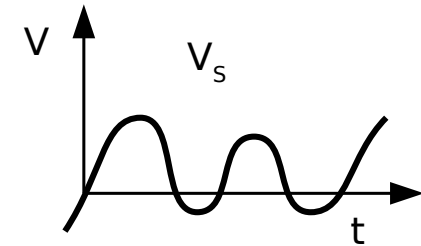
$$V = V_{CC}$$



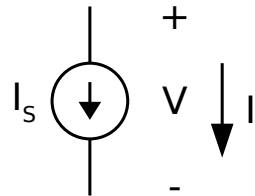
Fuente de tensión variable



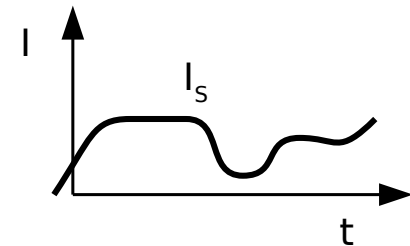
$$V = V_S(t)$$



Fuente de corriente variable

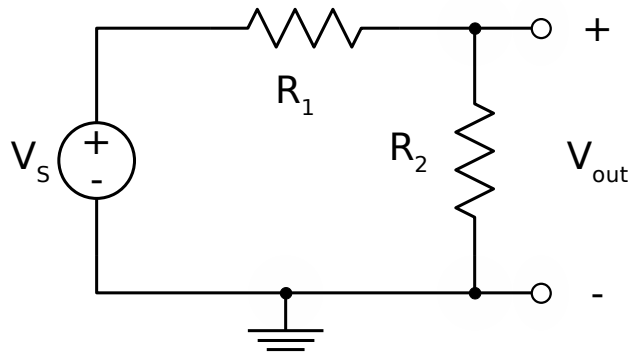


$$I = I_S(t)$$

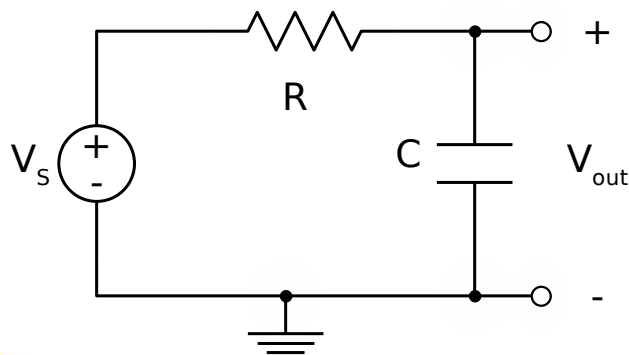


# Circuitos eléctricos

- Interconexión de dispositivos mediante cables para conseguir alguna propiedad o funcionalidad determinada.
- Nodo: punto de conexión entre dos o más dispositivos.
  - Misma tensión en todos los puntos de un nodo (conductores ideales)



Divisor de tensiones



Filtro paso de baja

# Análisis de circuitos

---

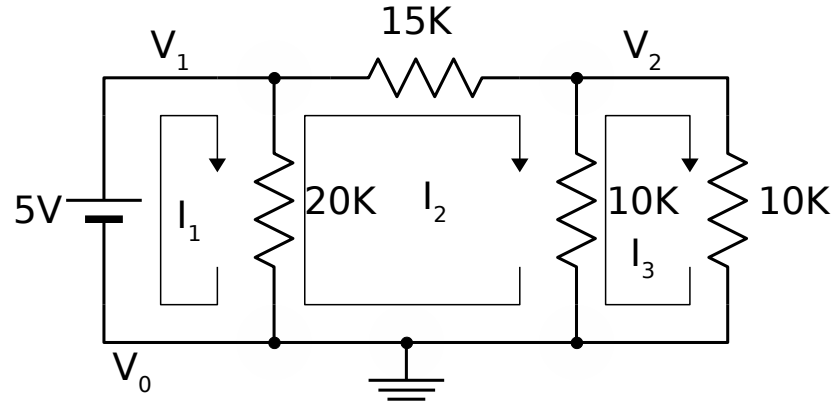
- El análisis de circuitos se basa en:
  - Ecuaciones de los dispositivos
  - Ecuaciones topológicas (Leyes de Kirchhoff)
- Leyes de Kirchhoff
  - Corrientes: la suma de todas las corrientes que confluyen en un nodo es cero (no acumulación de carga).
  - La suma de las caídas de tensión a lo largo de cualquier camino cerrado en un circuito es cero.

# Análisis de circuitos. Tipos de análisis

---

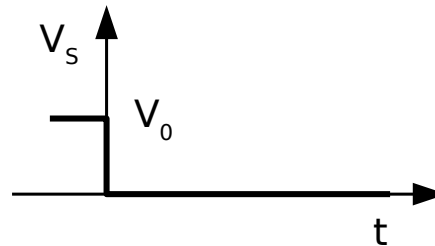
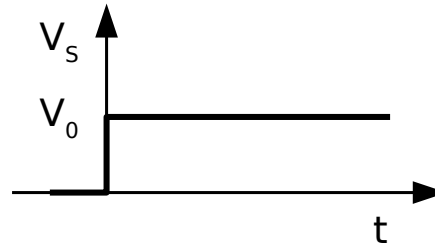
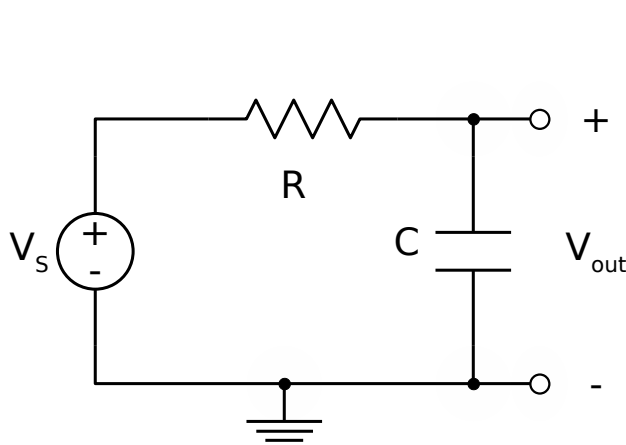
- Análisis estático (DC):
  - Todas las magnitudes y fuentes del circuito son constantes.
  - La solución se obtiene de ecuaciones algebraicas.
- Análisis transitorio o temporal
  - Considera fuentes variables y la evolución temporal de las magnitudes del circuito.
  - En general, la solución se obtiene de resolver ecuaciones diferenciales.
- Análisis en frecuencia (AC)
  - Calcula el estado estacionario cuando todas las fuentes y señales son funciones de tipo senoidal.
  - Permite obtener el comportamiento del circuito en función de la frecuencia de las señales aplicadas.
  - Emplea herramientas matemáticas específicas (Transformada de Laplace).

# Análisis de circuitos. Ejemplos



Análisis estático (DC)

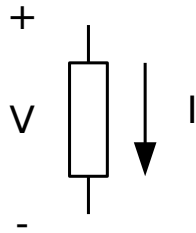
Simulación



Análisis transitorio  
(temporal)

Simulación

# Potencia



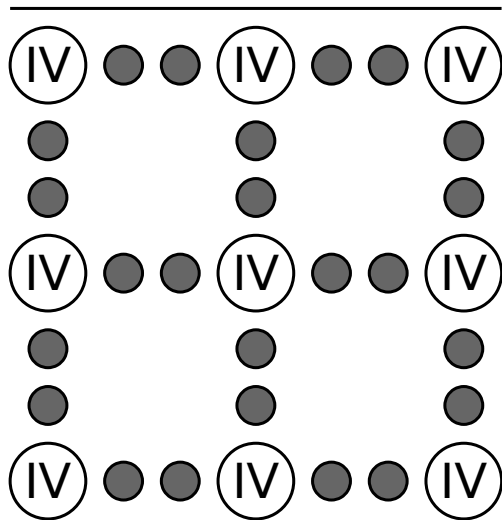
$$P = VI$$

- Energía consumida por unidad de tiempo.
- Es una variable clave en la electrónica actual
  - Dispositivos portátiles (duración de batería), problemas de disipación, medio ambiente, etc.
- Se “consume” potencia cada vez que una corriente fluye de un potencial mayor a uno menor.
- La potencia puede ser negativa
  - El dispositivo “produce” energía eléctrica que es consumida por el circuito (ej. fuente de tensión).

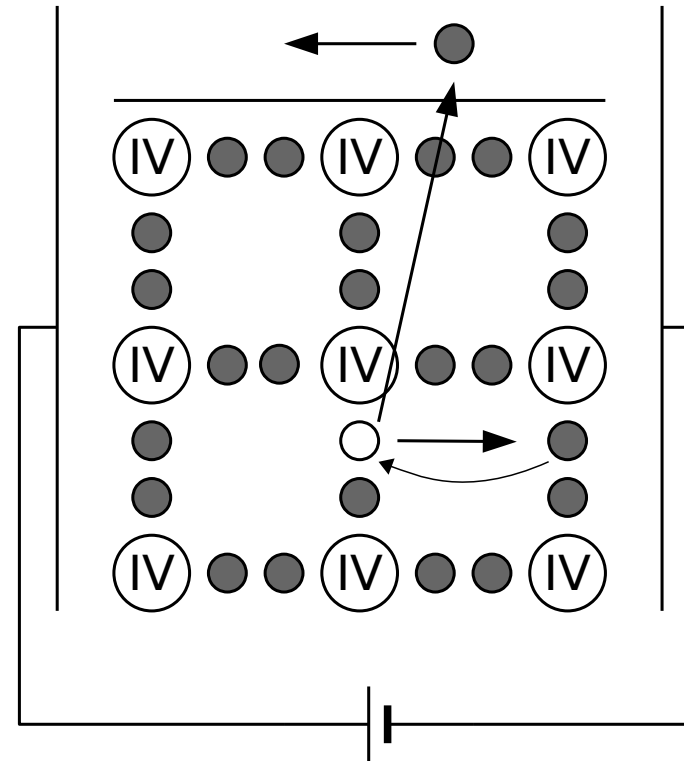


# Dispositivos semiconductores (intrínsecos)

T=0



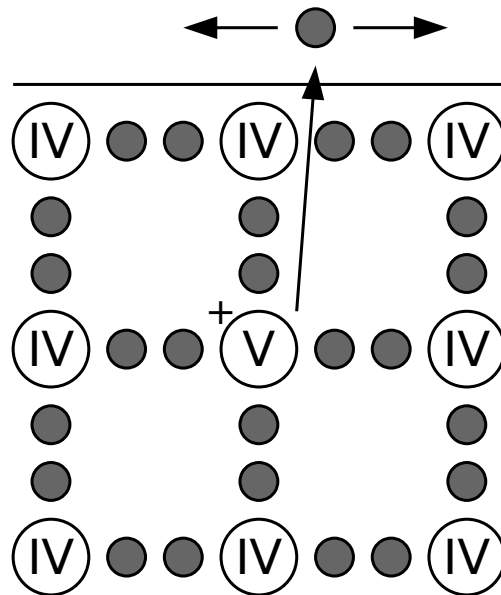
T>0



- ⓐ Átomo grupo IV (Si)
- Electrón (-)
- Huevo (+) (dejado por un electrón)

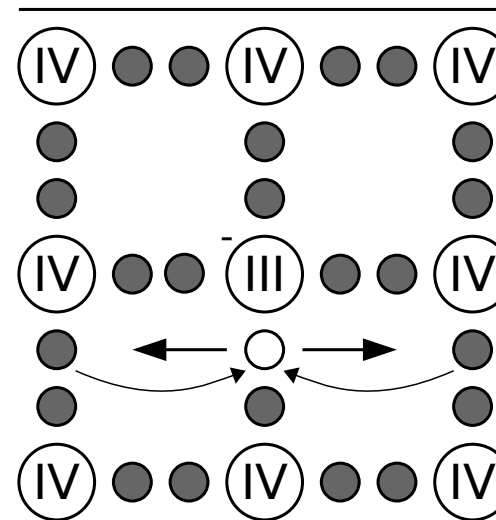
# Dispositivos semiconductores (dopados) ( $T=0$ )

tipo-n



buen conductor

tipo-p



buen conductor

- Electrón (-)
- Hueco (+) (dejado por electrón)

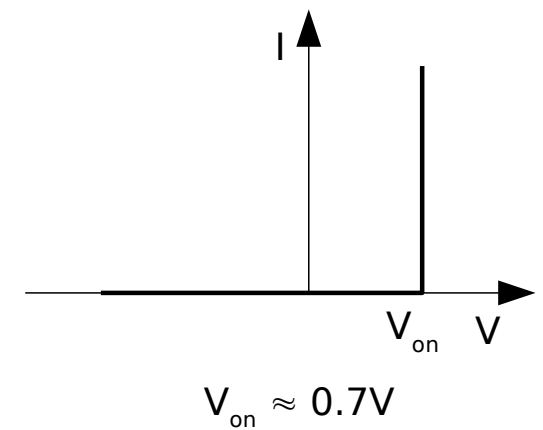
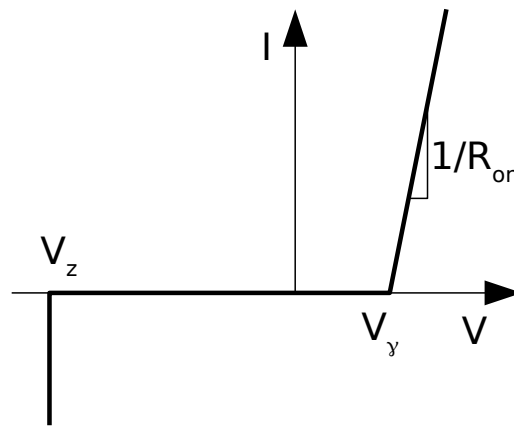
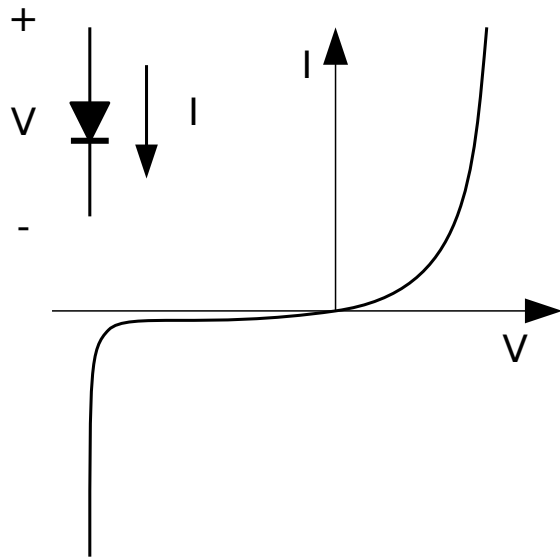
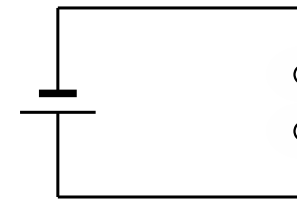
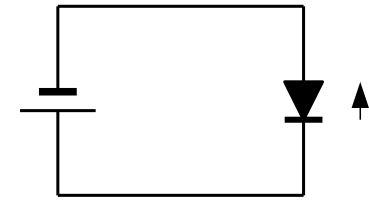
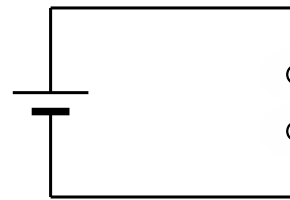
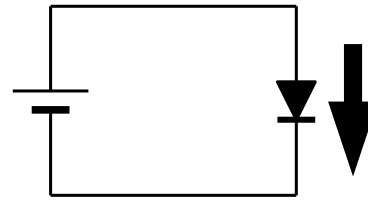
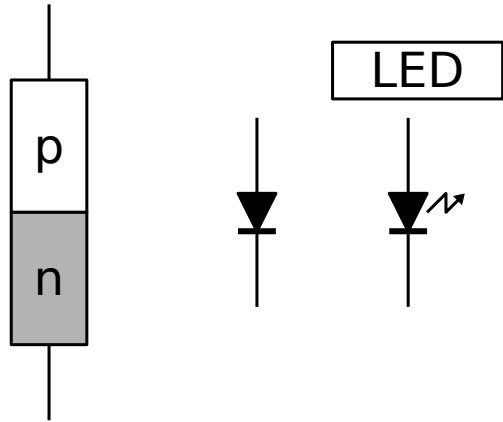
- Ⓔ Átomo del grupo IV (Si)
- Ⓕ Átomo del grupo V (P, As)
- Ⓜ Átomo del grupo III (B, Ga)

# Buenas propiedades de los semiconductores

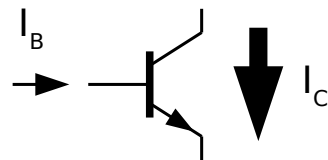
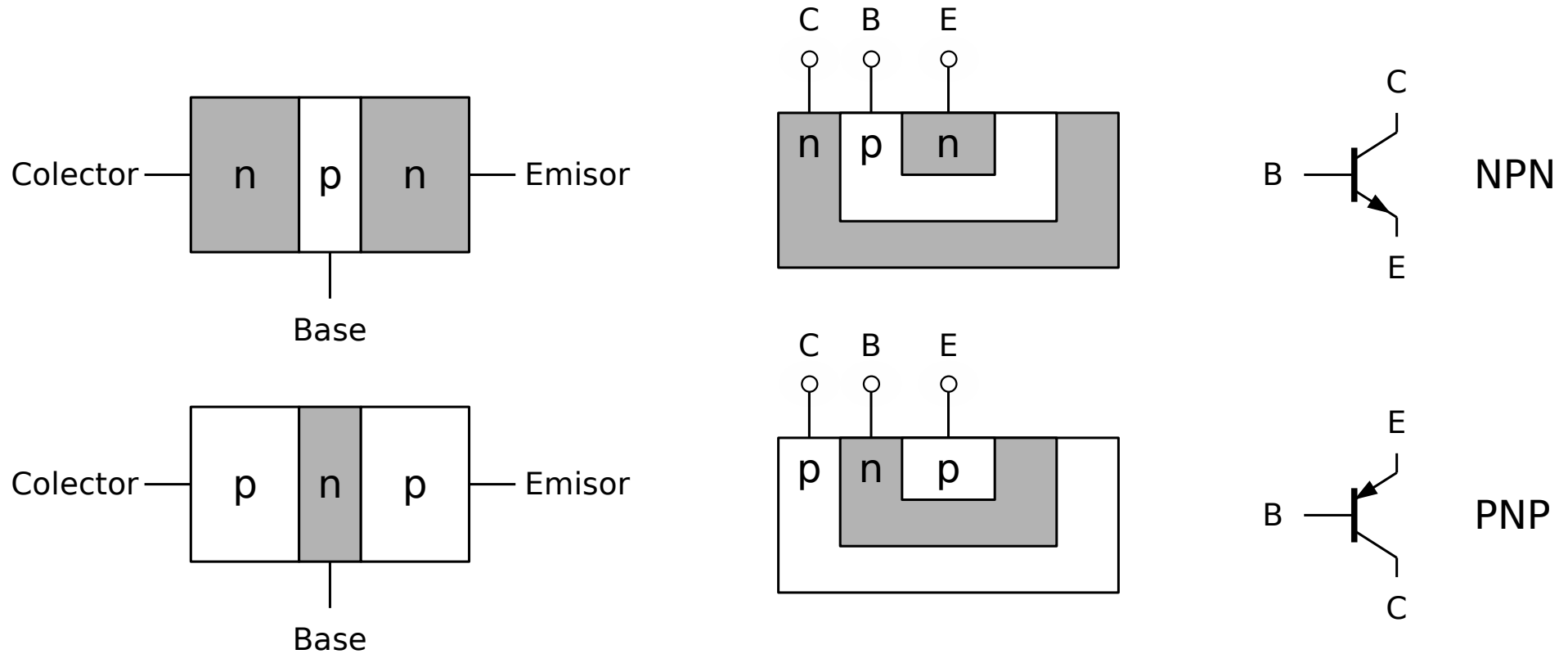
---

- La “conductancia” depende de la temperatura, luz, etc.
  - Sensores de temperatura
  - Sensores de luz
  - Células solares
  - etc.
- La conductancia puede controlarse mediante el dopaje.
- El tipo de portador (+ o -) puede controlarse mediante el dopaje (P o N).
- Se pueden crear dispositivos con propiedades muy útiles combinando semiconductores tipo P y N.
  - Eléctricas: conducción selectiva.
  - Ópticas: emisores de luz.

# Diodos y diodos emisores de luz (LEDs)



# Transistores bipolares



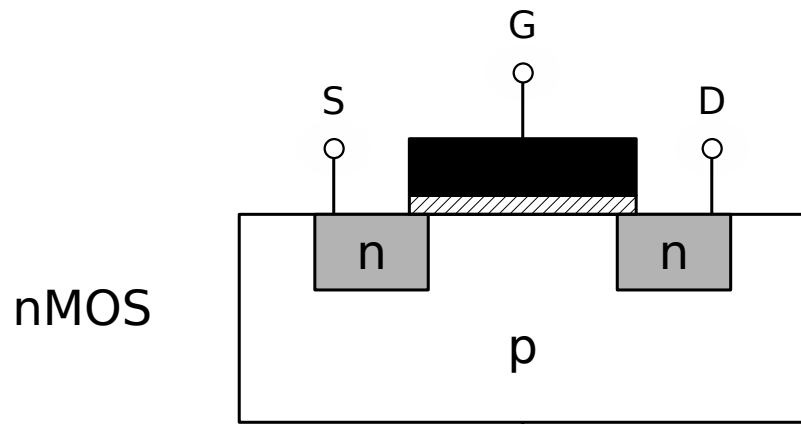
$$I_C = \beta I_B$$
$$\beta \approx 100$$

Un pequeña corriente entre B y E permite que una gran corriente pase de C a E.

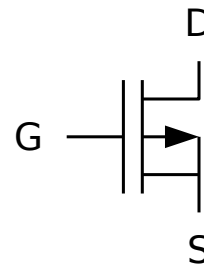
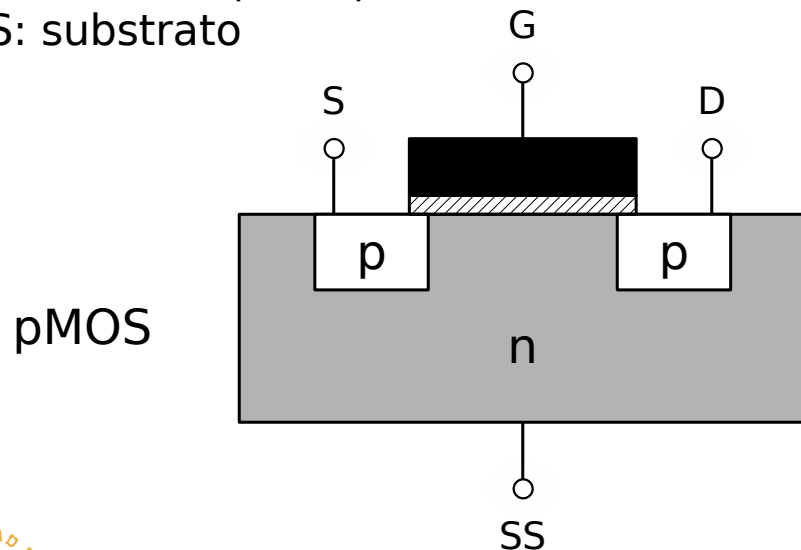
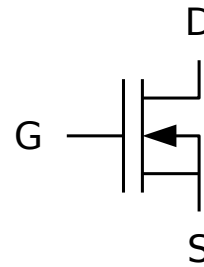
Aplicación: amplificadores, sensores, etc.


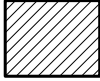
# Transistores de efecto campo

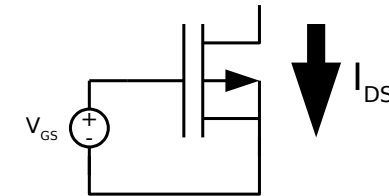
## Ej: MOSFET



G: puerta (gate)  
S: fuente (source)  
D: drenador (drain)  
SS: substrato



 Conductor (Poly-Si)  
 Dieléctrico ( $\text{SiO}_2$ )

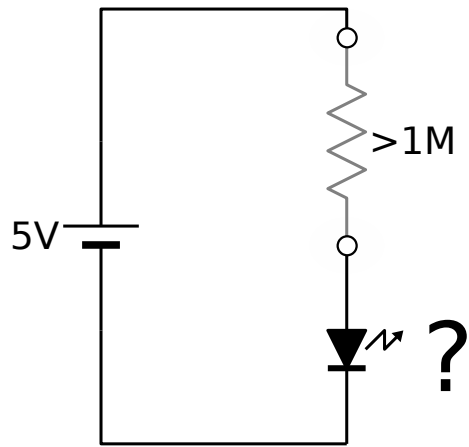


Una pequeña tensión entre G y S permite que una gran corriente pase de D a S.

Aplicación: amplificadores, sensores, etc.

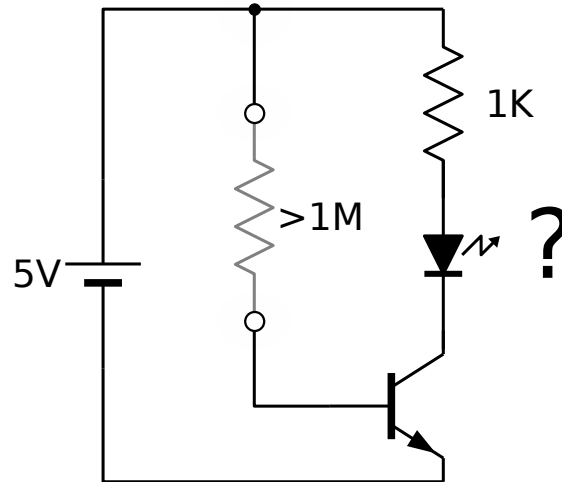
# Demostración de transistores

$$V = IR \quad I = \frac{V}{R}$$

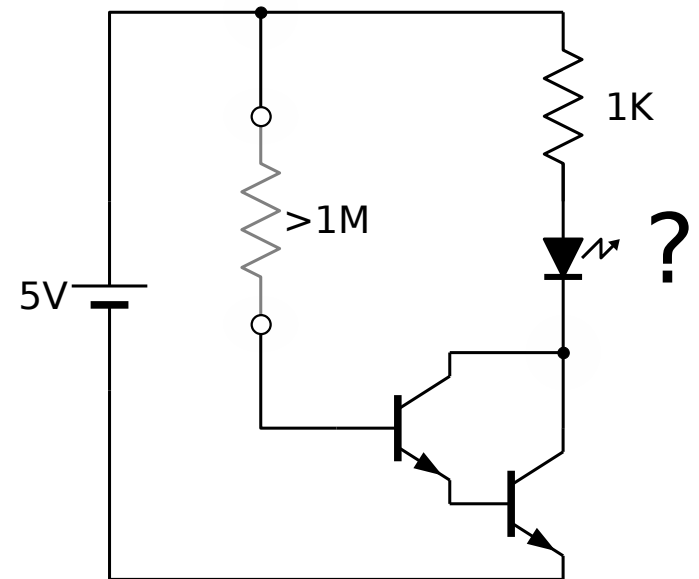


$$I_D = I_R \approx 0$$

$$I_C = \beta I_B$$
$$\beta \approx 100$$



$$I_D = I_C \approx 100 I_R$$



$$I_D \approx 10000 I_R$$

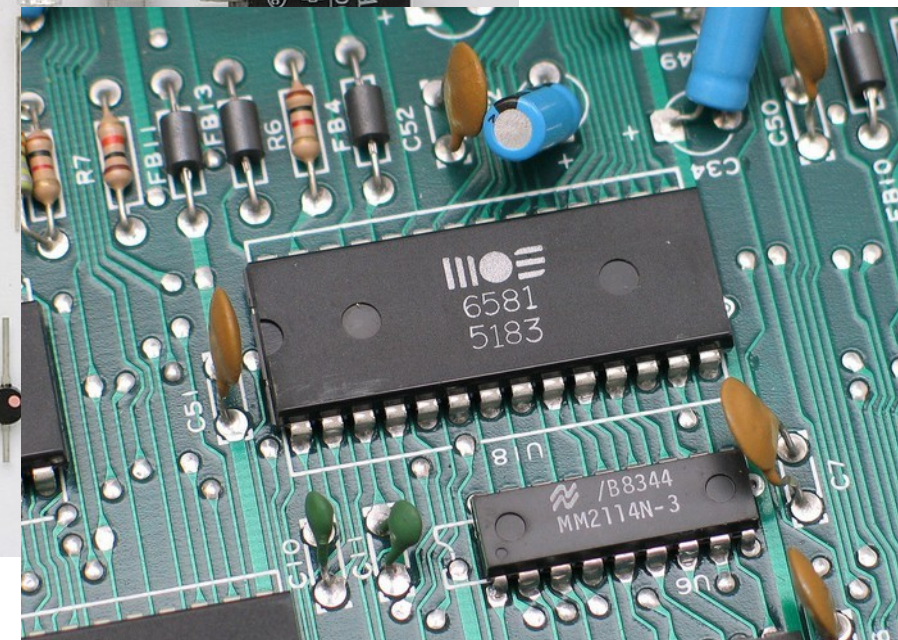
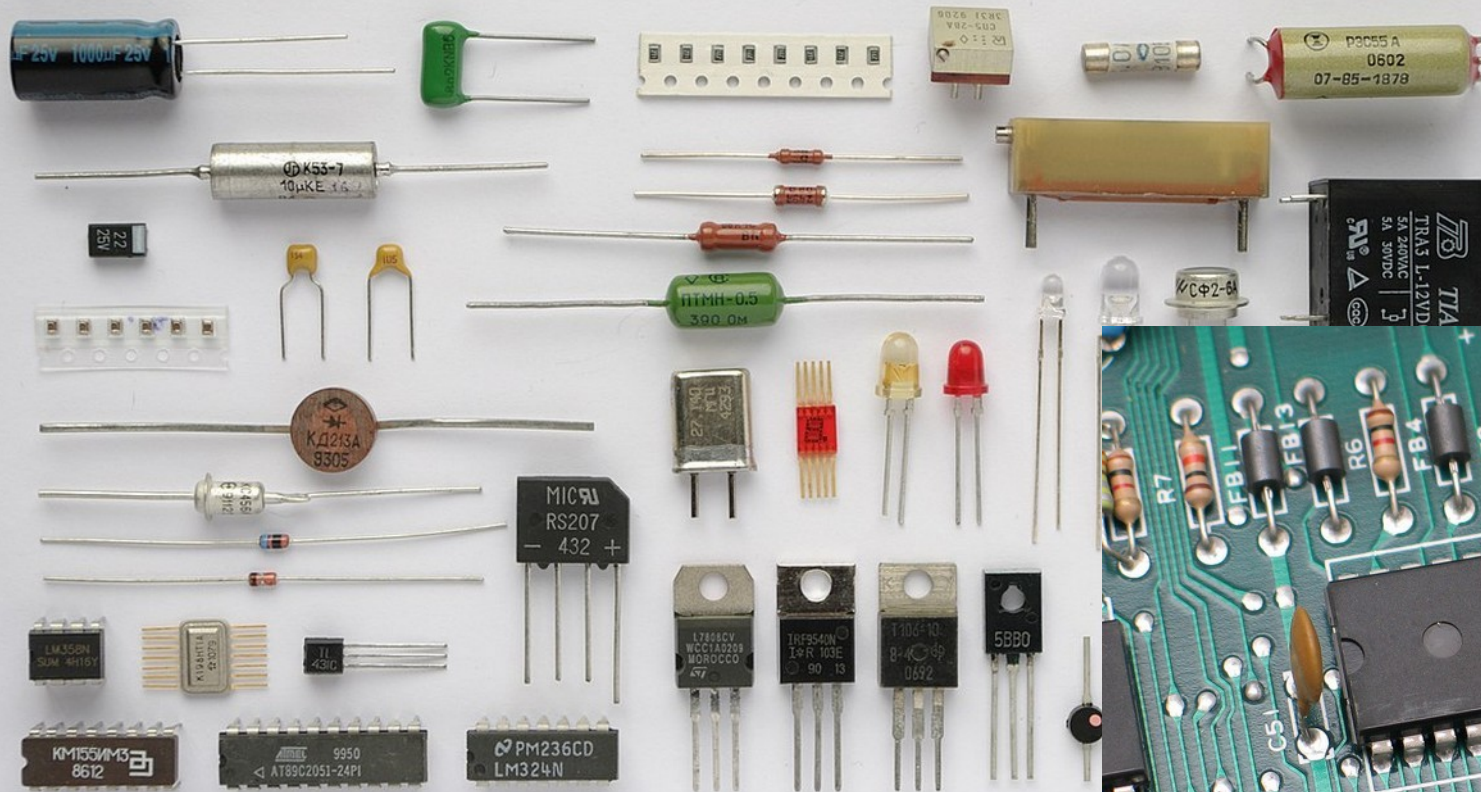
# Tecnología

---

- Componentes discretos
  - Dispositivos fabricados uno a uno
  - Soldados en placas de circuito impreso
- Circuitos integrados (CI, chips)
  - Múltiples dispositivos (la mayoría transistores) fabricados y conectados al mismo tiempo sobre un substrato común.
  - Grandes números: de 10 a >500 millones de ttores. en un sólo chip.
  - La mayoría de la electrónica moderna son CI.
- Tipos de CI
  - De aplicación específica (ASIC)
  - Configurables (ej: FPGA)



# Componentes electrónicos



By Kae - Own work, Public Domain  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=655329>

By Christian Taube - Own work, CC BY-SA 2.5,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1503038>





# Circuitos integrados. Generaciones

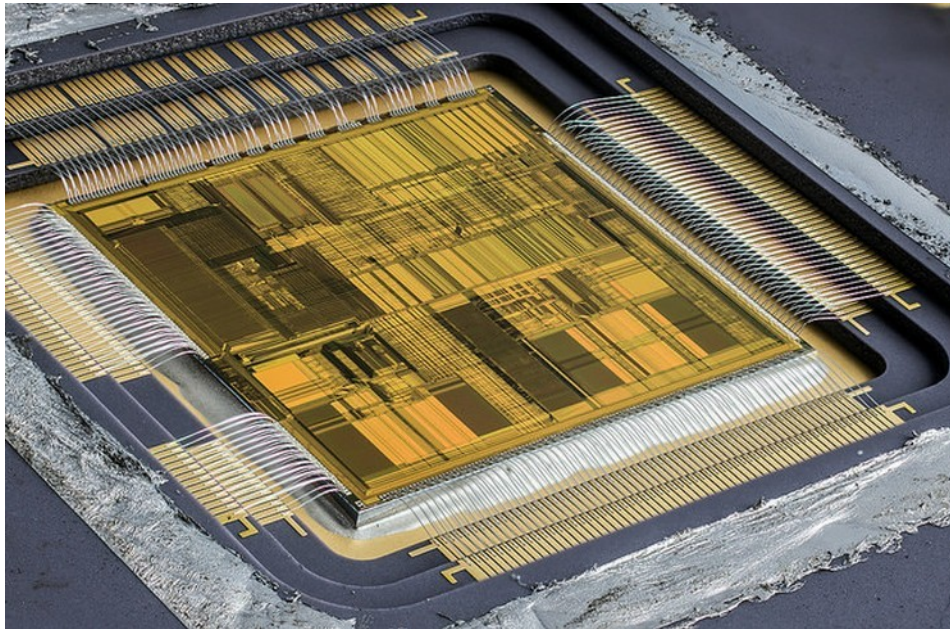
Nombre	Significado	Año	No. tt	
SSI	Small-scale integration	1964	1 a 10	Aplicaciones militares y espaciales
MSI	Medium-scale integration	1968	10 a 500	Uso en productos de consumo
LSI	Large-scale integration	1971	500 a 20000	Microprocesadores y memorias integradas
VLSI	Very large-scale integration	1980	20000 a 1M	Procesadores y memorias avanzados. Automatización
ULSI	Ultra-large-scale integration	1984	> 1M	System on Chip (SoC)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated\\_circuit](https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit)

# Circuitos integrados. Tipos

Aplicación específica (ASIC)

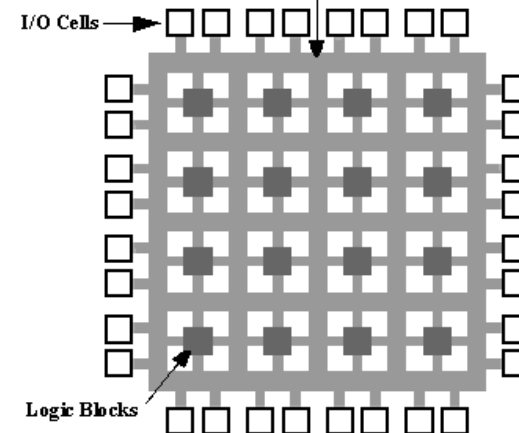
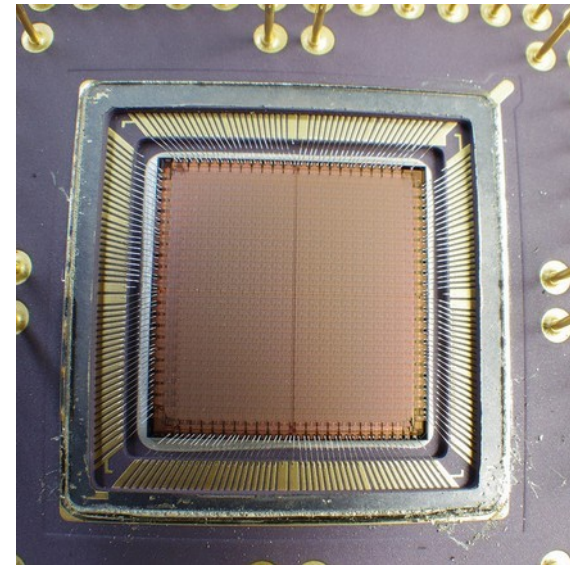
Intel Pentium



Dominio Público  
<https://www.flickr.com/photos/130561288@N04/16637740870>

Configurables (ej. FPGA)

Xilinx XC4010-6



<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fpga1a.gif>

Xilinx XC4010-6. Dominio Público  
<https://www.flickr.com/photos/34923408@N07/22054207552/>

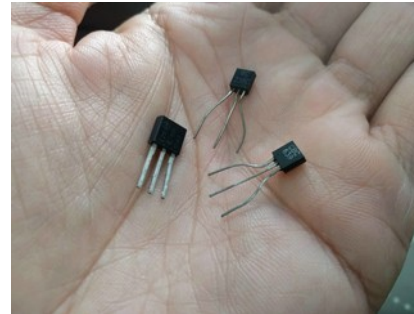
# Evolución

Válvulas



By Kguirmela - Own work, CC BY 3.0  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3820451>

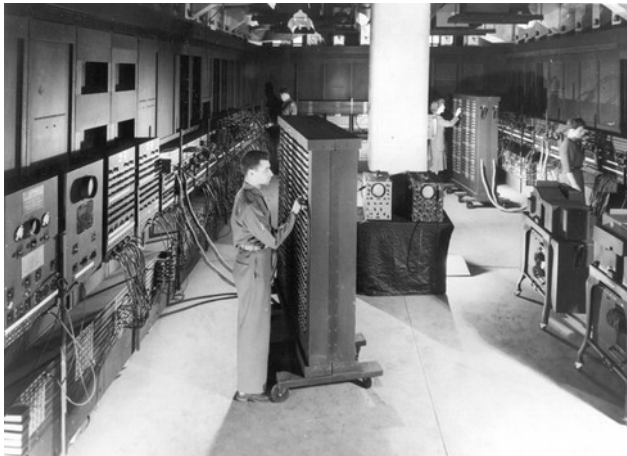
Transistores



Intel Pentium IV (~50Mtt)



ENIAC (1946)



By Unidentified U.S. Army photographer, Public Domain  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=978770>

IBM 360 Model 20 (1966)



By Ben Franske - DM IBM S360.jpg on en.wiki, CC BY 2.5  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1189162>



By Vostrouser - Own work, CC0  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47766991>





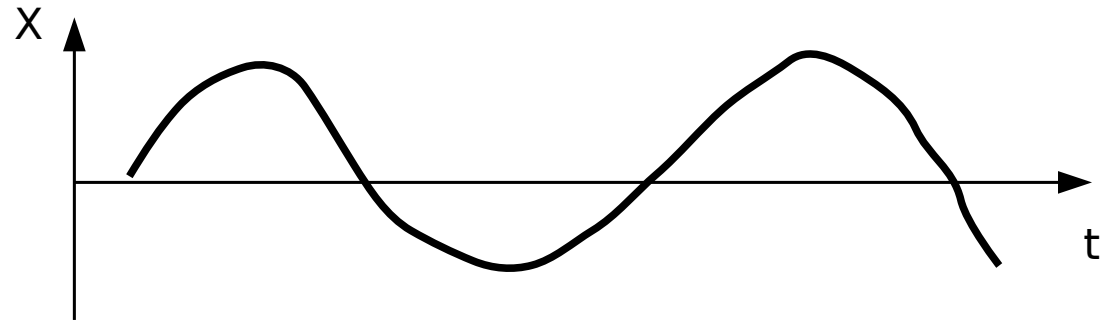
# Familias lógicas

---

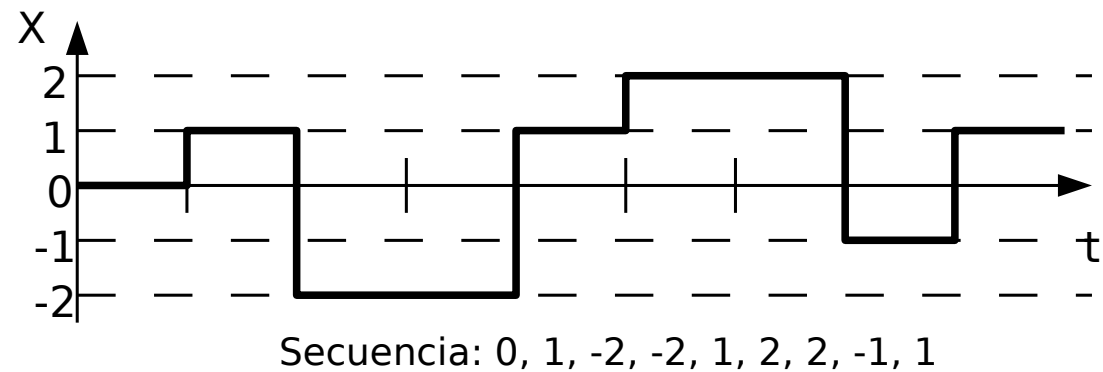
- Circuitos digitales
- Puertas lógicas y operadores lógicos
- Familias lógicas
- Parámetros eléctricos
- Parámetros de conmutación

# Circuitos digitales: 0s y 1s

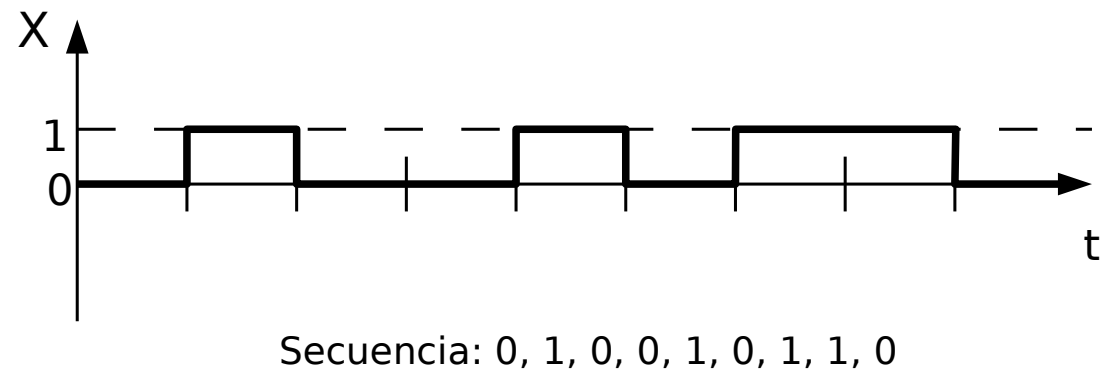
Analógico



Digital  
(5 valores)

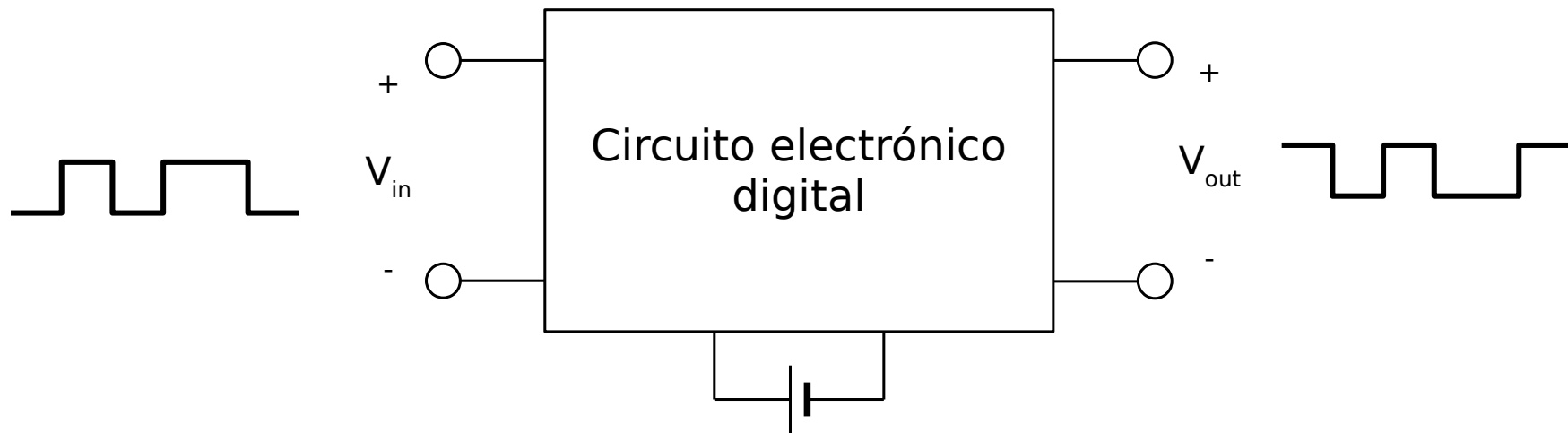


Digital  
(2 valores)





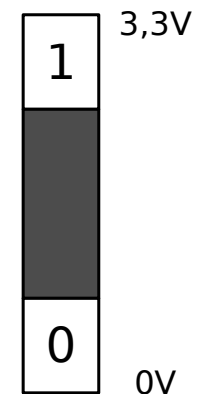
# Circuito digital. Niveles lógicos



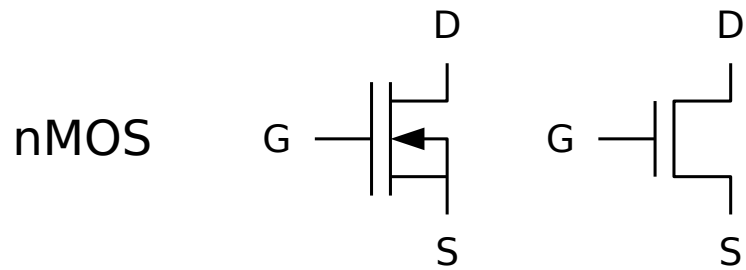
Valor eléctrico ( $V_x$ ) vs. valor lógico (X)

Ejemplo: 3,3V

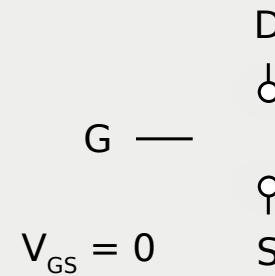
$V_x$	X
$\sim 0V$	0
$\sim 3,3V$	1



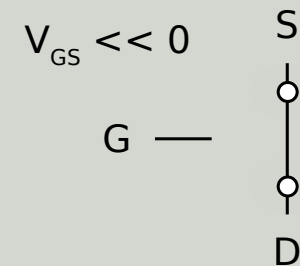
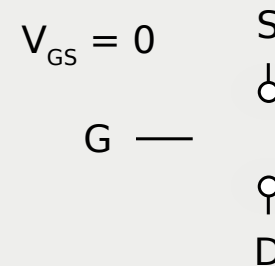
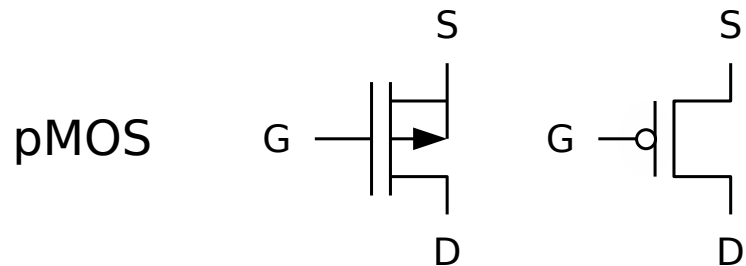
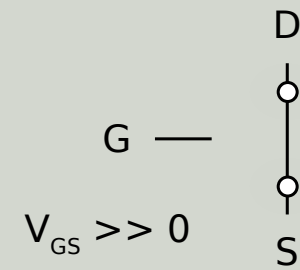
# Transistores en conmutación



región de corte

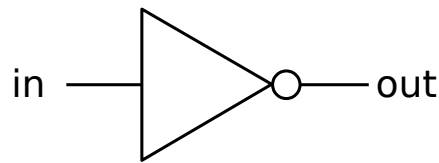


región de saturación



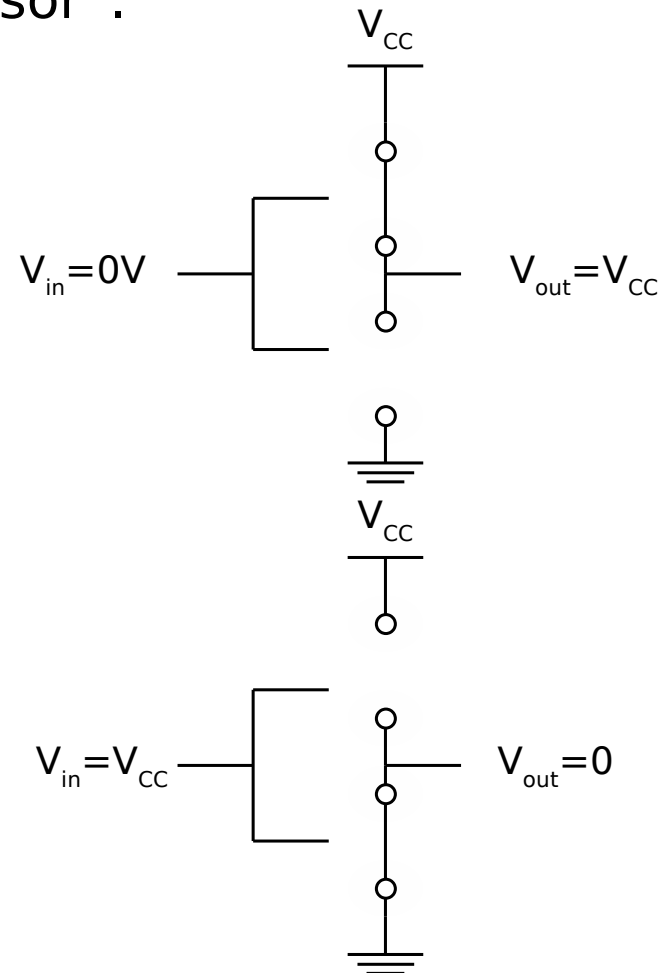
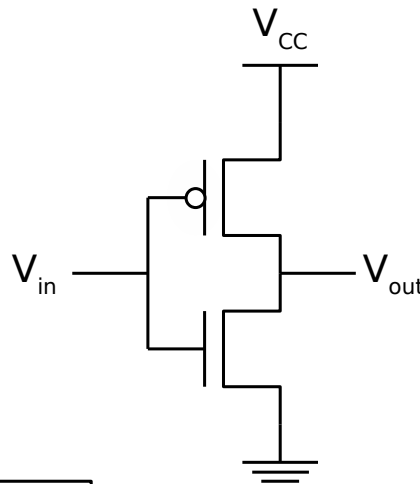
# Puertas lógicas. Inversor CMOS

- Las puertas lógicas realizan operaciones simples sobre señales digitales.
- La operación digital más simple (salvo la identidad) es la inversión, implementada por el “inversor”.

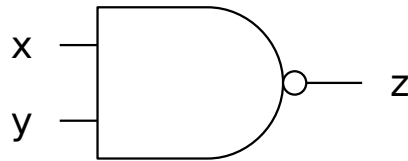


in	out
0	1
1	0

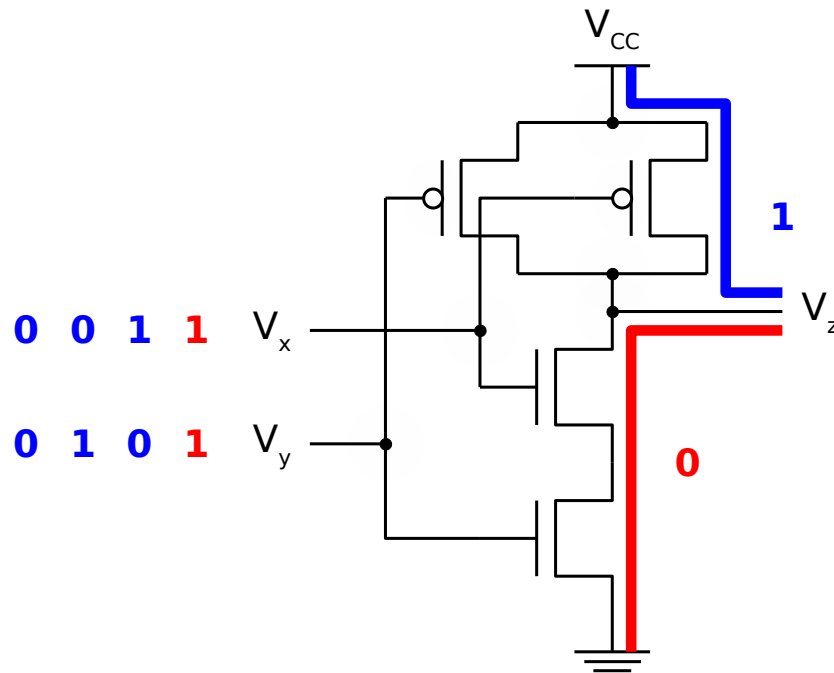
Simulación



# Puertas lógicas. NAND CMOS

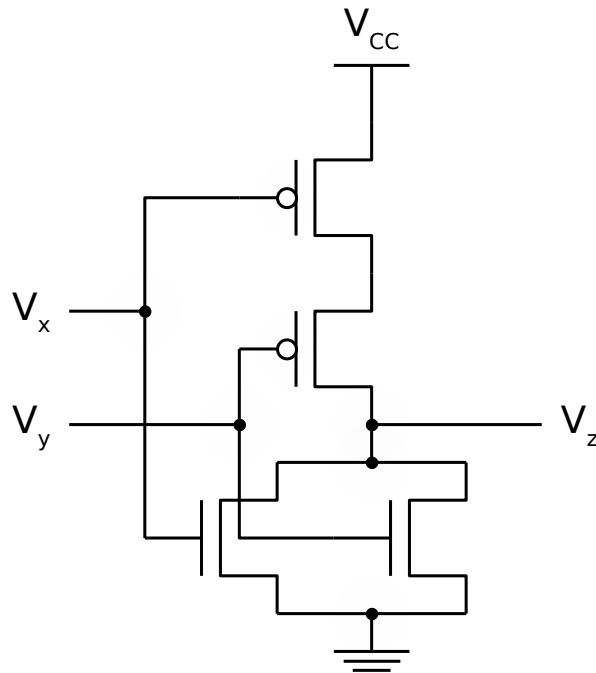
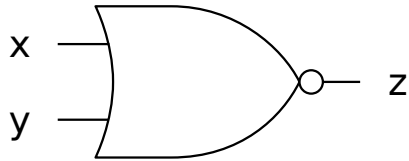


Las puertas CMOS son “naturalmente” inversoras (INV, NAND, NOR, ...)



Simulación

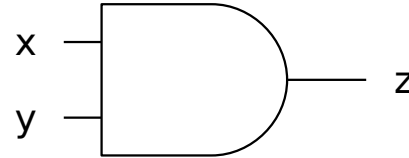
# Puertas lógicas. NOR CMOS



Simulación

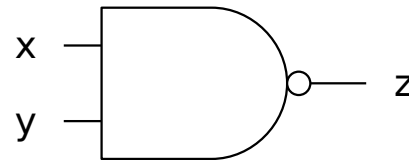
# Puertas y operaciones lógicas comunes

AND



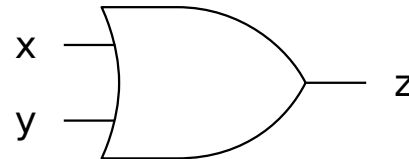
x y	z
0 0	0
0 1	0
1 0	0
1 1	1

NAND



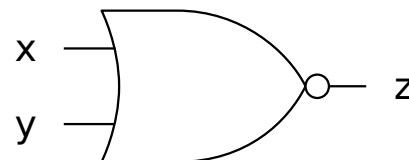
x y	z
0 0	1
0 1	1
1 0	1
1 1	0

OR



x y	z
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	1

NOR

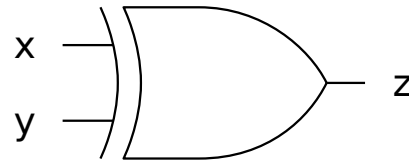


x y	z
0 0	1
0 1	0
1 0	0
1 1	0

# Puertas y operaciones lógicas comunes

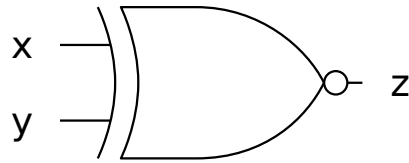
---

XOR



x y	z
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	0

XNOR



x y	z
0 0	1
0 1	0
1 0	0
1 1	1

# Ejemplos

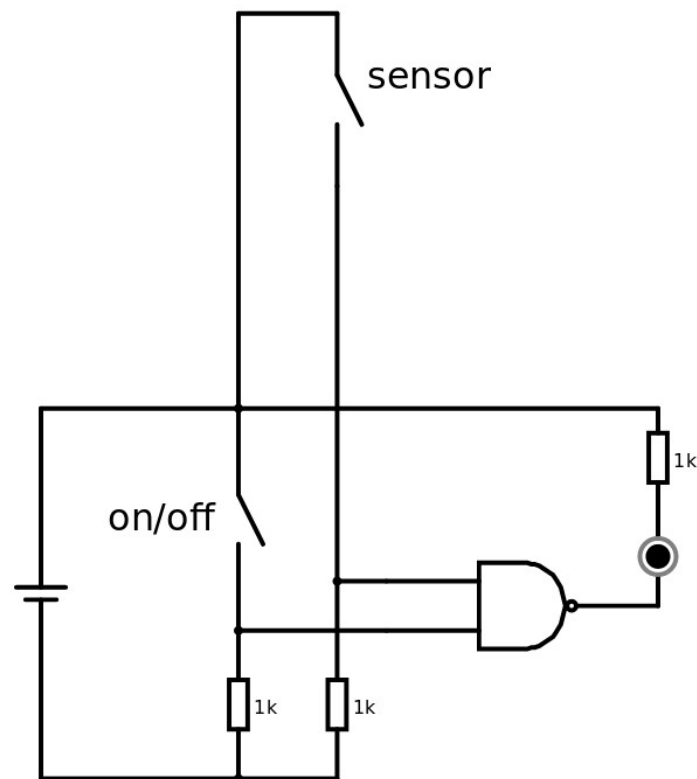
---

- Generación de señales digitales simples
  - Interruptor
  - Pulsador
  - Sensor: luz, temperatura, humedad, etc.
  - Sensor con calibración.
  - Sensor con amplificación.
- Visualización de señales simples
  - Resistencia-diodo
  - Zumbador



# Ejemplos

- Alarma simple con una puerta NAND
  - Interruptor de encendido/apagado
  - Sensor de contacto
  - Indicador de alarma (LED, sirena, etc.).



Simulación

# Familias lógicas

---

- Las puertas lógicas se fabrican usando diferentes tecnologías (bipolar, CMOS, etc.) y diferentes técnicas.
- Familia lógica: conjunto de puertas que comparten la misma tecnología y técnicas de diseño similares.
  - Compatibles entre si.
  - Tienen parámetros eléctricos y dinámicos similares.
- Algunas familias lógicas son compatibles con otras.
- Papel fundamental para la compatibilidad de circuitos integrados SSI y MSI (Ej: serie 7400).

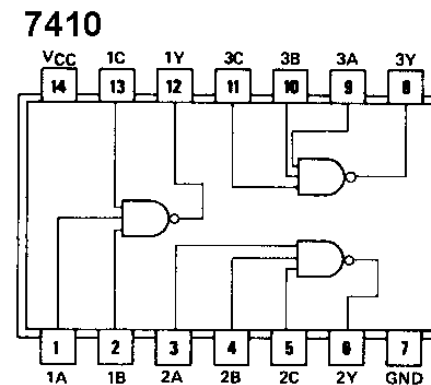
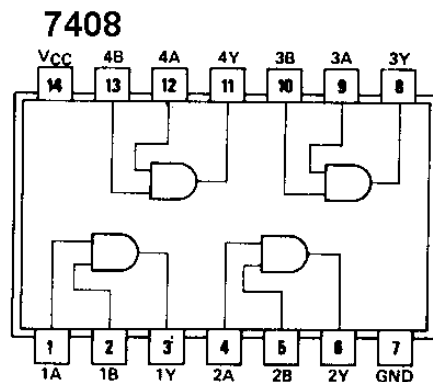
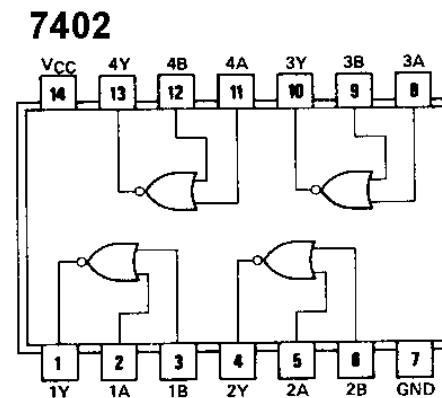
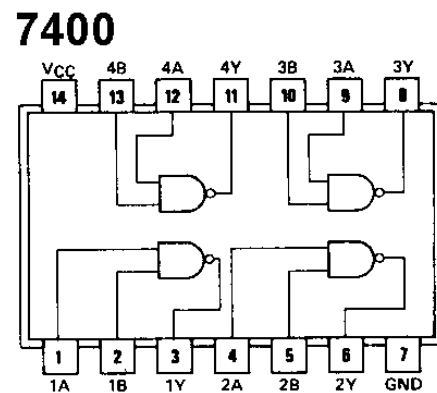
# Familias lógicas

---

- Bipolar
  - ECL (Emitter-coupled-logic, 1962): primera familia lógica disponible como circuito integrado.
  - DTL (Diode-Transistor-Logic, 1962).
  - RTL (Resistor-Transistor-Logic, 1963): usada en la primera CPU construida a partir de circuitos integrados (ordenador de guiado de las naves Apollo).
  - TTL (Transistor-transistor logic): muy popular. Sucesivas mejoras desde 1963. Ej: serie 74.
    - LS TTL: versión de bajo consumo muy extendida.
- CMOS
  - Ej. familia HC. Compatible con TTL. Ej: serie 74HC.
  - Tecnología más extendida hoy para SSI y MSI
  - Buenos márgenes de ruido, bajo consumo estático, más barata, más lenta.
- BiCMOS
  - Combina entradas CMOS con salidas TTL
  - Proporciona varias familias lógicas

# Familias lógicas

- Serie 7400
  - Muy popular en dispositivos SSI y MSI.
  - Inicialmente TTL, existen dispositivos compatibles en varias tecnologías.



# Parámetros eléctricos

---

- Tensión de polarización ( $V_{CC}$ )
- Niveles lógicos
  - Alto y bajo.
  - De entrada y salida.
  - Permiten calcular los márgenes de ruido
- Corrientes máximas
  - De entrada ( $I_{IL}$ ,  $I_{IH}$ ). Menor es mejor.
  - De salida ( $I_{OL}$ ,  $I_{OH}$ ). Mayor es mejor.
  - Permiten calcular el *fan-out*
- Potencia consumida
  - Estática
  - Dinámica

# Parámetros eléctricos

## recommended operating conditions

		SN54AS04			SN74AS04			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.5	5	5.5	V
$V_{IH}$	High-level input voltage	2			2			V
$V_{IL}$	Low-level input voltage	0.8			0.8			V
$I_{OH}$	High-level output current	-2			-2			mA
$I_{OL}$	Low-level output current	20			20			mA
$T_A$	Operating free-air temperature	-55		125	0		70	°C

## electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SN54AS04			SN74AS04			UNIT
		MIN	TYP <sup>§</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>§</sup>	MAX	
$V_{IK}$	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$ , $I_I = -18\text{ mA}$	-1.2			-1.2			V
$V_{OH}$	$V_{CC} = 4.5\text{ V to } 5.5\text{ V}$ , $I_{OH} = -2\text{ mA}$	$V_{CC} - 2$			$V_{CC} - 2$			V
$V_{OL}$	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$ , $I_{OL} = 20\text{ mA}$	0.35	0.5		0.35	0.5	V	
$I_I$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_I = 7\text{ V}$	0.1			0.1			mA
$I_{IH}$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_I = 2.7\text{ V}$	20			20			μA
$I_{IL}$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_I = 0.4\text{ V}$	-0.5			-0.5			mA
$I_{OII}$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_O = 2.25\text{ V}$	-30		-112	-30		-112	mA
$I_{CCH}$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_I = 0$	3	4.8		3	4.8	mA	
$I_{CCL}$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_I = 4.5\text{ V}$	14	26.3		14	26.3	mA	

<sup>§</sup> All typical values are at  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

<sup>¶</sup> The output conditions have been chosen to produce a current that closely approximates one half of the true short-circuit output current,  $I_{OS}$ .

# Parámetros eléctricos

recommended operating conditions (see Note 4)

		SN54LS00			SN74LS00			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
$V_{IH}$	High-level input voltage	2			2			V
$V_{IL}$	Low-level input voltage	0.7			0.8			V
$I_{OH}$	High-level output current	-0.4			-0.4			mA
$I_{OL}$	Low-level output current	4			8			mA
$T_A$	Operating free-air temperature	-55			125			°C

NOTE 4: All unused inputs of the device must be held at  $V_{CC}$  or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONST	SN54LS00			SN74LS00			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
$V_{IK}$	$V_{CC} = \text{MIN}, I_I = -18 \text{ mA}$	-1.5			-1.5			V
$V_{OH}$	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IL} = \text{MAX}, I_{OH} = -0.4 \text{ mA}$	2.5	3.4		2.7	3.4		V
$V_{OL}$	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}$	$I_{OL} = 4 \text{ mA}$			$I_{OL} = 4 \text{ mA}$			V
		$I_{OL} = 8 \text{ mA}$			0.35 0.5			
$I_I$	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 7 \text{ V}$	0.1			0.1			mA
$I_{IH}$	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 2.7 \text{ V}$	20			20			$\mu\text{A}$
$I_{IL}$	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0.4 \text{ V}$	-0.4			-0.4			mA
$I_{OS}§$	$V_{CC} = \text{MAX}$	-20		-100	-20		-100	mA
$I_{CCH}$	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0 \text{ V}$	0.8		1.6	0.8		1.6	mA
$I_{CCL}$	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 4.5 \text{ V}$	2.4		4.4	2.4		4.4	mA

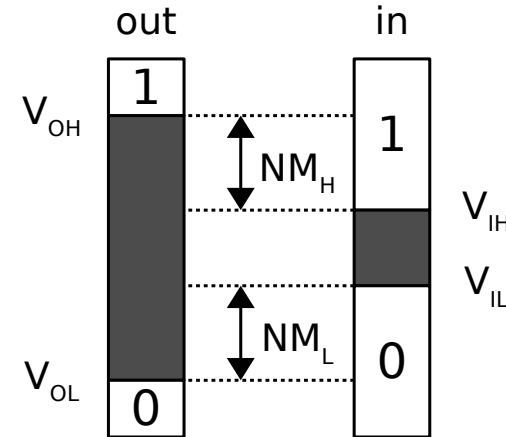
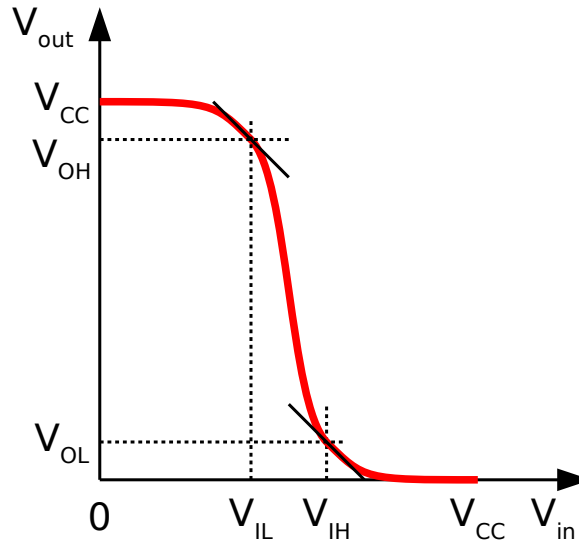
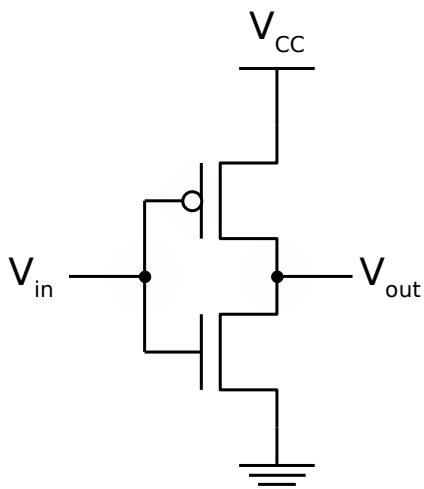
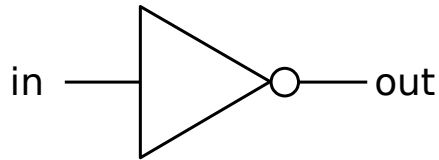
† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ .

§ Not more than one output should be shorted at a time.

# Parámetros eléctricos

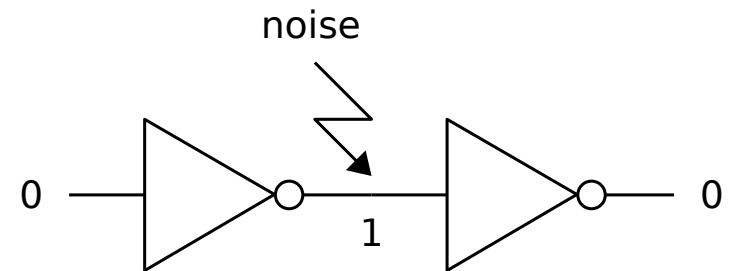
## Niveles lógicos y margen de ruido



$$NM_L = V_{IL} - V_{OL}$$

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH}$$

$$NM = \min(NM_L, NM_H)$$

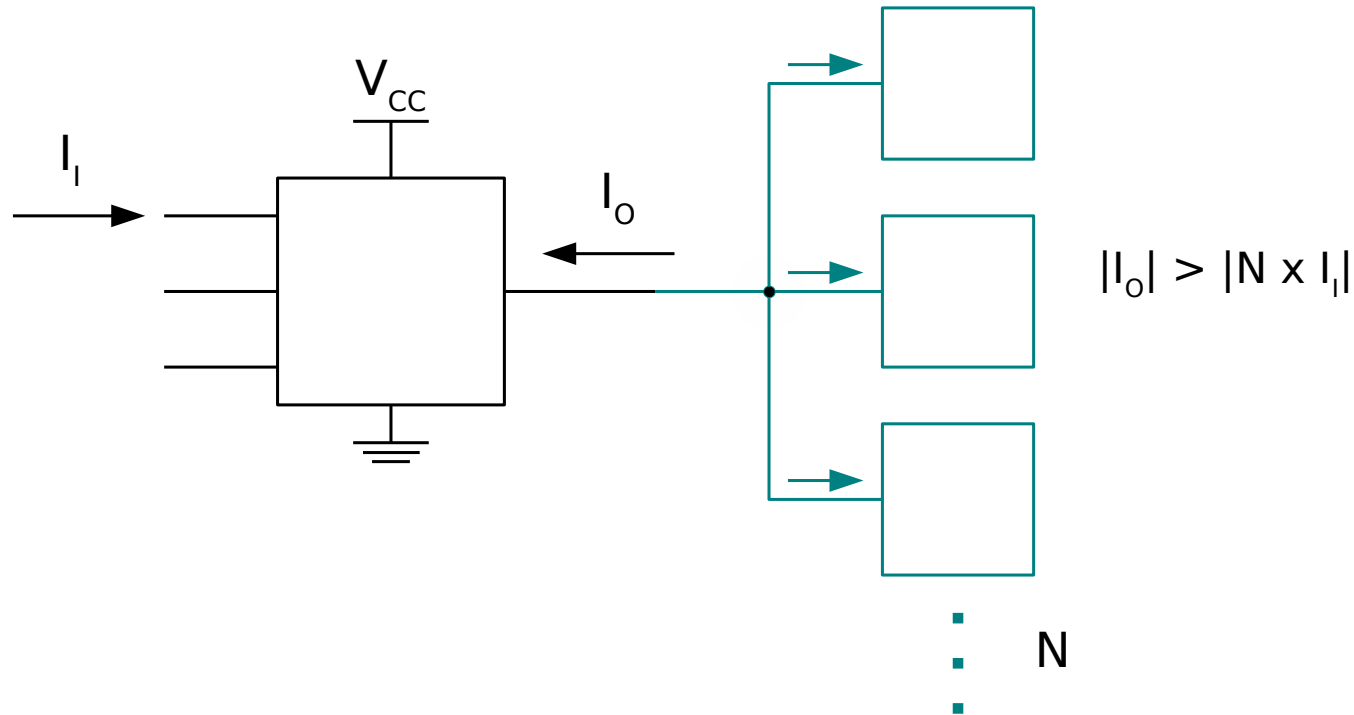


Simulación



# Parámetros eléctricos

## Fan-out



**FAN-OUT**  
Máximo valor de  $N$  tal que  $|I_o| > |N \times I_i|$  en ambos casos  
(salida alta y baja)

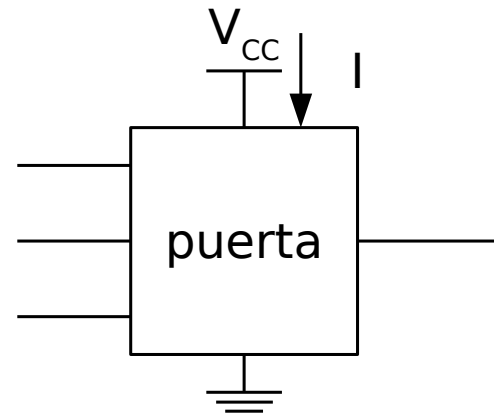
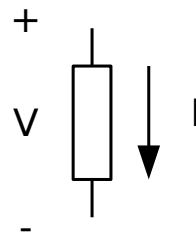
# Parámetros eléctricos

## Potencia consumida

---

- Estática
- Dinámica

$$P = VI$$



$$P = V_{CC} I$$

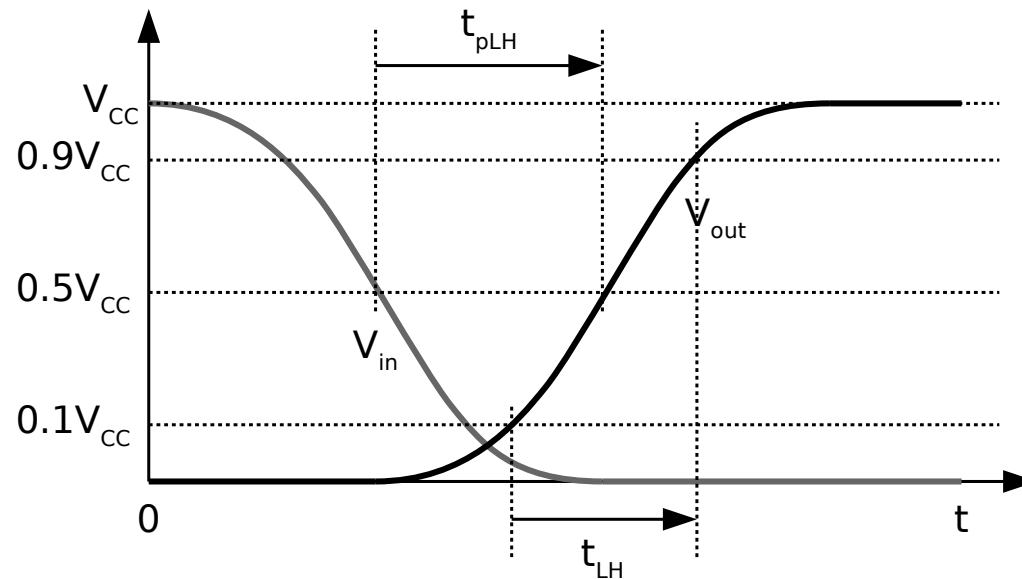
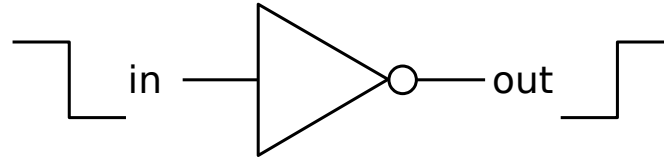
# Parámetros de conmutación

- Tiempo de transición:
  - De 10%  $V_{CC}$  a 90%  $V_{CC}$  (transición de subida):  $t_{LH}$
  - De 90%  $V_{CC}$  a 10%  $V_{CC}$  (transición de bajada):  $t_{HL}$
  - Depende de múltiples factores: carga, diseño interno de la puerta, etc.
- Retraso de propagación: tiempo desde una transición de entrada hasta la correspondiente de salida.
  - Dos tipos: bajo a alto ( $t_{pLH}$ ) y alto a bajo ( $t_{pHL}$ ).
  - 50%  $V_{CC}$  como referencia.
  - Depende de múltiples factores: carga, diseño interno de la puerta, etc.

switching characteristics,  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (see Figure 1)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	SN54LS00 SN74LS00			UNIT
				MIN	TYP	MAX	
$t_{PLH}$	A or B	Y	$R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$		9	15	ns
$t_{PHL}$				10	15		

# Parámetros de conmutación



Simulación

Retrasos de propagación mayores hacen que los circuitos digitales (computadores) sean más lentos