

Versión 261C.02

Carrera: INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

Asignatura: 3631 - Fundamentos de sistemas embebidos

Tema: Semiconductores y tecnología de circuitos integrados

Unidad: 1.2 - 1.3

Objetivo: Comprender los conceptos básicos de semiconductores y las características de las señales digitales en circuitos integrados

Competencias a desarrollar:

- Concepción, diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería en informática.
- Gestión, planificación, ejecución y control de proyectos de ingeniería en informática.
- Utilización de técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería en informática.
- Generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.
- Desarrollo de una actitud profesional emprendedora.
- Aprendizaje continuo
- Actuación profesional ética y responsable.
- Comunicación efectiva.
- Desempeño en equipos de trabajo.
- Identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería en informática

Descripción de la actividad:

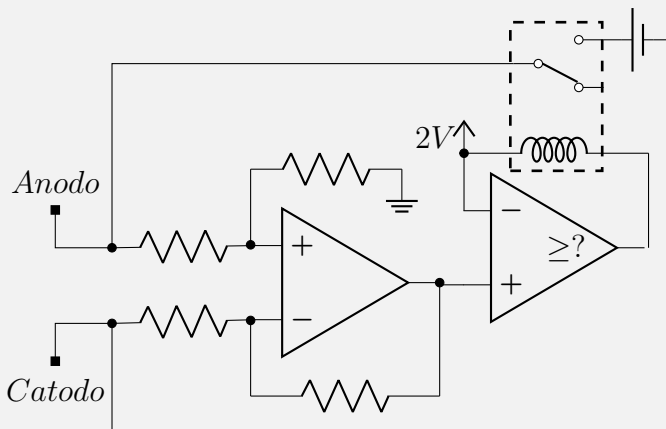
1. Tiempo estimado de resolución: 1 semana
2. Metodología: Ejercicios verificados en simuladores
3. Forma de entrega: No obligatoria
4. Metodología de corrección y feedback al alumno: Presencial y por Miel.

B- Semiconductores

Diodo Ideal vs Diodo Real

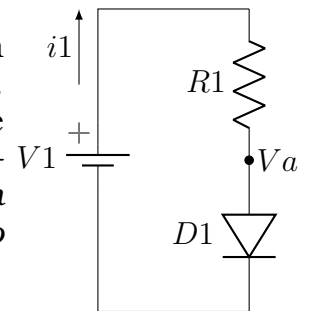
Dado que cada diodo tiene una curva que describe su funcionamiento, en cada ejercicio se indica si se utiliza un diodo real o un diodo ideal. Los ejercicios que se refieren al diodo ideal de 2V utilizan el siguiente subcircuito visto en la teoría. A continuación dejamos el texto del subcircuito para el simulador Falstad, que puede importarse en File > Import From Text , y luego una vez importado File > Create Subcircuit para poder incluirlo en Draw > Subcircuit.

```
$ 65 0.000005 10.20027730826997 50 5 50 5e-11
207 240 112 240 80 4 Anodo
207 240 144 240 176 4 Catodo
a 320 128 384 128 9 15 -15 1000000 0.9999699751152668 0.999989974715225 100000
178 432 32 512 32 6 1 0.2 1.9990001103309396e-10 0.05 1000000 0.02 20 0.015 0.005 0
v 240 144 208 144 0 0 40 2 0 0 0.5
R 432 80 400 80 0 0 40 1.999 0 0 0.5
401 432 112 512 112 1 8\s15\s-15\s1000000\s1.9999599958175907\s1.999\s100000 2\s20\s100000000000\s2.5 1\s0
r 320 176 384 176 0 10000000
r 320 112 240 112 0 10000000
r 320 144 240 144 0 10000000
w 320 176 320 144 0
w 384 176 384 128 0
r 320 80 384 80 0 10000000
w 320 80 320 112 0
g 384 80 384 96 0 0
w 432 64 432 80 0
w 432 96 432 80 0
w 512 112 512 64 0
w 240 112 208 112 0
w 208 112 208 32 0
w 432 128 384 128 0
w 208 32 432 32 0
w 208 144 208 192 0
w 208 192 528 192 0
w 528 192 528 16 0
w 528 16 512 16 0
```



Recuerde que esto **NO ES UN DIODO** sino un subcircuito creado para "simular" un diodo ideal ya que el mismo no existe.

B.1 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. El diodo $D1$ equivale al diodo ideal de 2V simulado. Considerando que comercialmente se consiguen resistores de $1/8W$, $1/4W$, $1/2W$, $1W$, $2W$, $5W$, indique el adecuado. *Nota: Recuerde que este diodo no conduce hasta no esta polarizado en directa con al menos 2V de diferencia de potencial entre ánodo y cátodo, luego se comporta como una llave ideal.*

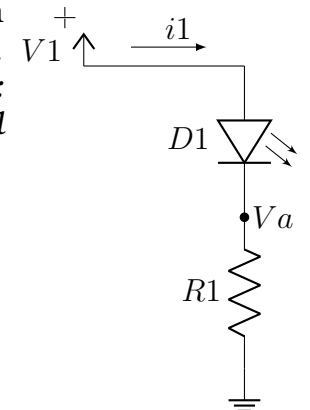


$V1$	$R1$	$i1$	Va	V_{R1}	P_{R1}	$D1$	W_{res}
5 V	$300\ \Omega$	10 mA	2 V	3 V	30 mW	2 V	$1/8W$
5 V		20 mA				2 V	
12 V				10 V	200 mW	2 V	
	$21,8\ k\Omega$			218 V		2 V	
1 V	$2\ \Omega$		1 V			2 V	

B.2 Dado el circuito del punto **B.1** el diodo $D1$ equivale al 1N4004 (diodo real). Encuentre los valores faltantes en la tabla. *Nota: tenga en cuenta que al ser un diodo real, su tensión de umbral ($D1$) va a depender de la corriente que circula por el mismo, por ende no desprecie decimales para que los valores calculados se acerquen lo mas posible a la simulación.*

$V1$	$R1$	$i1$	Va	V_{R1}	P_{R1}	$D1$	W_{res}
5 V	$300\ \Omega$	14,33 mA	701,043 mV	4,299 V	61,603 mW	701,043 mV	$1/8W$
5 V	$150\ \Omega$					736,868 mV	
12 V	$1,3\ k\Omega$	8,713 mA					
220 V	$108,3\ k\Omega$					600 mV	
20 V	$10\ \Omega$					1 V	💀

B.3 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. Utilice el diodo ideal simulado de 2V para el LED $D1$. Encuentre el valor comercial correcto para la resistencia. *Nota: Si bien son los mismos elementos que los puntos anteriores el orden de los elementos va a generar distintos valores en Va*

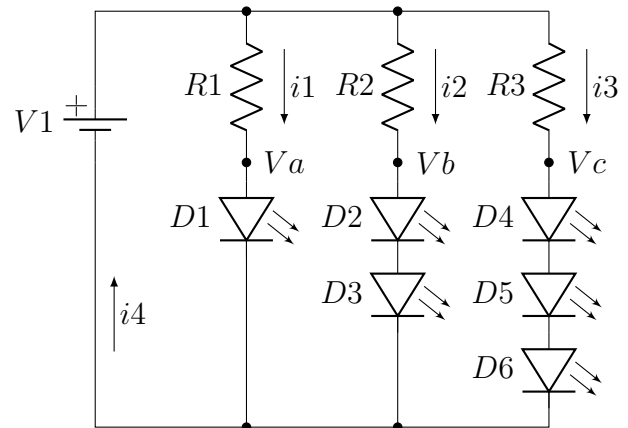


$V1$	$R1$	$i1$	Va	V_{R1}	P_{R1}	$D1$	W_{res}
5 V	$150\ \Omega$	20 mA	3 V	3 V	60 mW	2 V	$1/8W$
5 V		10 mA				2 V	
				10 V	200 mW	2 V	
220 V	$10,9\ k\Omega$					2 V	
1 V	$300\ \Omega$					2 V	

B.4 Utilizando el circuito del punto **B.3**, reemplace el diodo ideal por un diodo real (default-led en Falstad). Encuentre los valores que faltan en la tabla.

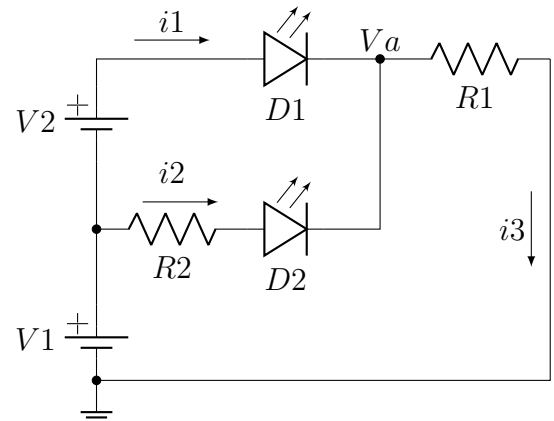
$V1$	$R1$	$i1$	Va	V_{R1}	P_{R1}	$D1$	W_{res}
5 V	$321\ \Omega$	10 mA	3,215 V	3,215 V	32,2 mW	1,785 V	$1/8W$
5 V		20 mA				1,852 V	
				10,148 V	203 mW	1,852 V	
220 V	$10,9\ k\Omega$					1,852 V	
1 V	$300\ \Omega$					999 mV	

B.5 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. Utilice el diodo ideal simulado de 2V para cada LED D_x . Para cada una de las resistencias encuentre la potencia.



$V1$	$R1$	$R2$	$R3$	$i1$	$i2$	$i3$	$i4$	Va	Vb	Vc
5 V	150 Ω 60 mW	50 Ω 20 mW	150 Ω 0 mW	20 mA	20 mA	0 mA	40 mA	2 V	4 V	5 V
10 V		400 Ω		20 mA			55 mA			
3 V	50 Ω									

B.6 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. Utilice el diodo ideal simulado de 2V para los LEDs $D1$ y $D2$. Tenga en cuenta que las referencias a masa (GND) son tomadas desde el negativo de la fuente $V1$.

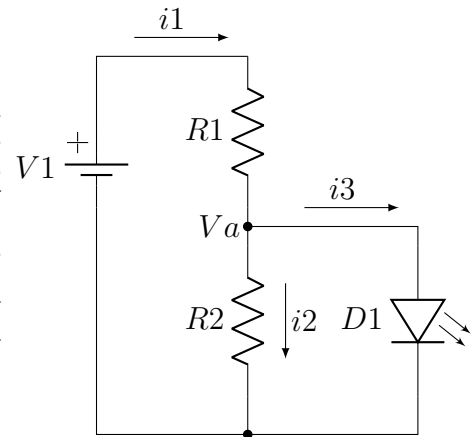


$V1$	$V2$	$i1$	$R1$	$i2$	$R2$	Va	$i3$
5 V	7 V	20 mA	500 Ω	0 mA	150 Ω	10 V	20 mA
5 V	5 V	15 mA			20 Ω		
5 V	0 V		75 Ω		0 Ω		

B.7 En el circuito del punto **B.6** se invierte el LED $D2$, es decir que ahora su ánodo se encuentra conectado a Va y su cátodo se encuentra conectado a $R2$. El resto se mantiene igual (sentido de corrientes, polaridad de fuentes, etc). Encuentre los valores que faltan en la tabla.

$V1$	$V2$	$i1$	$R1$	$i2$	$R2$	Va	$i3$
5 V	7 V		1 k Ω	-10 mA			
0 V	7 V		1 k Ω		300 Ω		

B.8 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. Utilice el diodo ideal simulado de 2V para el LED $D1$. *Nota: El valor de tensión en el punto V_a es particularmente importante en este ejercicio. Analice el circuito considerando a priori que el diodo $D1$ no es presente. Al encontrar V_a se debe cumplir entonces que $V_a \geq 2V$ para que $D1$ se encuentre polarizado en directa venciendo el umbral. Luego si eso ocurre, al existir del diodo el valor de V_a va a estar forzado en 2V por el diodo*



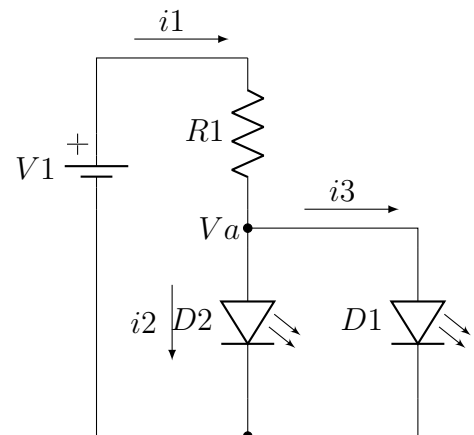
$V1$	$R1$	$R2$	V_a	$i1$	$i2$	$i3$
5 V	100 Ω	400 Ω	2 V	30 mA	5 mA	25 mA
5 V	250 Ω	250 Ω				
5 V	400 Ω	100 Ω				
5 V	300 Ω	200 Ω				
5 V	200 Ω	250 Ω				

Atención

Recuerde que utilizar diodos en paralelo dependiendo de una única resistencia es una mala idea. Los siguientes ejercicios están pensados para que reflexione acerca de esto. Intente razonar a priori que va a ocurrir con la corriente y que rama va a forzar el valor de tensión en el punto V_a

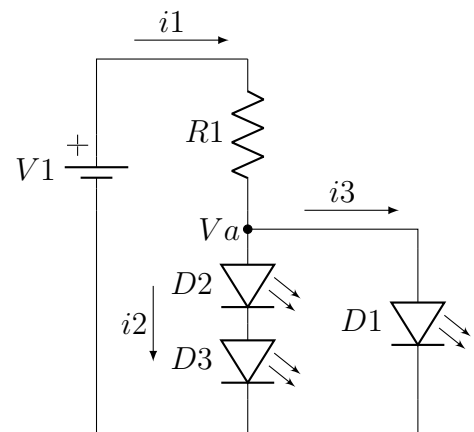
B.9 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. El diodo $D1$ equivale al diodo simulado de 2V mientras que $D2$ equivale a default-led.

$V1$	$R1$	V_a	$i1$	$i2$	$i3$
5 V	320 Ω	1,785 mV	10 mA	10 mA	0 mA
5 V	640 Ω	1,72 mV			



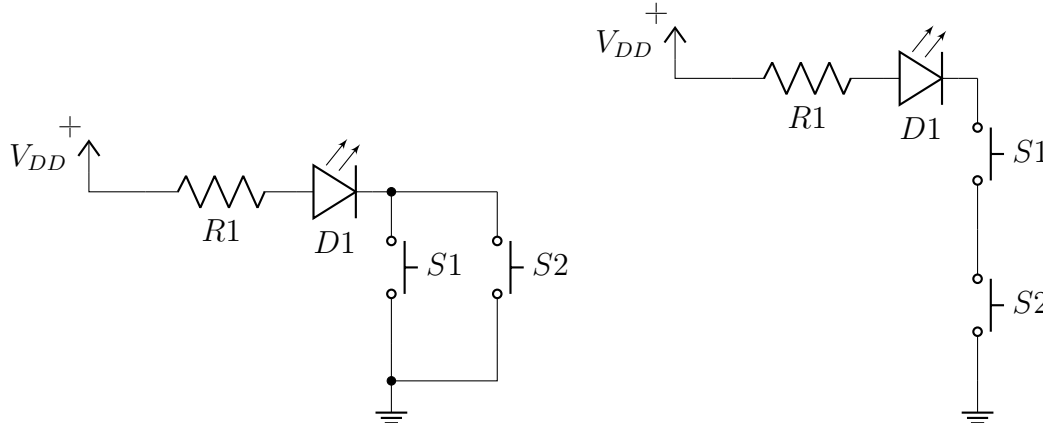
B.10 Dado el siguiente circuito complete los valores que faltan en la tabla. El diodo $D1$ equivale al diodo simulado de 2V mientras que $D2$ y $D3$ equivale a default-led.

$V1$	$R1$	V_a	$i1$	$i2$	$i3$
5 V	300 Ω				





B.11 Como política de seguridad para el ingreso a cajas de seguridad, un banco

requiere que haya dos guardias presentes para habilitar el ingreso. El ingreso habilitado se indica con un diodo LED. Cuando el mismo se enciende el ingreso está habilitado. Cuando el LED está apagado el ingreso está impedido. Los guardias informan su disponibilidad presionando botones en el circuito. El guardia uno presiona $S1$ y el guardia dos presiona $S2$. Considerando que ambos guardias tienen que estar presentes, ¿cuál de los siguientes circuitos cumple con la política del banco? *Nota: Los switches son normales abiertos.*



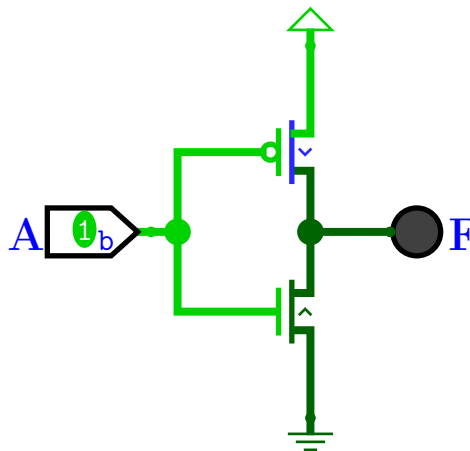
- B.12** Diseñe una lógica donde el LED está siempre encendido salvo que uno de los dos guardias decida apagarlo.
- B.13** Diseñe una lógica donde el LED está siempre encendido salvo que ambos guardias decidan presionar sus respectivos pulsadores.
- B.14** Utilizando logisim-evolution, dispone de los siguientes transistores para implementar circuitos CMOS

Canal P  Canal N 

Implemente los siguientes circuitos y probando las distintas combinaciones de valores de las entradas A y B complete la tabla de verdad.

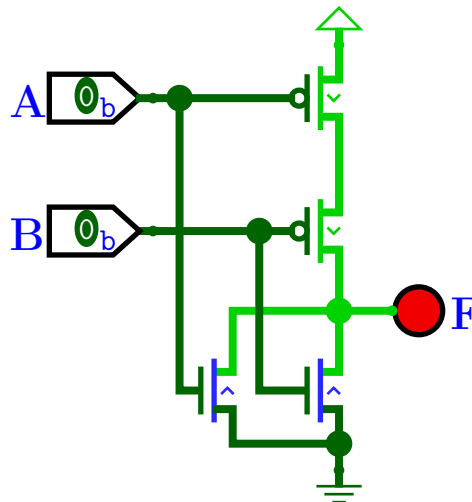
(a)

A	F
0	
1	



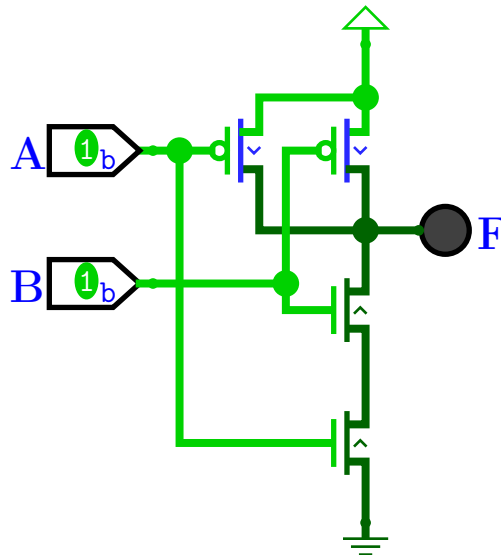
(b)

A	B	F
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	



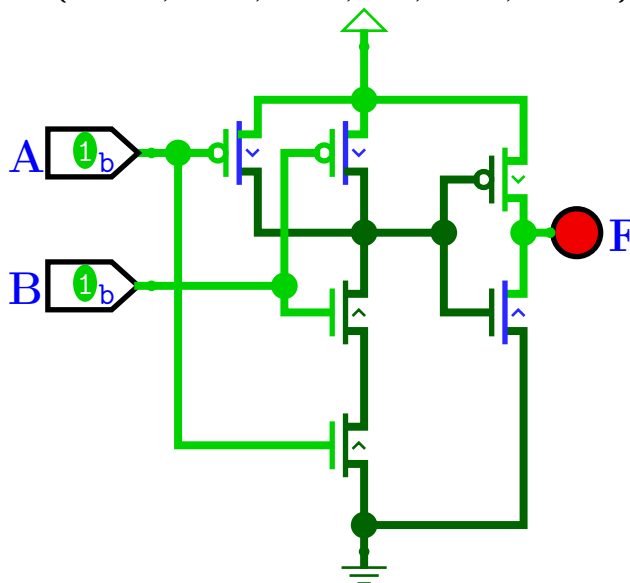
(c)

A	B	F
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	



B.15 Dado el siguiente circuito, complete la tabla de verdad e identifique a que compuerta corresponde (NAND, NOR, AND, OR, XOR, XNOR).

A	B	F
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

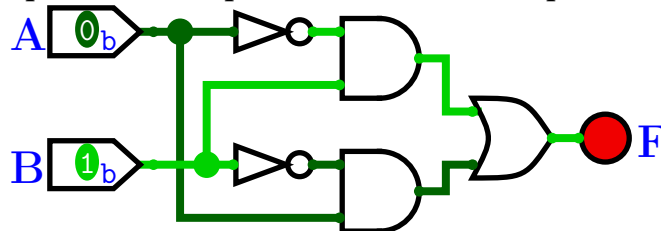


B.16 Dada la siguiente tabla de verdad, implemente el circuito que cumple con la salida F utilizando transistores CMOS en logisim-evolution. *Nota: tenga en cuenta que una compuerta OR es equivalente a negar una compuerta NOR*

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

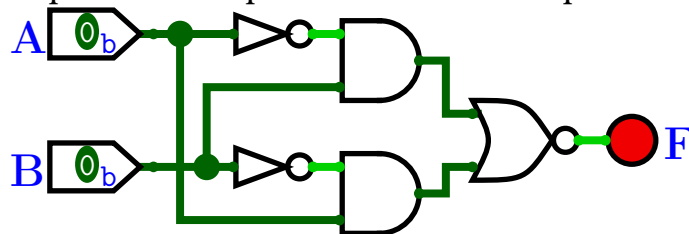
B.17 Implemente una compuerta XOR con transistores CMOS. Dejamos como referencia el circuito equivalente implementado con compuertas AND, OR y NOT.

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



B.18 Implemente una compuerta XNOR con transistores CMOS. Dejamos como referencia el circuito equivalente implementado con compuertas AND, NOR y NOT.

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



C- Tecnología

C.1 Busque la hoja de datos del circuito integrado CD4069 (CMOS Hex Inverter) <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4069ub.pdf>
Encuentre los siguientes parámetros: VDD (max), TPLH y TPHL (5V) , y todas las corrientes y tensiones de entrada y salida (puede usar 25 C de temperatura y reportar max,min,typ según prefiera). Identifique claramente cuál es la unidad de cada parámetro.

C.2 Indique que es el período, la frecuencia y el ciclo de actividad de una señal periódica

C.3 Complete la tabla con los valores solicitados

Pregunta	Valor
¿Cuántos picosegundos hay en un nanosegundo?	
¿Cuántos picosegundos hay en un medio nanosegundo?	
¿Cuántos picosegundos hay en un milisegundo?	
¿Cuántos milisegundos hay en un segundo?	
¿Cuántos microsegundos hay en un segundo?	
¿Cuántos microsegundos hay en un milisegundo?	
¿Cuántos microsegundos hay en un medio milisegundo?	
¿Cuántos microsegundos hay en 1000 nanosegundos?	

C.4 Indique el período para señales periódicas de: 1 Hz , 50 Hz , 100 Hz , 500 Hz , 1 kHz , 2 kHz , 1 MHz , 2 MHz , 50 MHz , 100 MHz , 333 MHz , 500 MHz , 600 MHz , 1 GHz , 2 GHz.

C.5 Calcule la frecuencia para señales periódicas que tienen un período de: 1 ps , 2 ps , 100 ps , 500 ps , 1 ns , 2 ns , 100 ns , 500 ns , 1 μs , 2 μs , 100 μs , 500 μs , 1 ms , 2 ms , 100 ms , 500 ms , 1 s.

C.6 El tiempo de propagación de una compuerta es de 100 ns. Indique cuál es la frecuencia máxima a la que puede operar dicha compuerta. Razone este punto pensando en el negador, ya que durante 100 nss debe tener una entrada en un valor, luego pasar al otro por 100 ns nuevamente.

C.7 Calcule los márgenes de ruido para las siguientes familias de compuertas. Luego indique los márgenes de ruido para la interconexión entre las distintas familias, ej: Salida TTL5 Entrada ARD, Salida ARD Entrada TTL5, y así todas las combinaciones posibles. Se brindan ciertos valores de resultado como ejemplo.

Parámetro	TTL5	ARD	CMOS3	INV
$V_{oh_{min}}$	2,7 V	4,2 V	2,4 V	4,0 V
$V_{ih_{min}}$	2,0 V	3,0 V	2,0 V	2,0 V
$V_{ol_{max}}$	0,4 V	0,9 V	0,5 V	1,0 V
$V_{il_{max}}$	0,8 V	1,5 V	0,8 V	3,0 V

Respuestas (algunas):

- Salida TTL5 Entrada TTL5, $V_{nh} = 0,7V$; $V_{nl}=0,4V$; Margen de ruido= $0,4V$.
- Salida ARD Entrada TTL5, $V_{hn}=2,2V$; $V_{nl}=Invalido$; No es compatible.
- Salida CMOS3 Entrada TTL5, $V_{hn}=0,4V$; $V_{nl}=0,3V$, Margen de ruido= $0,3V$.

- Salida TTL5 Entrada CMOS3, $V_{hn}=0,7V$; $V_{nl}=0,4V$, Margen de ruido= $0,4V$. (compare con la respuesta anterior).
- Salida INV Entrada INV, Familia inválida.

C.8 Calcule el factor de cargabilidad para las siguientes familias de circuitos integrados.

Parámetro	A	B	C
$I_{oh_{max}}$	2 mA	2 mA	2 mA
$I_{ih_{max}}$	500 nA	2 mA	1000 μA
$I_{ol_{max}}$	5 mA	5 mA	800 μA
$I_{il_{max}}$	1 mA	500 μA	1 mA

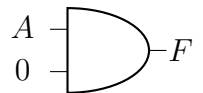
Respuestas (algunas):

- A \rightarrow A Fan Out: 5 conexiones
- A \rightarrow B Fan Out: 1 conexión

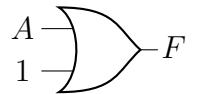
C.9 Dada una compuerta alimentada con 5 V, su consumo de corriente en bajo es de 1 mA y alto en 2 mA, calcule la potencia disipada media (PDM) a la salida siendo:

- La salida constante en alto
- La salida constante en bajo $R_{ta}=5 \text{ mW}$
- La salida es periódica con un ciclo de actividad de 50%
- La salida es periódica con un ciclo de actividad de 25% $R_{ta}=6,25 \text{ mW}$
- La salida es periódica con un ciclo de actividad de 3/8 del tiempo
- La salida es periódica con un ciclo de actividad de 100% $R_{ta}=10 \text{ mW}$
- La salida es periódica con un ciclo de actividad de 0%

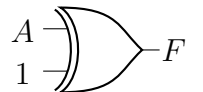
C.10 Calcule la PDM a la salida F de la siguiente compuerta siendo que la misma se encuentra alimentada con 5 V, su consumo de corriente en bajo es 2 mA, en alto es 5 mA y la entrada A tiene un ciclo de actividad del 50%. *Nota: Revise la tabla de verdad de AND. $R_{ta}=P_{dl}$*



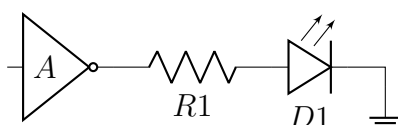
C.11 Calcule la PDM a la salida F de la siguiente compuerta siendo que la misma se encuentra alimentada con 5 V, su consumo de corriente en bajo es 2 mA, en alto es 5 mA y la entrada A tiene un ciclo de actividad del 50%. *Nota: Revise la tabla de verdad de OR. $R_{ta}=P_{dh}$*



C.12 Calcule la PDM a la salida F de la siguiente compuerta siendo que la misma se encuentra alimentada con 5 V, su consumo de corriente en bajo es 2 mA, en alto es 5 mA y la entrada A tiene un ciclo de actividad del 25%. *Nota: Revise la tabla de verdad de XOR, en particular cuando la entrada B es 1. La respuesta NO es 13,75 mW*



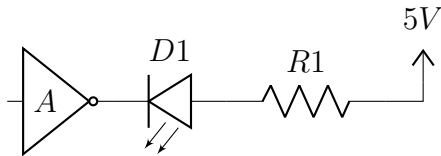
C.13 La familia de compuertas A (alimentada con 5 V) posee los siguientes parámetros estáticos. Si D1 tiene tensión de umbral ideal de 2 V, indique si es posible encontrar un valor de R1 que asegure que circulen como mínimo 20 mA por D1. En caso de encontrar el valor, indique el mismo. En caso de ser imposible, indique el motivo. $R_{ta}= \text{Imposible}$ (125Ω exceden I_{oh})



Parámetro	A
$V_{oh_{min}}$	4,5 V
$V_{ol_{max}}$	0,8 V
$I_{oh_{max}}$	23 mA
$I_{ol_{max}}$	40 mA

C.14 La familia de compuertas A (alimentada con 5 V) posee los siguientes parámetros estáticos. Si $D1$ tiene tensión de umbral ideal de 2 V , indique si es posible encontrar un valor de $R1$ que asegure que circulen como mínimo 20 mA por $D1$. En caso de encontrar el valor, indique el mismo. En caso de ser imposible, indique el motivo. $R_{ta} = 110 \Omega$

Parámetro	A
$V_{oh_{min}}$	4,5 V
$V_{ol_{max}}$	0,8 V
$I_{oh_{max}}$	25 mA
$I_{ol_{max}}$	40 mA



Apéndice - Circuitos

Simulador Falstad

En este apéndice dejamos los circuitos utilizados en los ejercicios de ejemplo para que puedan importarse en el simulador Falstad. En algunos casos queda el link en el PDF, otros pueden importarse como texto. A tal fin, vaya a la opción File > Import from Text, y copie y pegue el texto de cada ejercicio.

- **B.1**

- **B.2**

```
$ 1 0.000005 10.20027730826997 50 5 50 5e-11  
v 608 384 608 320 0 0 40 5 0 0 0.5  
370 608 320 608 240 3 0 0  
r 688 240 688 288 0 300  
w 608 240 688 240 0  
w 688 384 608 384 0  
368 752 288 784 288 1 0 Va  
w 752 288 688 288 0  
p 752 240 752 288 3 0 0 10000000  
w 752 240 688 240 0  
d 688 288 688 384 2 1N4004
```

- **B.3**

- **B.4**

```
$ 1 0.000005 10.20027730826997 50 5 50 5e-11  
370 592 272 672 272 3 0 0  
r 672 368 672 416 0 321  
368 720 368 752 368 1 0 Va  
p 608 368 608 416 3 0 0 10000000  
R 592 272 592 240 0 0 40 5 0 0 0.5  
g 672 416 672 432 0 0  
w 720 368 672 368 0  
w 608 368 672 368 0  
w 608 416 672 416 0  
162 672 272 672 368 2 default-led 1 0 0 0.01
```

- **B.5**

- **B.6**

- **B.7**

- **B.8**

- **B.9**

- **B.10**

• **B.11**

```
$ 1 0.000005 10.20027730826997 50 5 50 5e-11
R 304 144 304 112 0 0 40 5 0 0 0.5
r 304 144 384 144 0 300
162 384 144 432 144 2 default-led 1 0 0 0.01
s 464 144 464 176 0 1 false
s 528 144 528 176 0 1 false
g 464 224 464 240 0 0
r 464 176 464 224 0 1
w 432 144 464 144 0
r 528 176 528 224 0 1
w 464 144 528 144 0
w 464 224 528 224 0
w 720 160 752 160 0
g 752 256 752 272 0 0
s 752 224 752 256 0 1 false
s 752 160 752 192 0 1 false
162 672 160 720 160 2 default-led 1 0 0 0.01
r 592 160 672 160 0 300
R 592 160 592 128 0 0 40 5 0 0 0.5
w 752 224 752 192 0
```