

# 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

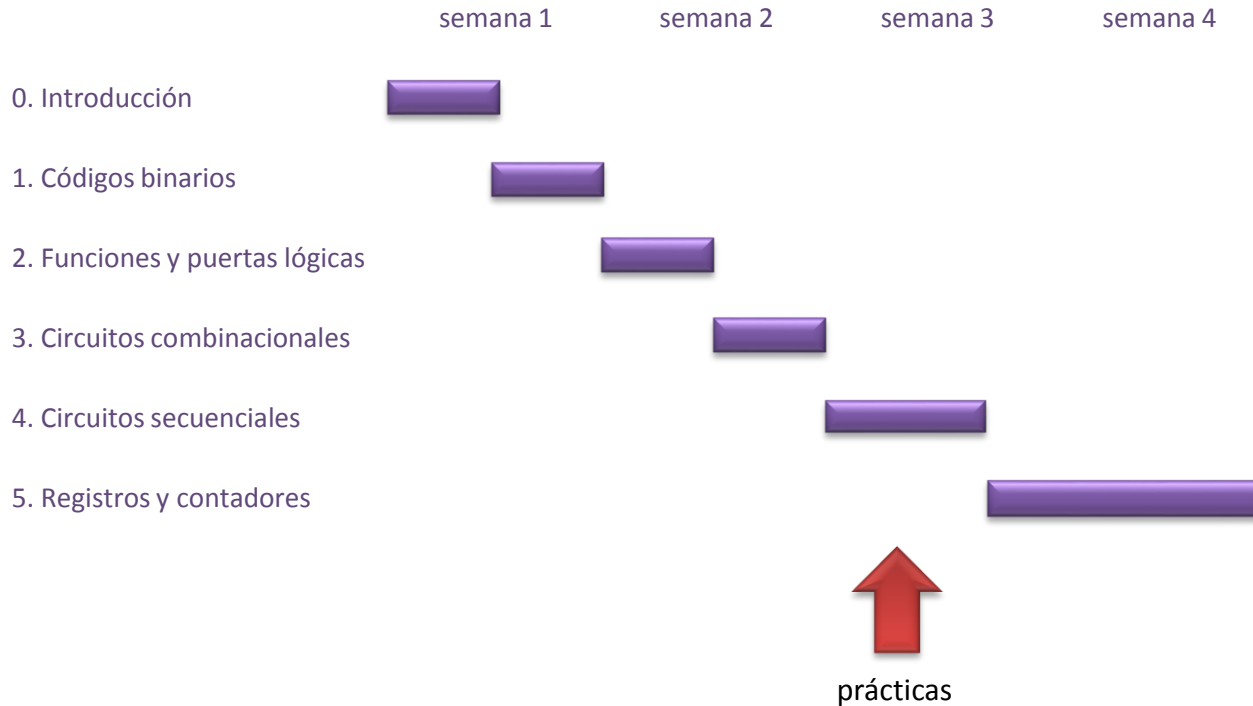
- - -

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

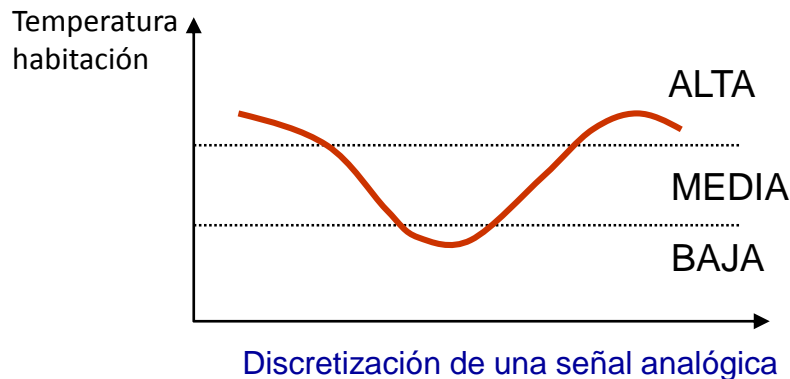
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

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

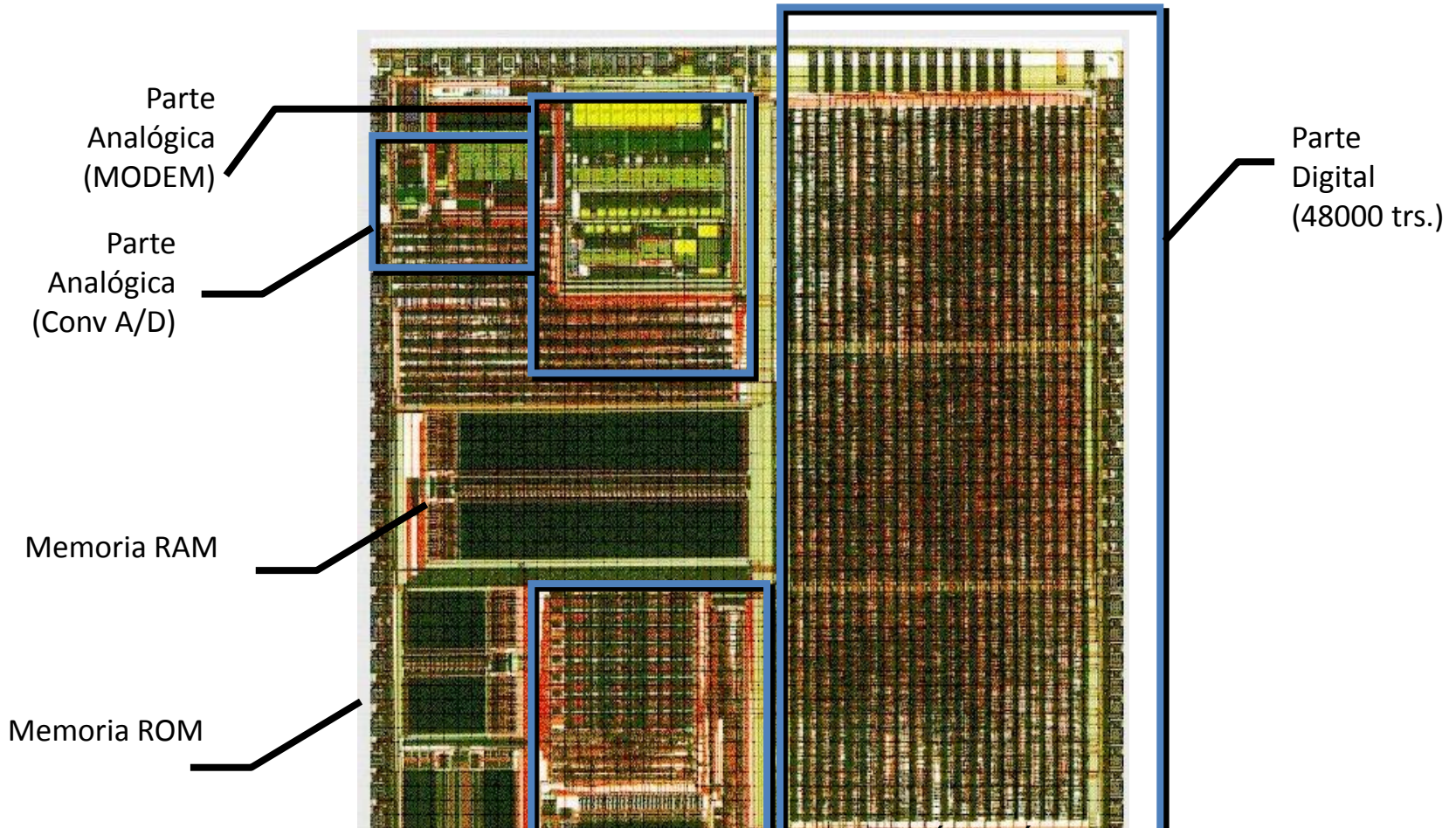
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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



# Integración de funciones analógicas y digitales



Cartagena99

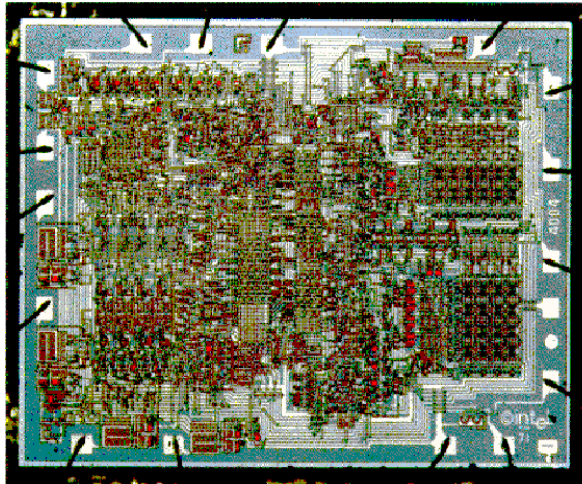
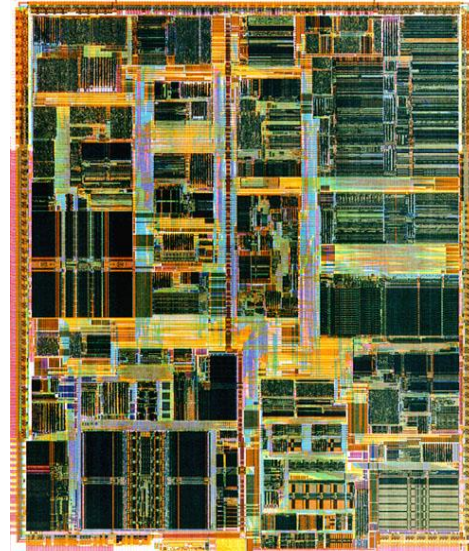
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

# Ejemplo: evolución de los procesadores

**Pentium II (1996) 10.000.000 trs.**

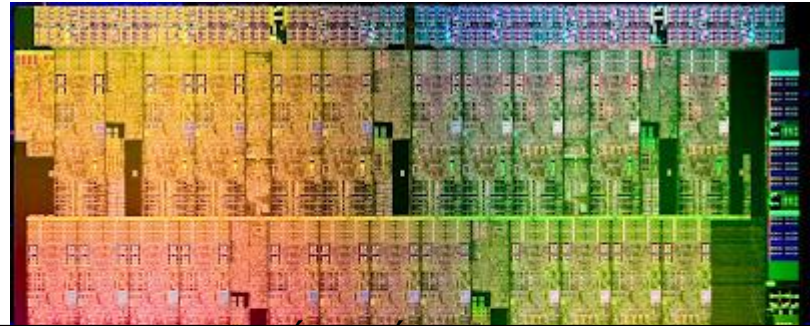


**Intel 4004 (1970) 1.500 trs.**

**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

---

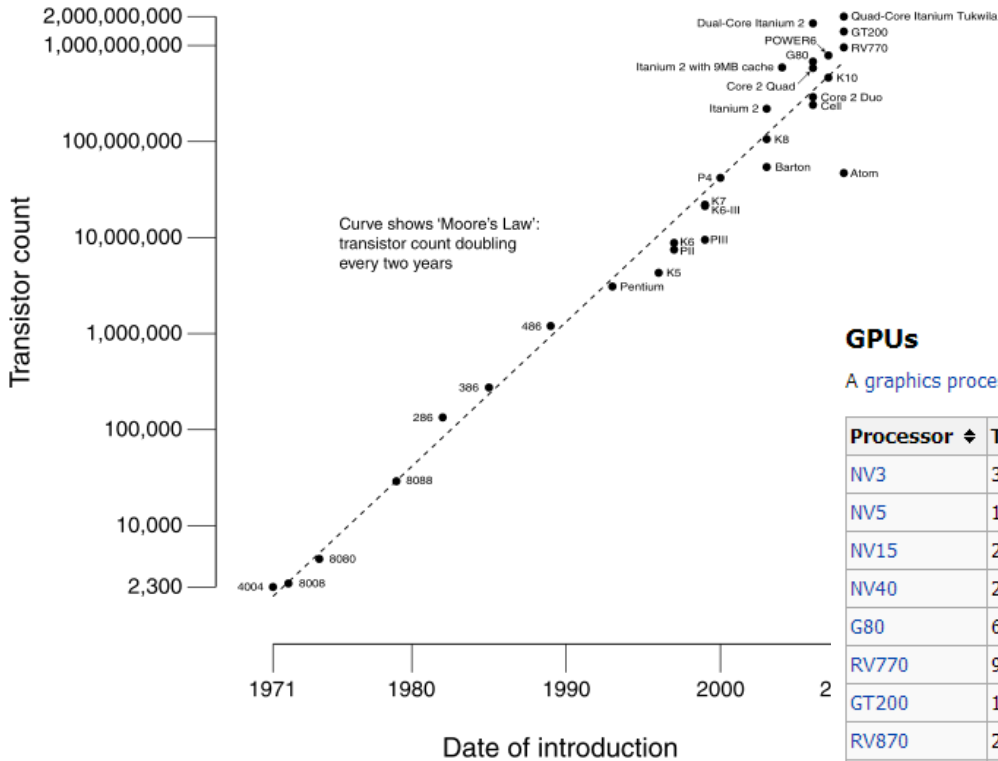
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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 <sup>2</sup>
G80	681,000,000	2006	NVIDIA	90 nm	480 mm <sup>2</sup>
RV770	956,000,000 <sup>[10]</sup>	2008	AMD	55 nm	260 mm <sup>2</sup>
GT200	1,400,000,000 <sup>[11]</sup>	2008	NVIDIA	55 nm	576 mm <sup>2</sup>
RV870	2,154,000,000 <sup>[12]</sup>	2009	AMD	40 nm	334 mm <sup>2</sup>
Cayman	2,640,000,000	2010	AMD	40 nm	389 mm <sup>2</sup>
1st GF100	3,200,000,000 <sup>[13]</sup>	Mar 2010	NVIDIA	40 nm	526 mm <sup>2</sup>

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

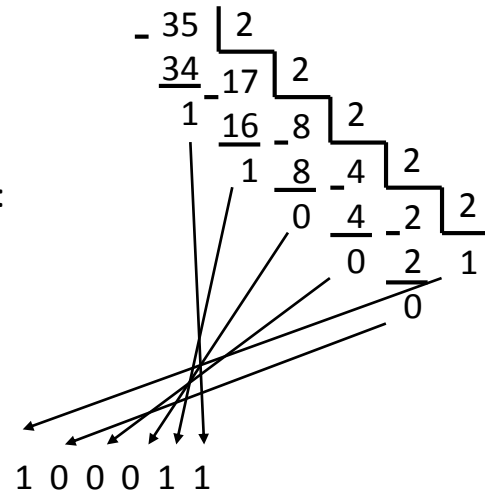
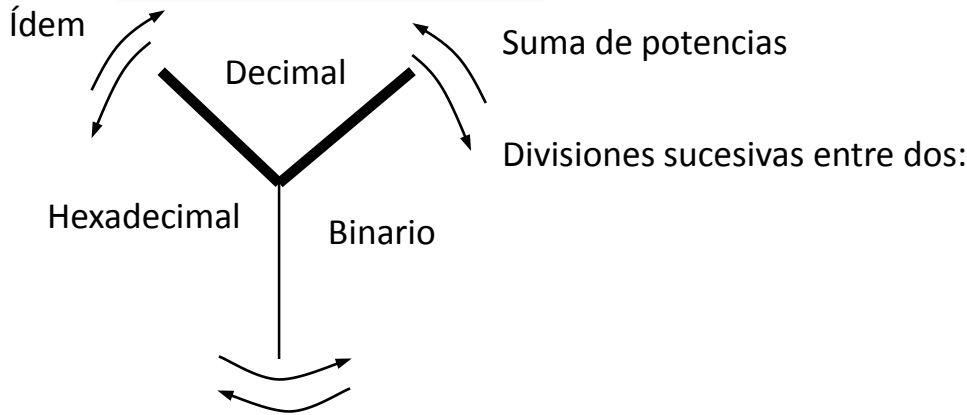
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

**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 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

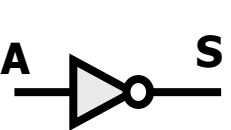
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

# Puertas lógicas

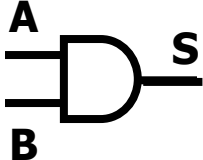
**INVERSOR**



A	S
0	1
1	0

7404 (6x1input)

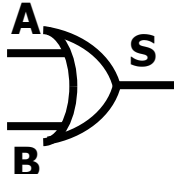
**AND**



A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

7408 (4x2inputs)

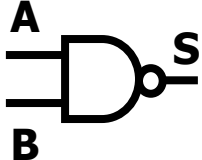
**OR**



A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

7432 (4x2inputs)

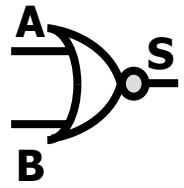
**NAND**



A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

7400 (4x2inputs)


**NOR**



A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0


7402 (4x2inputs)

**XOR**



A	B	S
0	0	0
0	1	1

**XNOR**



A	B	S
0	0	1
0	1	0

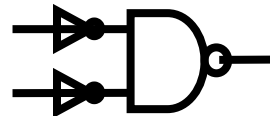
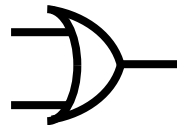
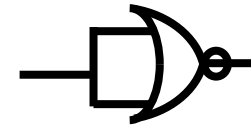
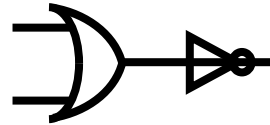
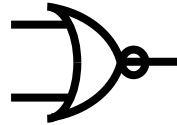
Cartagena99

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

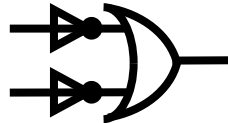
# Equivalencia entre puertas



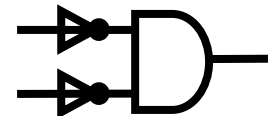
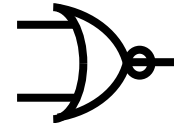
De Morgan



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



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



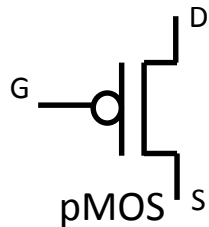
Cartagena99

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

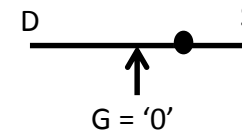
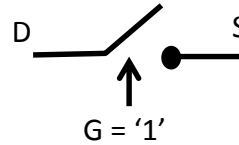
---

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

# La lógica del transistor (tecnología CMOS)

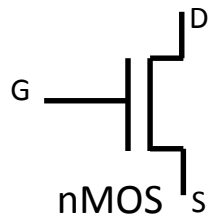


Se activa con un '0' en la G  
Conduce "bien" los '1s'

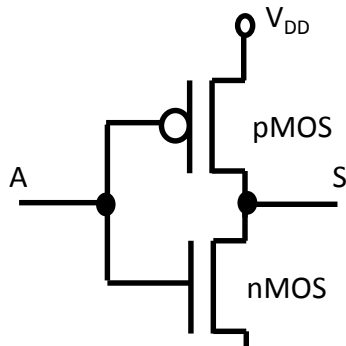
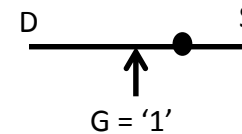
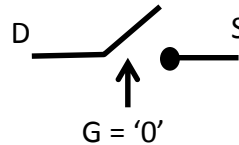


'1' =  $V_{DD}$

'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  $\rightarrow S = '1'$  ( $S = V_{DD}$ )

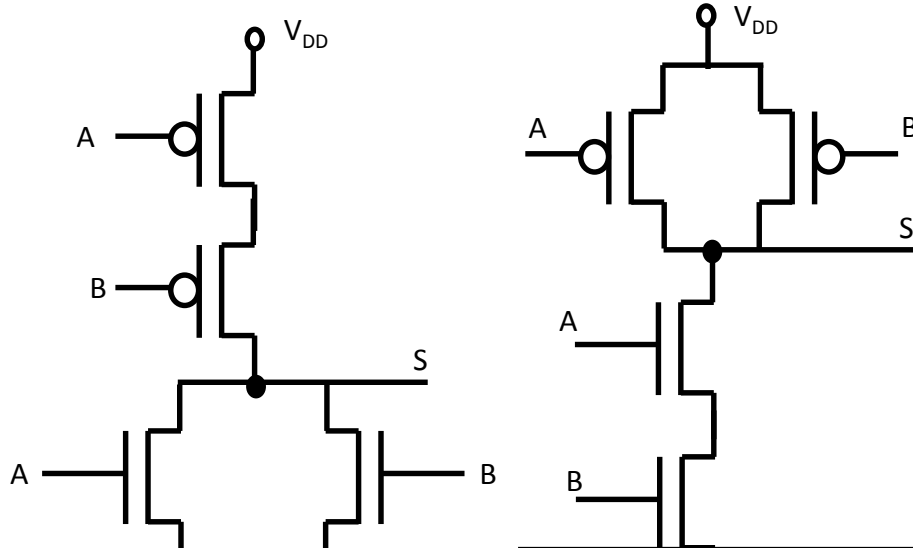
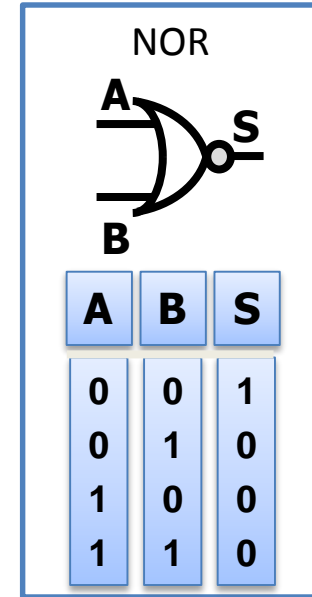
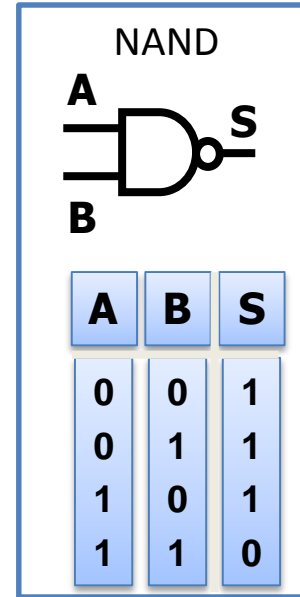
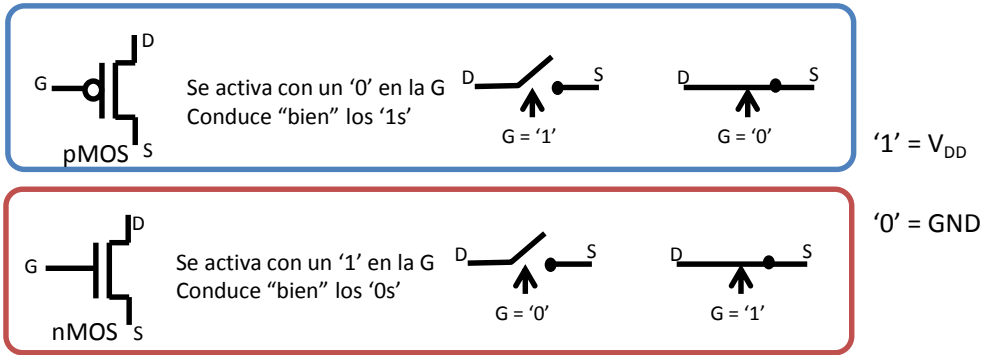
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

Cartagena99



# 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

---

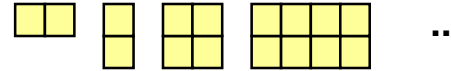
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Minimización de funciones lógicas

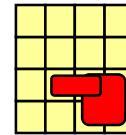
¿Qué hemos hecho?

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

UPMDE

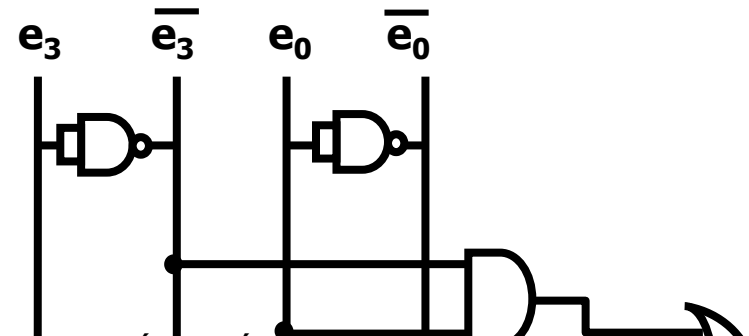
# Minimización de funciones lógicas: ejemplo

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

$e_3 e_2$ \ $e_1 e_0$	00	01	11	10
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

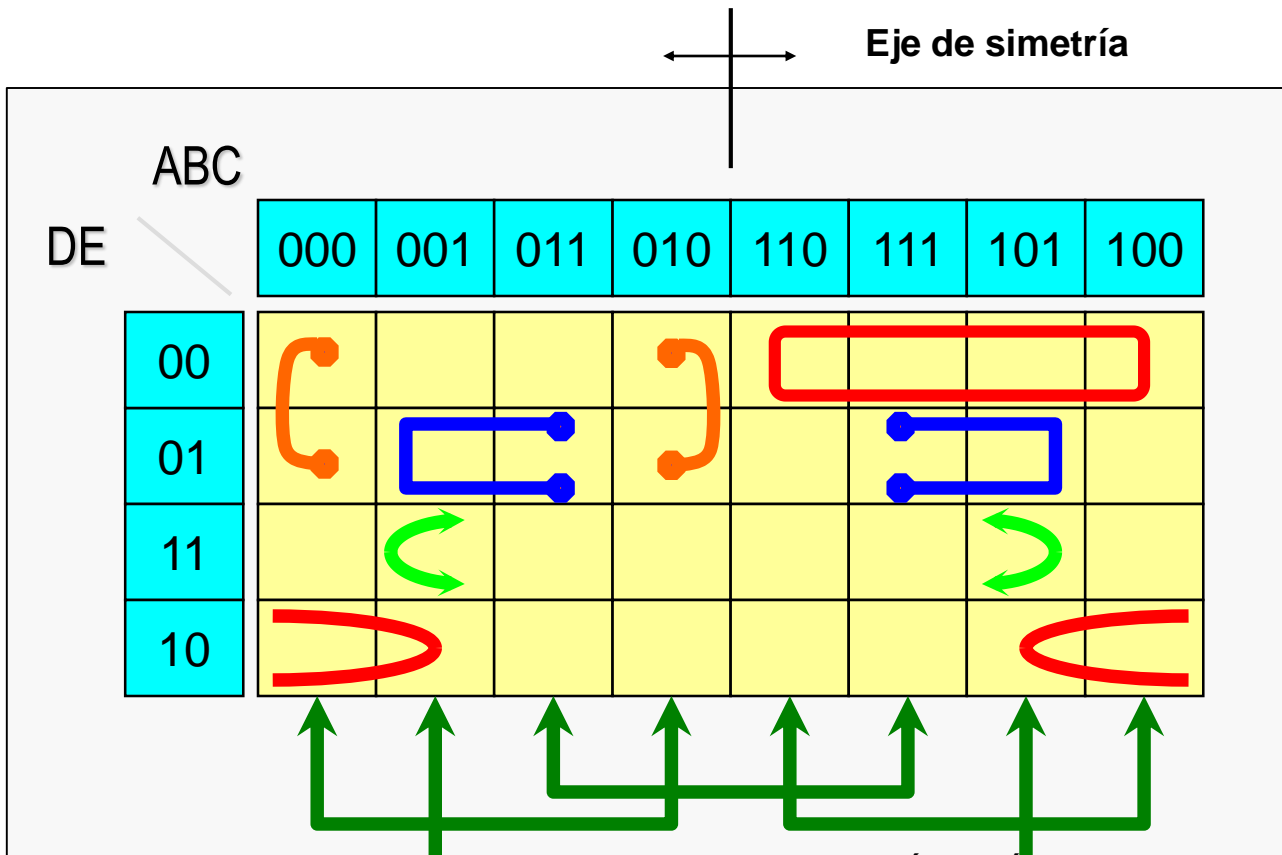
---

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

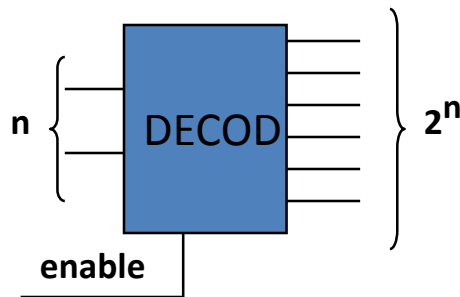
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

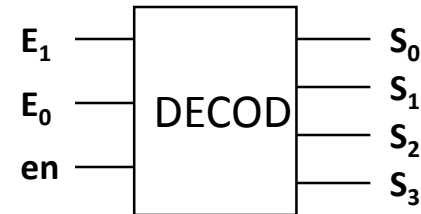
# Decodificadores y codificadores

## 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

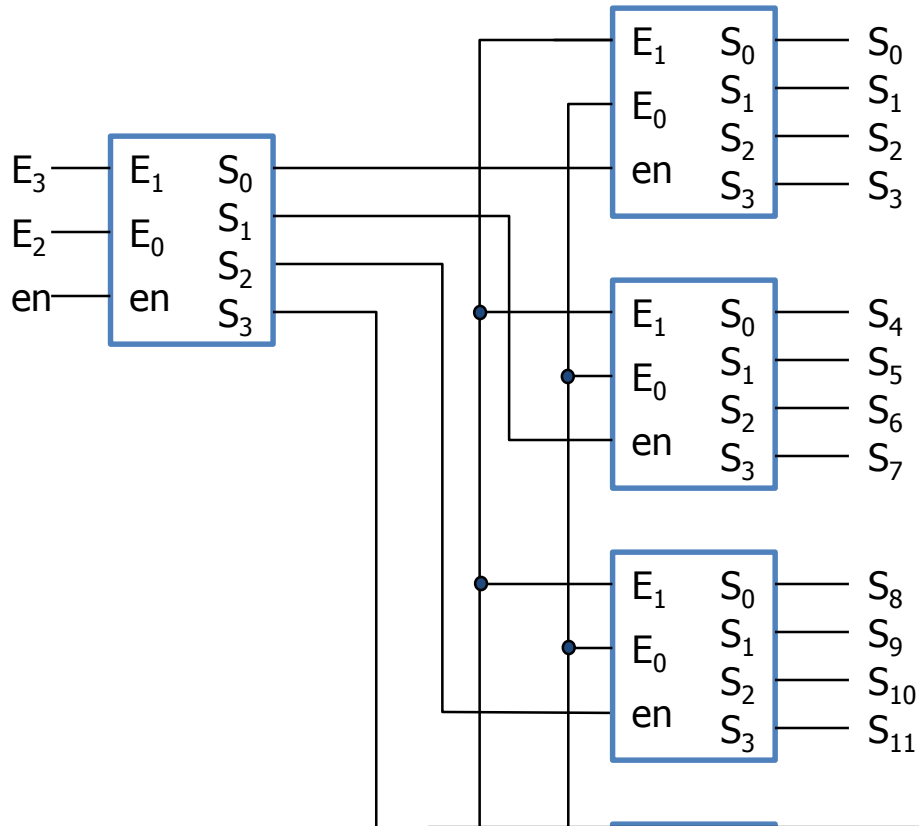
---

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

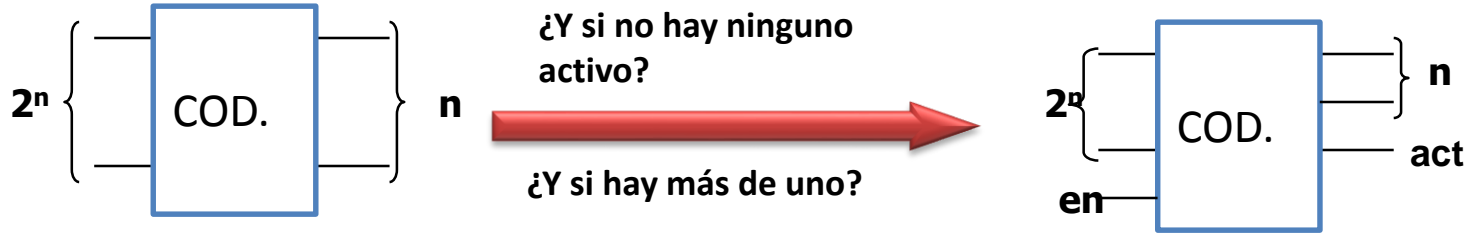
---

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 <sub>0</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	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

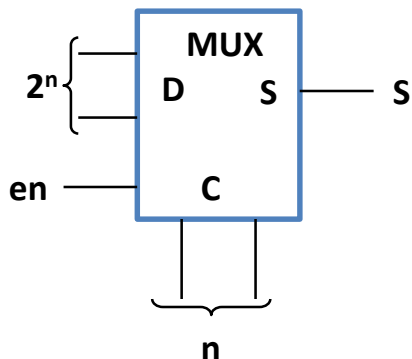
---

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

Cartagena99

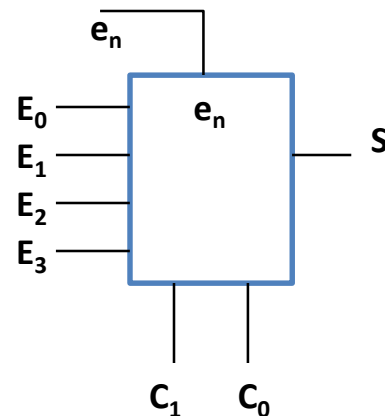
# Multiplexores y demultiplexores

## Multiplexor (MUX)

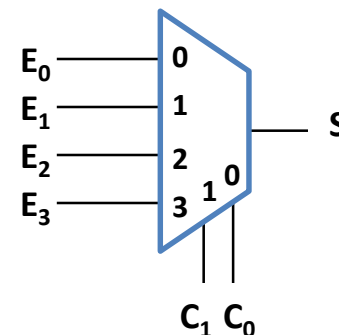


La entrada de datos correspondiente al número codificado en binario en las señales de control se conecta a la salida

en	E <sub>0</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	S
0	X	X	X	X	X	X	0



Símbolo propio:



Comerciales

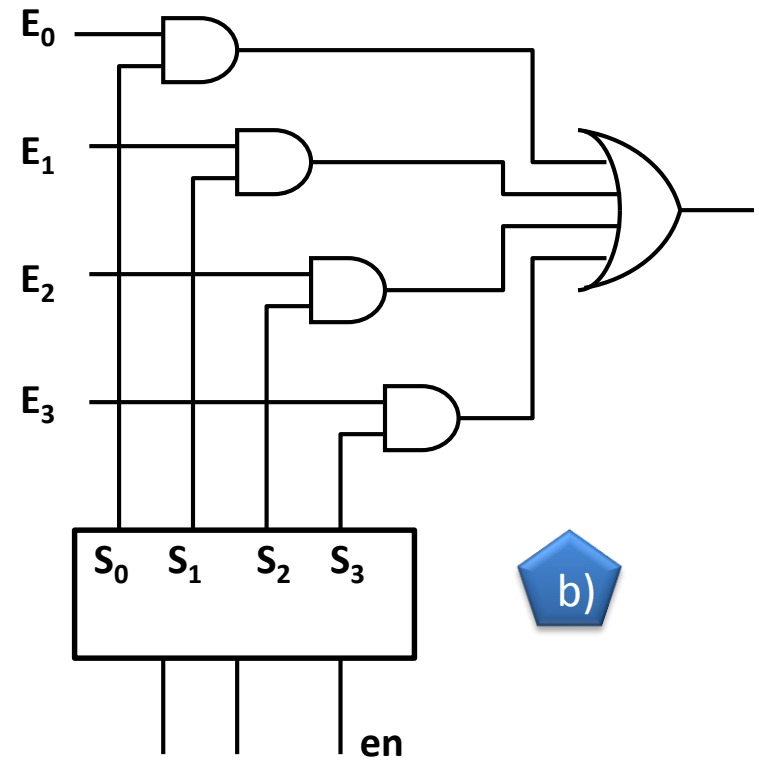
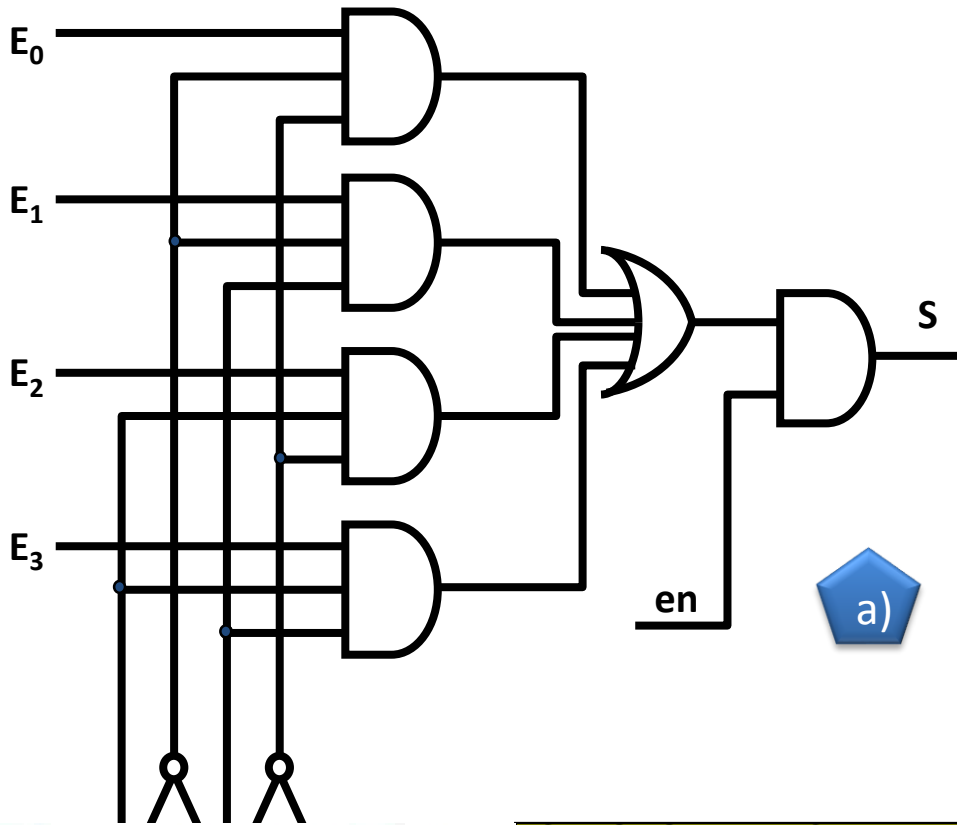
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

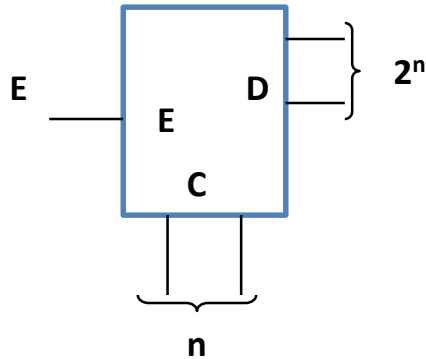
Cartagena99

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

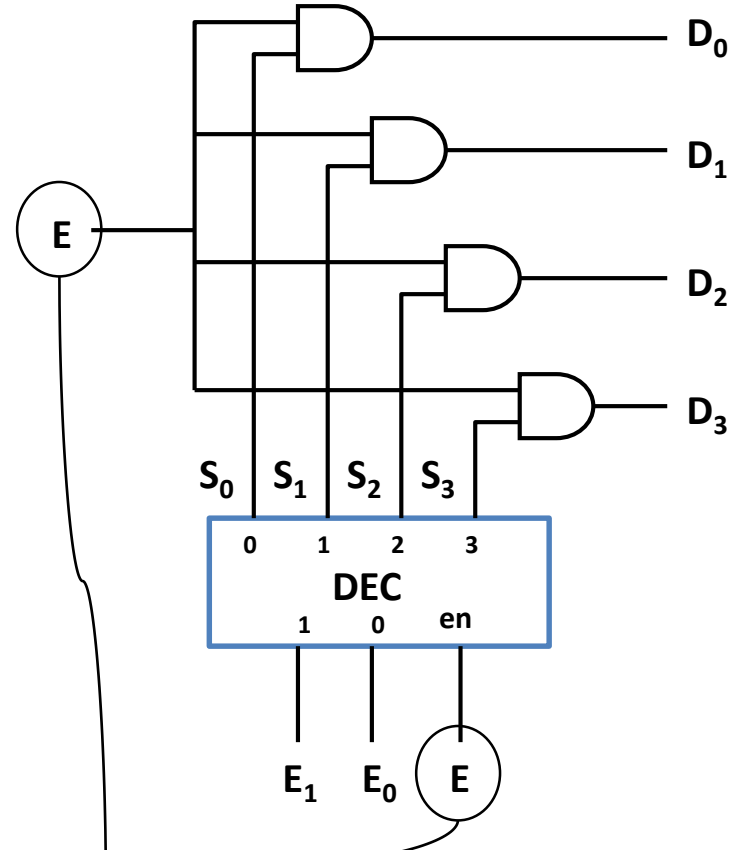
- - -

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



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

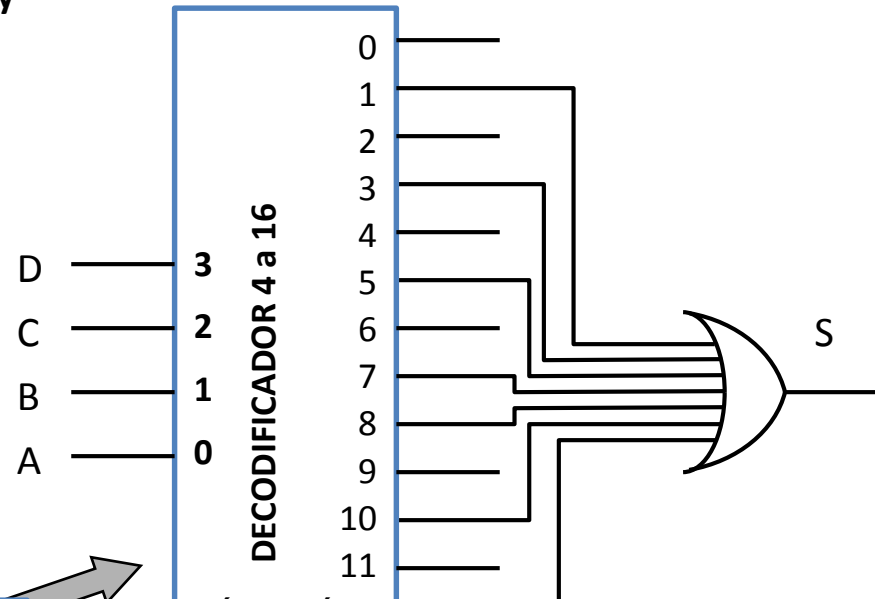
# Funciones lógicas mediante decodificadores/mux

## 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

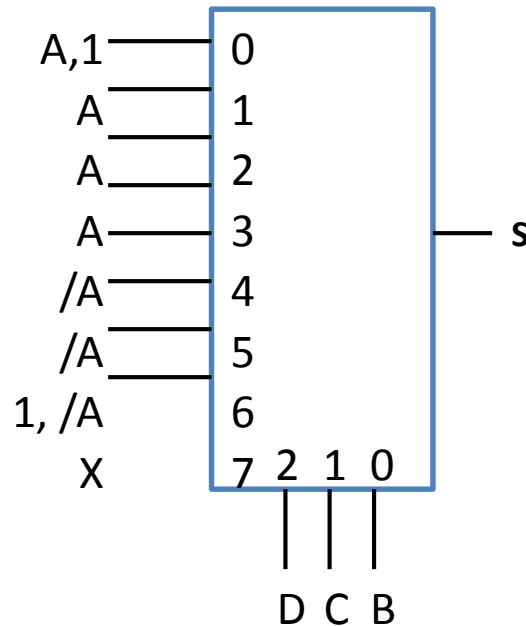
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

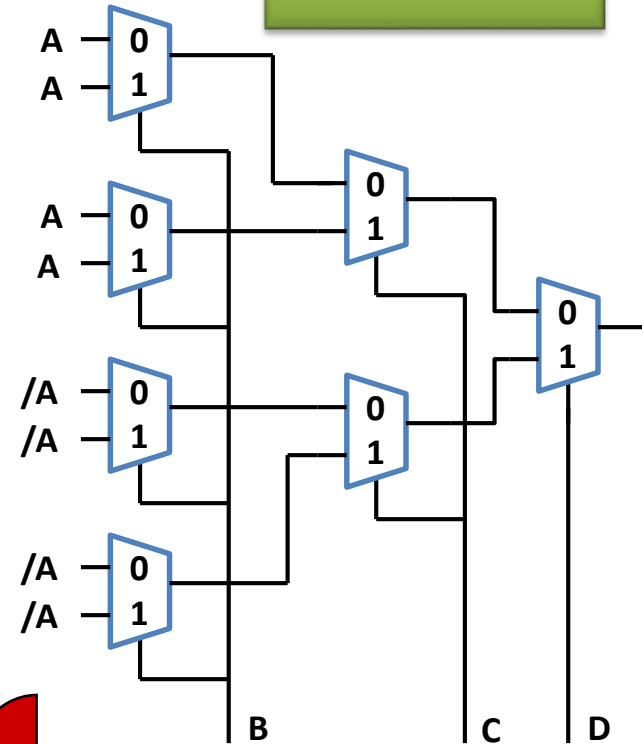
# Funciones lógicas mediante decodificadores/mux

**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

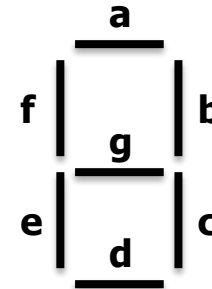
---

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

# Convertidores de código

## A) Convertidor BCD a 7 segmentos

E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>0</sub>	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

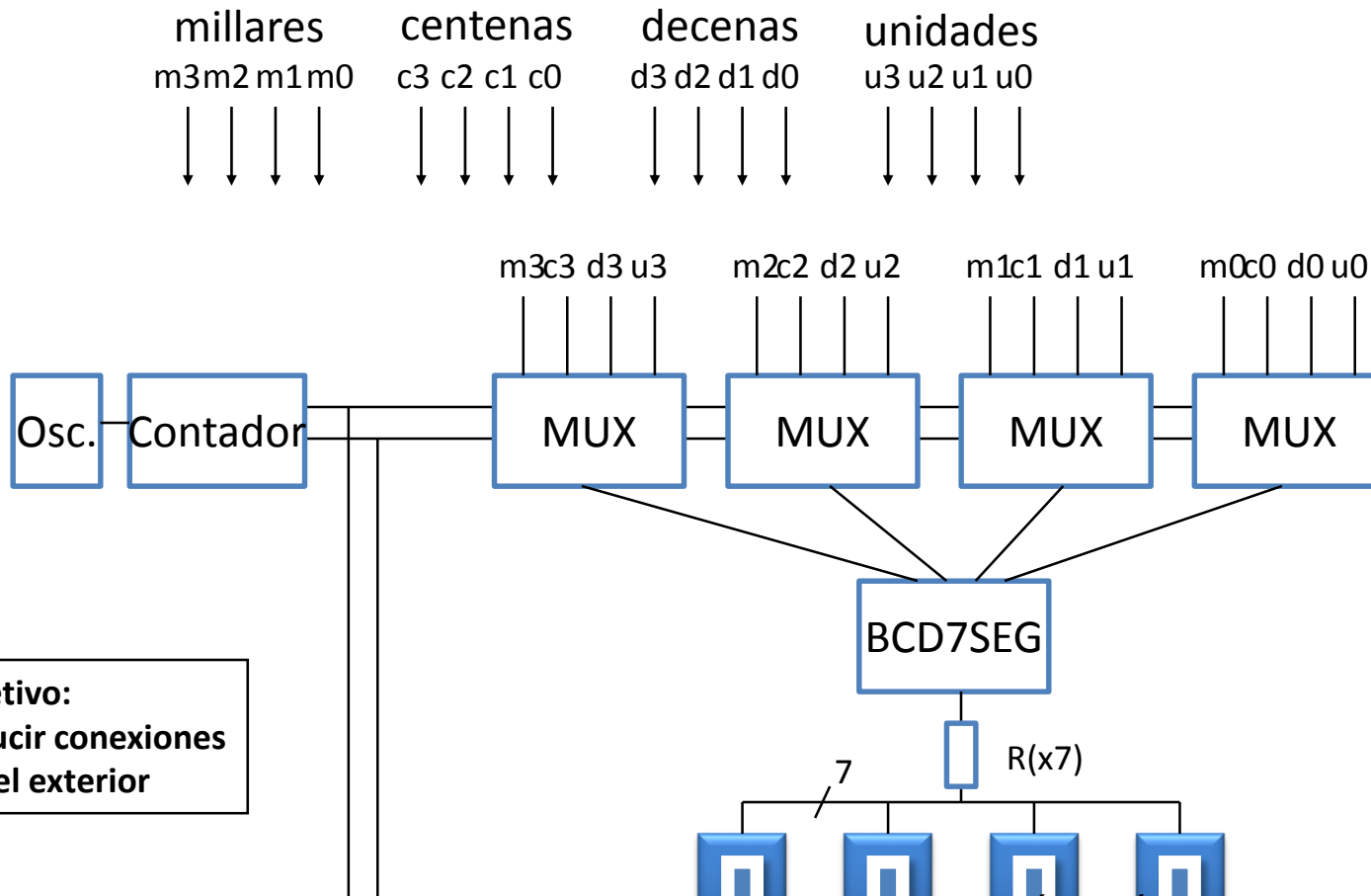
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

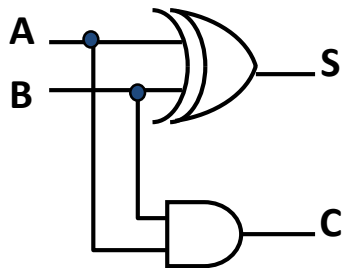
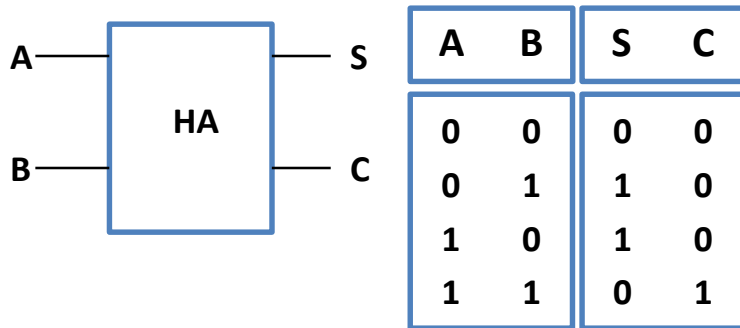
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

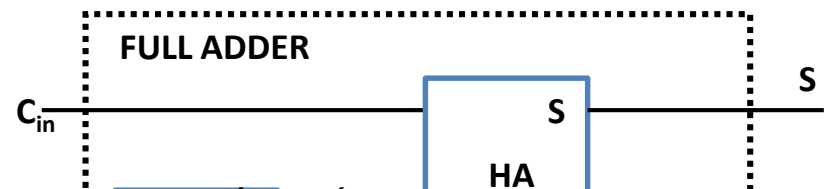
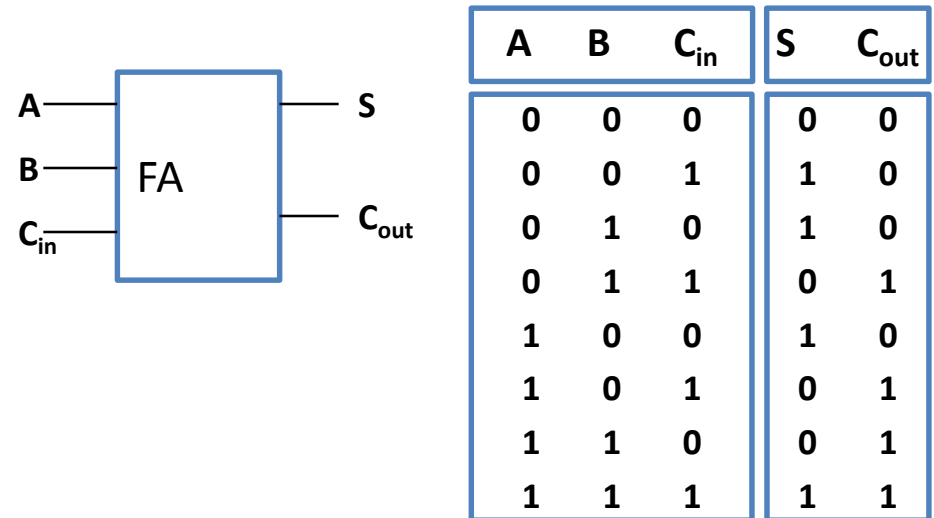
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Funciones aritméticas: sumador

## Semisumador binario (Half adder)



## Sumador binario (Full adder)



Cartagena99

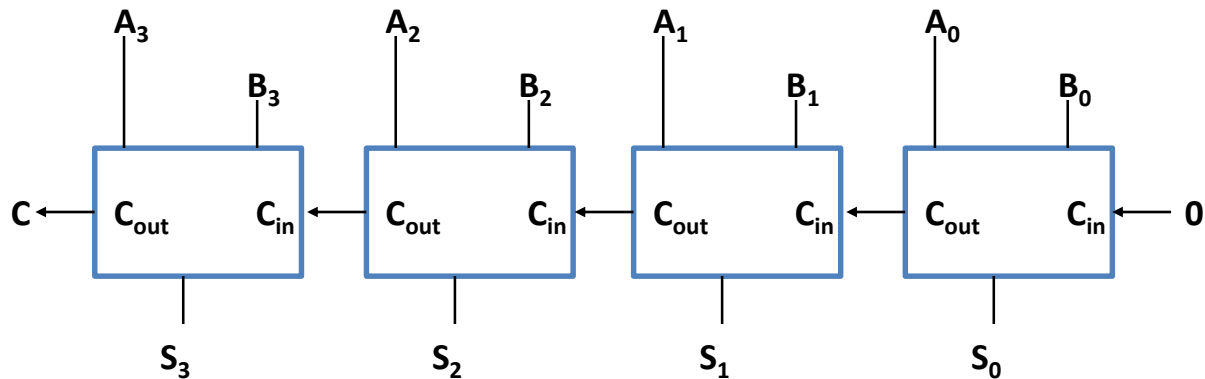
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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 ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

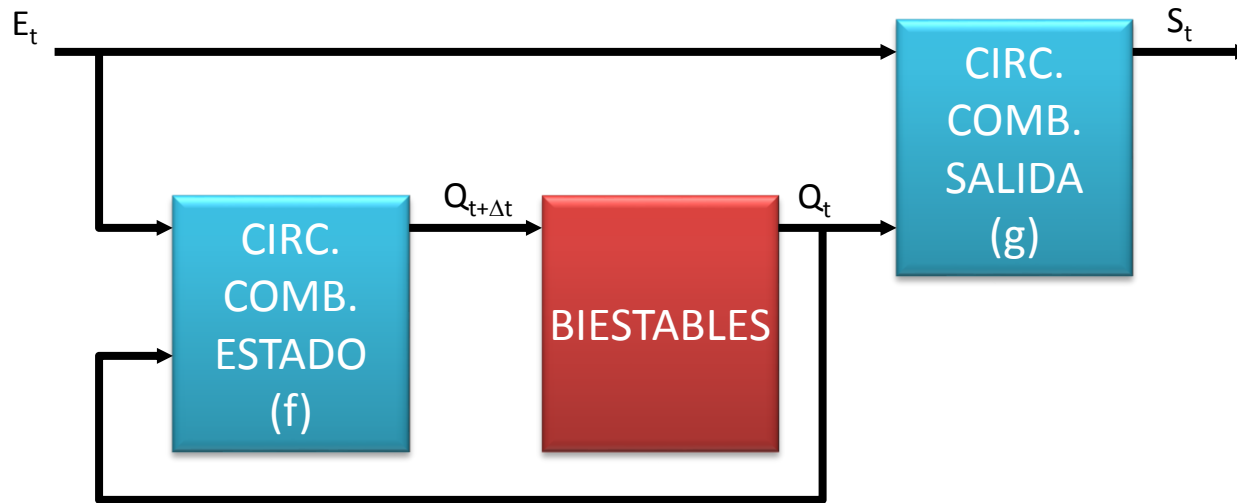
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# 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

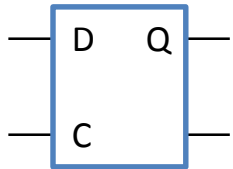
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

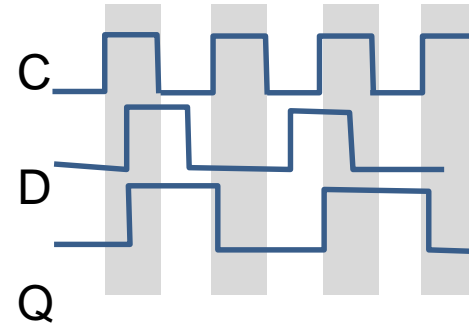
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Biestables asíncronos

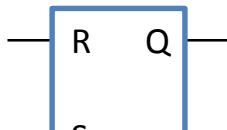
## Biastable latch (asíncr.)



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	$Q_t$	
0	1	1	set

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

---

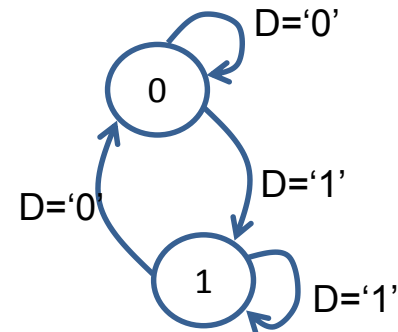
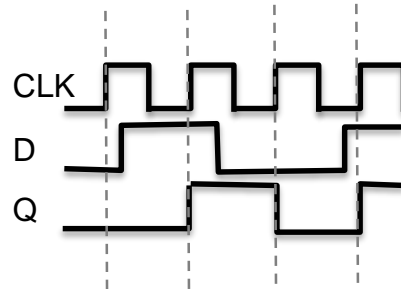
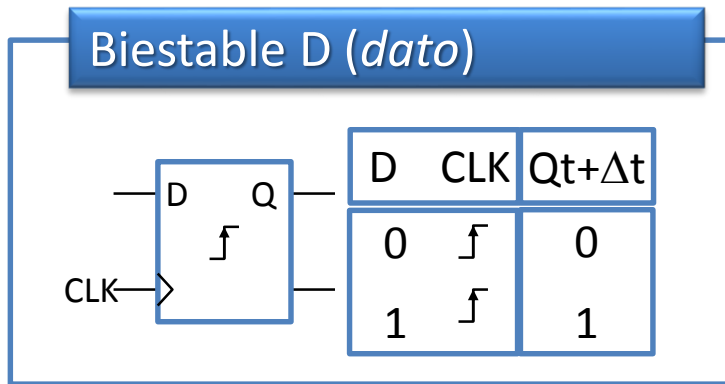
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

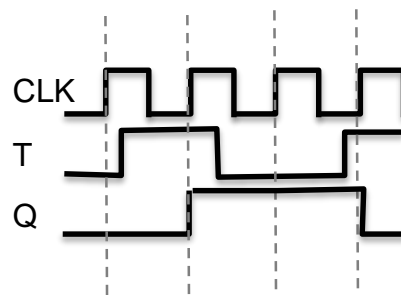
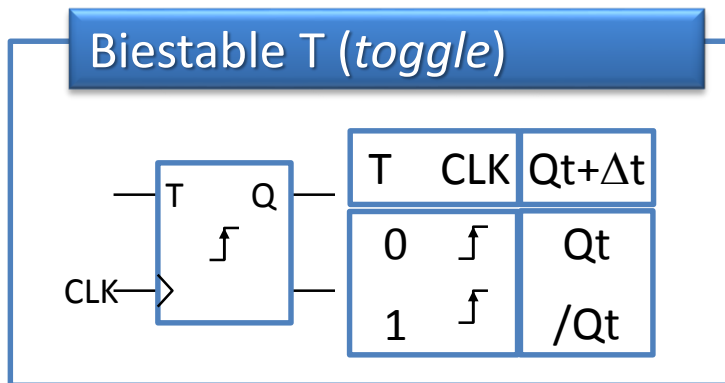
# Biestables síncronos

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

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

---

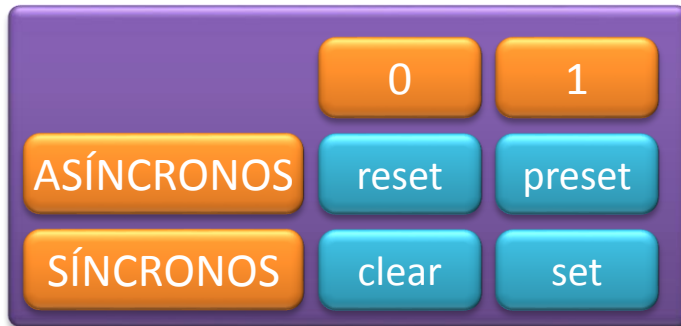
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



# Otras señales de los biestables

## Inicialización de biestables

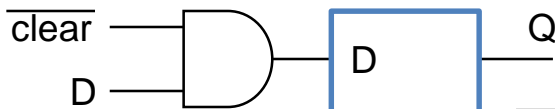


No hay acuerdo en el uso de esta terminología

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

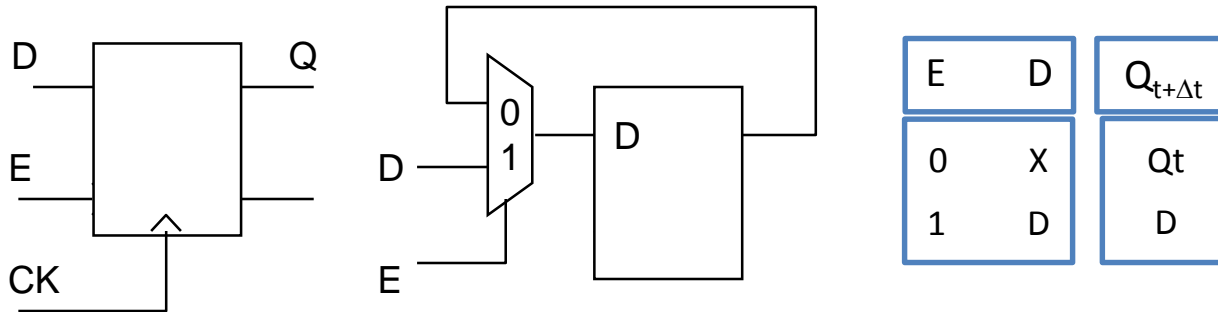
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

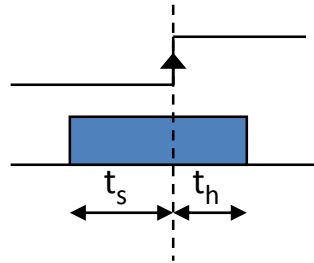
$t_{reset,min}$

$t_{preset,min}$

→ 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

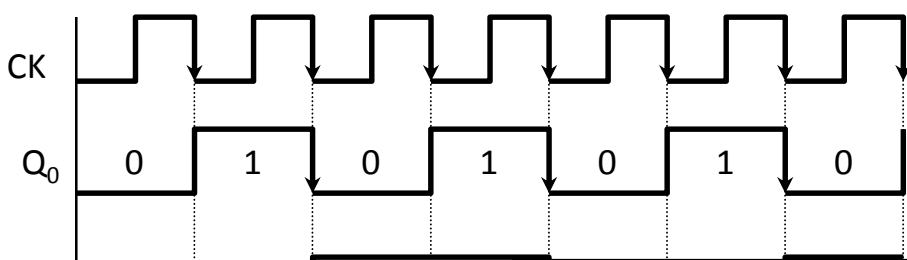
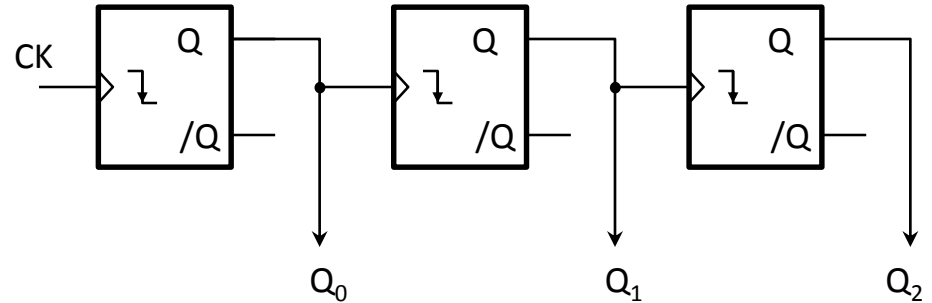
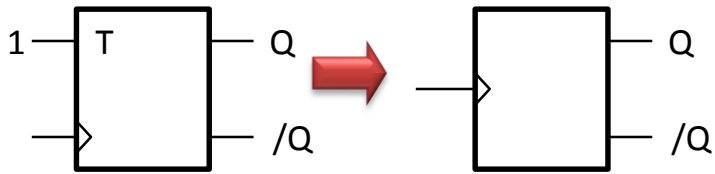


# Contadores

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

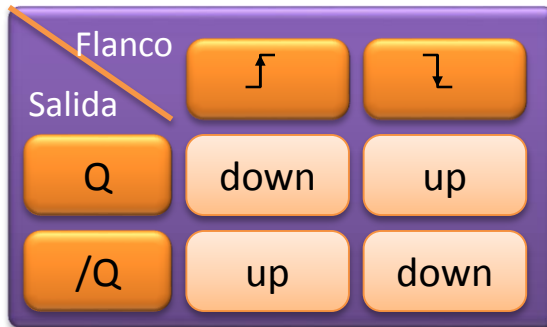
Cartagena99

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

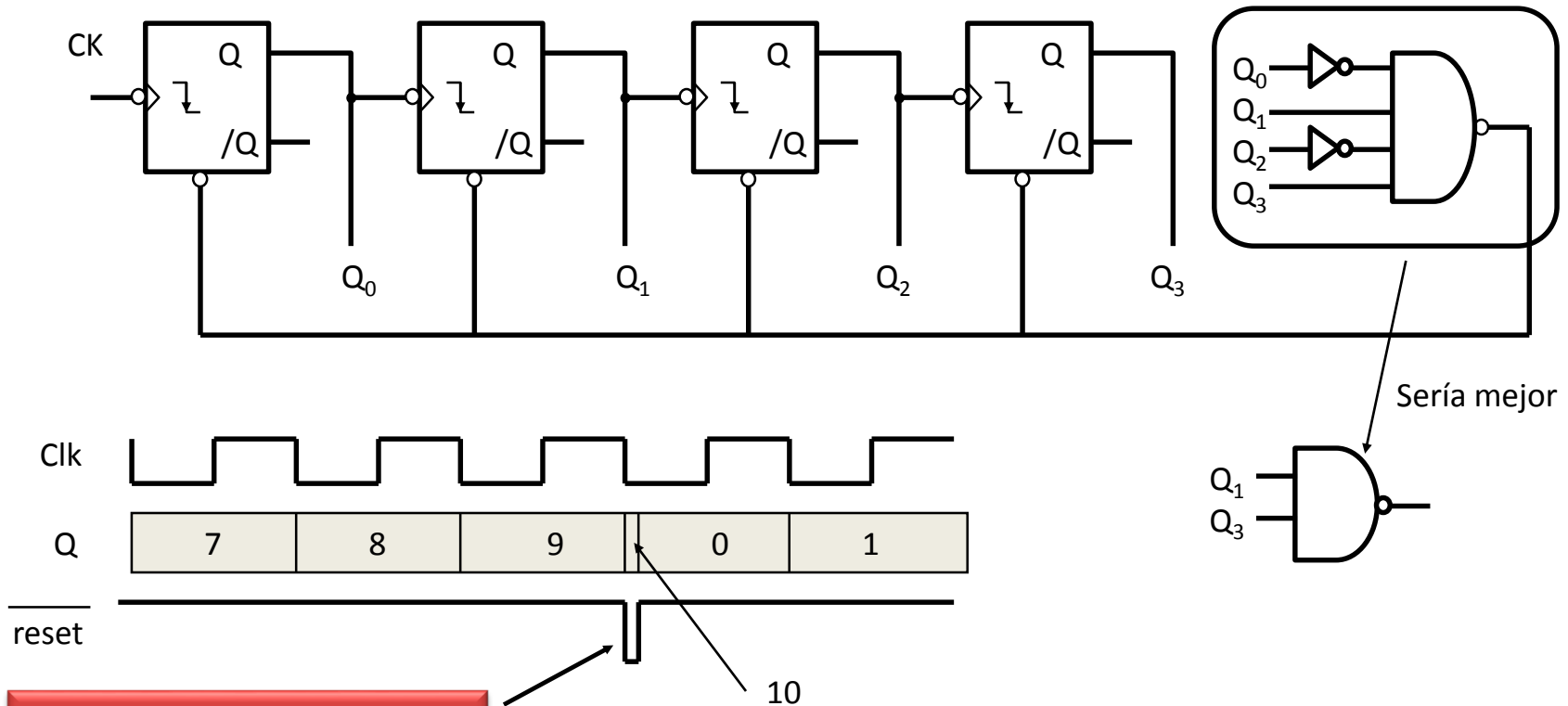
---

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

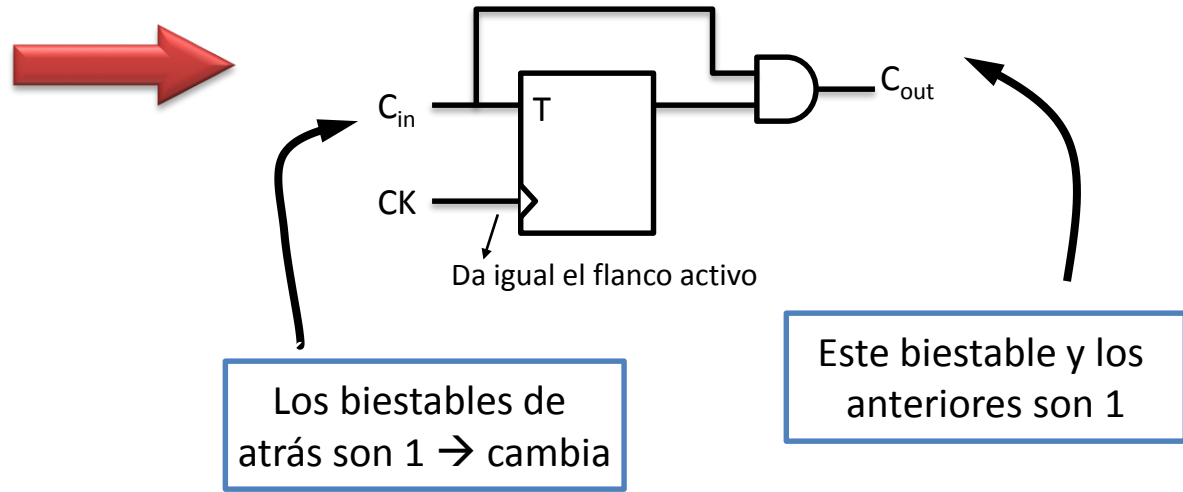


Tabla de estados

Cin	Qt	Cout	Qt+Δt
0	0	0	0
0	1	0	1

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

1/0

$E_t/S_t$

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

---

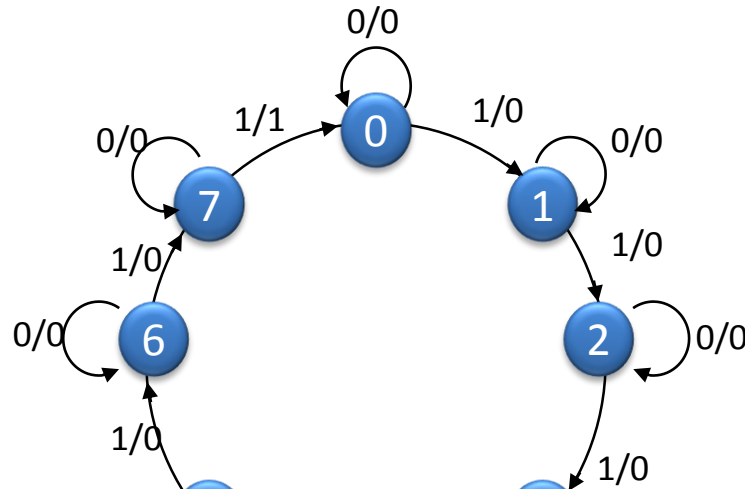
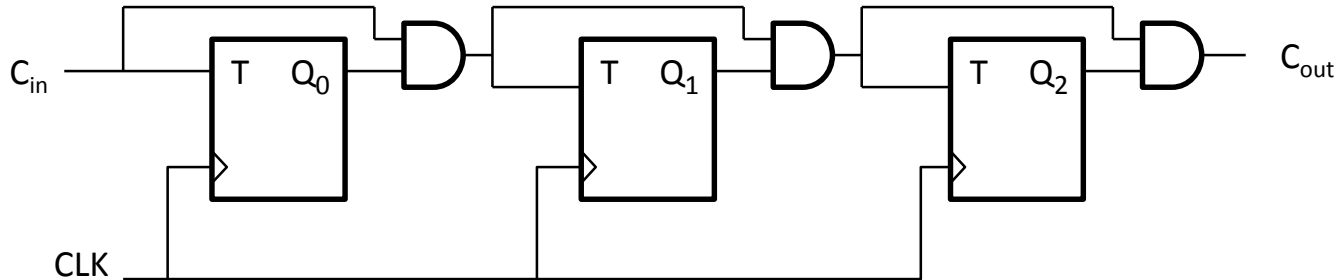
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



# Contadores

Ejemplo: Contador síncrono de 3 bits



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

---

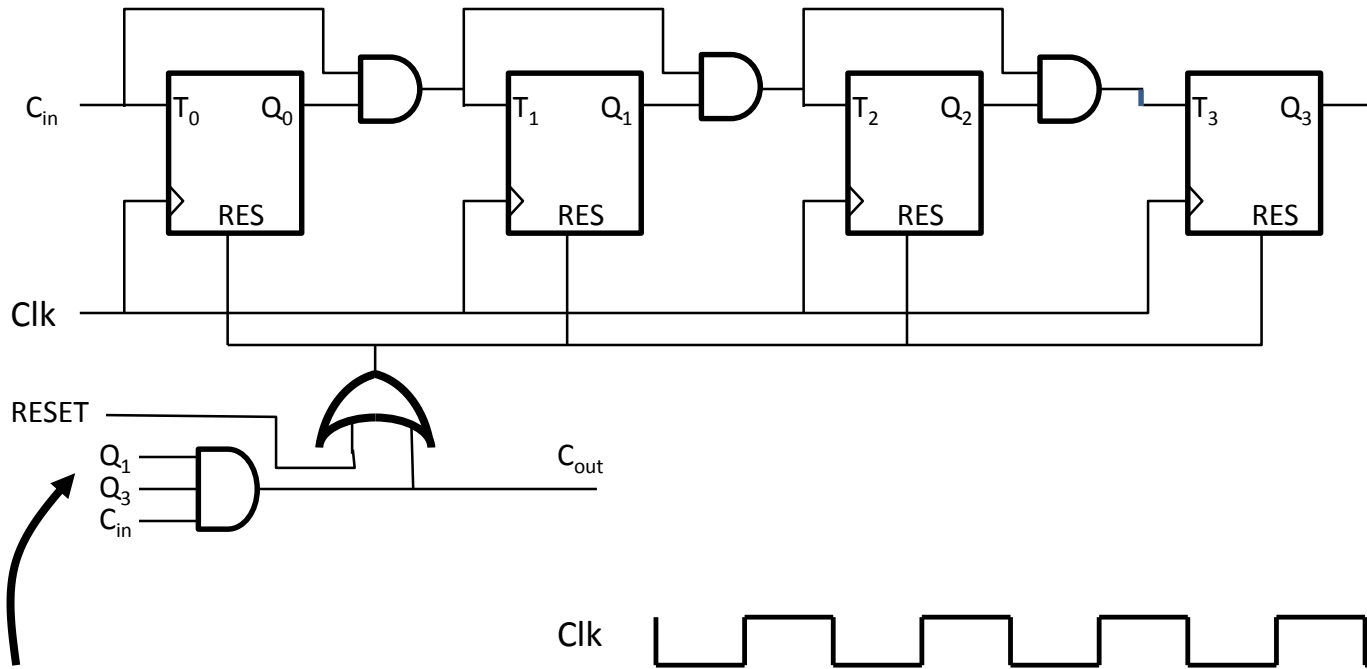
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

0/0

Cartagena99

# Contadores

Ejemplo: Contador síncrono de 0 a 9



Cartagena99

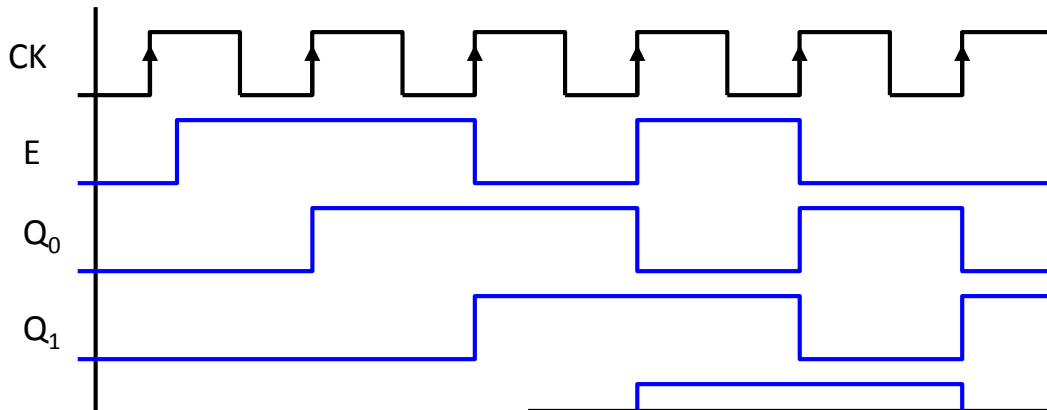
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

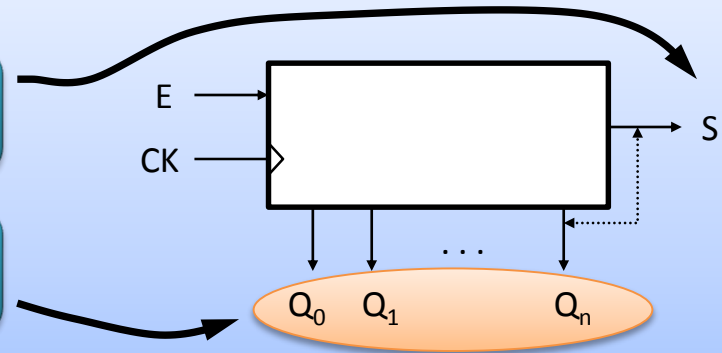
Cartagena99

# Registros

## Tipos de registros

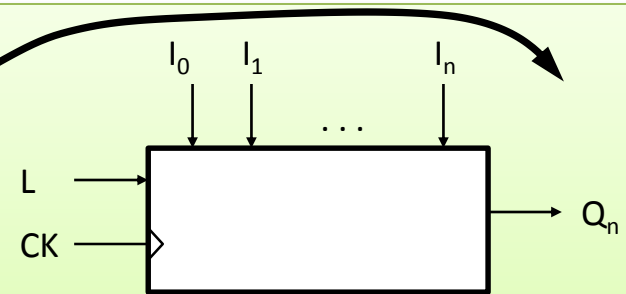
Serial Input - Serial Output (SISO)

Serial Input - Parallel Output (SIPO)



Parallel Input - Serial Output (PISO)

Parallel Input - Parallel Output (PIPO)



Cartagena99

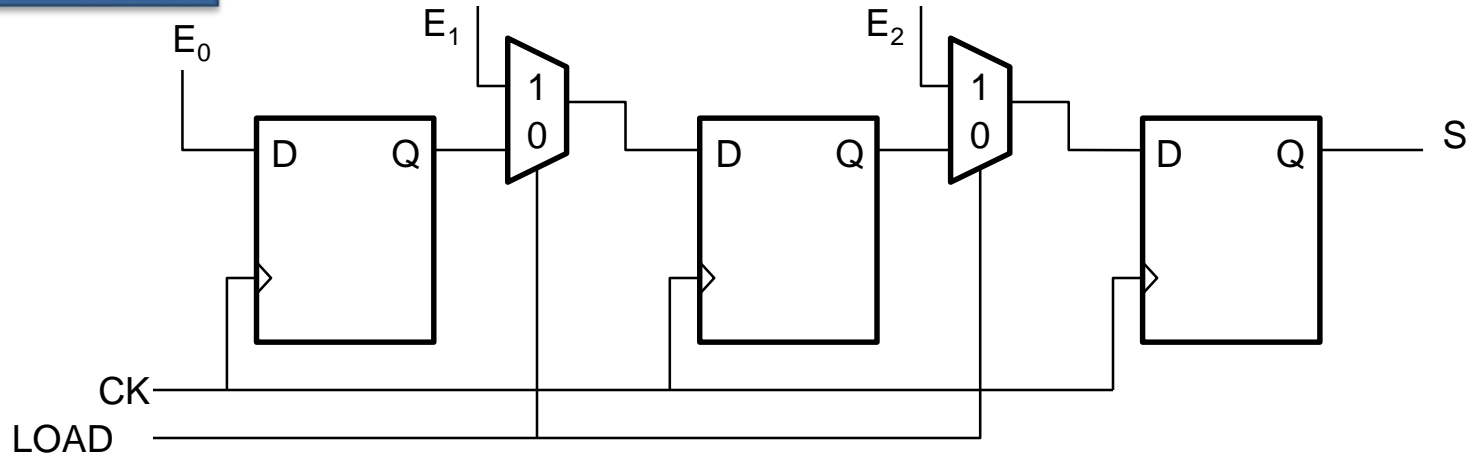
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

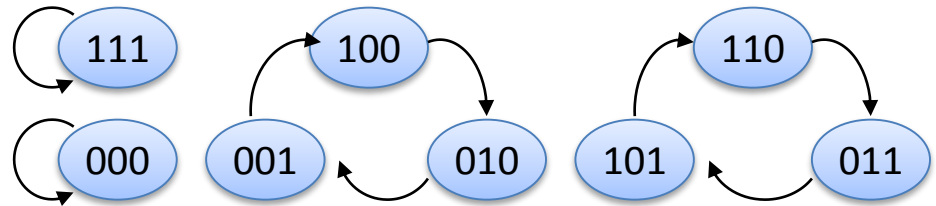
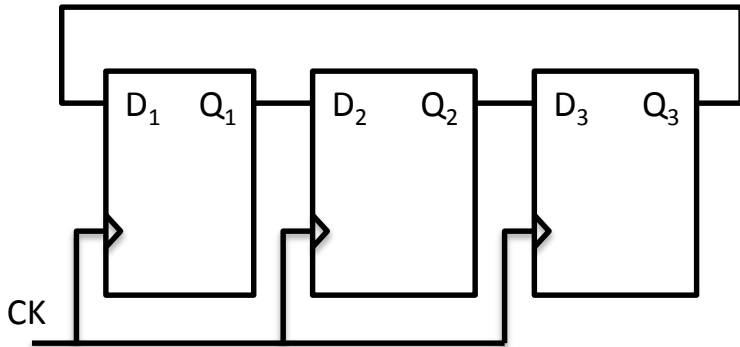
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

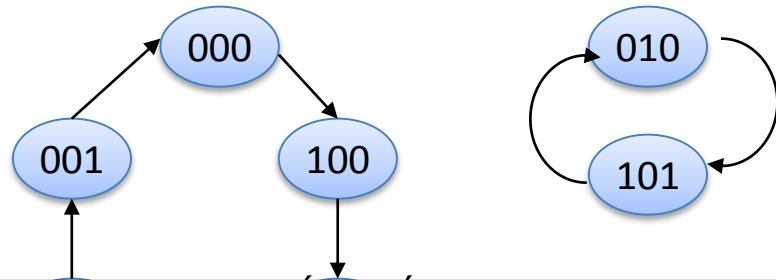
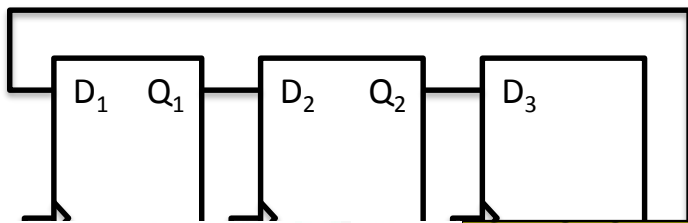
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Contadores con registros de desplazamiento

## Contador en anillo



## Contador Johnson



Cartagena99

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

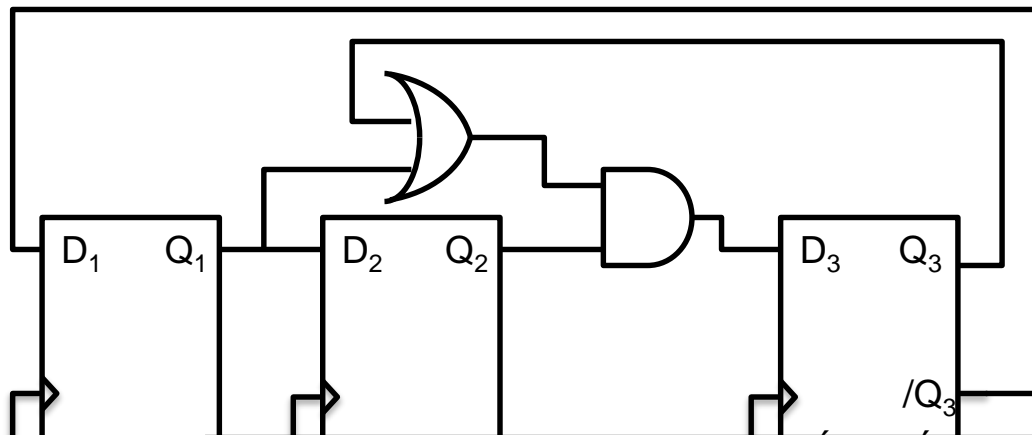
---

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



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

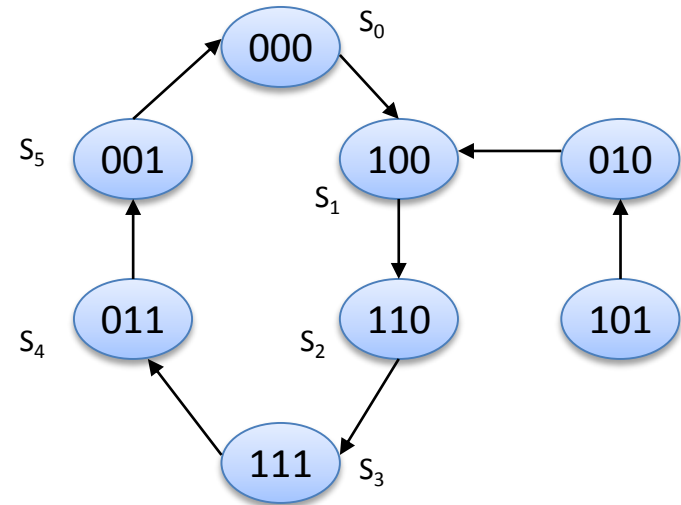
---

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

Cartagena99

# 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