

Fundamentos de Electrónica

2ª parte : Electrónica Digital

Teresa Riesgo Alcaide

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

n.es
Cartagena99



La Asignatura “Fundamentos de Electrónica”

¿Cómo se aprueba?

- Para aprobar la asignatura se ha de obtener una nota igual o superior a 5 en la Calificación Final ($CF \geq 5$ sobre 10) de la asignatura y haber hecho las tres prácticas de laboratorio obligatorias.
- La asignatura tiene tres partes (Digital, Microprocesadores y Analógica) y en cada parte se obtiene una calificación por evaluación continua (CECdig, CECmic y CECana). La evaluación continua de cada parte puede estar compuesta por una o varias actividades: prueba de evaluación continua (PEC), trabajo, etc. Las actividades que componen la evaluación continua y el peso de cada una se definirá en cada parte de la asignatura. La Calificación por Evaluación Continua de la asignatura CEC será:

$$CEC = 0,3 \cdot CECdig + 0,3 \cdot CECmic + 0,4 \cdot CECana$$

estando puntuada cada parte sobre 10.

- La asignatura tiene una prueba global obligatoria que se ha de realizar en la convocatoria ordinaria o en la extraordinaria, y se denomina CPG a la Calificación obtenida en esta Prueba Global (puntuada sobre 10).
- La calificación final (CF) de la asignatura se calcula como:
 - Si $CPG \geq 4 \rightarrow CF = CPG + 0,3 \cdot CEC$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



La Asignatura “Fundamentos de Electrónica”

¿Cómo se aprueba?

■ Para la parte de **Electrónica Digital**...

- Las prácticas son obligatorias (del 23 al 26 de septiembre)
- 80% de la nota de evaluación continua (CECdig) es de una Prueba de Evaluación Continua (6/10 a las 18h)
- 20% de la nota de evaluación continua (CECdig) es de un trabajo de diseño (a entregar hasta el 17/10)

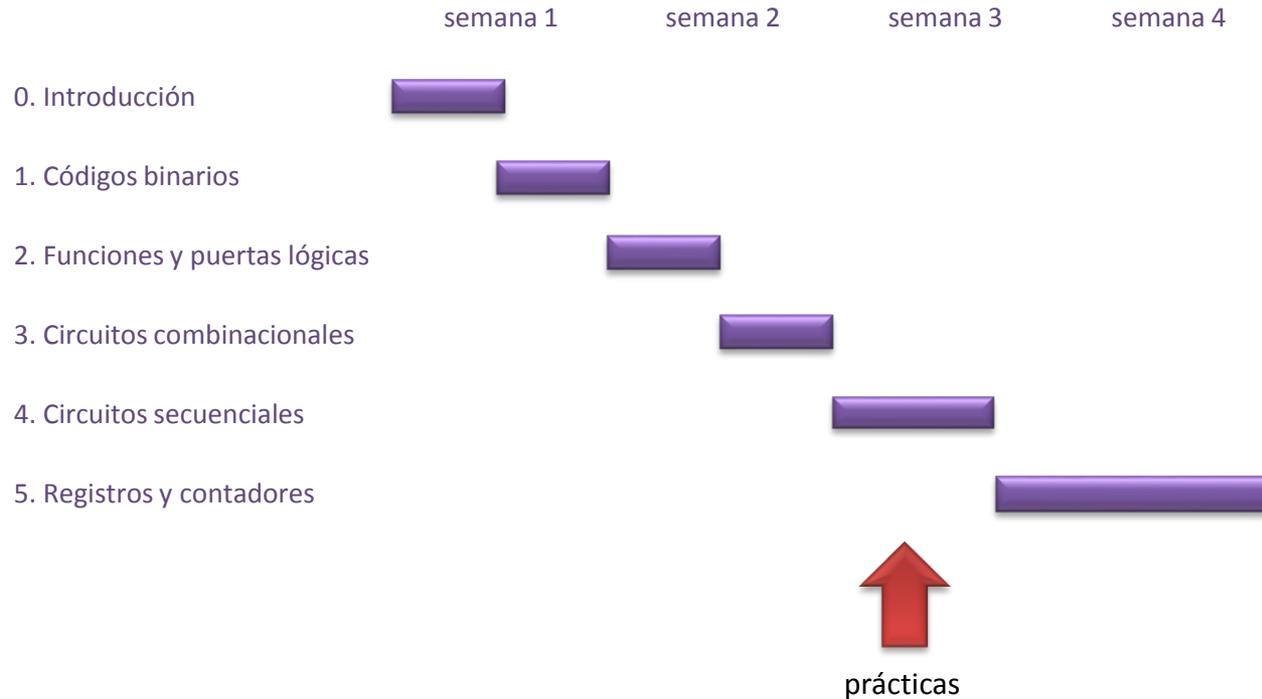
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

FE: Electrónica Digital – Contenidos y Programación

Fundamentos de Electrónica - Digital (2015)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Bibliografía

- Digital Design and Computer Architecture.
David Money and Sarah Harris. Elsevier-Morgan Kauffmann (2007)
- Fundamentos de Sistemas Digitales
Thomas Floyd. Ed. Prentice Hall (2003)
- Problemas de circuitos y sistemas digitales
Baena, Bellido, Molina, Parra. Ed. McGraw-Hill (1997)
- Colecciones de exámenes, disponibles en la secretaría de Electrónica

Cartagena99

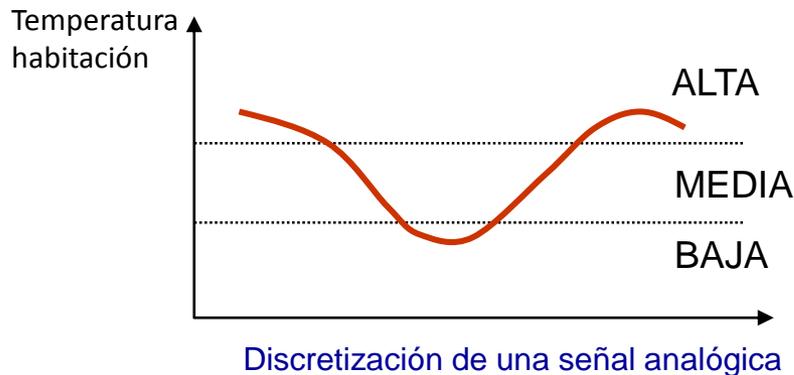
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Análogo y Digital

- Una **señal digital** puede tomar un valor entre un número finito de valores o estados
- Una **señal analógica** puede tomar un número infinito de valores



- Mundo real es un mundo analógico...¿Por qué usar SISTEMAS DIGITALES? Porque nos dan
 - Capacidad para manejar gran cantidad de información
 - Fácil de transmitir
 - Muy inmune al ruido

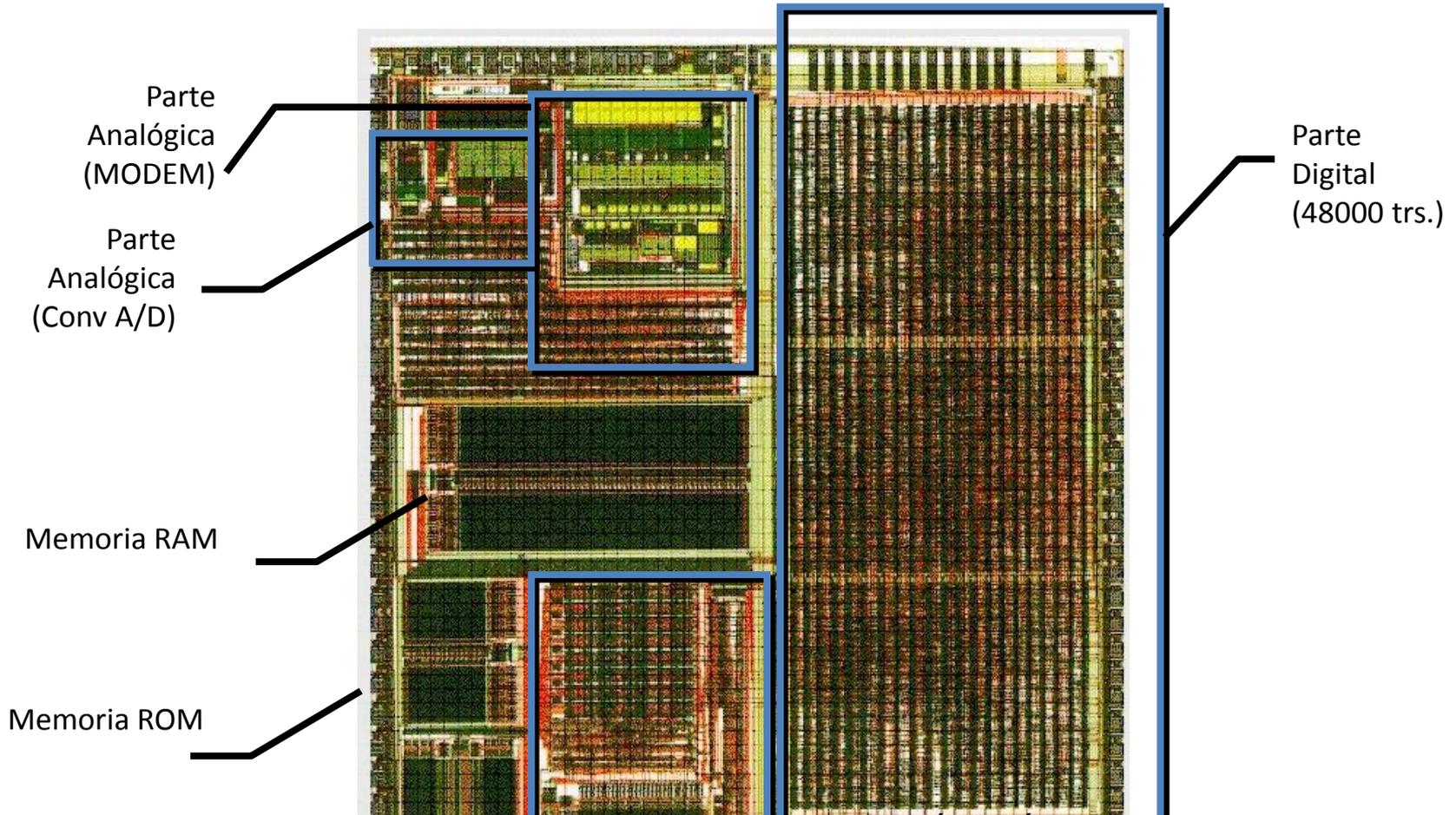
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Integración de funciones analógicas y digitales

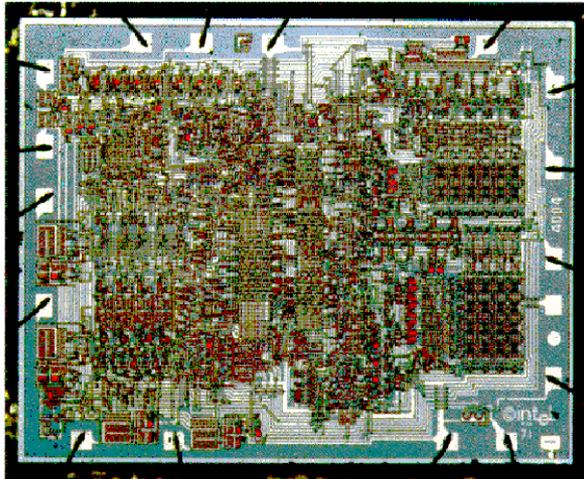


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

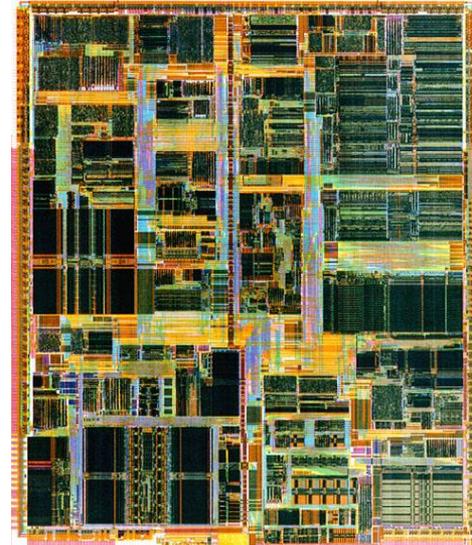
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ejemplo: evolución de los procesadores



Intel 4004 (1970) 1.500 trs.

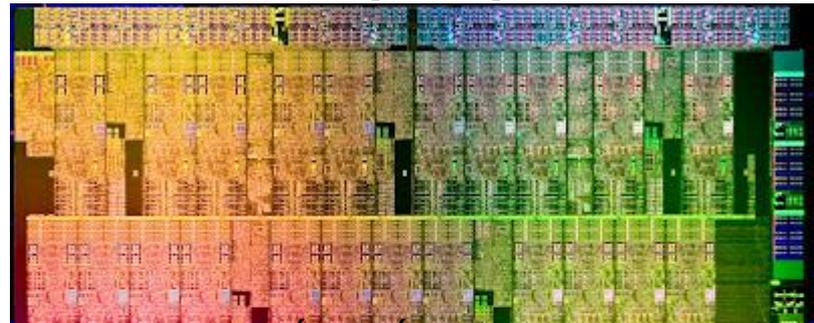
Pentium II (1996) 10.000.000 trs.



**nVIDIA GK110 (2012)
7.000.000.000 trs.**



Intel Xeon-Phi (2012) 5.000.000.000 trs.



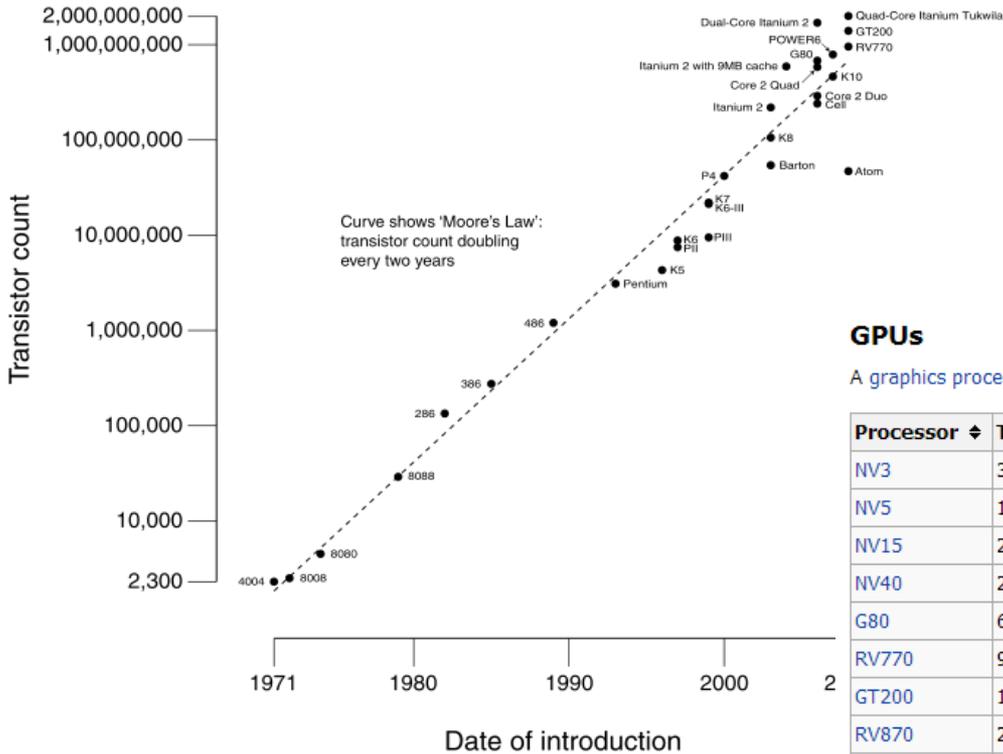
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Evolución...

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



GPUs

A [graphics processing unit](#) (GPU) is a specialized electronic circuit designed to rapidly manipulate and alter mem

Processor	Transistor count	Date of introduction	Manufacturer	Process	Area
NV3	3,500,000	1997	NVIDIA	350 nm	
NV5	15,000,000	1999	NVIDIA	250 nm	
NV15	25,000,000	2000	NVIDIA	180 nm	
NV40	222,000,000	2004	NVIDIA	130 nm	305 mm ²
G80	681,000,000	2006	NVIDIA	90 nm	480 mm ²
RV770	956,000,000 ^[10]	2008	AMD	55 nm	260 mm ²
GT200	1,400,000,000 ^[11]	2008	NVIDIA	55 nm	576 mm ²
RV870	2,154,000,000 ^[12]	2009	AMD	40 nm	334 mm ²
Cayman	2,640,000,000	2010	AMD	40 nm	389 mm ²
1st GF100	3,200,000,000 ^[13]	Mar 2010	NVIDIA	40 nm	526 mm ²

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



TEMA 1

Códigos binarios

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Sistemas de numeración

$$1327 = 1 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$

$$N = p_{n-1} \cdot b^{n-1} + p_{n-2} \cdot b^{n-2} + \dots + p_1 \cdot b^1 + p_0 \cdot b^0$$

 $b = 10$	Sistema decimal	Dígitos	0, 1, 2, ..., 9
 $b = 2$	Sistema binario	Dígitos	0, 1 BIT
 $b = 16$	Sistema hexadecimal	Dígitos	0, 1, ..., 9, A, ... F
$b = 8$	Sistema octal	Dígitos	0, ..., 7

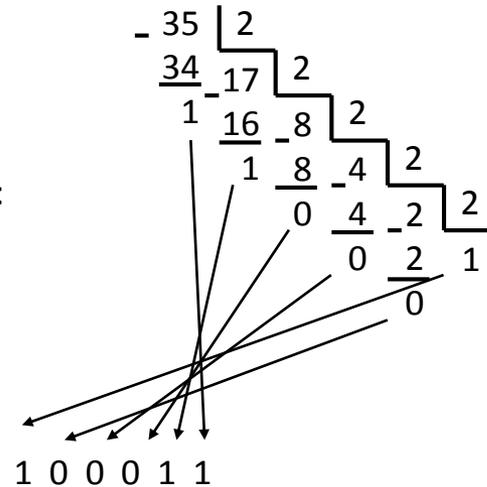
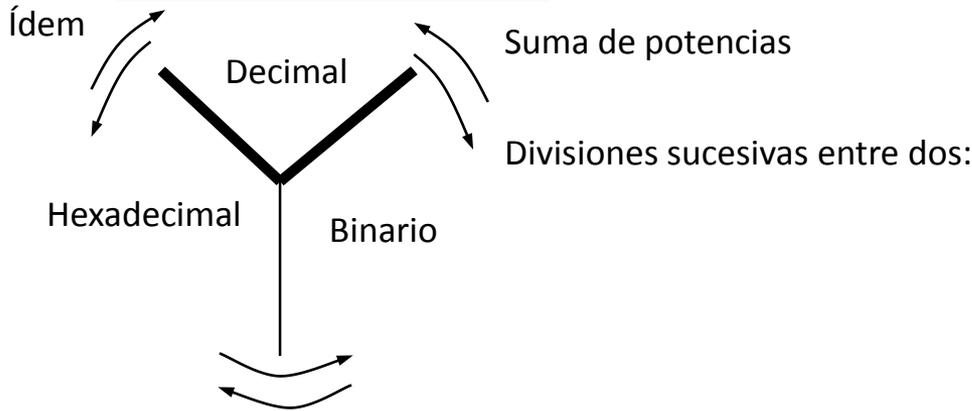
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Algunas propiedades de los sistemas de numeración

Cambios de base



Inmediato:

C3A5 = 1100 0011 1010 0110
 C 3 A 5

Multiplicar y dividir

Decimal:

$$9875 \times 100 = 987500$$

Binario:

$$101110110 \times 100 = 10111011000$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

$$ABCD \times 100 = ABCD00 \text{ (x256)}$$

Cartagena99

Códigos binarios

Números positivos

Binario natural

Números negativos

Bit de signo + magnitud

SMMMMM

S=0 → positivo; S=1 → negativo

Complemento a 1

Cambiar signo \leftrightarrow Intercambiar 0s y 1s

Complemento a 2

Cambiar signo \leftrightarrow Compl. a 1 + 1

Números reales

Estándares IEEE (Ej. IEEE Std 754, 1985)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Representaciones de números binarios negativos utilizando 4 bits

Decimal	Binario signo y magnitud	Binario compl. a 1	Binario compl. a 2
-8	--	--	1000
-7	1 111	1000	1001
-6	1 110	1001	1010
-5	1 101	1010	1011
-4	1 100	1011	1100
-3	1 011	1100	1101
-2	1 010	1101	1110
-1	1 001	1110	1111
0	1 000 0 000	1111 0000	0000
1	0 001	0001	0001
2	0 010	0010	0010
3	0 011	0011	0011

Usando compl. a 2,
las restas son sumas

$$\begin{array}{r} -4 \quad 1100 \\ +2 \quad 0010 \\ \hline -2 \quad 1110 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -6 \quad 1010 \\ +7 \quad 0111 \\ \hline +1 \quad 10001 \end{array}$$

Se elimina el posible

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Código BCD (Binary Coded Decimal)

El código BCD representa números decimales, codificados en binario dígito a dígito

	8421	2421	n + 3
0	0000	0000	0011
1	0001	0001	0100
2	0010	0010	0101
3	0011	0011	0110
4	0100	0100	0111
5	0101	1011	1000
6	0110	1100	1001
7	0111	1101	1010
8	1000	1110	1011
9	1001	1111	1100

Ejemplo: BCD natural

37d = 0011 0111

**Conversión BCD a decimal
inmediata**

BCD

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



TEMA 2

Funciones y puertas lógicas

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Variables, operaciones y funciones lógicas

Variables lógicas

$$A = \{0,1\}$$

Operaciones lógicas

SUMA \rightarrow OR

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

PRODUCTO \rightarrow AND

A	B	A·B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

NEGACIÓN

o COMPLEMENTO \rightarrow NOT

A	\bar{A}
0	1
1	0

Funciones

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Teoremas fundamentales

Teorema del cierre

El resultado de aplicar cualquier función booleana a variables booleanas tiene como resultado una variable booleana

Teorema de idempotencia

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

Propiedad conmutativa

$$A + B = B + A$$

$$A \cdot B = B \cdot A$$

Propiedad asociativa

$$(A + B) + C = A + (B + C)$$

$$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$$

Teorema de involución

Propiedad distributiva

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Teoremas fundamentales

Teorema de absorción

$$A + A \cdot B = A$$

$$A \cdot (A + B) = A$$

Ley de De Morgan

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

N variables:

$$\overline{A + B + C \dots} = \bar{A} \bar{B} \bar{C} \dots$$

$$\overline{A \cdot B \cdot C \dots} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \dots$$

Ley de De Morgan generalizada

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Formas canónicas

$$F(A,B,C,\dots) = AF(1,B,C) + \bar{A}F(0,B,C)$$

Ejemplo $f(A,B) = Af(1,B) + \bar{A}f(0,B) =$
 $= ABf(1,1) + A\bar{B}f(1,0) + \bar{A}Bf(0,1) + \bar{A}\bar{B}f(0,0)$ **1ª forma canónica**

$$F(A,B,C,\dots) = [A + F(0,B,C,\dots)][\bar{A} + F(1,B,C,\dots)]$$

Ejemplo $f(A,B) = [A + f(0,B)][\bar{A} + f(1,B)] =$
 $= [A + B + f(0,0)][A + \bar{B} + f(0,1)]$
 $[A + B + f(1,0)][\bar{A} + \bar{B} + f(1,1)]$ **2ª forma canónica**

Las formas canónicas son únicas.

Primera forma



+ de ·

Segunda forma



· de +

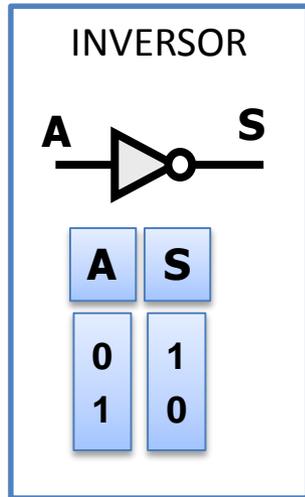
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

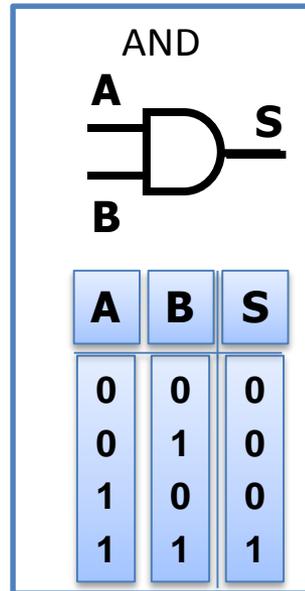
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



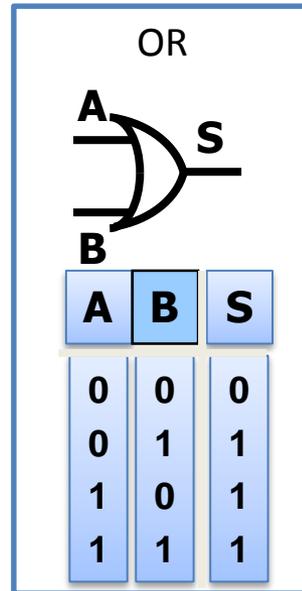
Puertas lógicas



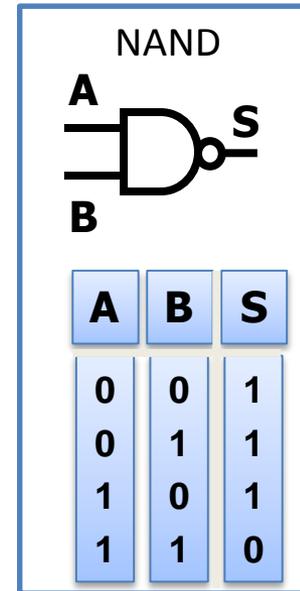
7404 (6x1input)



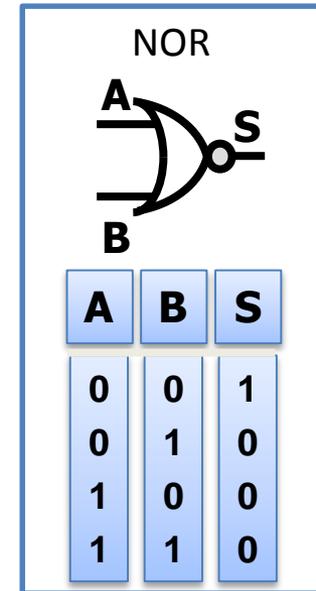
7408 (4x2inputs)



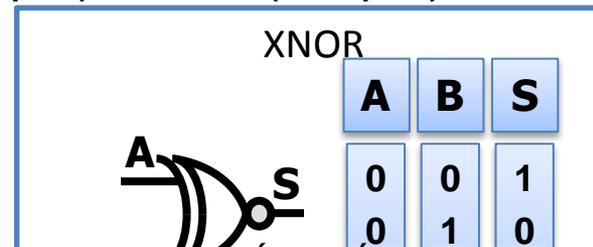
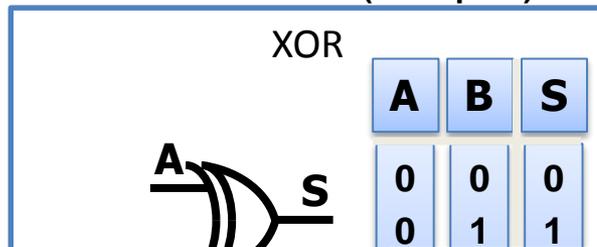
7432 (4x2inputs)



7400 (4x2inputs)



7402 (4x2inputs)

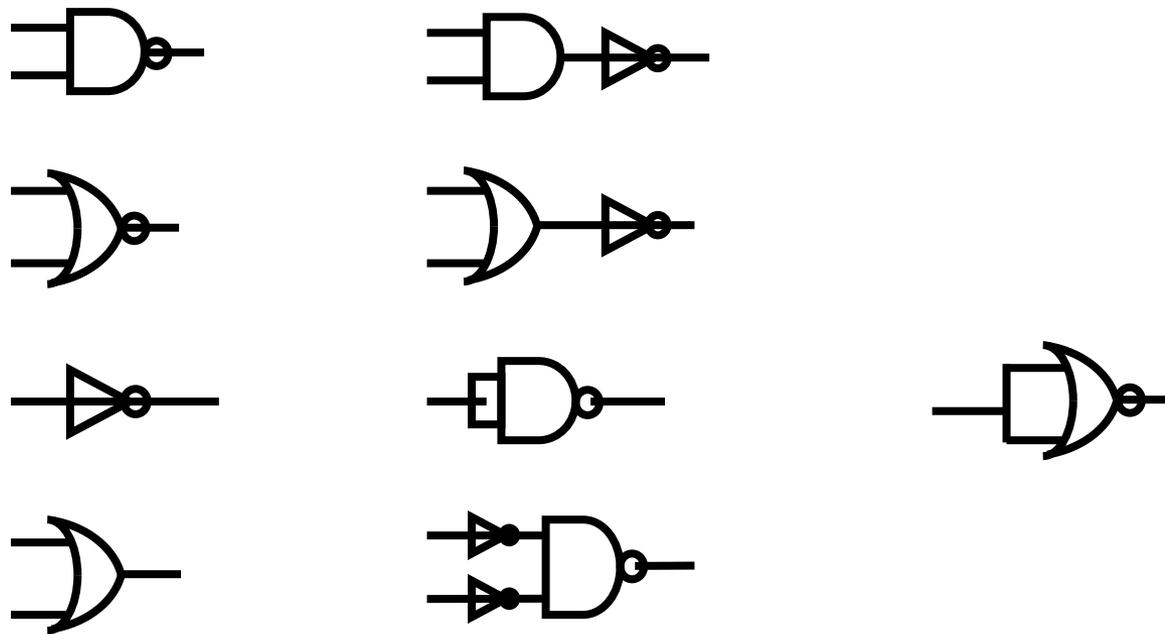


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Equivalencia entre puertas



De Morgan
↓



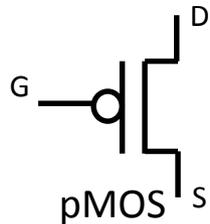
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

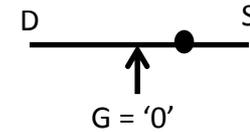
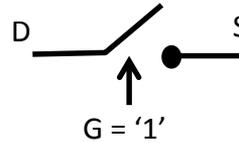
Cartagena99



La lógica del transistor (tecnología CMOS)

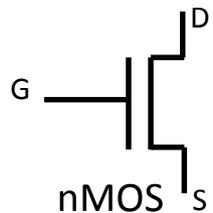


Se activa con un '0' en la G
Conduce "bien" los '1s'

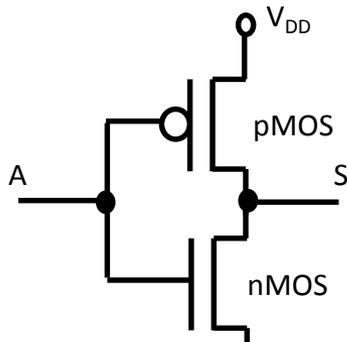
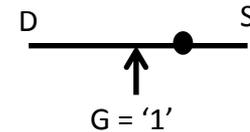
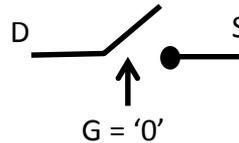


'1' = V_{DD}

'0' = GND



Se activa con un '1' en la G
Conduce "bien" los '0s'



Si $A = '1'$ ($A = V_{DD}$) \rightarrow nMOS conduce, pMOS no conduce $\rightarrow S = '0'$ ($S = GND$)

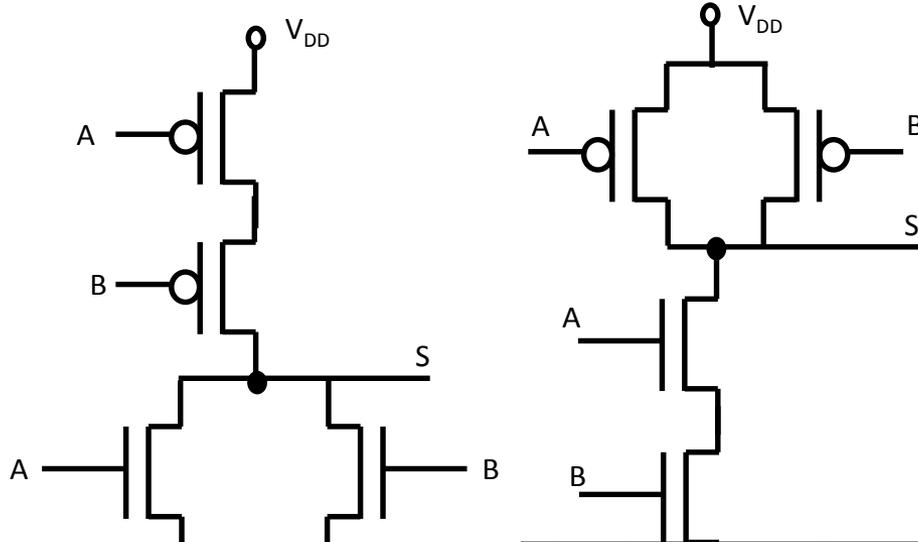
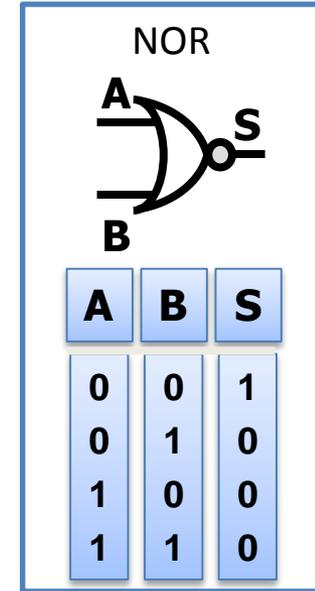
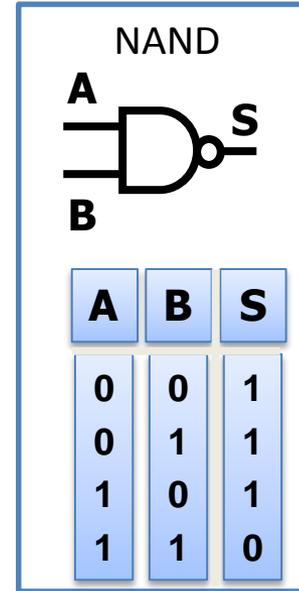
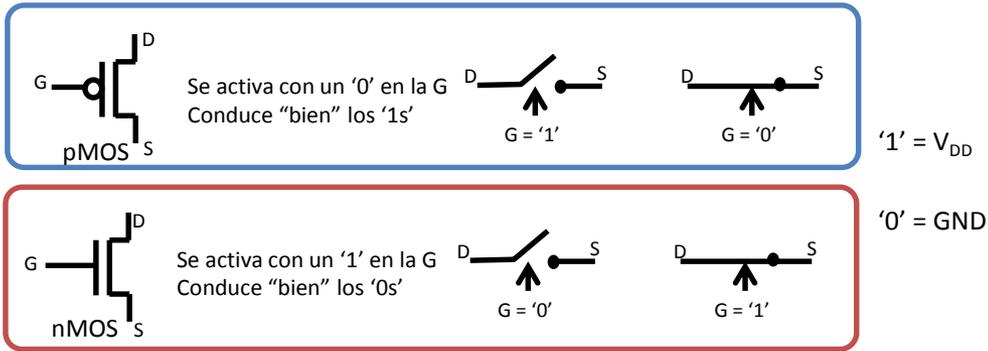
Si $A = '0'$ ($A = GND$) \rightarrow nMOS no conduce, pMOS conduce $\rightarrow S = '1'$ ($S = V_{DD}$)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

La lógica del transistor (tecnología CMOS)



Si quiero hacer una AND tendré que hacer una NAND+INV

Si quiero hacer una OR tendré que hacer una NOR +INV

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

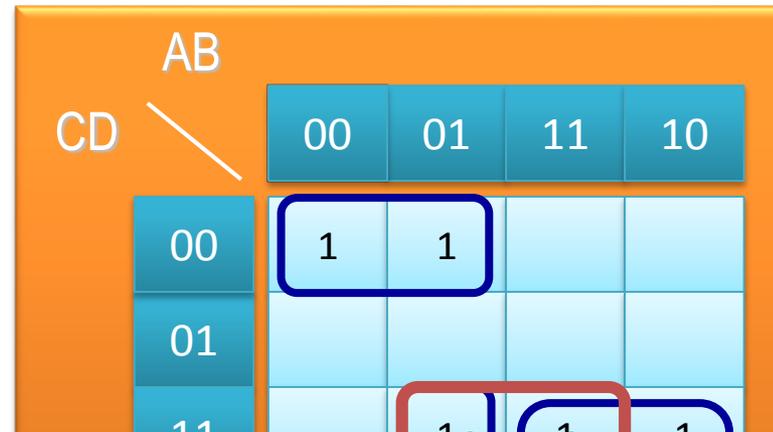
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Minimización de funciones lógicas

A	B	C	D	f
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0

$$\begin{aligned}
 f &= \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}CD + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}BC\overline{D} + \overline{A}BCD = \\
 &= \overline{A}\overline{C}\overline{D}(B + \overline{B}) + \overline{A}\overline{B}C(D + \overline{D}) + \overline{A}BC(D + \overline{D}) + \overline{A}\overline{B}CD = \\
 &= \overline{A}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}C + \overline{A}BC + \overline{A}\overline{B}CD = \\
 &= \overline{A}\overline{C}\overline{D} + AC + \overline{A}\overline{B}CD
 \end{aligned}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

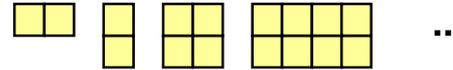
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Minimización de funciones lógicas

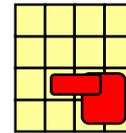
¿Qué hemos hecho?

Aplicar la distributiva → Celdas contiguas



T. De idempotencia →

Repetir un producto más de una vez



¿Qué hay que hacer, en general?

Agrupar todos los 1s en grupos lo más grandes posibles, sin importar solapes entre ellos.

Se deben considerar las adyacencias de los bordes.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Minimización de funciones lógicas: ejemplo

Para la siguiente función lógica

$$F = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{D} + A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} + A \cdot C \cdot D + A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$$

- * Obtener la tabla de verdad
- * Obtener la expresión mínima de la función

A	B	C	D	F
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1

AB \ CD	00	01	11	10
00	1	0	1	1
01	0	0	0	0
11	1	0	1	1
10	1	0	0	1

$$F = \bar{B} \cdot \bar{D} + \bar{B} \cdot C + A \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} + A \cdot C \cdot D$$

$$F = \bar{B} \cdot \bar{D} + \bar{B} \cdot C + A \cdot (\bar{C} \cdot \bar{D} + C \cdot D)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

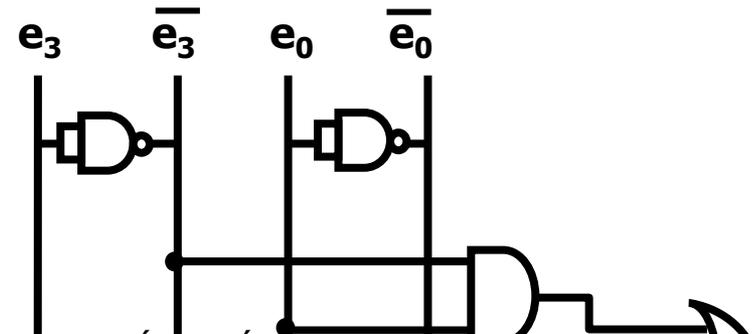
Minimización de funciones lógicas: ejemplo

Diseñar un circuito con puertas NAND que determine si el mes del año, codificado en binario natural con 4 bits, tiene 31 días (salida a valor 1) o menos de 31 día (salida a 0).

	e_3	e_2	e_1	e_0	f
X	0	0	0	0	X
E	0	0	0	1	1
F	0	0	1	0	0
M	0	0	1	1	1
A	0	1	0	0	0
M	0	1	0	1	1
J	0	1	1	0	0
J	0	1	1	1	1
A	1	0	0	0	1
S	1	0	0	1	0
O	1	0	1	0	1
N	1	0	1	1	0

$e_3 e_2$	00	01	11	10
$e_1 e_0$ 00	X	0	1	1
01	1	1	X	0
11	1	1	X	0
10	0	0	X	1

$$f = \bar{e}_3 e_0 + e_3 \bar{e}_0 = e_3 \oplus e_0$$

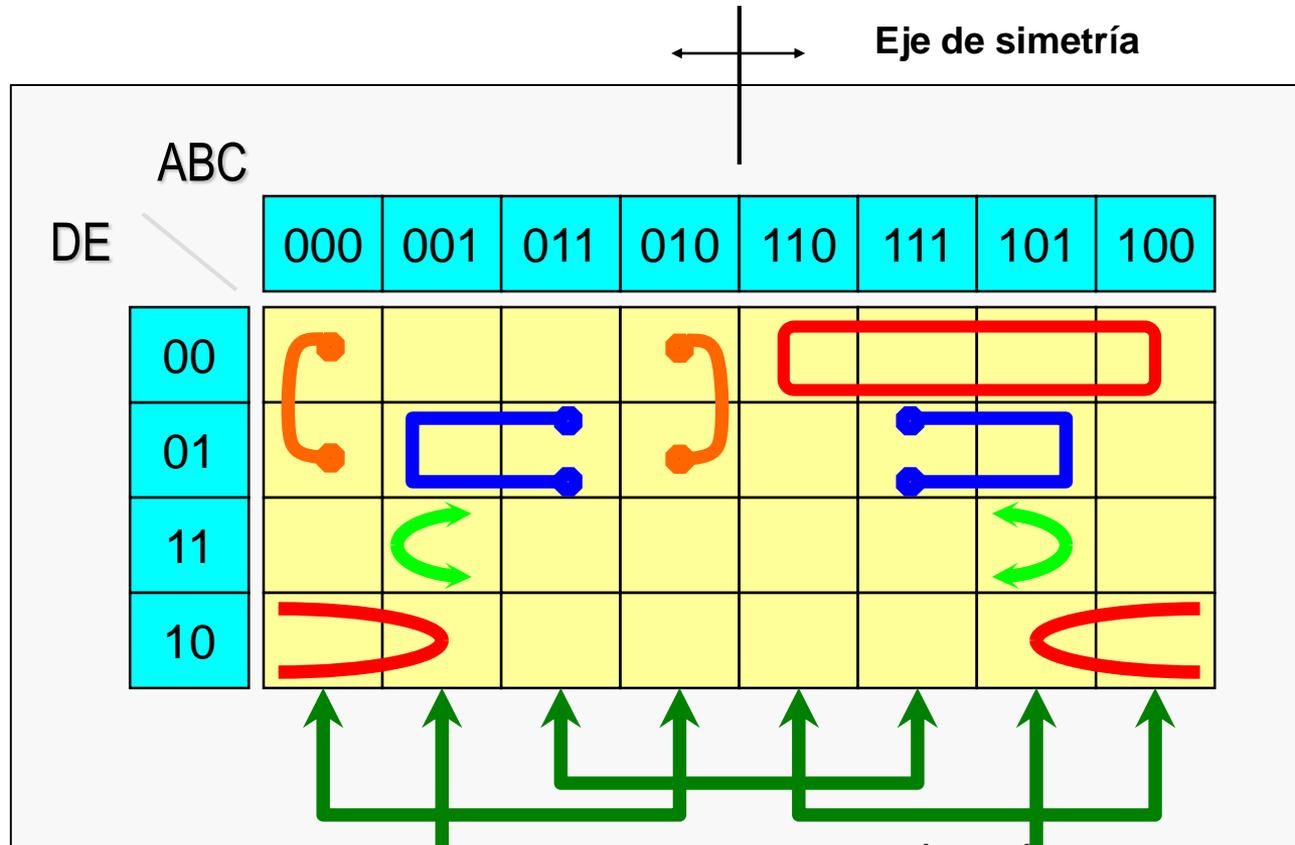


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Minimización de funciones lógicas: para 5 variables



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

TEMA 3

Circuitos combinatoriales

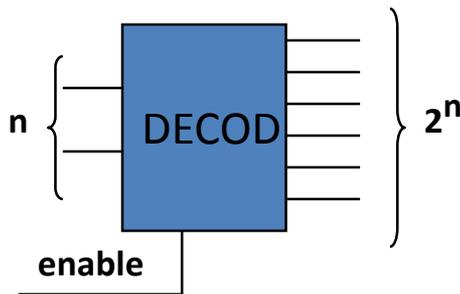
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

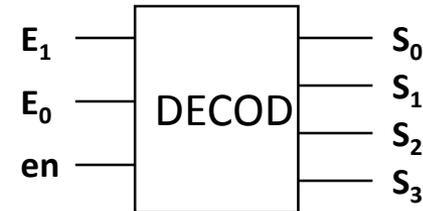
Decodificadores y codificadores

Decodificador



Se activa la salida correspondiente al número binario codificado en la entrada

Ejemplo:
Decod 2 entradas
con enable



en	E_1	E_0	S_0	S_1	S_2	S_3
0	x	x	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1

Funciones lógicas

$$S_0 = e_n \cdot \bar{E}_1 \bar{E}_0$$

Comerciales

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

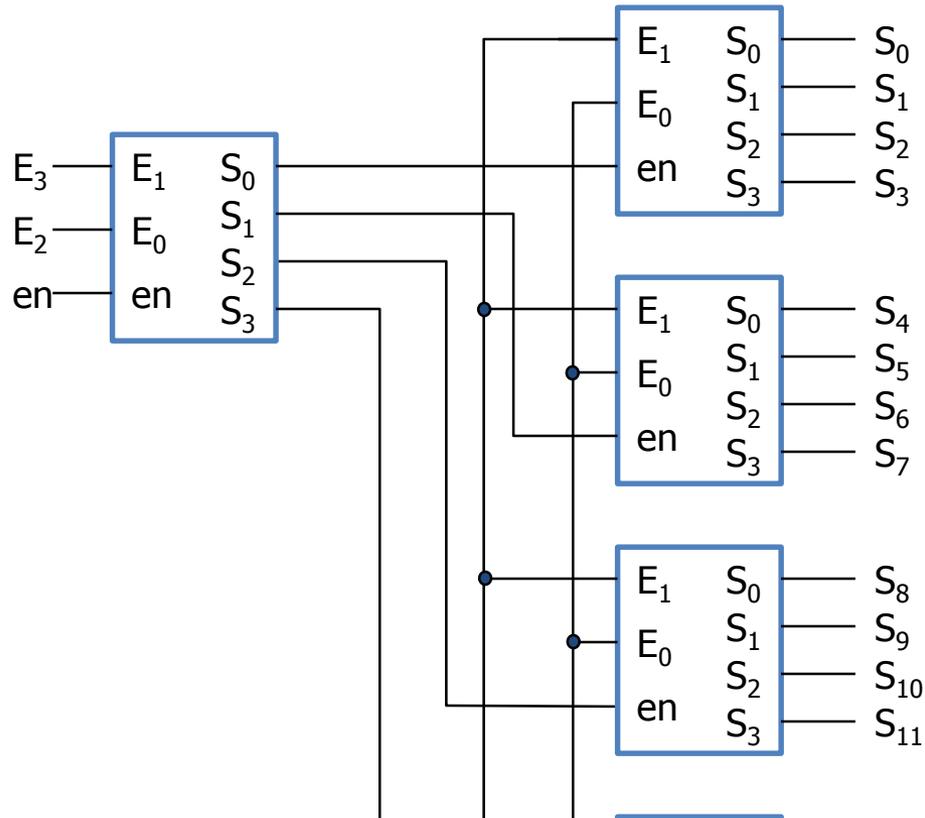
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Ejemplo

A partir de decodificadores de 2 entradas, construir un decodificador de 4 entradas

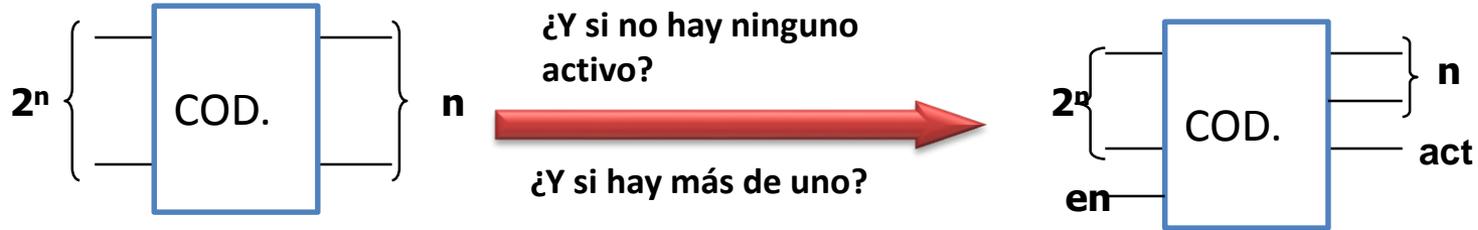


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Codificador



Se codifica en binario sobre la salida el número de entrada que esté activa

Codificador prioritario al más alto

en	E ₀	E ₁	E ₂	E ₃	A ₁	A ₀	act
0	x	x	x	x	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	x	x	x	1	1	1	1
1	x	x	1	0	1	0	1

deshabilitado
inactivo

También existe el codificador prioritario al más bajo

Comerciales

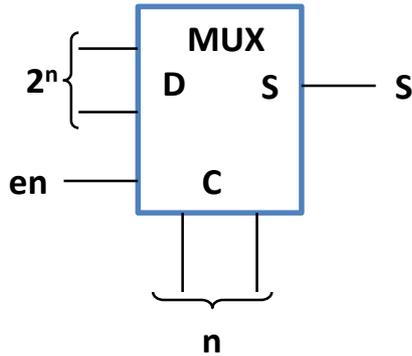
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

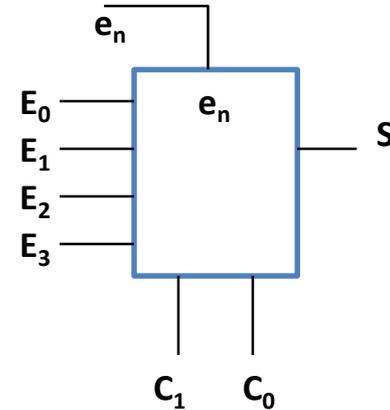
Multiplexores y demultiplexores

Multiplexor (MUX)

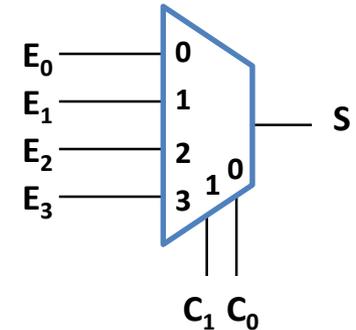


La entrada de datos correspondiente al número codificado en binario en las señales de control se conecta a la salida

en	E ₀	E ₁	E ₂	E ₃	C ₁	C ₀	S
0	X	X	X	X	X	X	0



Símbolo propio:



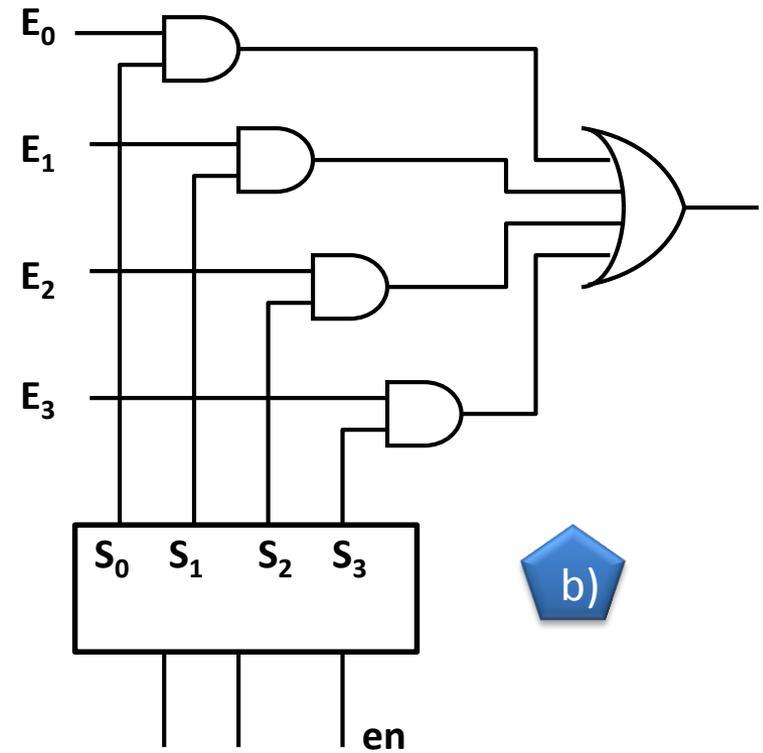
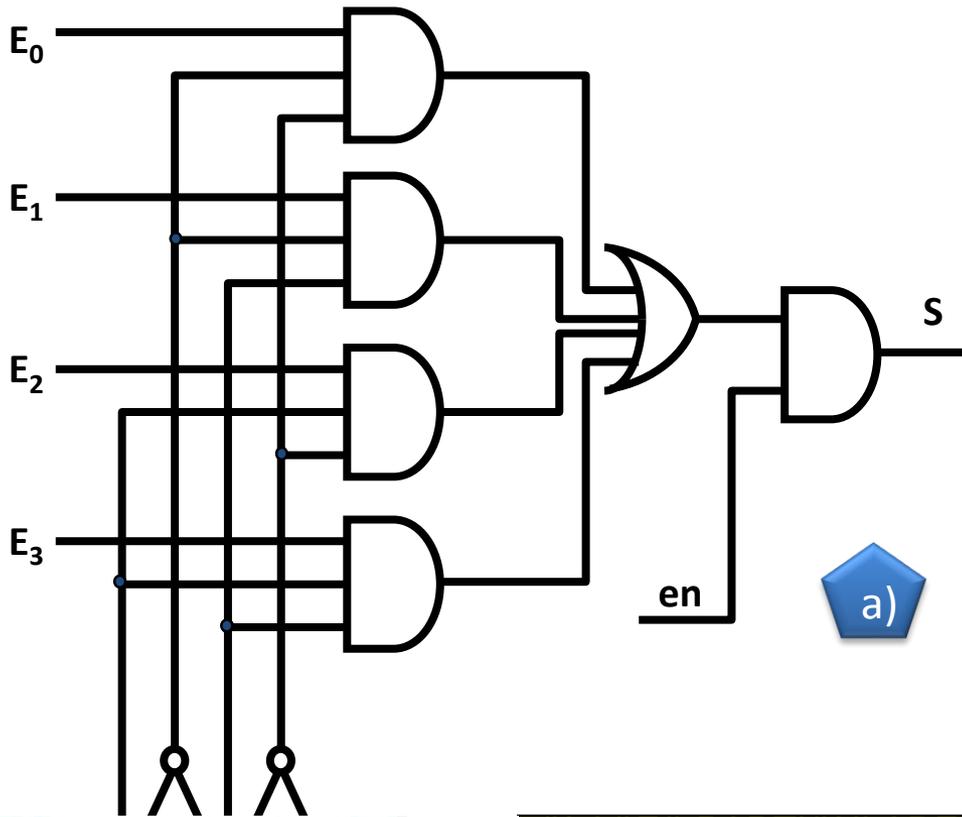
Comerciales

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

MUX mediante puertas lógicas



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Construcción de multiplexores grandes

A partir de mux de 2 entradas, construir uno de ocho entradas

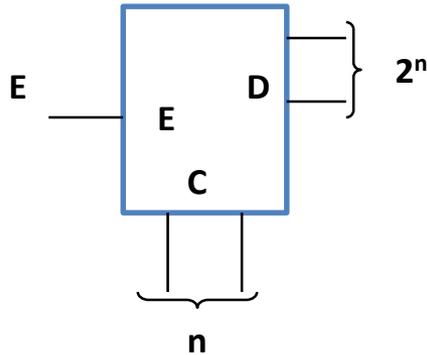
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

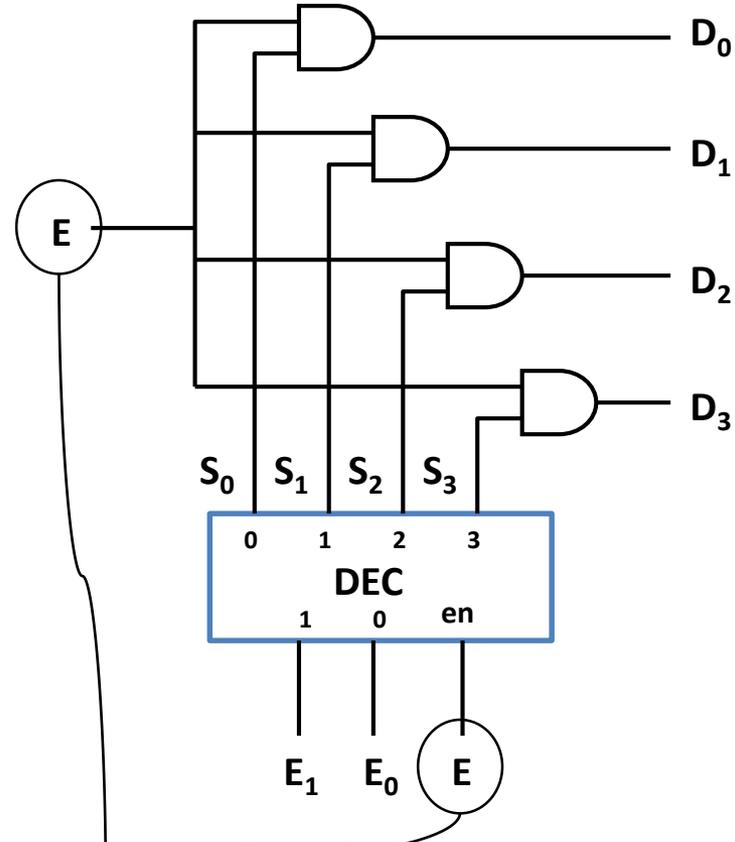
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Demultiplexores



Saca la entrada por aquella salida correspondiente al número codificado en las señales de control



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Funciones lógicas mediante decodificadores/mux

Ejemplo

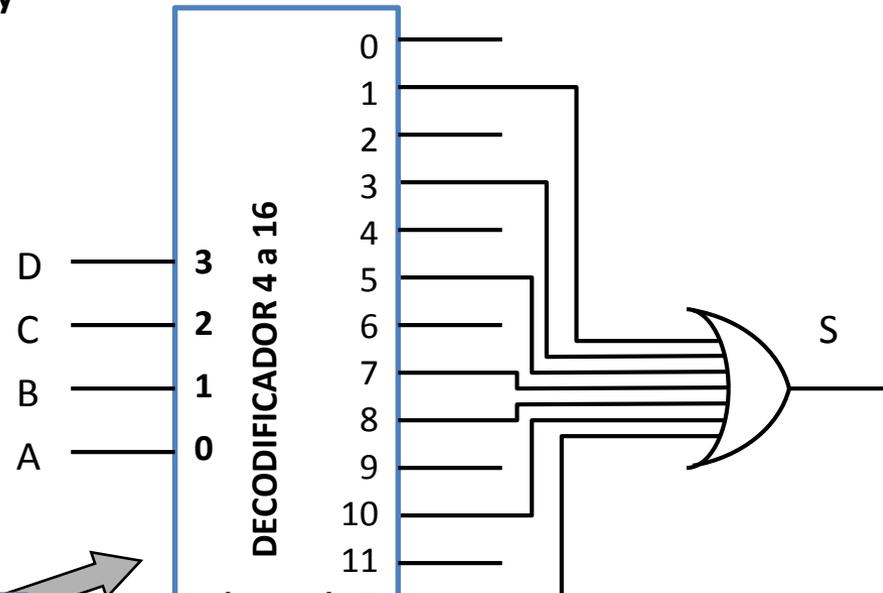
Diseñar un circuito que tiene como entrada el mes del año codificado en binario y como salida un '1' si el mes es de 31 días o un '0' si es de menos de 31 días

D	C	B	A	S
0	0	0	0	x
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1

A Mediante un decodificador y una puerta OR

B Mediante un multiplexor e inversores

C Mediante multiplexores 2 a 1 e inversores



Cartagena99

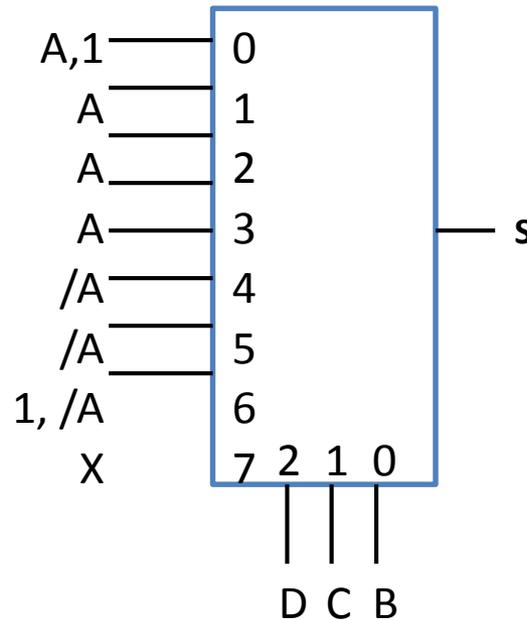
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

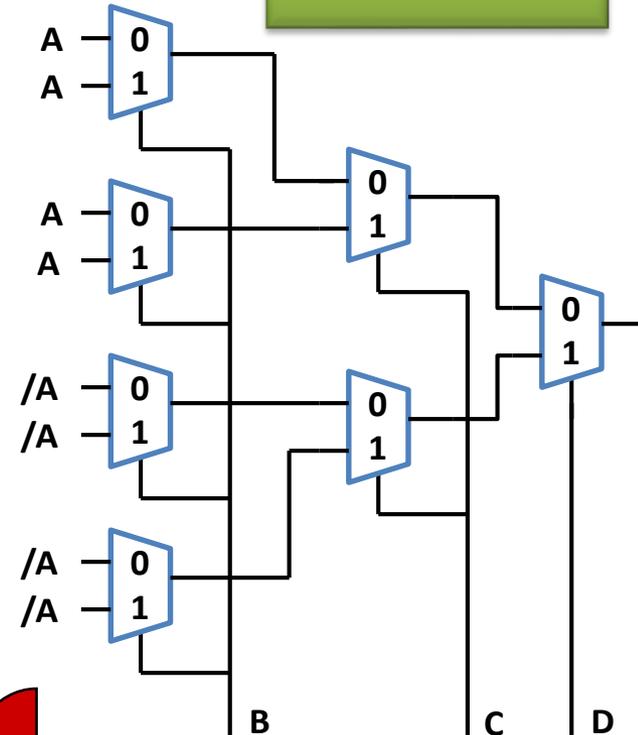
Funciones lógicas mediante decodificadores/mux

B
Un MUX

D	C	B	A	S
0	0	0	0	x
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1



C
MUX 2 a 1



Cartagena99

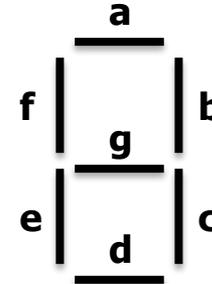
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Convertidores de código

A) Convertidor BCD a 7 segmentos

E ₃	E ₂	E ₁	E ₀	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
resto				x	x	x	x	x	x	x



Comerciales

7447 (lógica neg.)
7448 (lógica pos.)

B) Hexadecimal a 7 segmentos

7446 (lógica pos.)
7449 (lógica neg.)

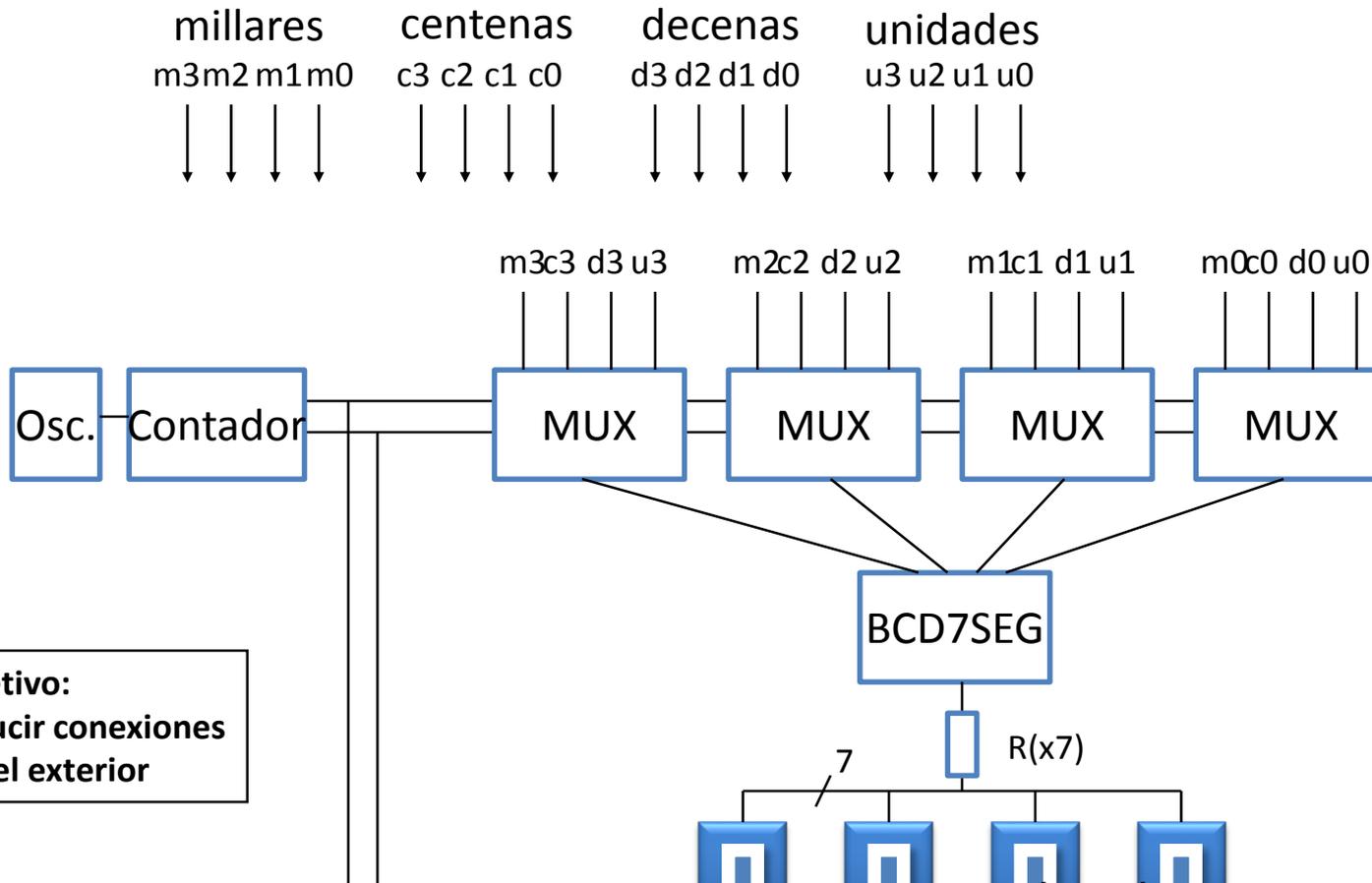
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Ejemplo: displays de 7 segmentos multiplexados



Objetivo:
Reducir conexiones
con el exterior

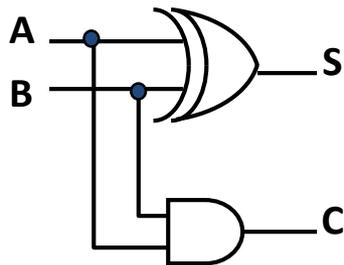
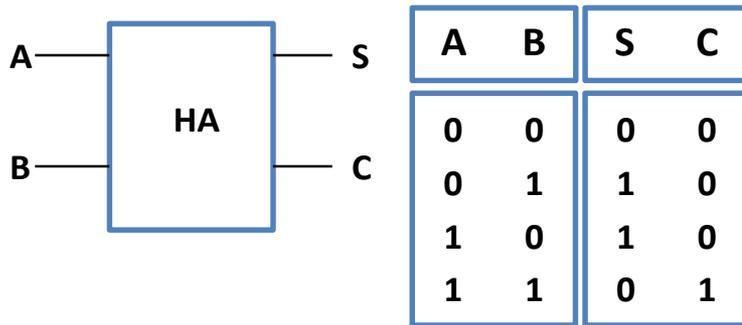
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

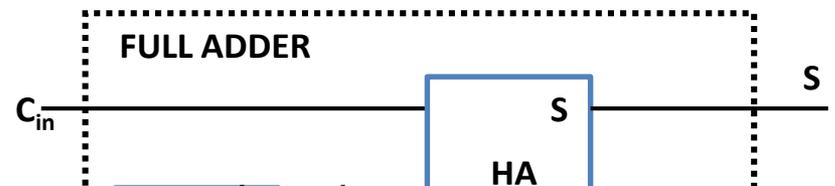
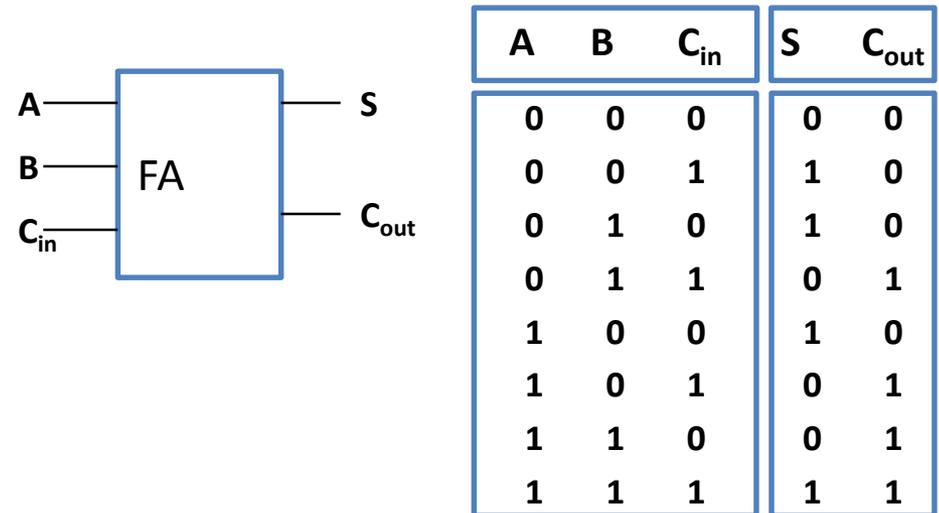
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Funciones aritméticas: sumador

Semisumador binario (Half adder)



Sumador binario (Full adder)



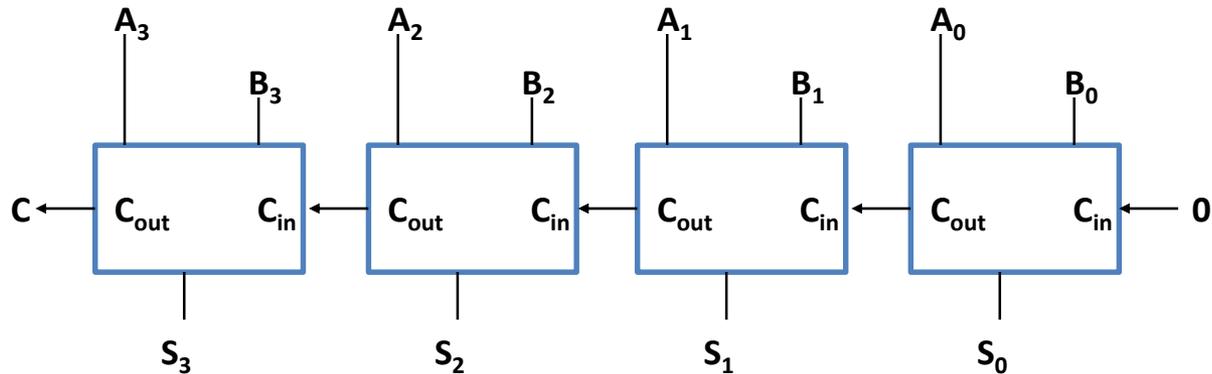
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Sumador serie

Suma de 2 números de 4 bits



Características

- Número de puertas bajo
- Retardo proporcional al número de bits

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



TEMA 4

Circuitos secuenciales – Biestables

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

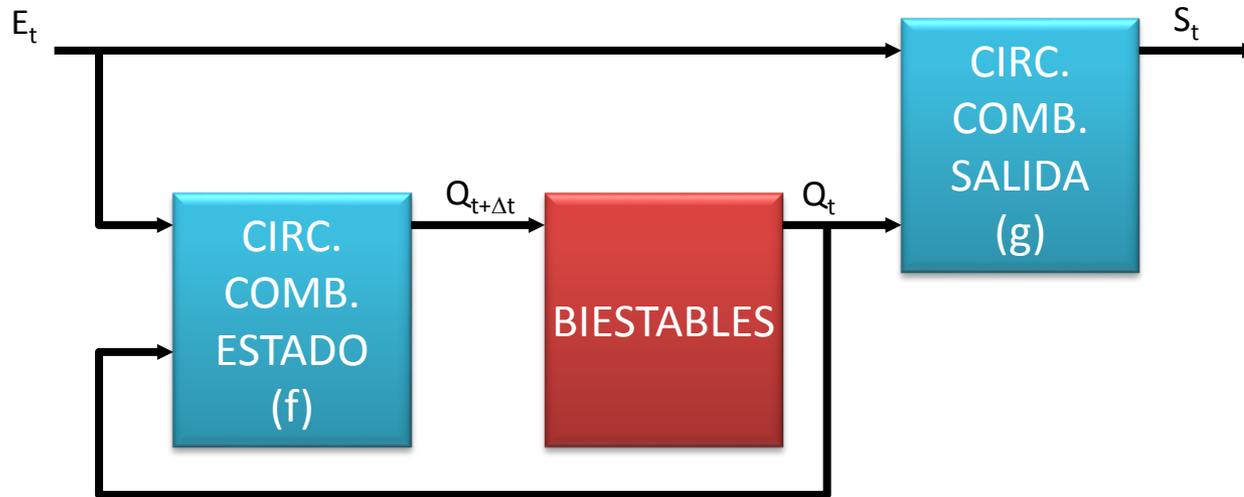
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

Circuito secuencial es aquel en el que las salidas en un instante de tiempo dependen de las entradas en ese instante de tiempo y en instantes anteriores.

La evolución pasada está almacenada en unos elementos con capacidad de **memorizar** el estado interno. Cada bit de información de estado se guarda en un **biestable**.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Circuitos asíncronos y síncronos

ASÍNCRONOS

Cambia de estado y de salida frente a un cambio de las entradas adecuado

SÍNCRONOS

Cambia de estado cuando se produce un evento de una señal especial que entra a los biestables y se denomina señal de reloj

Puede haber cambio de estado sin cambio de entradas

Clases

Nivel

Alto 

Bajo 

Flanco

Subida 

Bajada 

Los REALMENTE síncronos

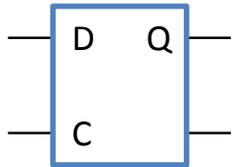
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

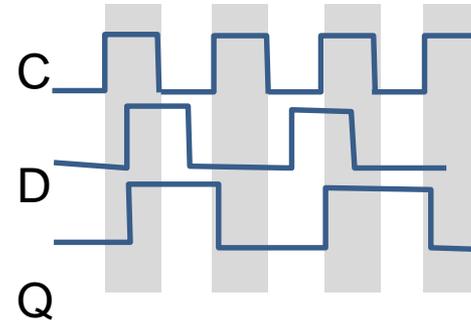
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Biestables asíncronos

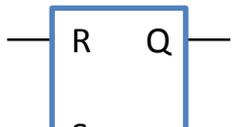
Biastable latch (asíncr.)



D	C	$Q_{t+\Delta t}$	
X	0	Q_t	Cerrado
0	1	0	
1	1	1	Modo transparente
0	\downarrow	0	
1	\downarrow	1	Captura del dato



Biastable RS



R	S	$Q_{t+\Delta t}$	
0	0	Q_t	reset
0	1	1	

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

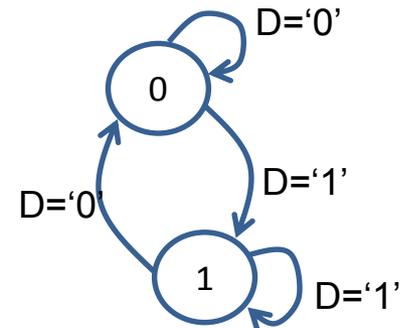
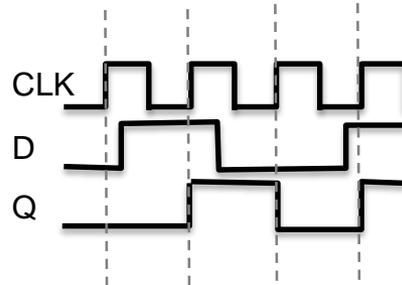
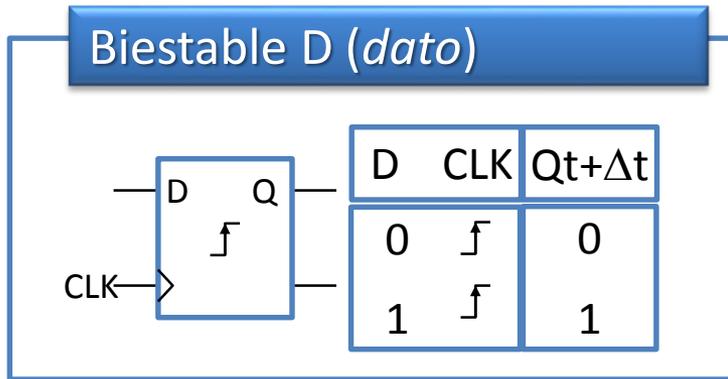
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

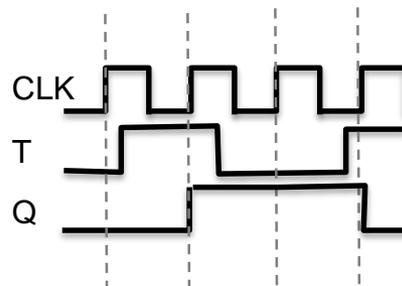
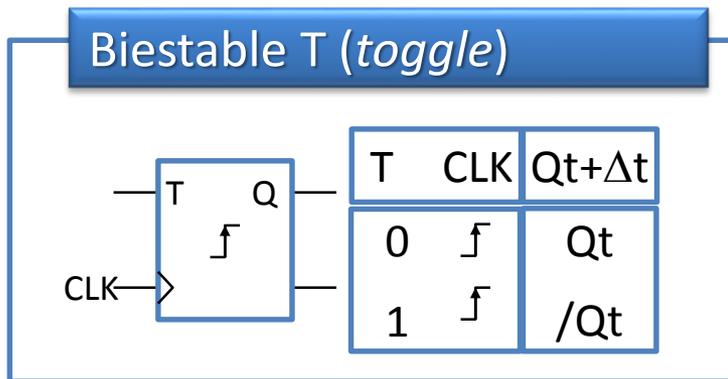
Biestables síncronos

La entrada D se muestrea en el flanco activo de CLK

Q sólo puede cambiar en ese flanco



Puede ser activo por flanco ⌈ de subida ⌋ o de bajada



La entrada T se muestrea en el flanco activo de CLK

Q sólo puede cambiar en ese flanco



Puede ser activo por flanco ⌈ de subida ⌋ o de bajada

Cartagena99

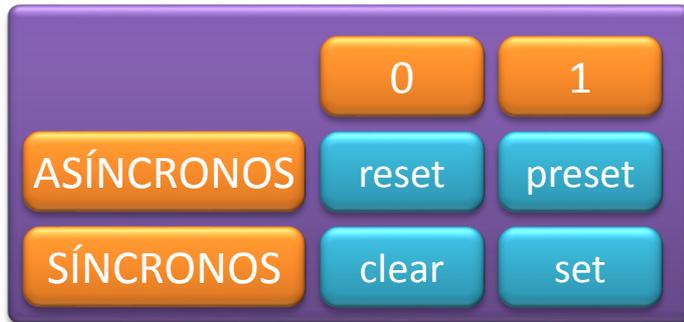
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Otras señales de los biestables

Inicialización de biestables

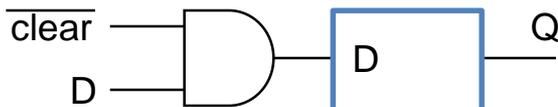


No hay acuerdo en el uso de esta terminología

La inic. asíncrona es inmediata, mientras que la síncrona se espera al primer flanco activo de reloj

Las señales de inicialización suelen ser activas por nivel bajo (la acción se produce cuando la señal es 0)

Ejemplo:
Biestable D con clear



Ejemplo:
Biestable D con reset



La inic. síncrona se puede considerar como parte de la funcionalidad

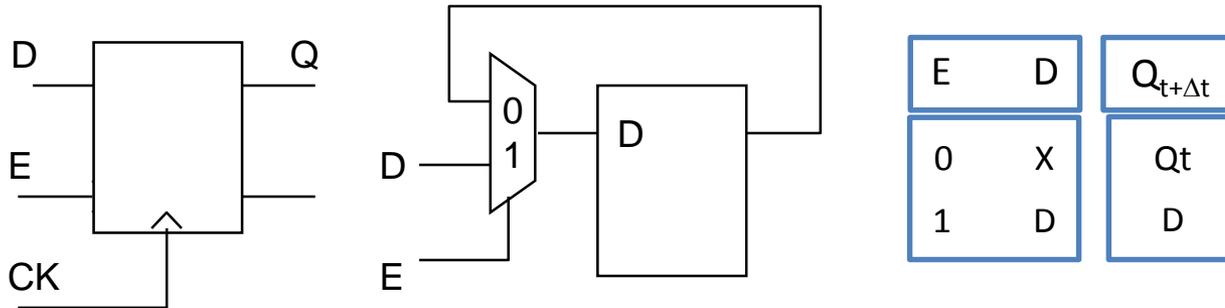
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Otras señales de los biestables

Señal de enable (carga) en biestables D



No confundir este enable con el combinacional

Ejemplo: A partir de un biestable D, construir un T con clear, reset y carga

Orden: reset > clear > carga > T

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Características temporales de los biestables

A Restricciones biestable

→ Duración del reloj

$t_{1,min}$

$t_{0,min}$

frec. máxima: $f_{max} = 1 / (t_{1,min} + t_{0,min})$

→ Duración de las señales de inicialización asíncronas

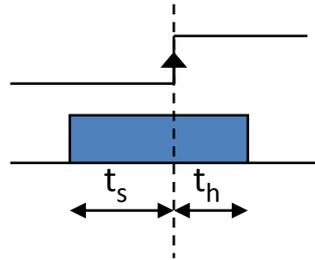
$t_{reset,min}$

$t_{preset,min}$

→ Tiempos de inserción de las señales de dato, toggle, etc.

t_{setup}

t_{hold}



B Retardos

C Restricciones circuitos

→ Compatibilidad propia

$$t_{CK,Q} > t_{hold}$$

→ frec. máxima circuito

$$f_{max} = \frac{1}{(t_{CK,Q} + t_{crítico} + t_{setup})}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TEMA 5

Circuitos secuenciales – Aplicaciones

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

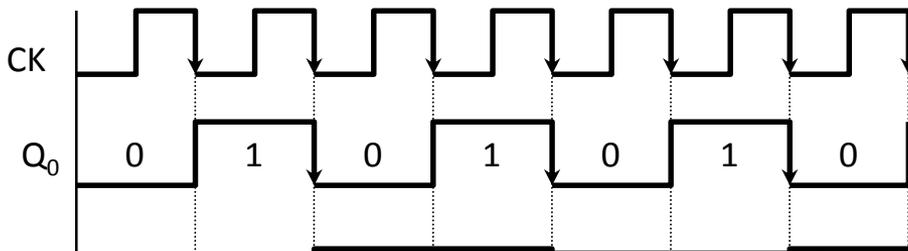
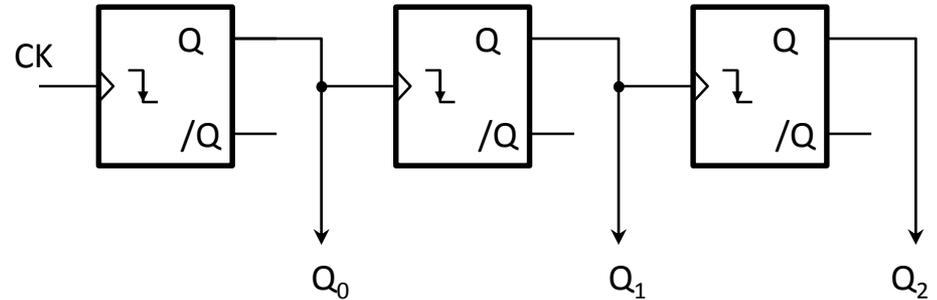
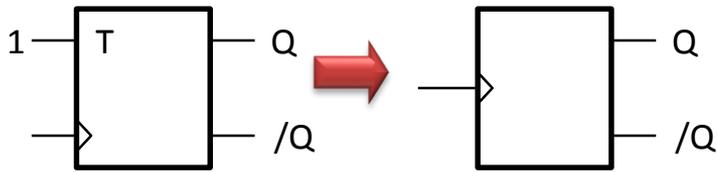


Contadores

Contador asíncrono de n bits – Divisor de frecuencia

Notación:

Contador de 3 bits



Aunque los biestables son síncronos, el reloj no es común a todos ellos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Contadores

Contadores ascendentes y descendentes



¿Cómo hacer un contador up-down?

No sirve multiplexar las Qs o las /Qs, ya que habría 'saltos' en la cuenta.

Solución:

Cambiar el flanco activo

000	— > —	111
001		110
010		101
011		100
100		011
101		010
110		001
111		000

Cartagena99

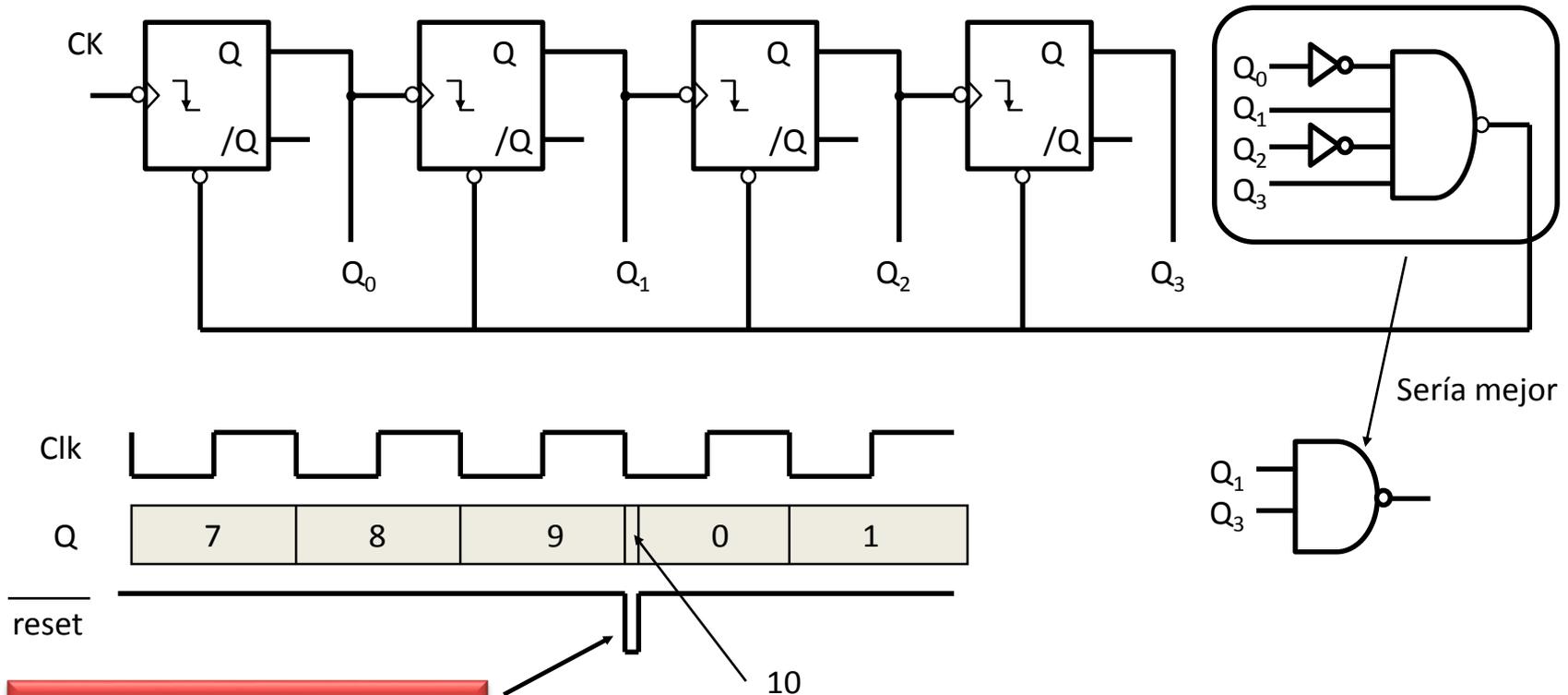
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Contadores

Contadores de 0 a $n = 2^m$. Ejemplo: Contador de 0 a 9



POSIBLES PROBLEMAS II

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Contadores

Contadores síncronos

Contador síncrono de 1 bit

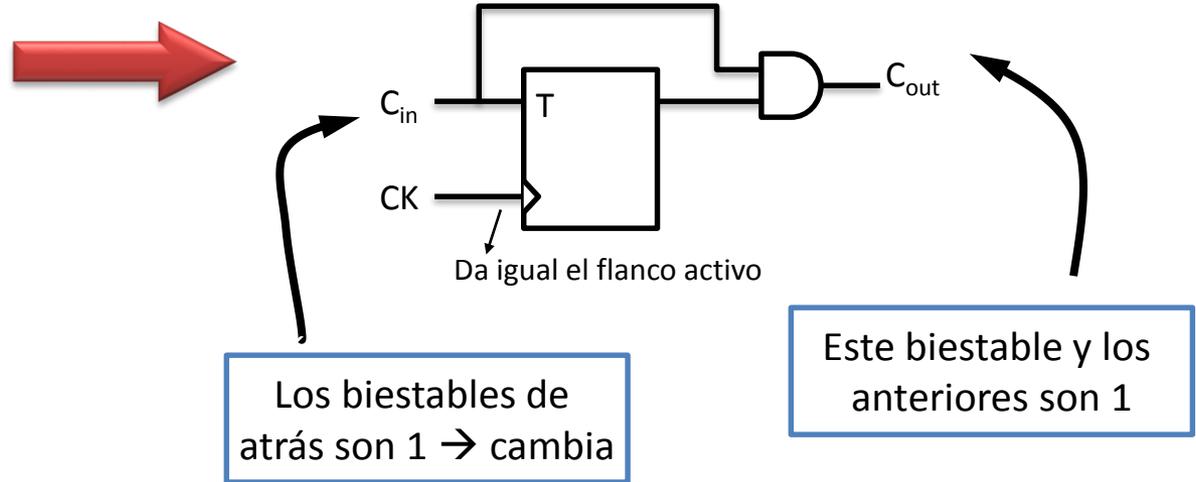


Tabla de estados

Cin	Qt	Cout	Qt+Δt
0	0	0	0
0	1	0	1

Diagrama de estados: C_{in}/C_{out}

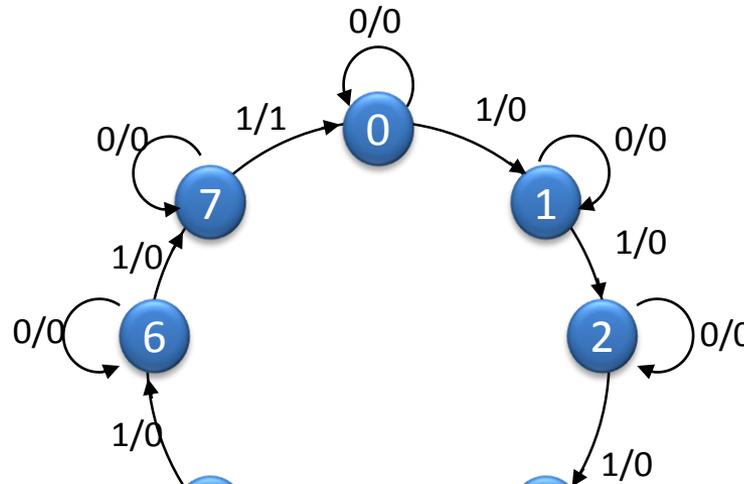
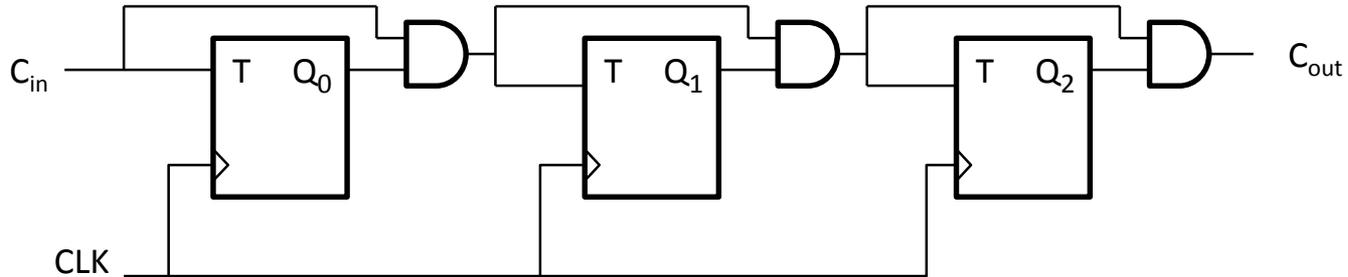
E_t/S_t 1/0
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Contadores

Ejemplo: Contador síncrono de 3 bits



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

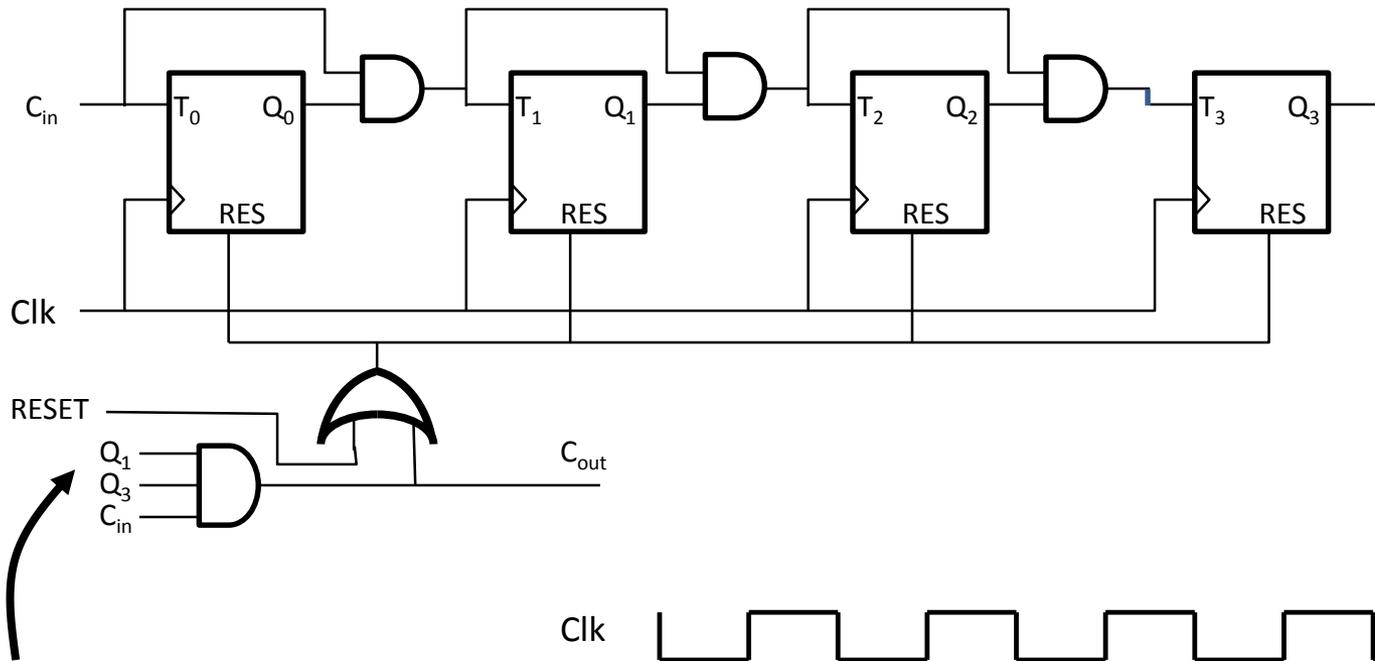
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

0/0

Cartagena99

Contadores

Ejemplo: Contador síncrono de 0 a 9



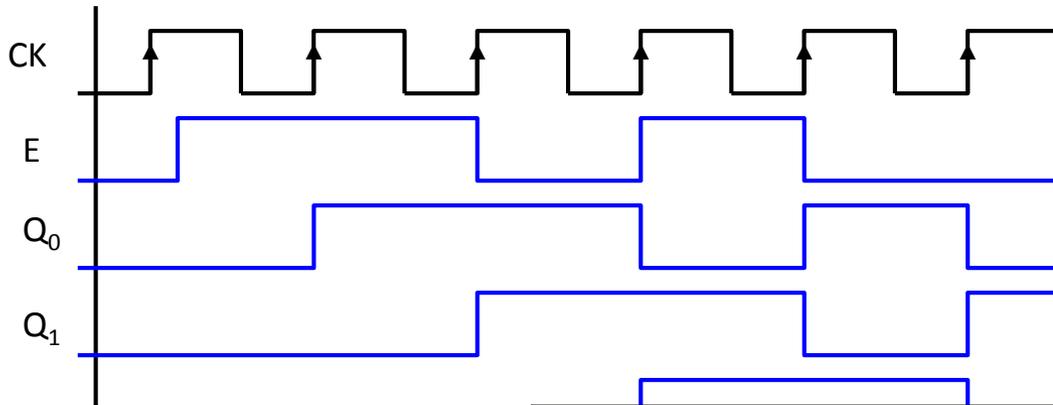
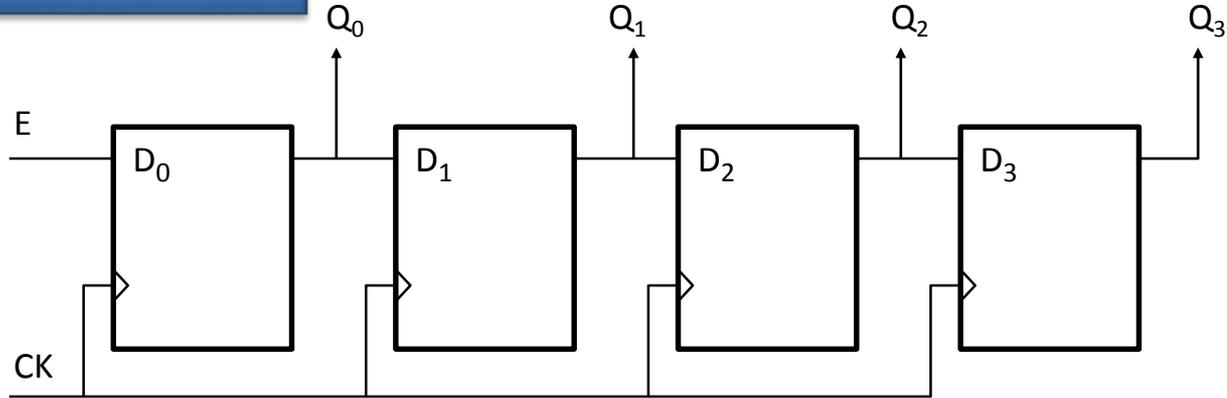
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Registros

Registros de desplazamiento



Interpretación de salidas:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

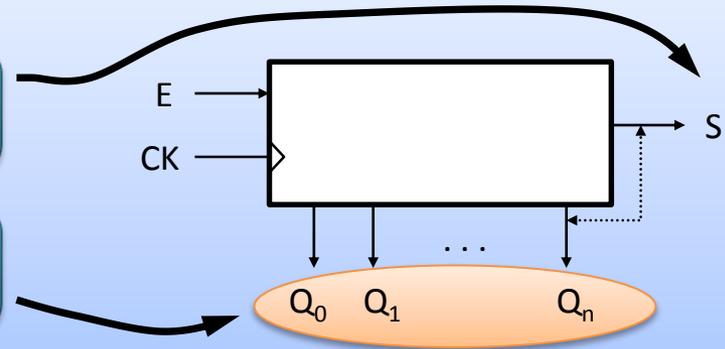


Registros

Tipos de registros

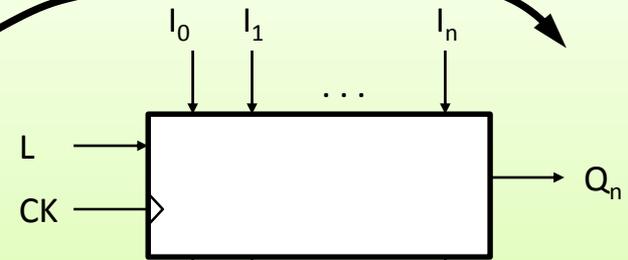
Serial Input - Serial Output (SISO)

Serial Input - Parallel Output (SIPO)



Parallel Input - Serial Output (PISO)

Parallel Input - Parallel Output (PIPO)



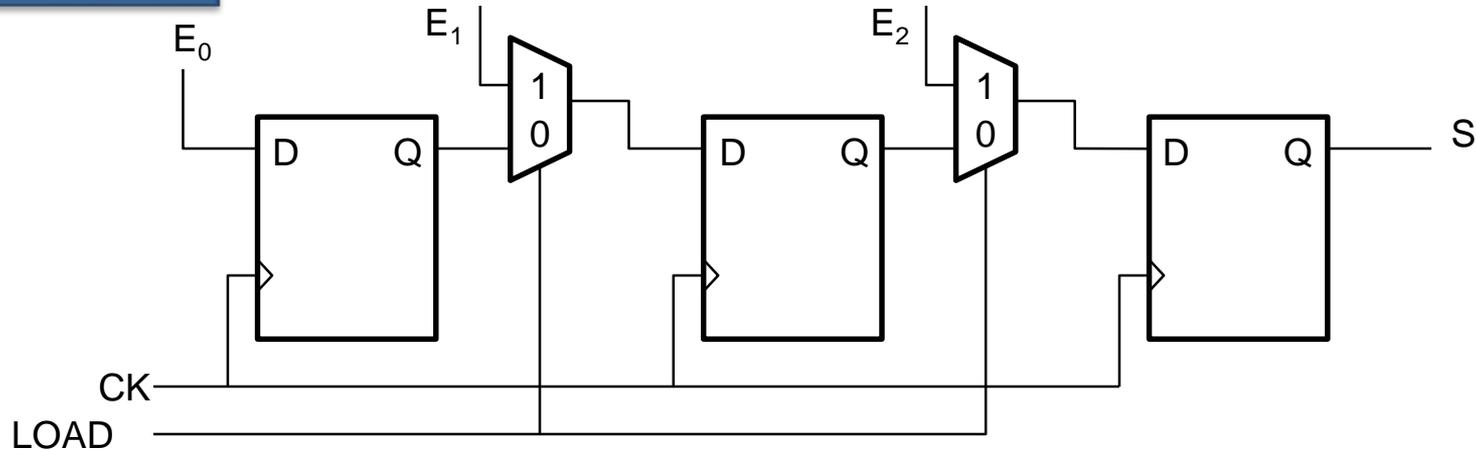
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Registros

Registro PISO



Si LOAD = '1', carga en paralelo E2, E1, E0
Si LOAD = '0', desplaza

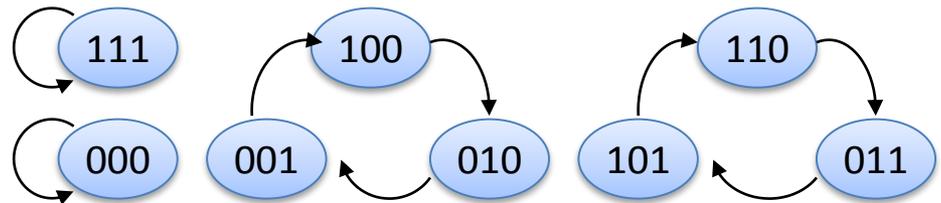
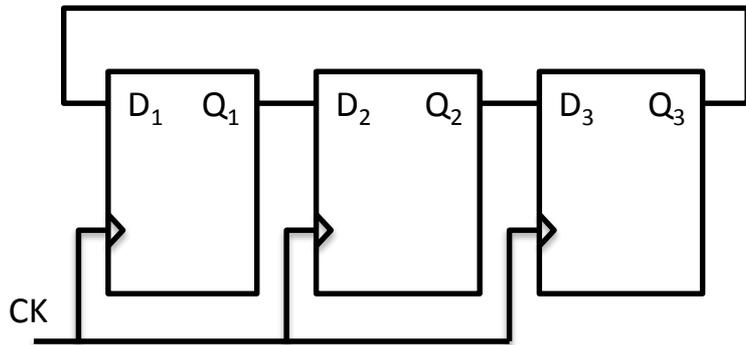
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

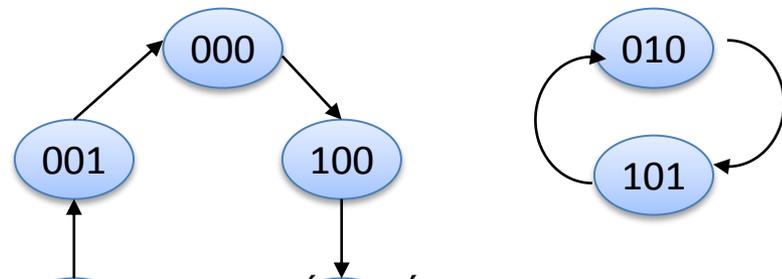
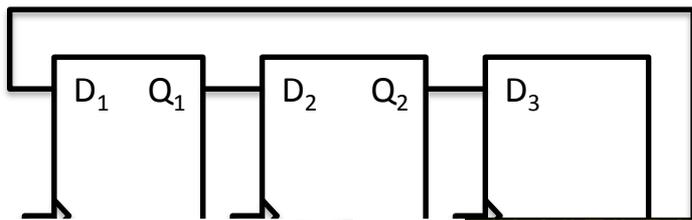
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Contadores con registros de desplazamiento

Contador en anillo



Contador Johnson



Cartagena99

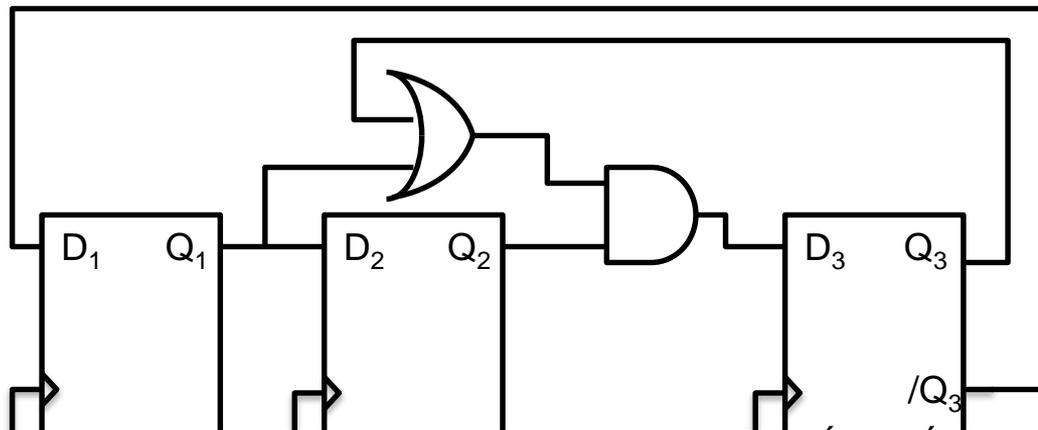
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diagramas de estado

Ejemplo: Para el circuito de la figura, deducir:

- Tabla de estados y diagrama de estados
- Función del circuito
- Decodificar los estados principales del circuito



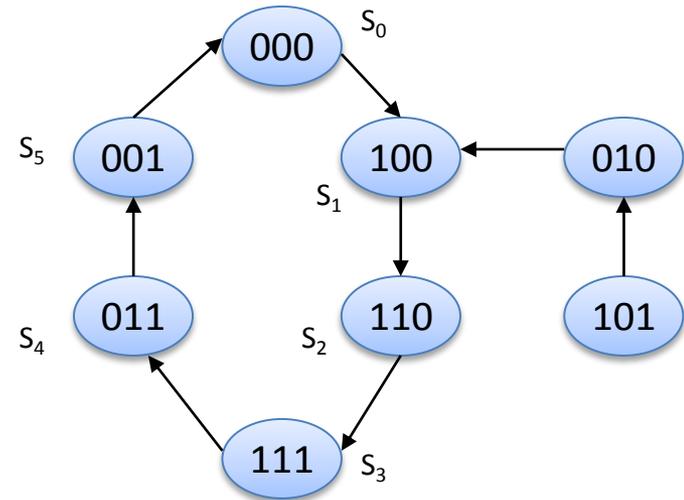
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diagramas de estado

Q_1	Q_2	Q_3	Q'_1	Q'_2	Q'_3
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1



Es un contador Johnson de 6 estados (3 bits) con autoinicio

Q_1	Q_2	Q_3	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0

$$S_0 = \neg Q_1 \neg Q_3$$

$$S_1 = Q_1 \neg Q_2$$

$$S_2 = Q_2 \neg Q_3$$

$$S_3 = Q_1 Q_2$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70