
Circuitos Electrónicos Digitales

*Bloque 1: Circuitos Electrónicos
y familias lógicas*

Tema 3: Familias lógicas

Guión del tema

- ▶ **Variables y operadores lógicos.**
- ▶ Algebra de conmutación.
- ▶ Ejemplo de puertas lógicas.
- ▶ Familias lógicas: concepto y clasificación.
- ▶ Parámetros de conmutación.

Variables y operadores lógicos

- ▶ Variables
 - ▶ Una variable lógica (también llamada binaria o de conmutación) es un símbolo (normalmente una letra con algún subíndice o sin él) al cual se le puede asignar el valor lógico 1 o el 0 (V o F).
- ▶ Operadores
 - ▶ Un operador lógico (o binario) es un símbolo matemático que permite obtener un resultado (valor lógico) a partir de un conjunto de variables y/o constantes lógicas.
 - ▶ La combinación de dos o más operadores lógicos conforma una expresión o función lógica.

Variables y operadores lógicos

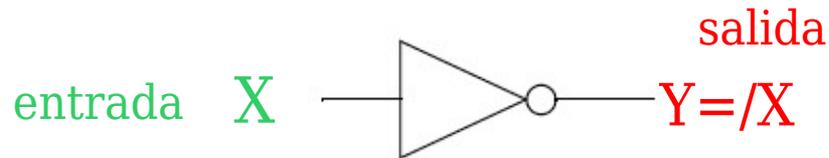
- ▶ Operadores lógicos: representaciones

Nombre del operador	Representaciones
NOT	\bar{X} , NOT X, /X, X', #X
OR	X+Y, X OR Y
NOR	$\overline{X+Y}$, X NOR Y
AND	X·Y, X and Y, X&Y
NAND	$\overline{X \cdot Y}$, XnandY
EXOR	X⊕Y, X EXOR Y

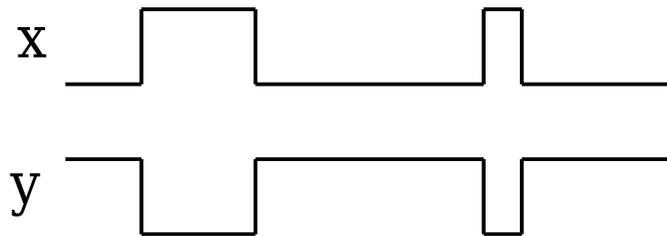
Variables y operadores lógicos

- ▶ Operadores lógicos: símbolos
- ▶ Inversor

NOT



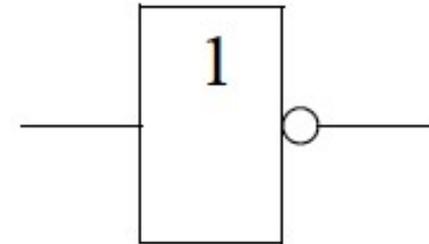
Inversor lógica positiva



(Institute of Electrical and Electronics Engineers)

X	Y
0	1
1	0

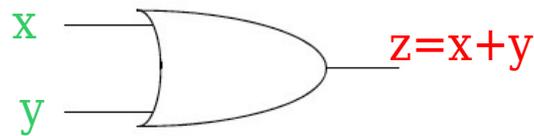
Tabla de verdad



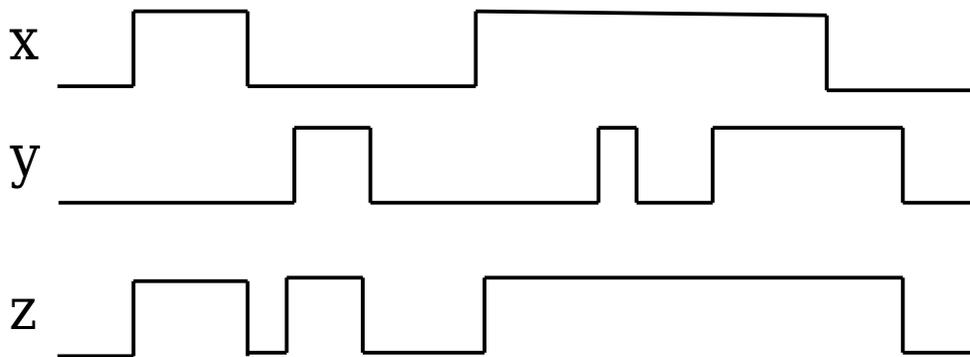
Símbolo IEEE

Variables y operadores lógicos

- ▶ Operadores lógicos: símbolos
- ▶ OR

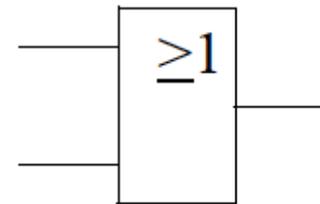


lógica positiva



X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

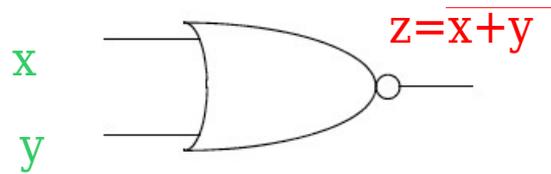
Tabla de verdad



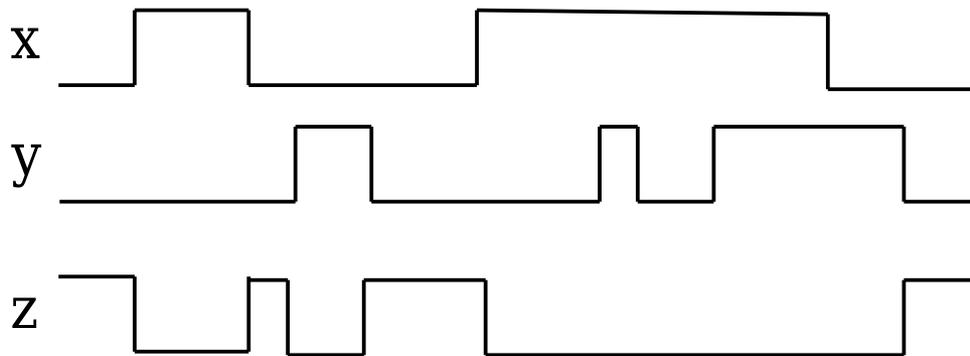
Símbolo IEEE

Variables y operadores lógicos

- ▶ Operadores lógicos: símbolos
- ▶ NOR

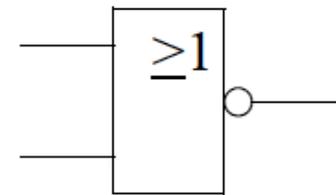


lógica positiva



X Y	Z
0 0	1
0 1	0
1 0	0
1 1	0

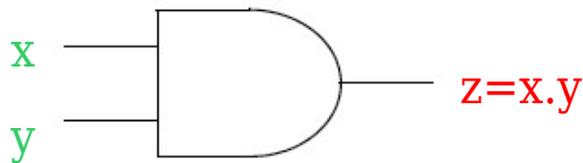
Tabla de verdad



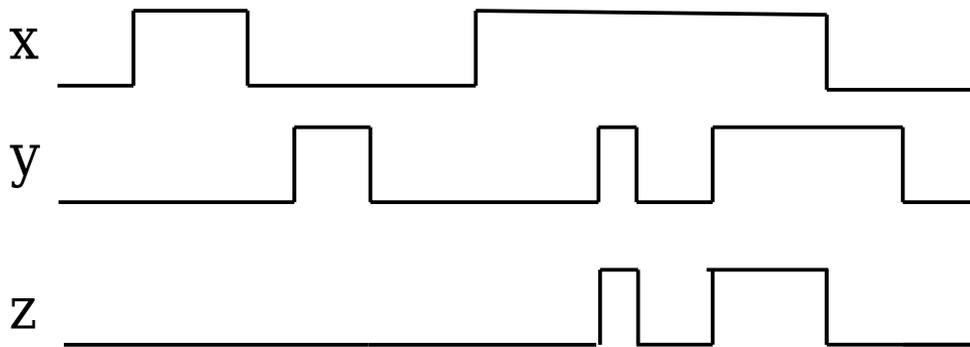
Simbolo IEEE

Variables y operadores lógicos

- ▶ Operadores lógicos: símbolos
- ▶ AND

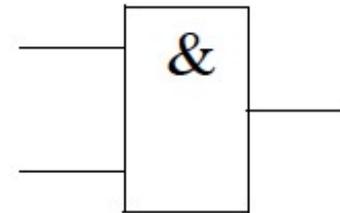


Lógica positiva



X Y	Z
0 0	0
0 1	0
1 0	0
1 1	1

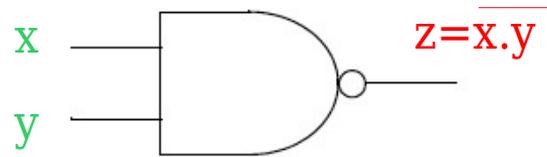
Tabla de verdad



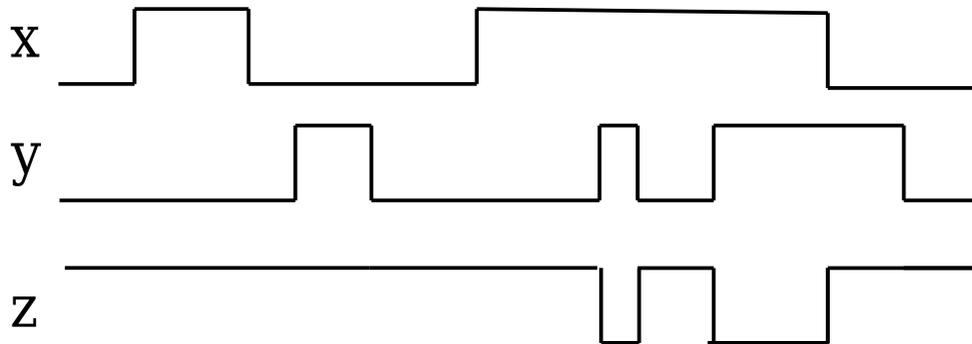
Símbolo IEEE

Variables y operadores lógicos

- ▶ Operadores lógicos: símbolos
- ▶ NAND

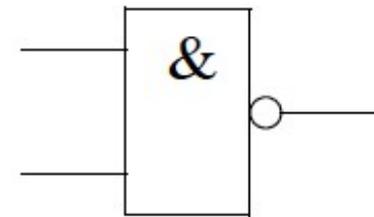


Lógica positiva



X	Y	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla de verdad

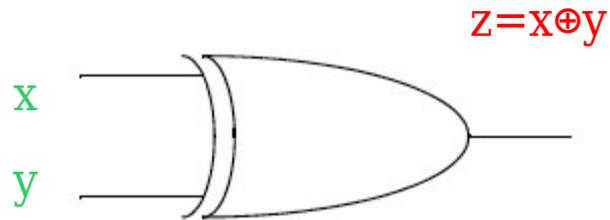


Símbolo IEEE

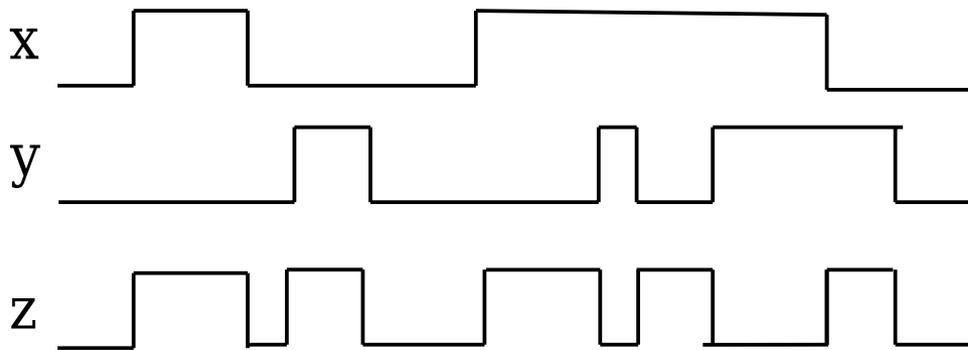
Variables y operadores lógicos

- ▶ Operadores lógicos: símbolos

- ▶ XOR

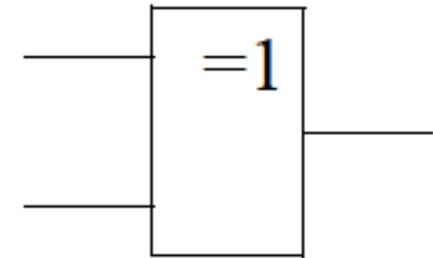


Lógica positiva



X Y	Z
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	0

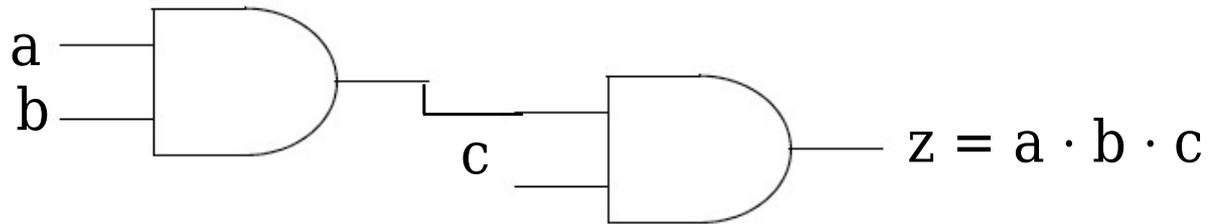
Tabla de verdad



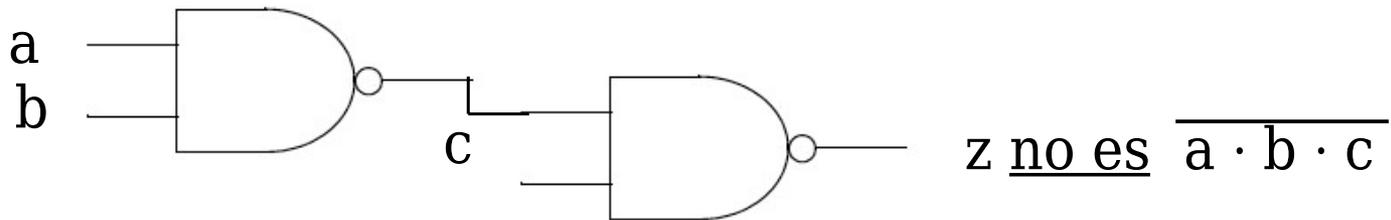
Símbolo IEEE

Variables y operadores lógicos

- ▶ Algunos operadores cumplen la propiedad asociativa:
AND, OR y XOR

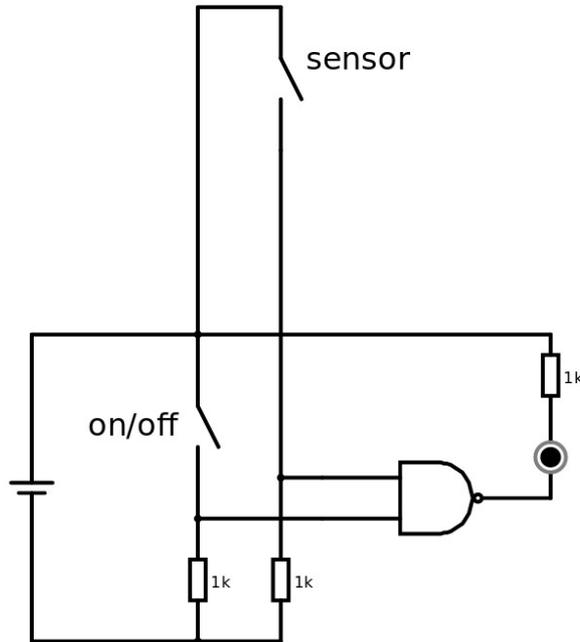


- ▶ Sin embargo, los operadores NAND y NOR no la cumplen



Ejemplos

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



Simulación

Guión del tema

- ▶ Variables y operadores lógicos.
- ▶ **Algebra de conmutación.**
- ▶ Ejemplo de puertas lógicas.
- ▶ Familias lógicas: concepto y clasificación.
- ▶ Parámetros de conmutación.

Álgebra de Boole

- ▶ Es un conjunto de elementos con dos operadores “+” y “·” que cumplen los siguientes postulados:

Postulado/Teorema	$\langle B, +, \cdot, \bar{} \rangle$; $B = \{\dots, 0, 1\}$; + es OR; · es AND; $\bar{}$ es NOT	
P1 Ley de identidad	$x + 0 = x$	$x \cdot 1 = x$
P2 Ley conmutativa	$x + y = y + x$	$x \cdot y = y \cdot x$
P3 Ley distributiva	$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$	$x + (y \cdot z) = (x + y) \cdot (x + z)$
P4 Ley del complemento: $\forall x$ existe \bar{x} tal que	$x + \bar{x} = 1$	$x \cdot \bar{x} = 0$

- ▶ Principio de dualidad:
a toda identidad, propiedad o teorema que se cumpla en el Álgebra de Boole, corresponde otra igualmente cierta que se obtiene sin más que intercambiar “+” con “·” y “0” con “1”

$$x \text{ (green circle) } + \text{ (red circle) } 0 = x$$

$$x \text{ (green circle) } \cdot \text{ (red circle) } 1 = x$$

Álgebra de Boole

- ▶ Además de los postulados, en el Álgebra de Boole se cumplen los siguientes teoremas.

T1 Ley de idempotencia	$x + x = x$	$x \cdot x = x$
T2 Ley de unicidad del complemento	\bar{x} es único	
T3 Ley de los elementos dominantes	$x + 1 = 1$	$x \cdot 0 = 0$
T4 Ley involutiva	$\overline{(\bar{x})} = x$	
T5 Ley de absorción	$x + x \cdot y = x$	$x \cdot (x + y) = x$
T6 Ley del consenso	$x + \bar{x} \cdot y = x + y$	$x \cdot (\bar{x} + y) = x \cdot y$
T7 Ley asociativa	$x + (y + z) = (x + y) + z$	$x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z$
T8 Ley de De Morgan	$\overline{x \cdot y} = \bar{x} + \bar{y}$	$\overline{x + y} = \bar{x} \cdot \bar{y}$
T9 Ley de De Morgan generalizada	$\overline{x \cdot y \cdot z \dots} = \bar{x} + \bar{y} + \bar{z} + \dots$	$\overline{x + y + z + \dots} = \bar{x} \cdot \bar{y} \cdot \bar{z} \dots$
T10 Ley del consenso generalizado	$x \cdot y + \bar{x} \cdot z + y \cdot z = x \cdot y + \bar{x} \cdot z$	$(x + y) \cdot (\bar{x} + z) \cdot (y + z) = (x + y) \cdot (\bar{x} + z)$

Álgebra de conmutación

- ▶ El álgebra de conmutación es un caso particular de álgebra de Boole.
- ▶ Supone imponer una serie de restricciones al conjunto de elementos y a los operadores binarios:
 - Sólo existen dos elementos (el 1 y el 0)
 - Los operadores son AND, OR y NOT que ya hemos definido en la transparencias anteriores.

Álgebra de conmutación

- ▶ Los teoremas del Álgebra de Boole (y del álgebra de conmutación) se basan en los postulados o/y en teoremas previamente demostrados.

▶ Ejemplos:

- Demostración tabular para el álgebra de conmutación de la ley de absorción o teorema T5a : $x+x\cdot y = x$

X Y	X•Y	X+X•Y	X
0 0	0	0	0
0 1	0	0	0
1 0	0	1	1
1 1	1	1	1

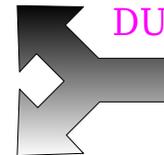
- Demostración algebraica del teorema T5a:

$$x + x \cdot y = x \cdot 1 + x \cdot y \stackrel{P3a}{=} x \cdot (1 + y) \stackrel{T1a}{=} x \cdot 1 \stackrel{P1b}{=} x$$

- Demostración algebraica del teorema T5b: $x \cdot (x+y) = x$

$$x \cdot (x + y) \stackrel{P1a}{=} (x + 0) \cdot (x + y) \stackrel{P3b}{=} x + 0 \cdot y \stackrel{T1b}{=} x + 0 \stackrel{P1a}{=} x$$

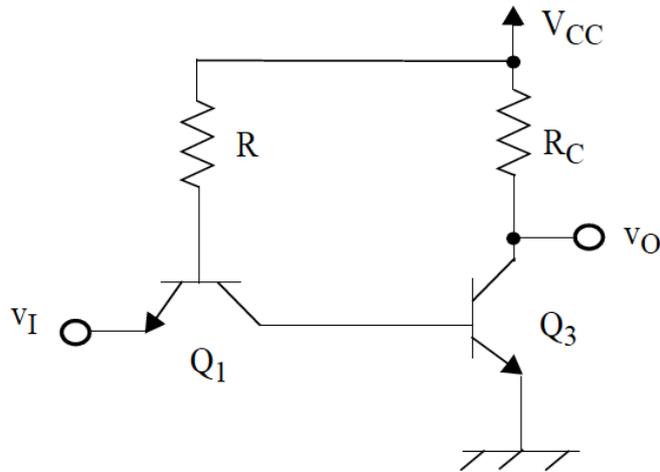
¡POSTULADOS
Y TEOREMAS
DUALES!



Guión del tema

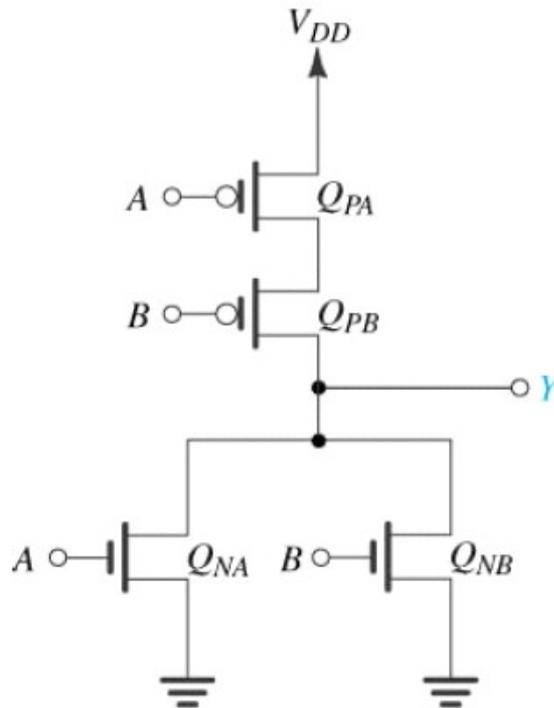
- ▶ Variables y operadores lógicos.
- ▶ Algebra de conmutación.
- ▶ **Ejemplo de puertas lógicas.**
- ▶ Familias lógicas: concepto y clasificación.
- ▶ Parámetros de conmutación.

Ejemplos de puertas lógicas



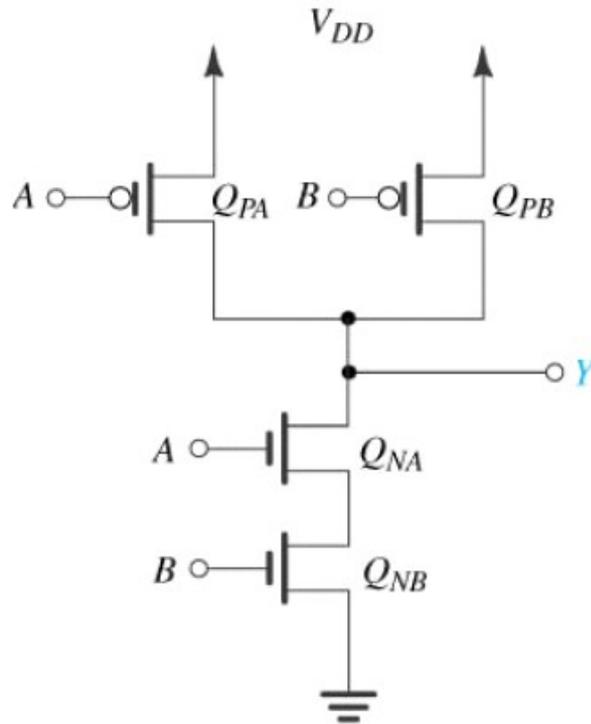
- ▶ Inversor TTL
- ▶ Familia Lógica: TTL
- ▶ N^o de transistores: 2
- ▶ Tipo de transistores: BJT

Ejemplos de puertas lógicas



- ▶ NOR CMOS
- ▶ Familia Lógica: CMOS
- ▶ N° de transistores: 4
- ▶ Tipo de transistores: CMOS
- ▶ Número de entradas: 2

Ejemplos de puertas lógicas



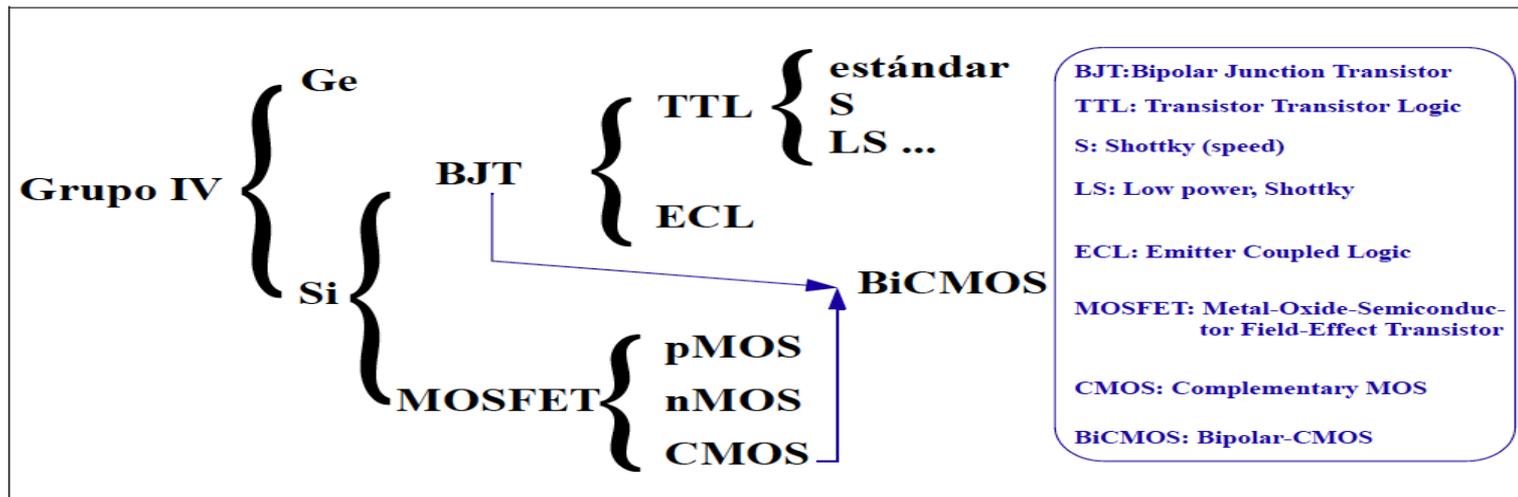
- ▶ NAND CMOS
- ▶ Familia Lógica: CMOS
- ▶ N° de transistores: 4
- ▶ Tipo de transistores: CMOS
- ▶ Número de entradas: 2

Guión del tema

- ▶ Variables y operadores lógicos.
- ▶ Algebra de conmutación.
- ▶ Ejemplo de puertas lógicas.
- ▶ **Familias lógicas: concepto y clasificación.**
- ▶ Parámetros de conmutación.

Familias lógicas

- ▶ El componente electrónico básico es el **transistor**. Hay diferentes tecnologías para fabricar transistores y, para cada tipo, diferentes formas de hacer puertas.
- ▶ **Familia lógica:** Conjunto de puertas con una determinada tecnología, que hace que los parámetros eléctrico-temporales de todas las puertas sean similares. Dentro de una familia, hay *subfamilias*.



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

- ▶ Comparación de familias.

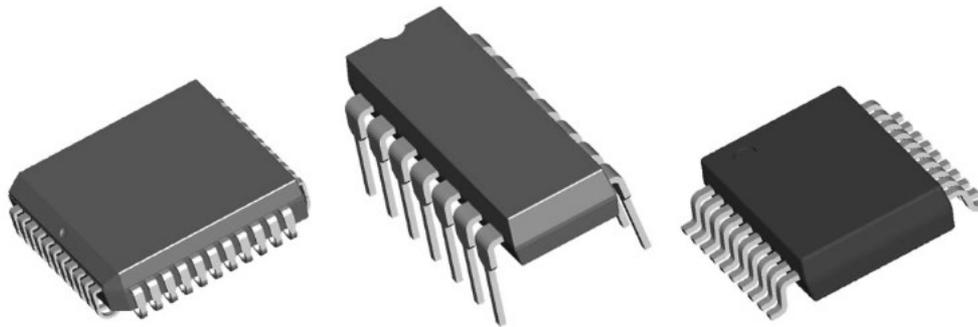
Parámetro	TTL	ECL	CMOS
Inmunidad al ruido	Media-baja	Muy baja	Muy alta
Velocidad	Alta	Muy alta	Media-alta
Densidad de integración	Media	Muy baja	Muy alta
Consumo de potencia	Medio	Muy alto	Muy bajo
Presencia actual	Bajando; aún es apreciable en SSI/MSI	Sólo en aplicaciones muy específicas	Muy alta en VLSI/ULSI

Familias lógicas

- ▶ Circuito integrado digital (CI):

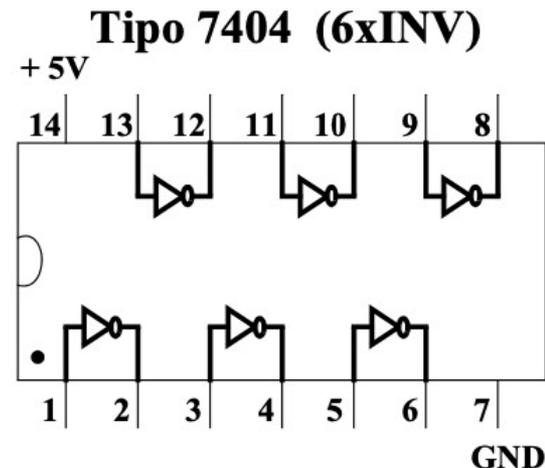
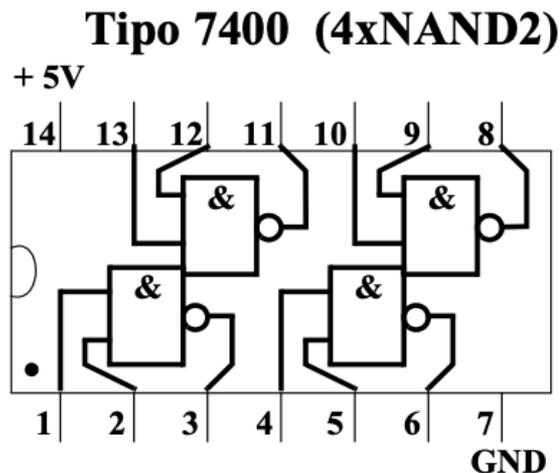
Es un circuito electrónico digital fabricado sobre un sustrato de material semiconductor (habitualmente silicio) denominado chip.

- ▶ El chip está protegido dentro de una cápsula cerámica o plástica que posee terminales (pins)



Familias lógicas

- ▶ Los circuitos integrados comerciales se identifican por un conjunto de números y letras específico que está relacionado con la familia lógica a la que pertenece y con su contenido. Por ej. 74LS00, 74HC00, 74LS04, ...
- ▶ Se dispone de un esquema que muestra el contenido interno y el conexionado



Familias lógicas

► Escalas de integración:

Según el número de puertas lógicas integradas en un mismo chip, podemos clasificar los CI

- SSI (Small Scale of Integration) $N < 10$
- MSI (Medium Scale of Integration) $10 < N < 100$
- LSI (Large Scale of Integration) $100 < N < 1000$
- VLSI (Very Large Scale of Integration) $N > 1000$

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 [§]	MAX	MIN	TYP [§]	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

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

[¶] 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	0		70	°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}	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}$			0.25	0.4		0.25	0.4
	$I_{OL} = 4 \text{ mA}$						0.35	0.5
	$I_{OL} = 8 \text{ mA}$							
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	μA
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
I_{CCL}	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 4.5 \text{ V}$			2.4	4.4		2.4	4.4

† 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.

Guión del tema

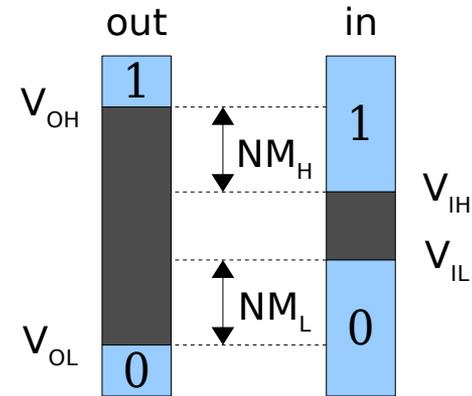
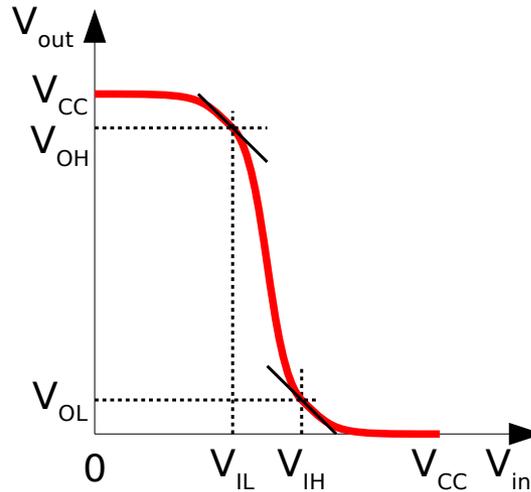
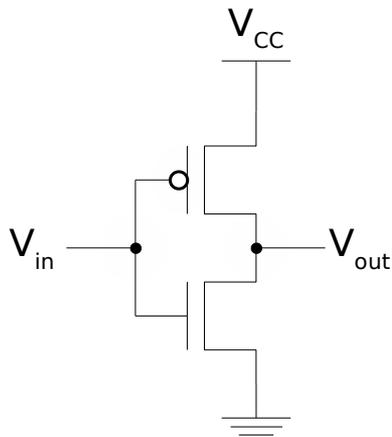
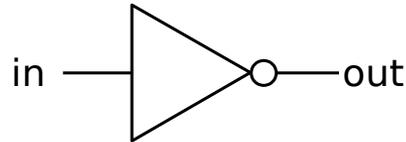
- ▶ Variables y operadores lógicos.
- ▶ Algebra de conmutación.
- ▶ Ejemplo de puertas lógicas.
- ▶ ¿Porqué usar expresiones de conmutación?
- ▶ Familias lógicas: concepto y clasificación.
- ▶ **Parámetros de conmutación.**

Parámetros de conmutación

- ▶ Niveles lógicos “altos” y “bajos”. Márgenes de ruido.
- ▶ Tiempos de propagación.
- ▶ Tiempos de transición.
- ▶ Fan-in / Fan-out.
- ▶ Potencia consumida.

Parámetros eléctricos

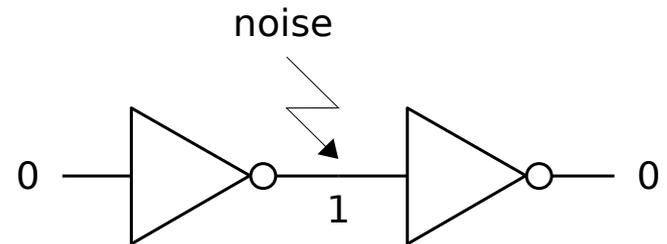
Niveles lógicos y margen de ruido



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

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

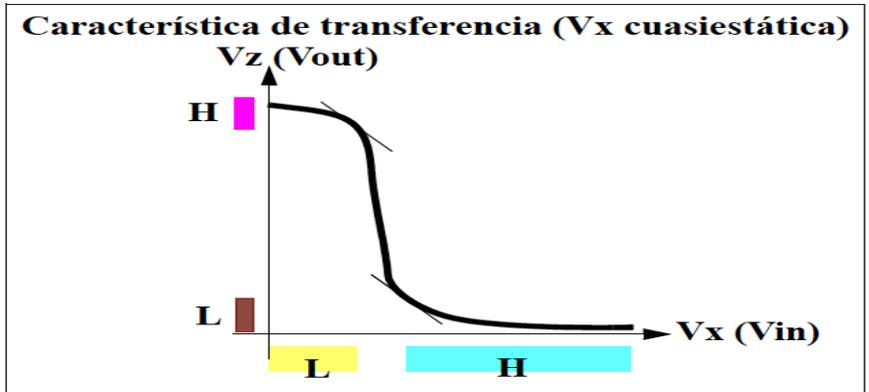
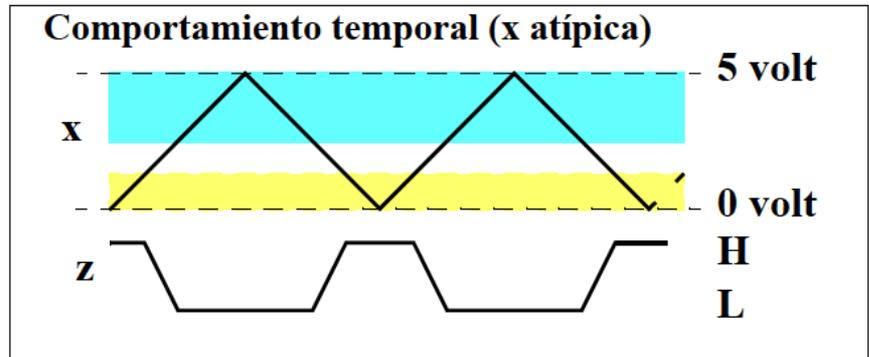
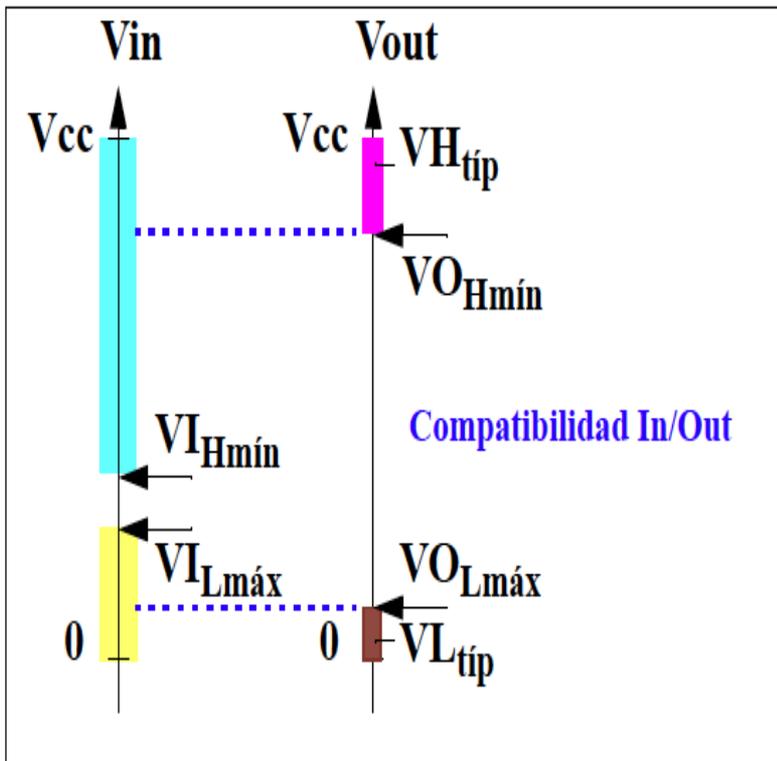
$$NM = \min(NM_L, NM_H)$$



Simulación

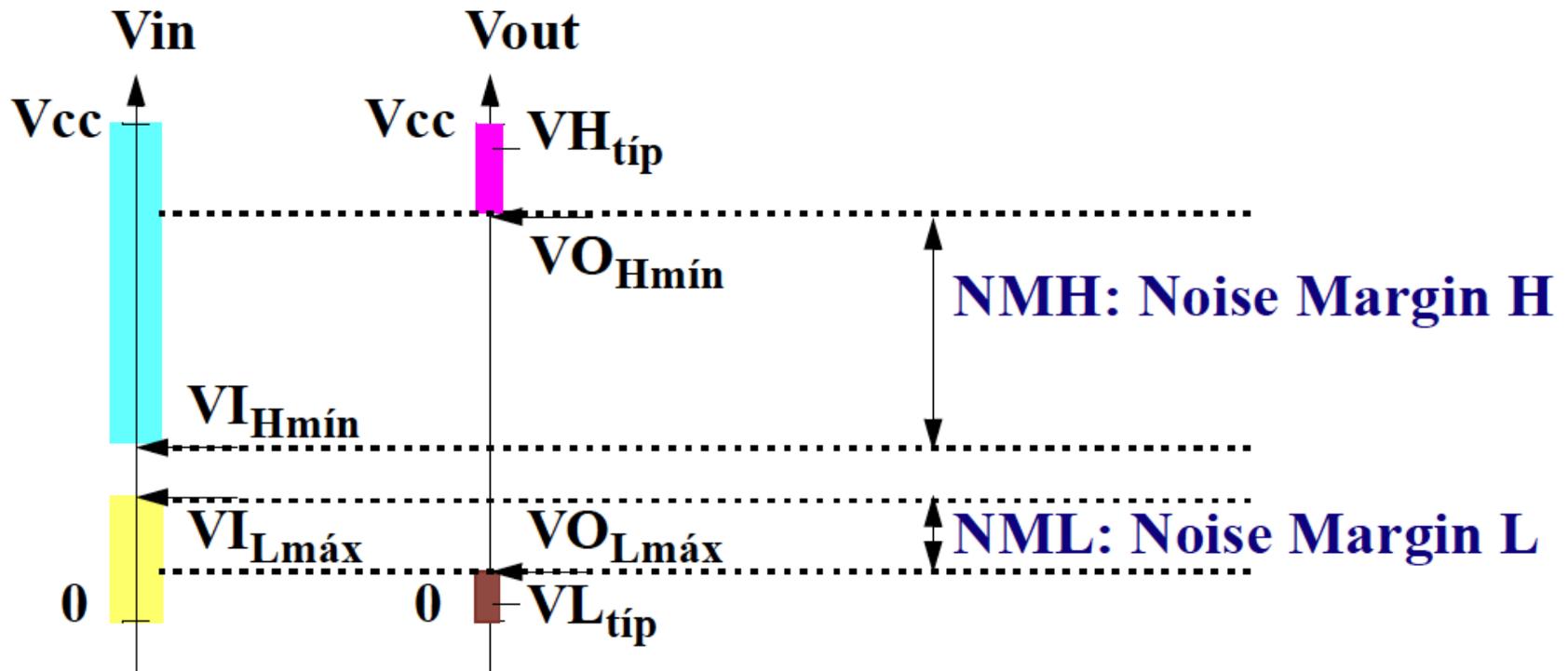
Parámetros de conmutación

- ▶ Niveles lógicos “altos” y “bajos”. Márgenes de ruido.



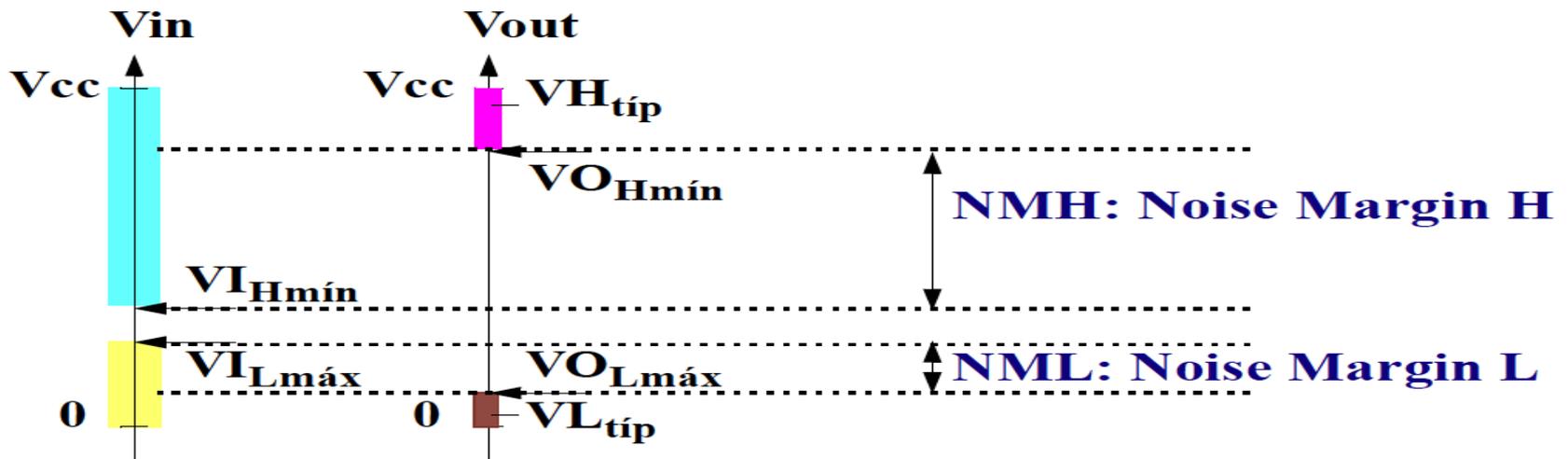
Parámetros de conmutación

- ▶ Niveles lógicos “altos” y “bajos”. Márgenes de ruido.



Parámetros de conmutación

- ▶ Niveles lógicos “altos” y “bajos”. Márgenes de ruido.



Valores en tipo 74LSxx

$$V_{IHmín} = 2 \text{ V}$$

$$V_{ILmáx} = 0.8 \text{ V}$$

$$V_{OHmín} = 2.4 \text{ V}$$

$$V_{OLmáx} = 0.4 \text{ V}$$

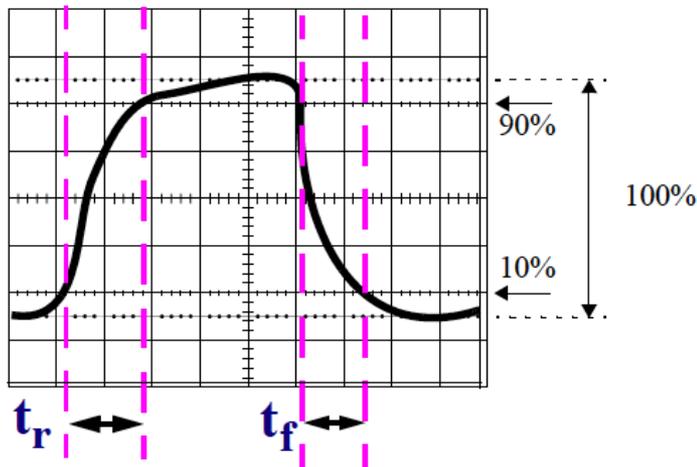
$$NMH = 0.4 \text{ V}$$

$$NML = 0.4 \text{ V}$$

Parámetros de conmutación

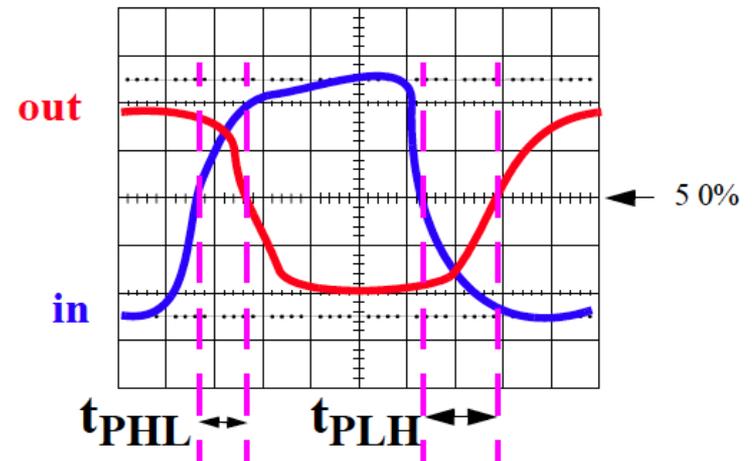
- ▶ Tiempos de transición y propagación

Transiciones en una señal



t_r o t_{LH} : Tiempo de subida (*rise*) o de L hacia H
 t_f o t_{HL} : Tiempo de bajada (*fall*) o de H hacia L

Propagación por una puerta



t_{PXX} : Es el tiempo de Propagación o de retraso (*delay*: t_d , δ , Δ , etc.)

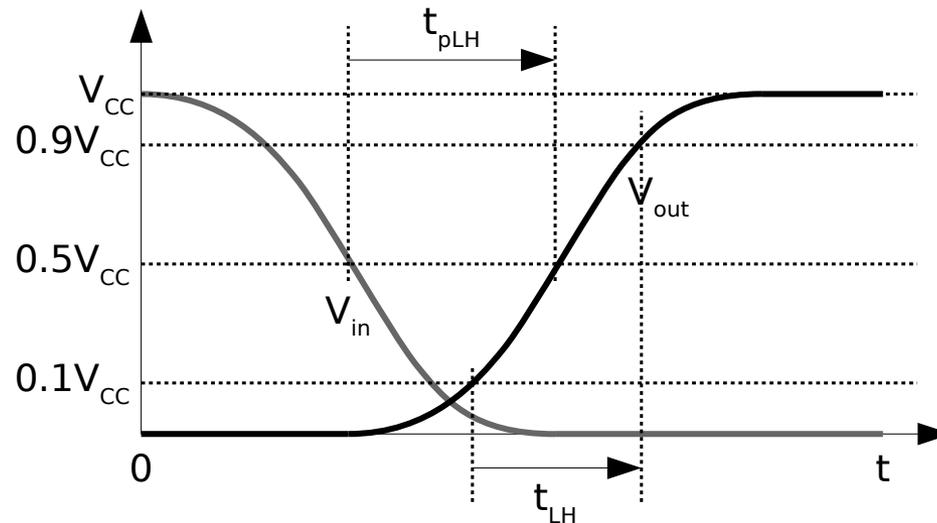
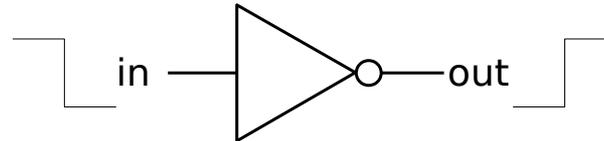
Parámetros de conmutación

- 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



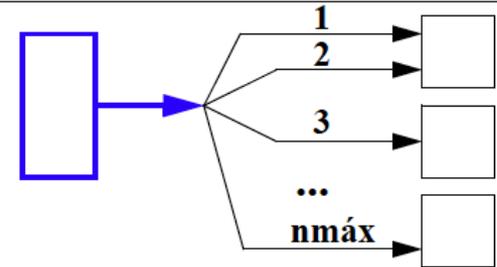
Simulación

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

Parámetros de conmutación

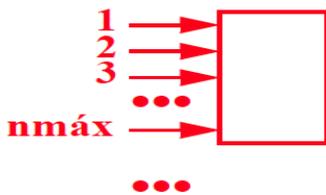
► Fan-in. Fan-out

Fan-out: Carga (máxima) a la salida de una puerta.
Suele darse en número de conexiones.

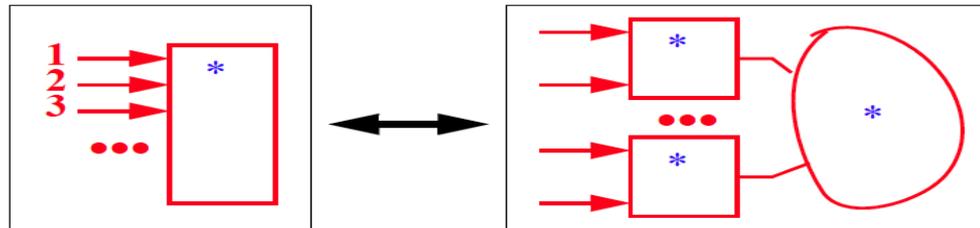


Si se necesitan más conexiones hay que usar Buffers

Fan-in: Número (máximo) de entradas a una puerta.



Si se necesitan más entradas hay que hacer un circuito que funcione “asociando” la función de la puerta



Parámetros de conmutación

► Potencia consumida

- * **CONSUMO DE POTENCIA:** Gasto energético al operar. Se disipa en forma de calor.

$$P = V_{cc} \cdot I_{cc}$$

- * **COMPONENTES DE POTENCIA:**

- ** **Estática, P_{static} :** Consumo cuando a, b, z son constantes

- ** **Dinámica, $P_{dynamic}$:** Consumo cuando a, b, z conmutan (actividad de conmutación).

- * El consumo de potencia disminuye al bajar V_{cc} y la actividad de conmutación (menor frecuencia).

- * El consumo de potencia es uno de los más graves problemas de los circuitos integrados VLSI/ULSI.

