

# Sistemas Digitales

Circuitos Secuenciales  
Flip-Flop - Aplicaciones

Procesamiento Digital de Señales

# Índice

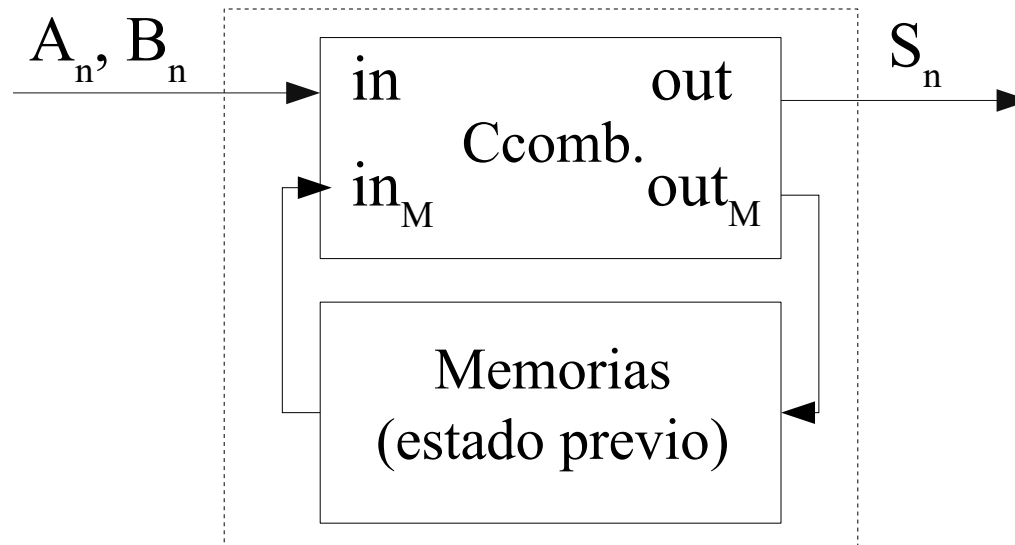
- Repaso
- Divisor de frecuencia
- Contadores
- Registros

# Índice

- **Repaso**
- Divisor de frecuencia
- Contadores
- Registros

# Circuitos secuenciales

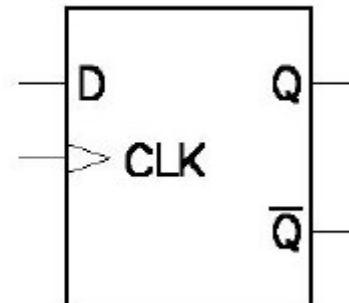
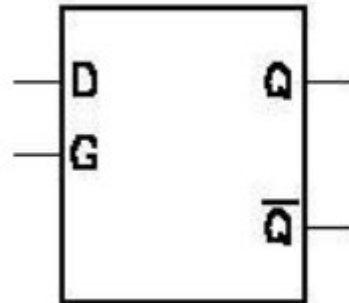
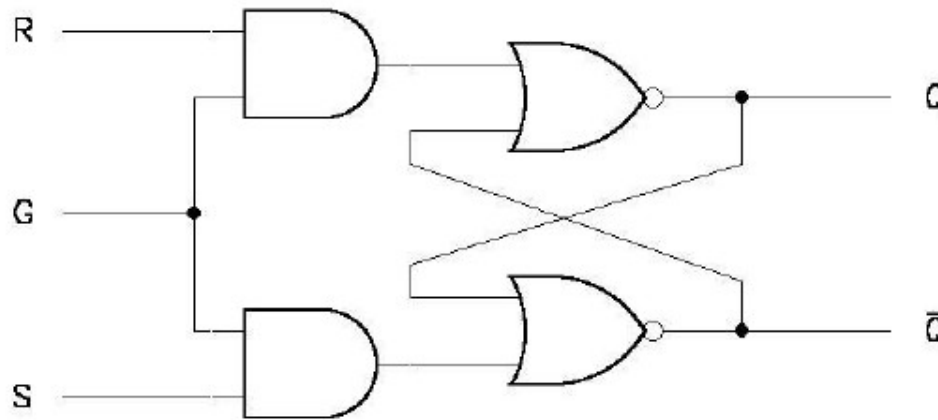
- Implementan funciones lógicas con memoria
- Las salidas están determinadas por el valor de sus entradas y el valor anterior de la salida
- Elaborados en partir de compuertas lógicas y compuertas **Flip-Flop**



# Tipos de Flip-Flop

## Flip-Flop R-S (Reset-Set)

<b>R</b>	<b>S</b>	<b><math>Q_{n+1}</math></b>
0	0	$Q_n$
0	1	1
1	0	0
1	1	-

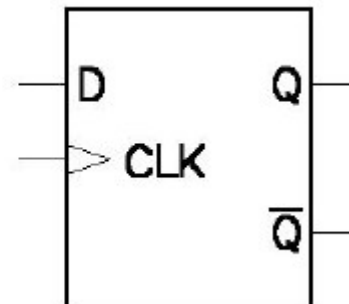
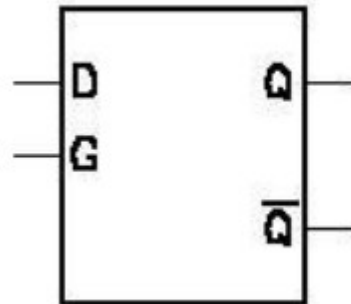
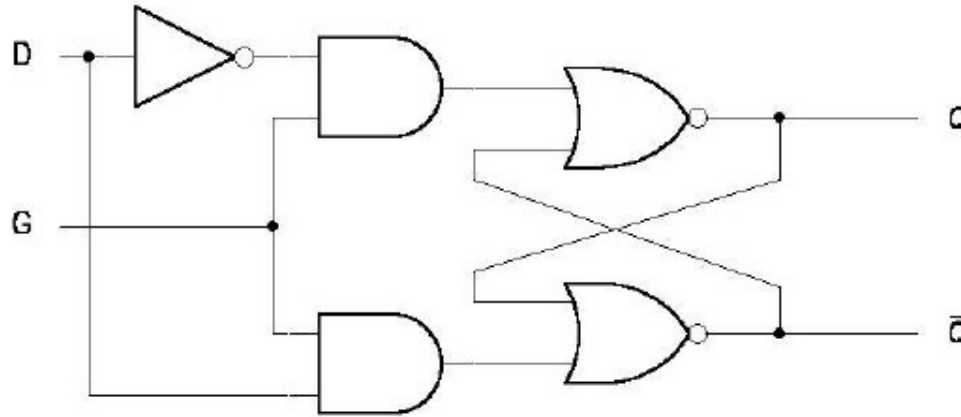


# Tipos de Flip-Flop

## Flip-Flop D (Data)

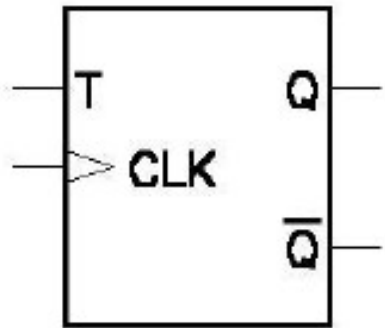
<b>D</b>	<b><math>Q_{n+1}</math></b>
0	0
1	1

$$Q_{n+1} = D_n$$



# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop T (Toggle)



<b>T</b>	<b>Q<sub>n+1</sub></b>
0	Q <sub>n</sub>
1	$\overline{Q}_n$

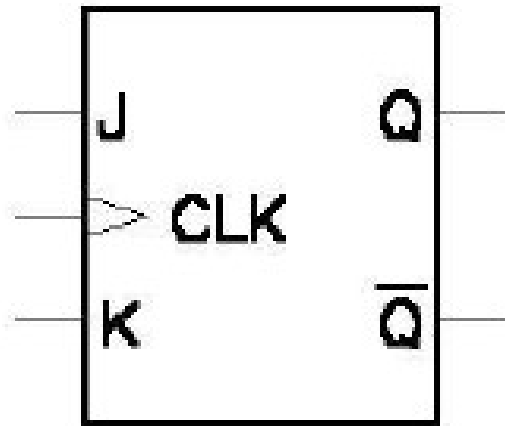
$$Q_{n+1} = Q_n \overline{T} + \overline{Q}_n T$$

Si  $T = 0$ , mantiene el valor de la salida

Si  $T = 1$ , invierte el valor de la salida

# Flip-Flop

## FF-JK síncrono



J	K	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_n}$

Mapa K

$Q_n \backslash JK$	00	01	11	10
0			1	1
1	1			1

$$Q_{n+1} = J\overline{Q_n} + \overline{K}Q_n$$

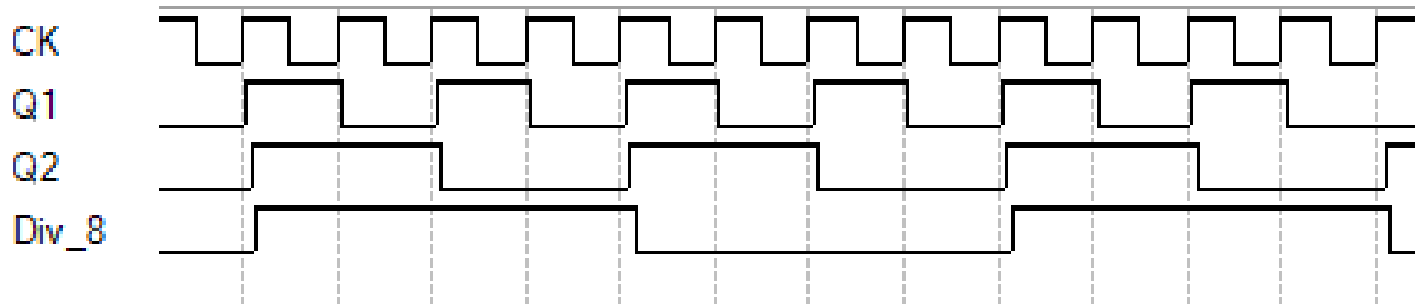
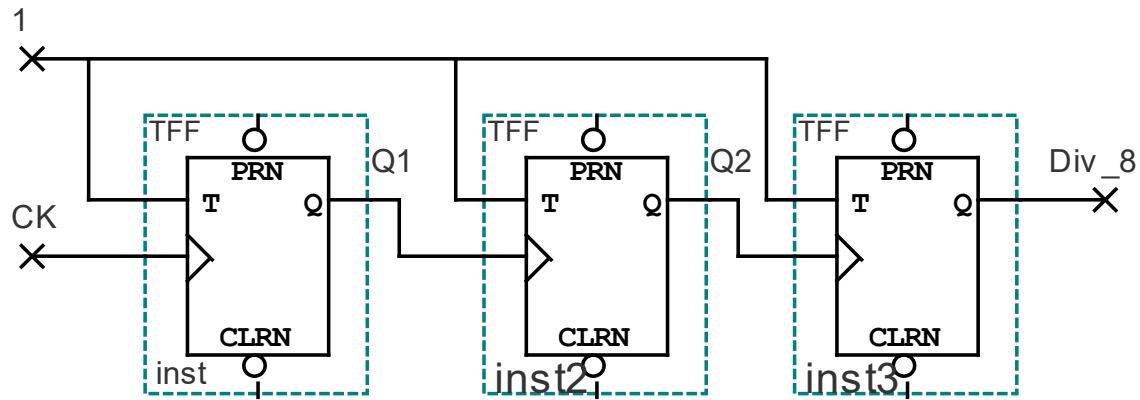


# Índice

- Repaso
- **Divisor de frecuencia**
- Contadores
- Registros

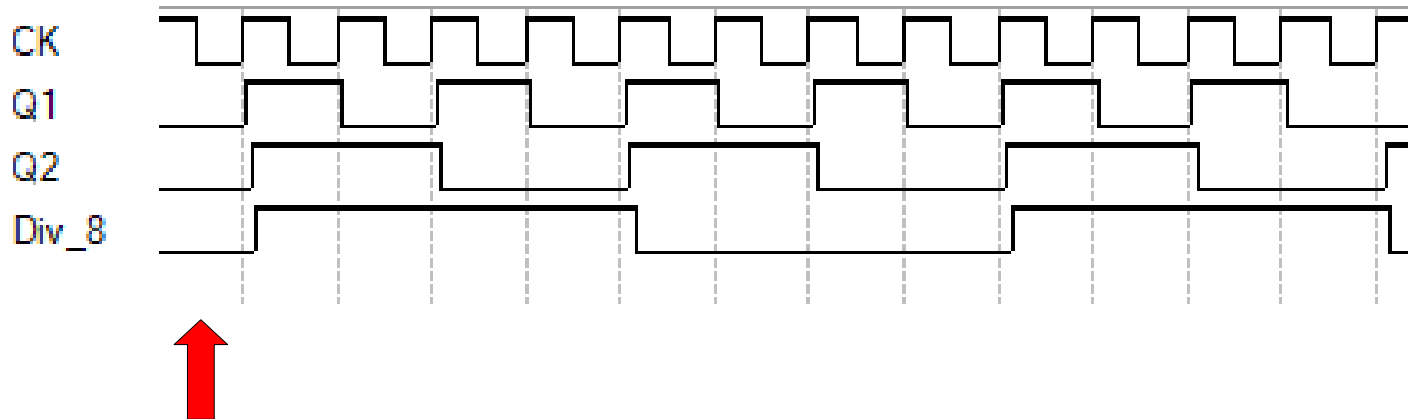
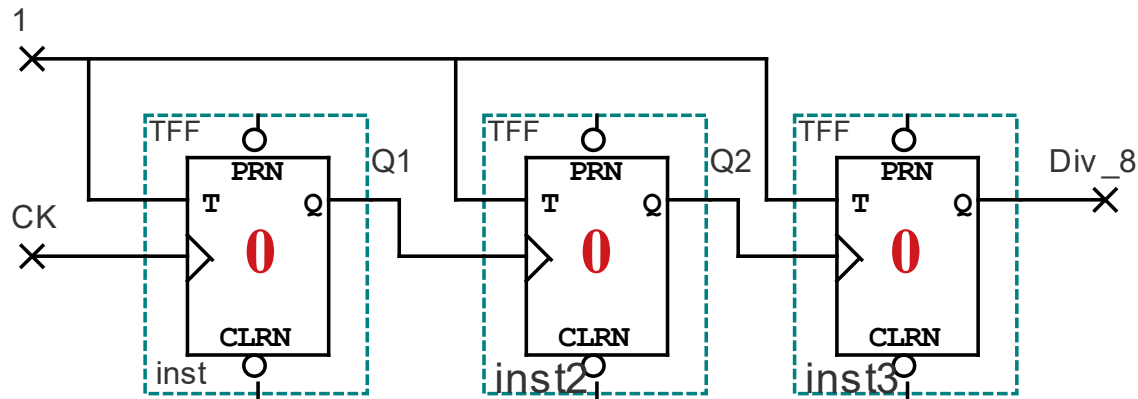
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



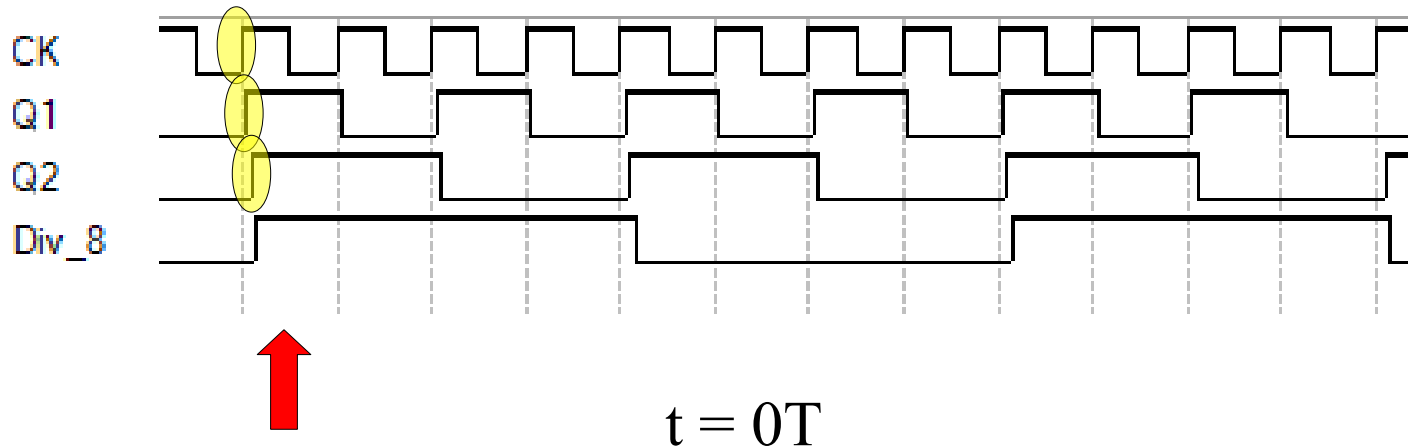
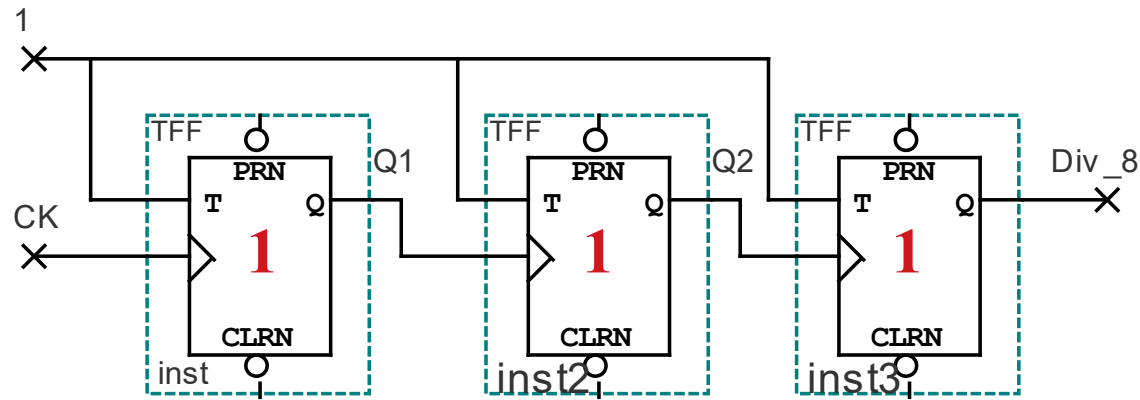
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



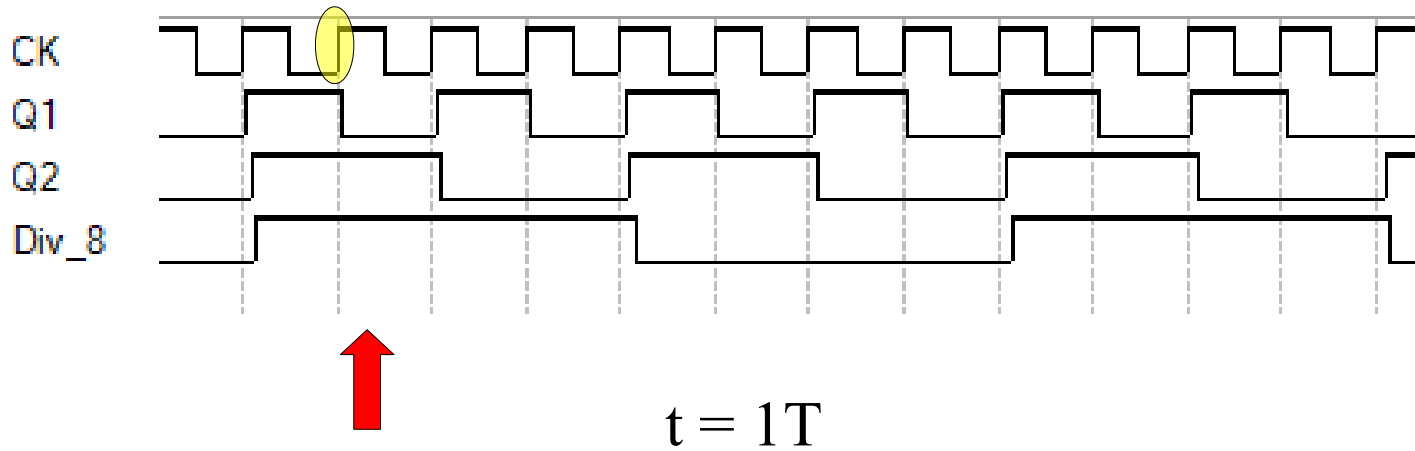
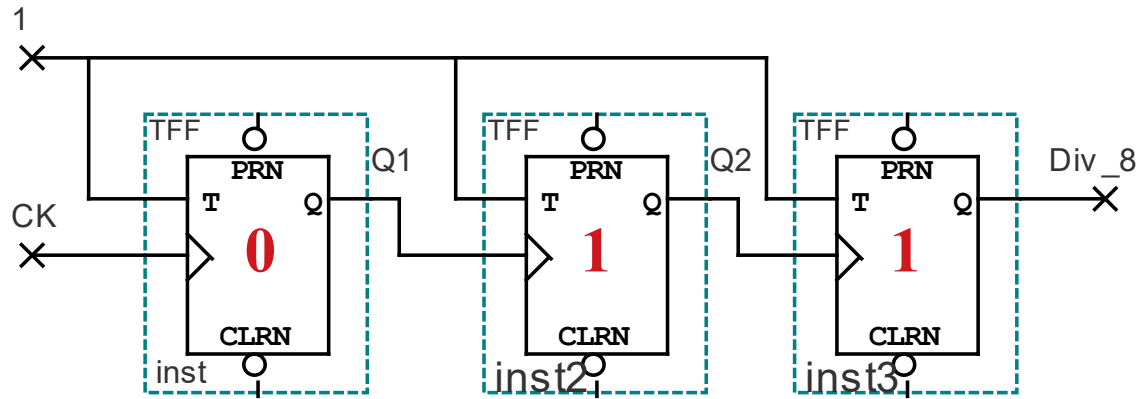
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



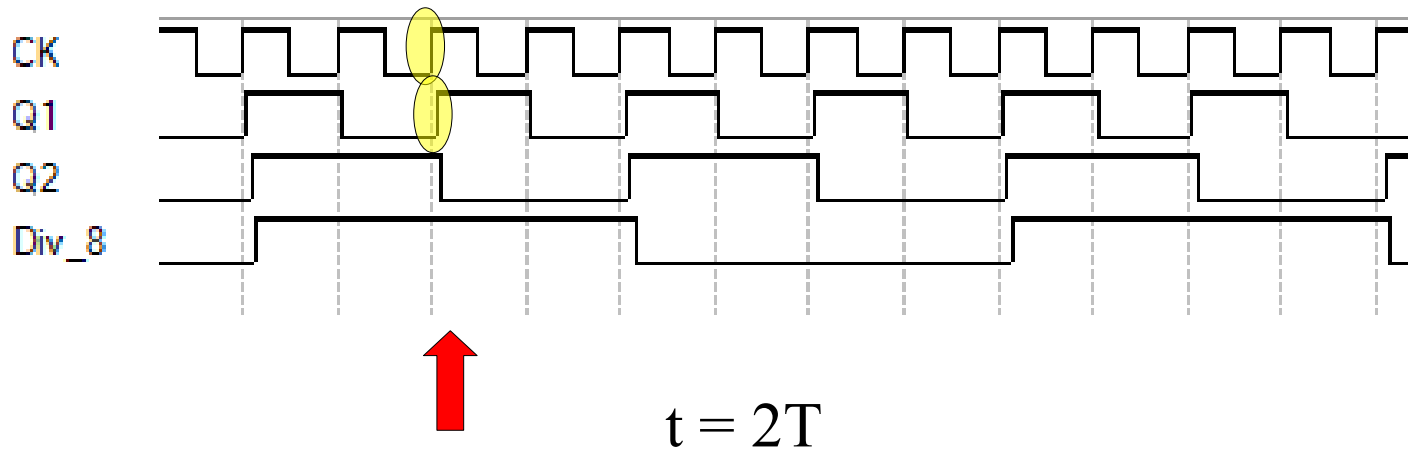
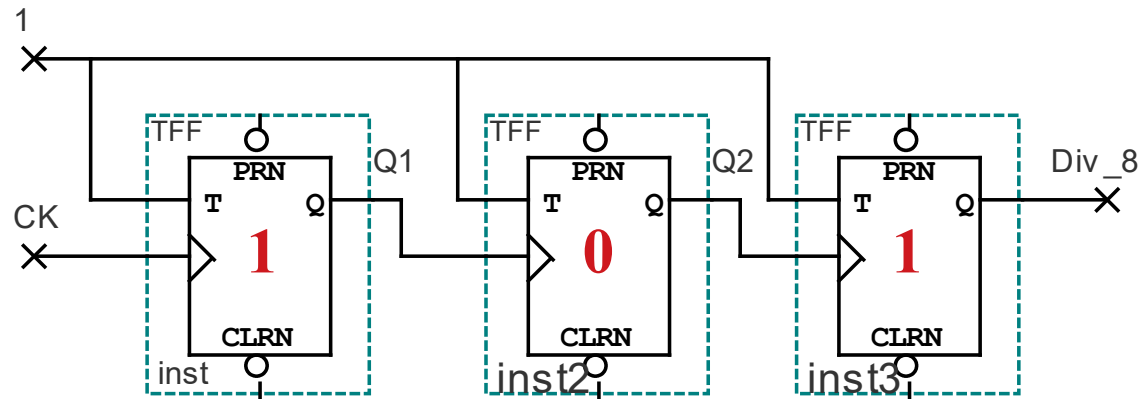
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



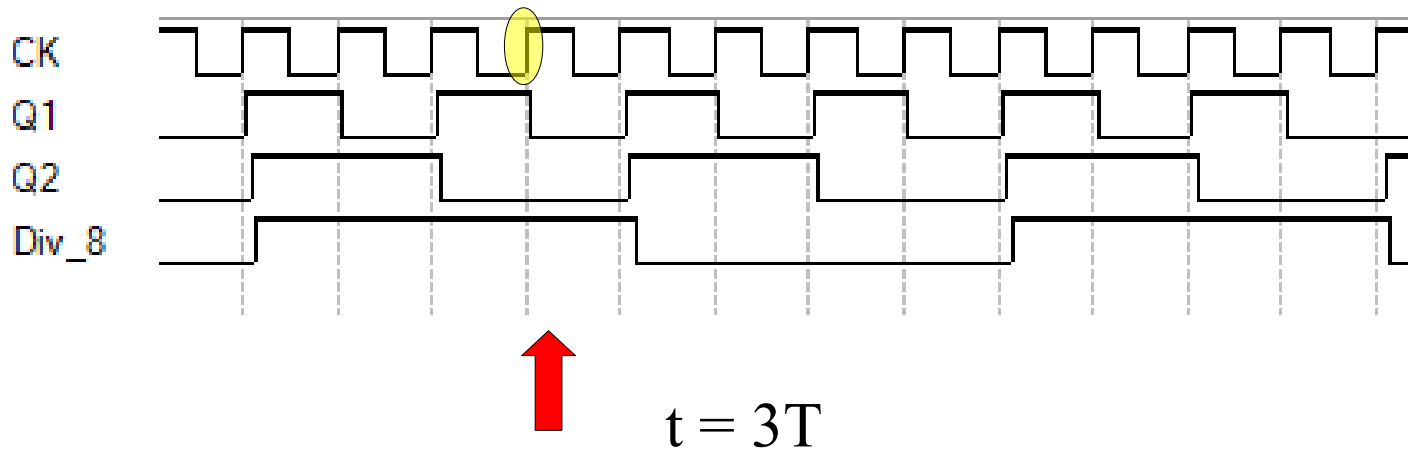
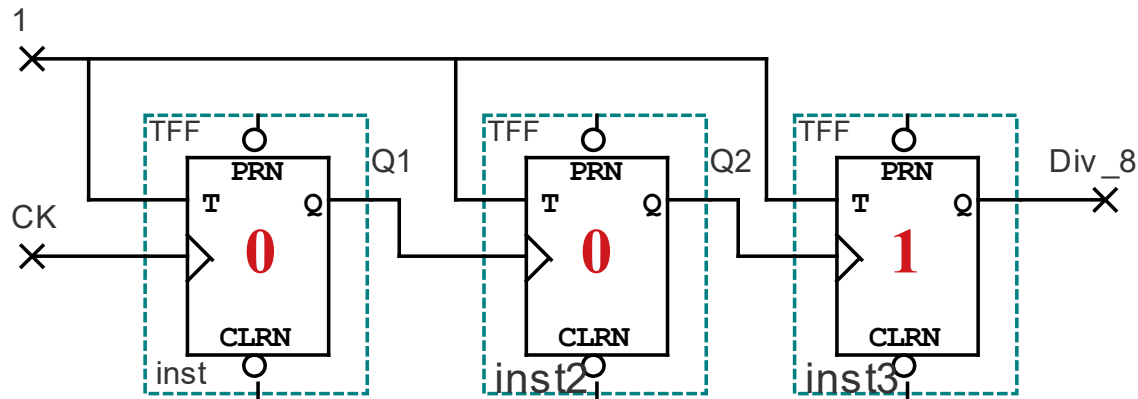
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



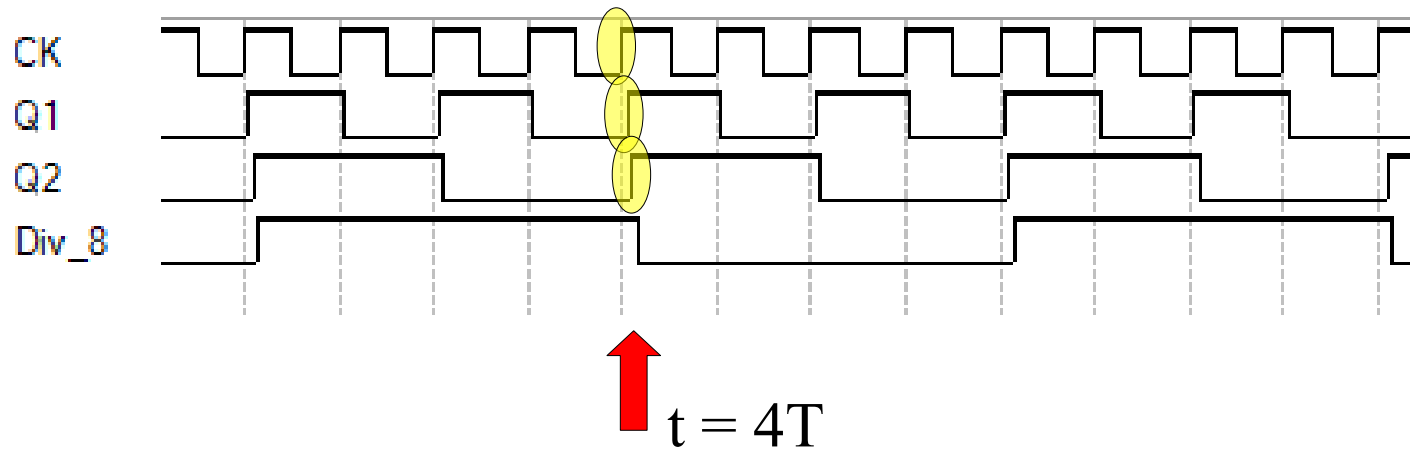
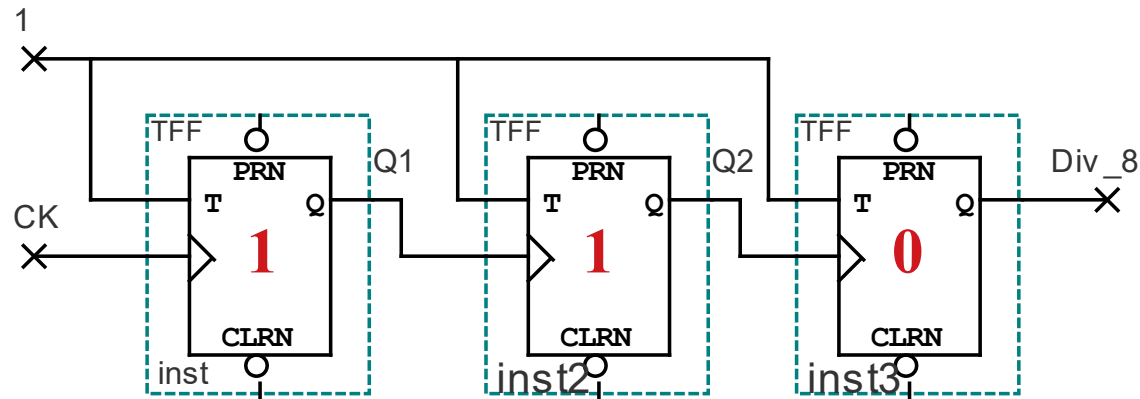
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



# Aplicaciones

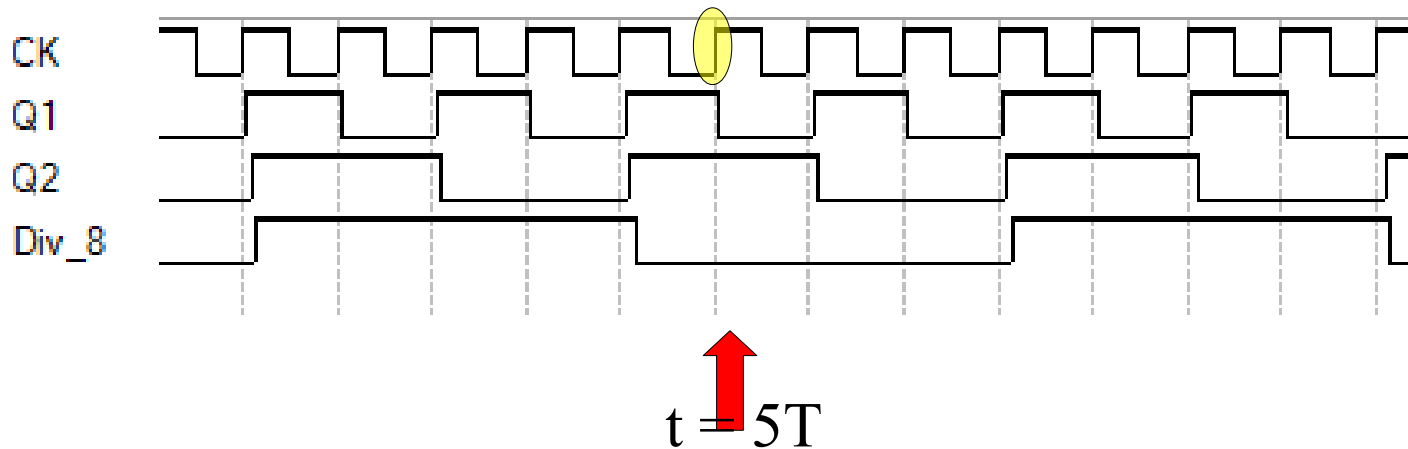
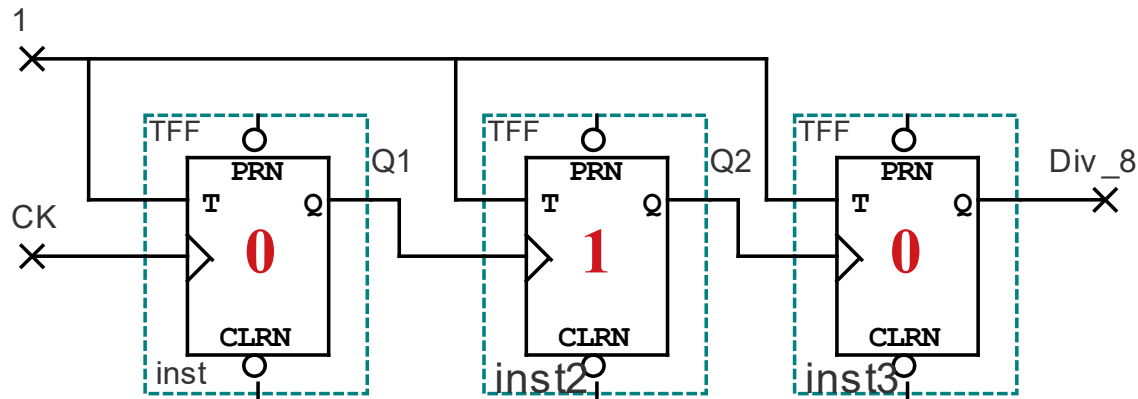
## Divisor de frecuencia – En cascada





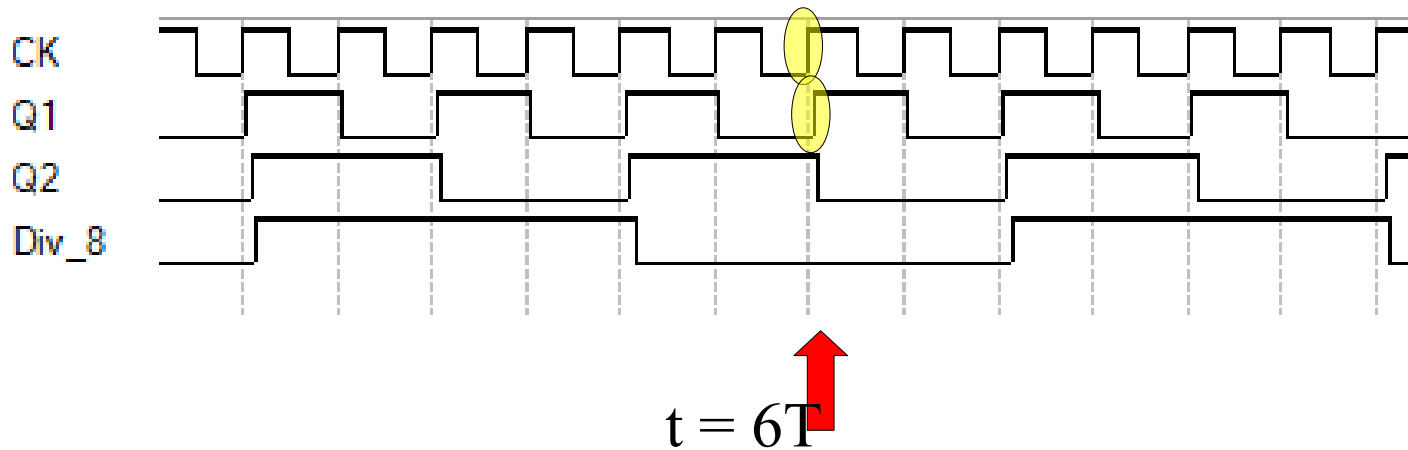
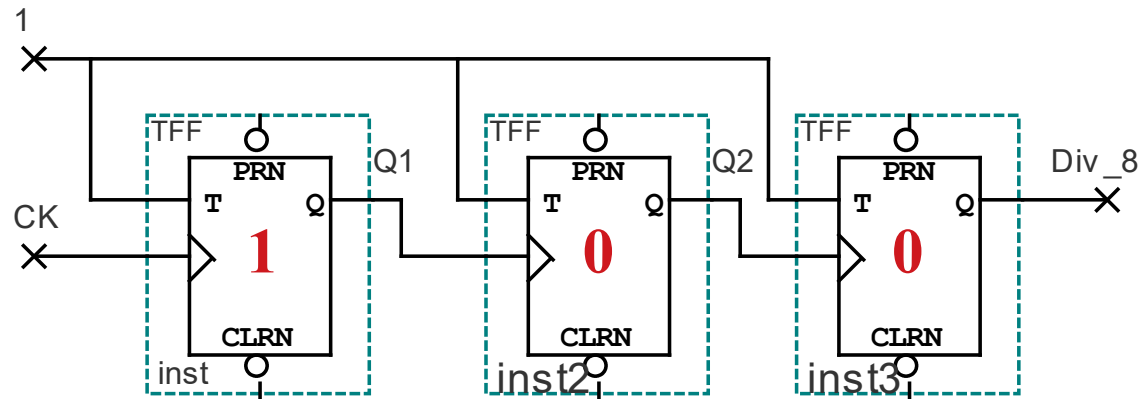
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



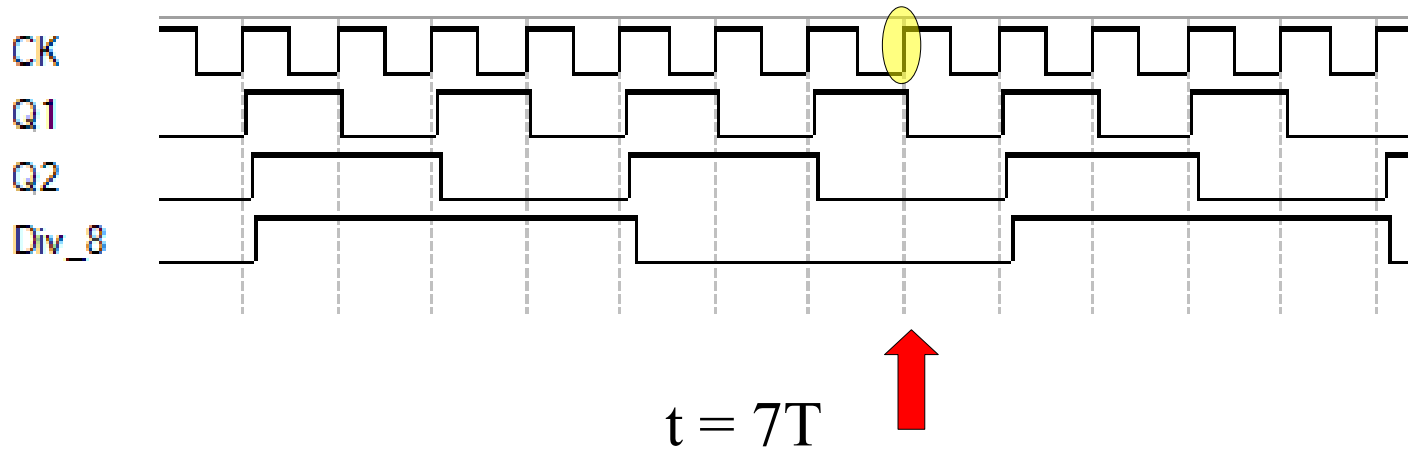
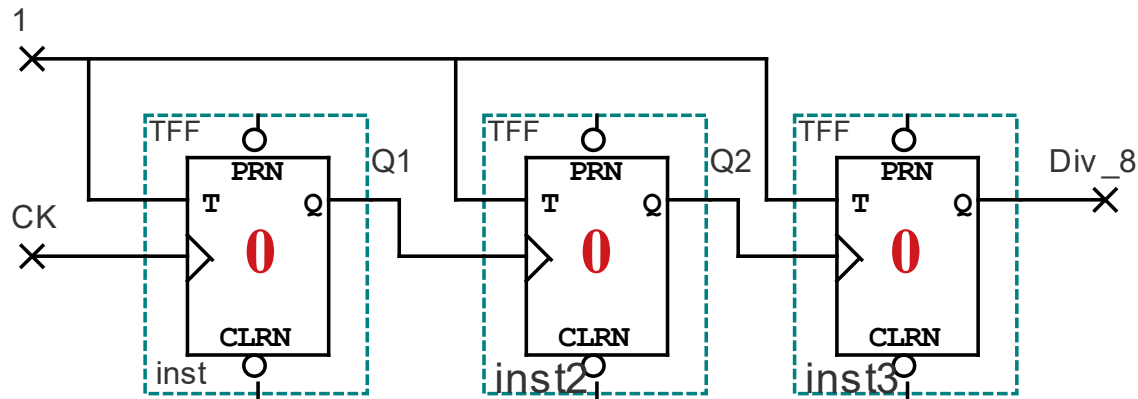
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



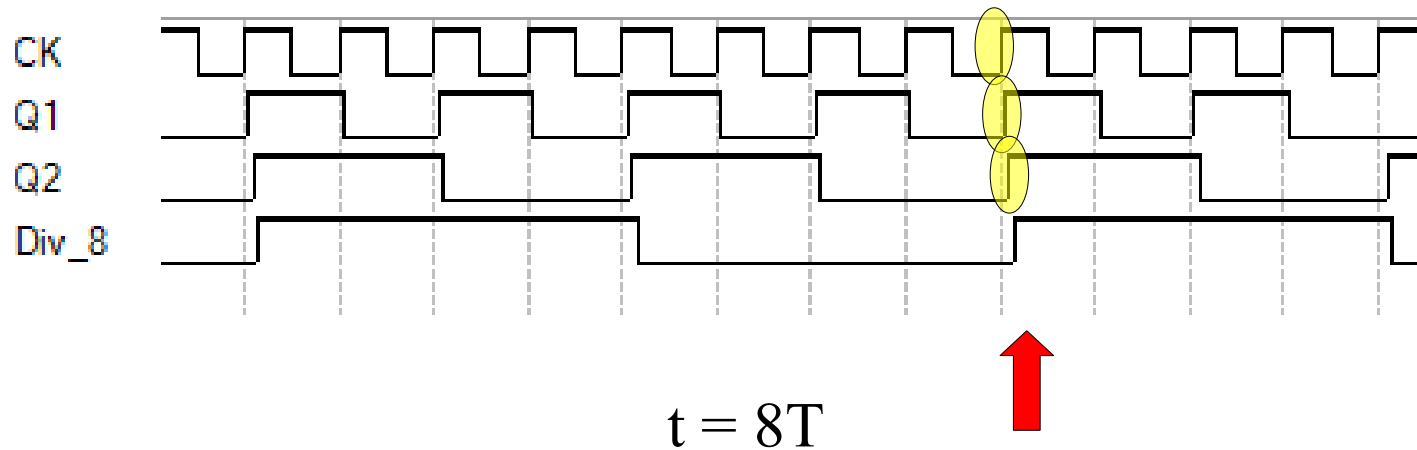
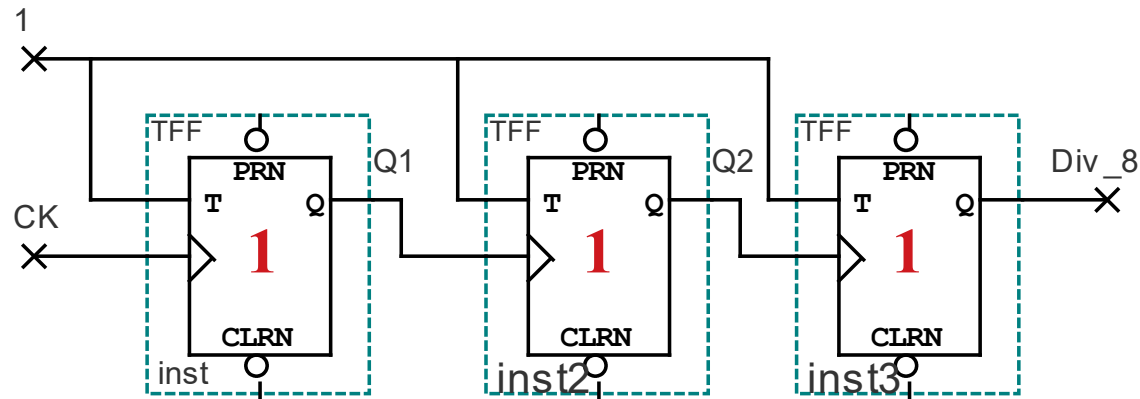
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



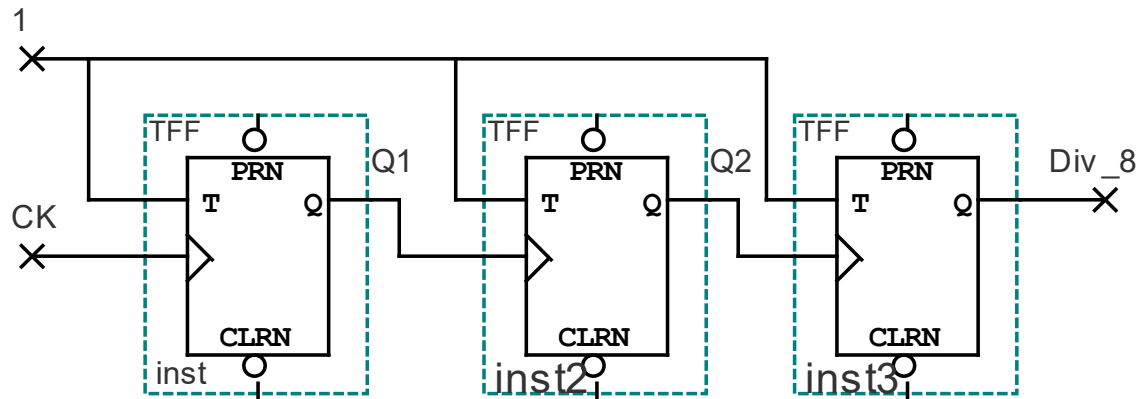
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada

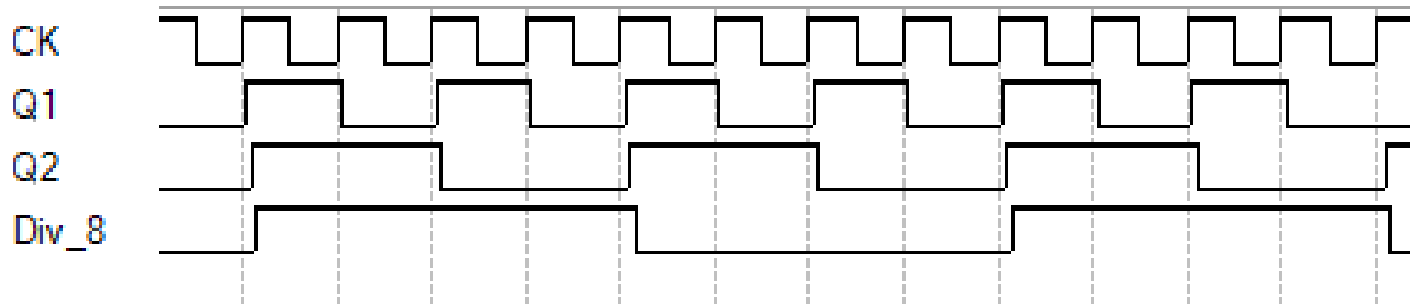


# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – En cascada



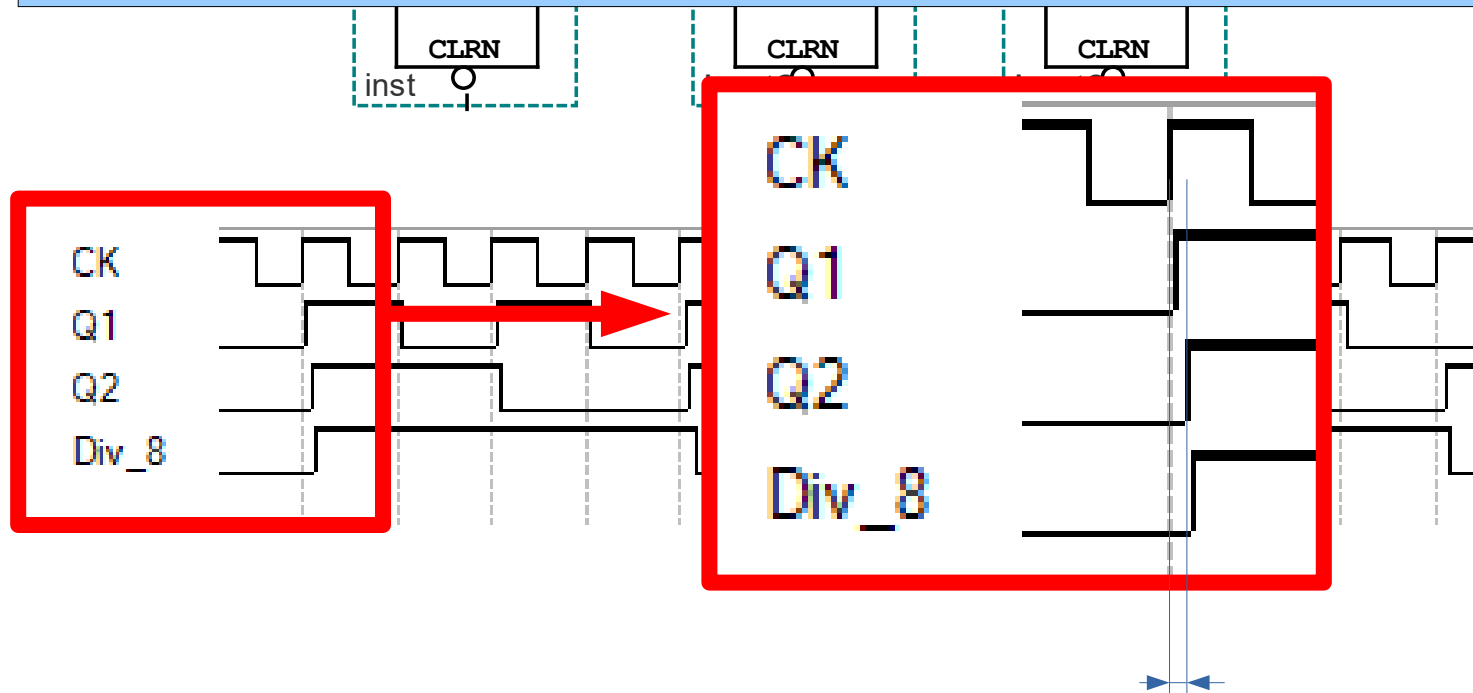
$$f_{\text{out}} = f_{\text{in}} / 8$$



# Aplicaciones

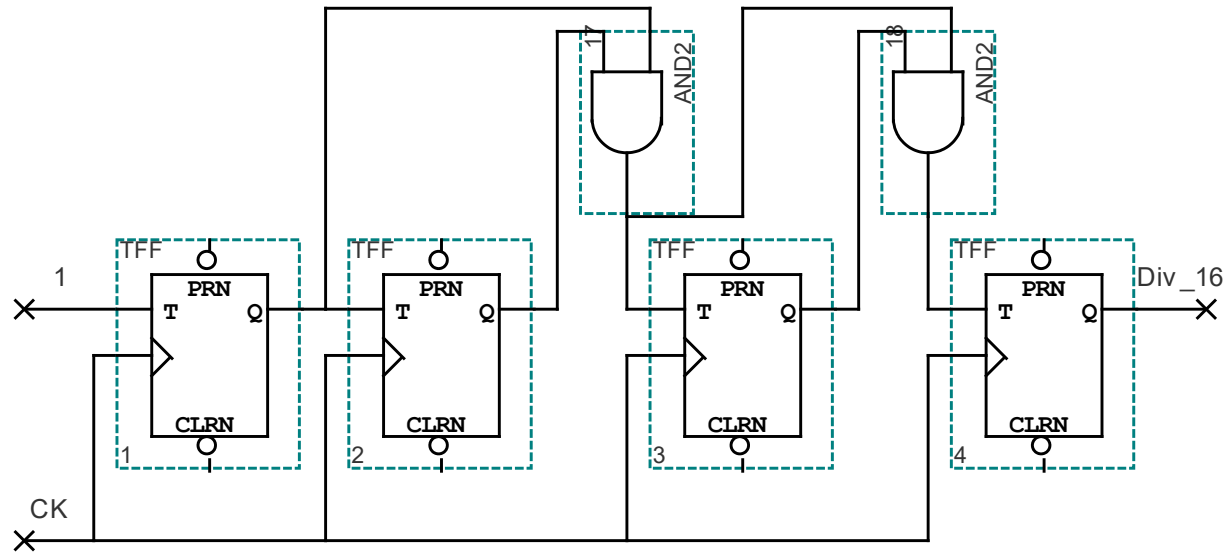
## Divisor de frecuencia – En cascada

Desventaja: Introduce un retardo proporcional a la cantidad de FF-T



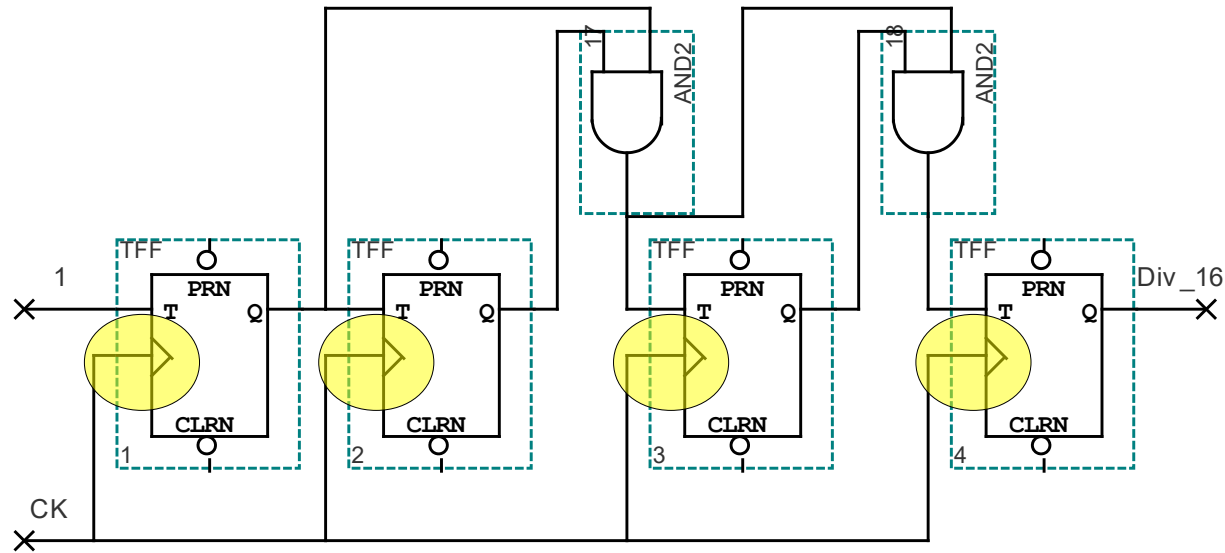
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos

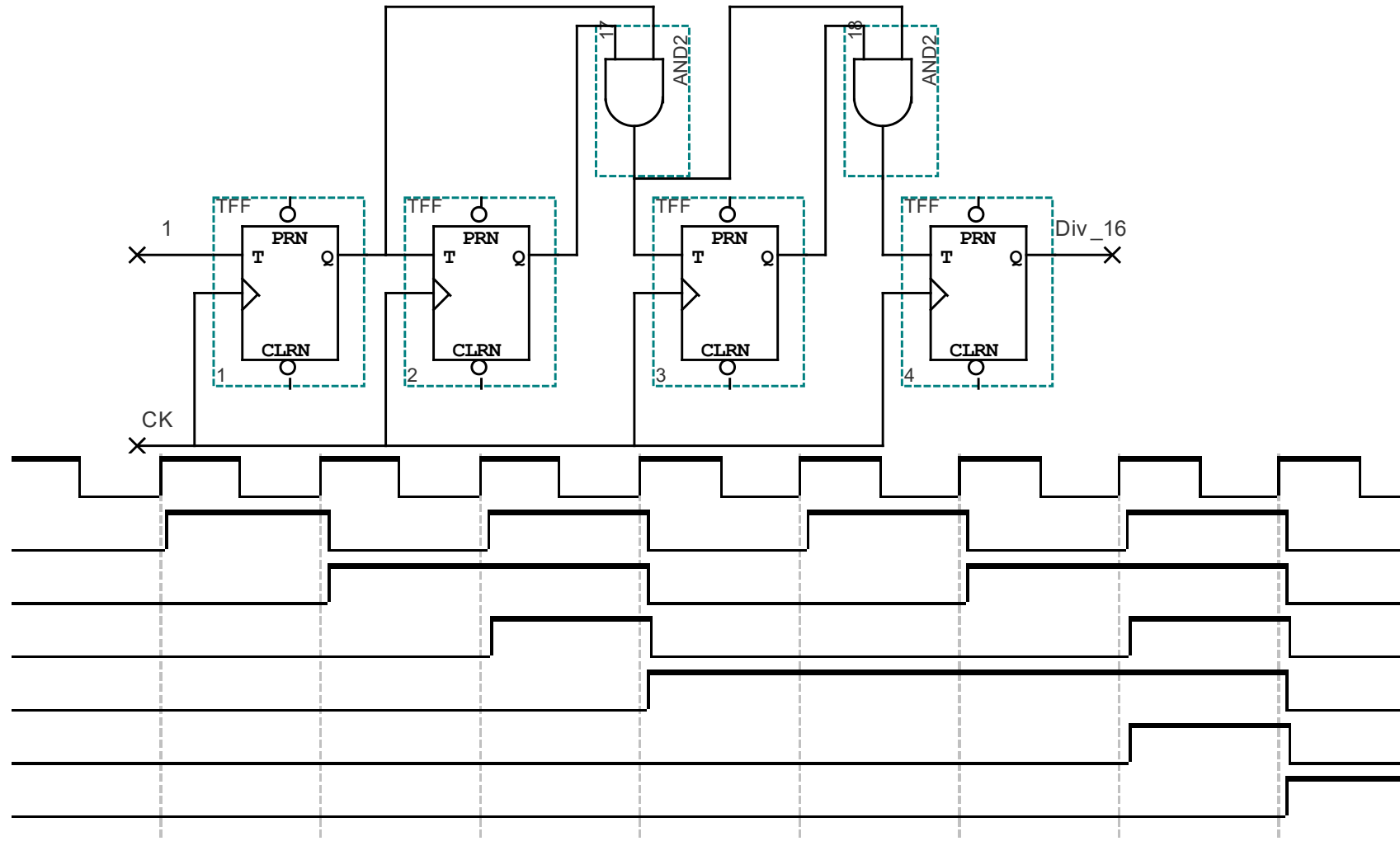


Sincronizados por el flanco  
de subida del reloj



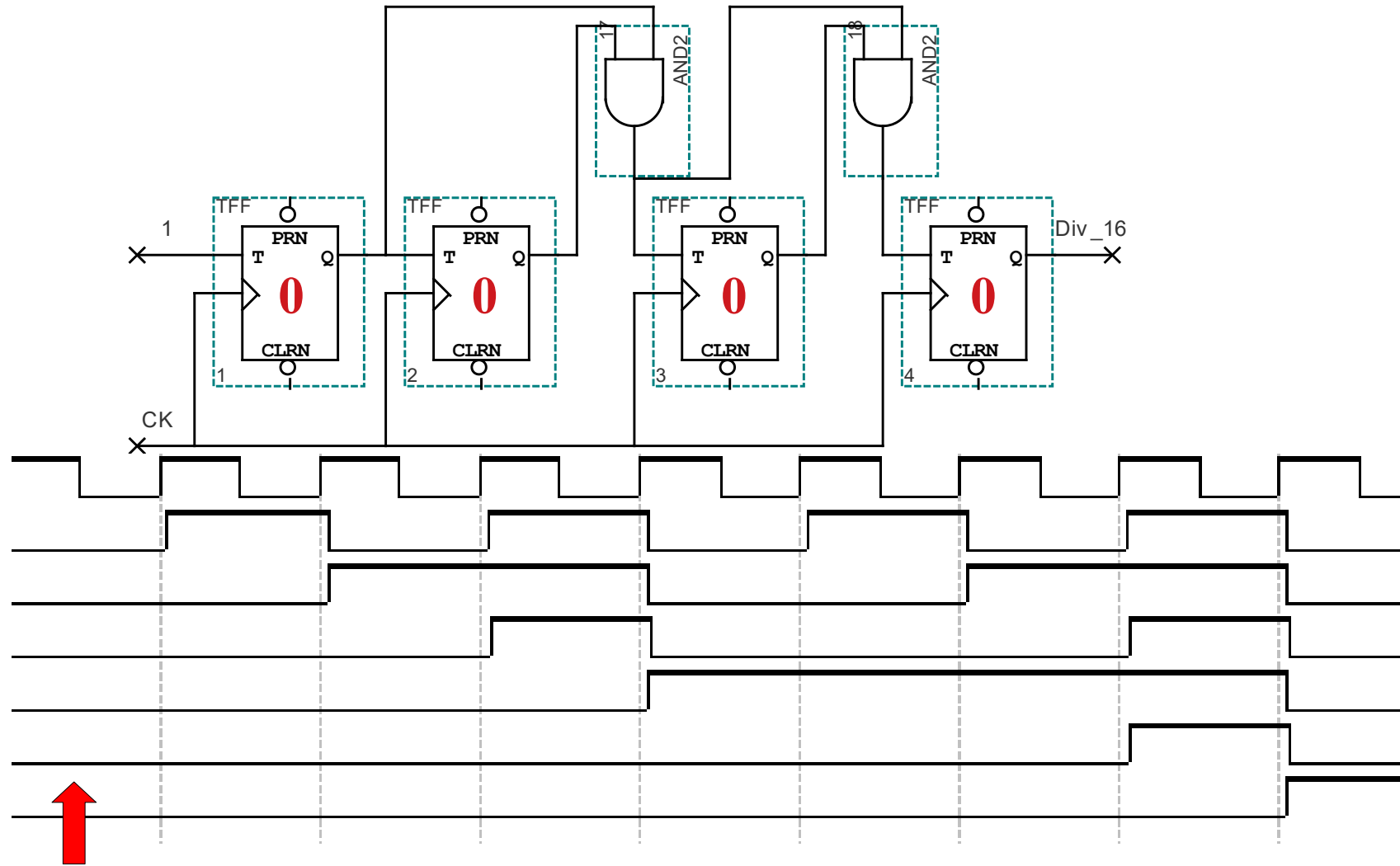
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



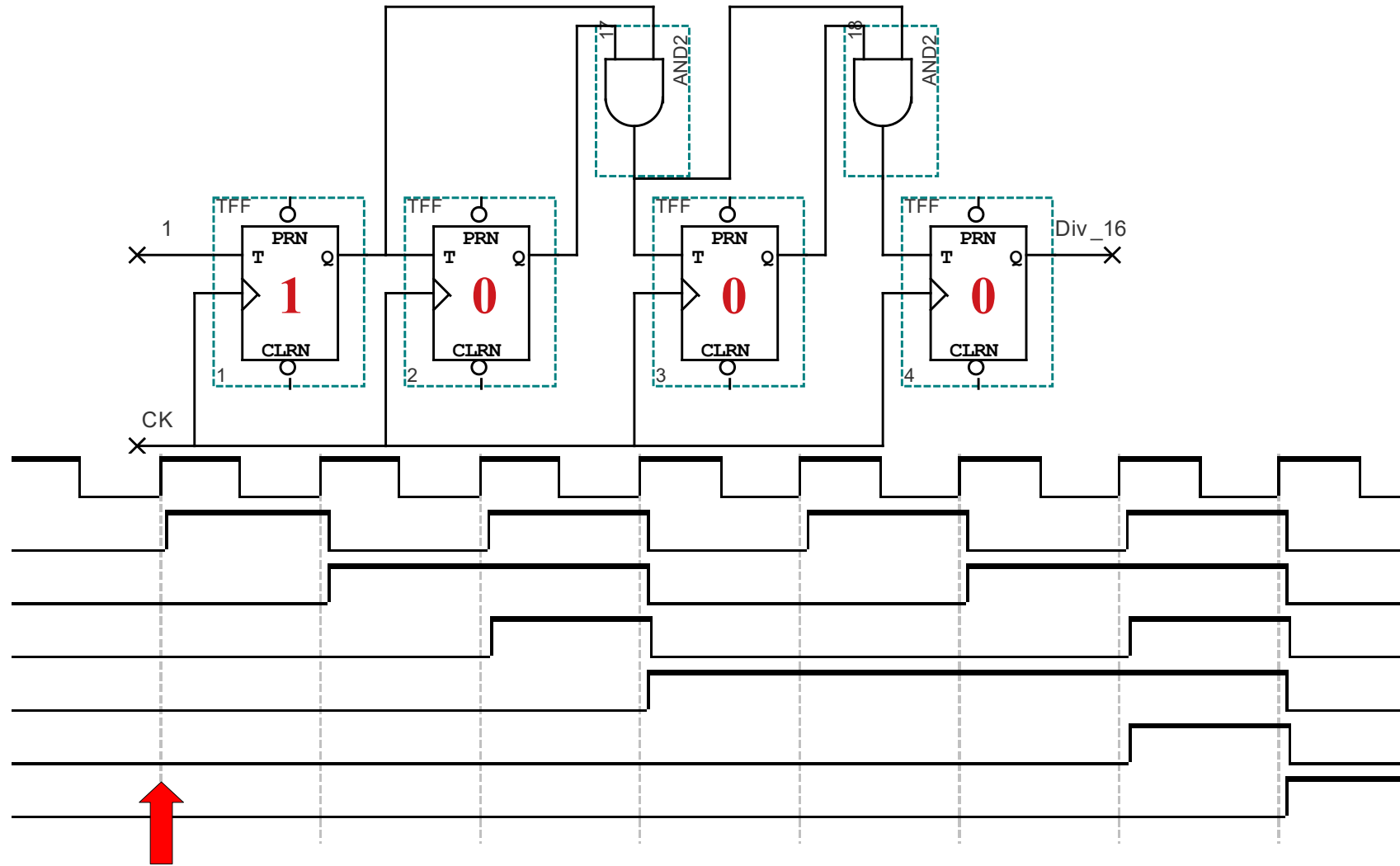
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



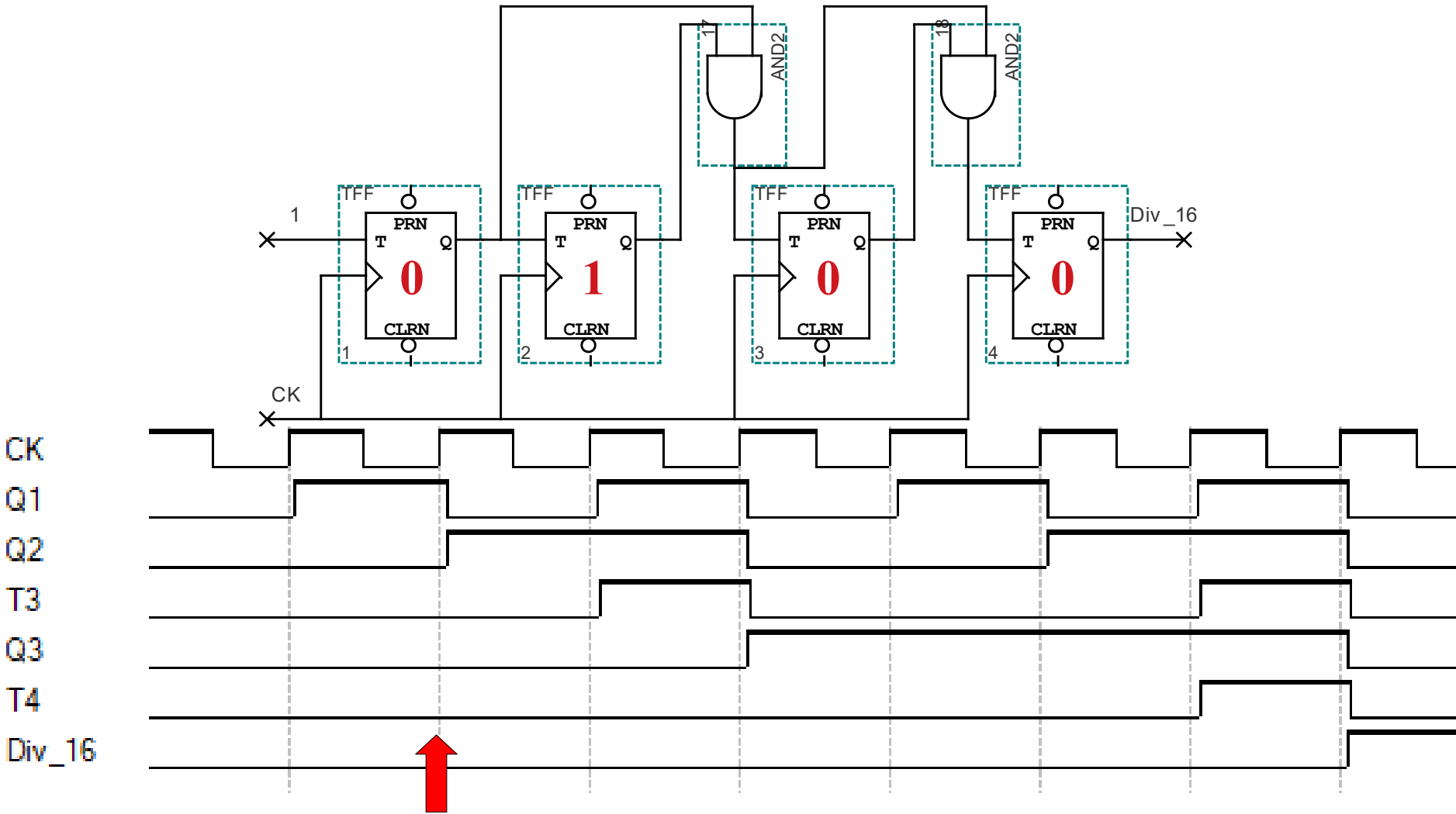
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



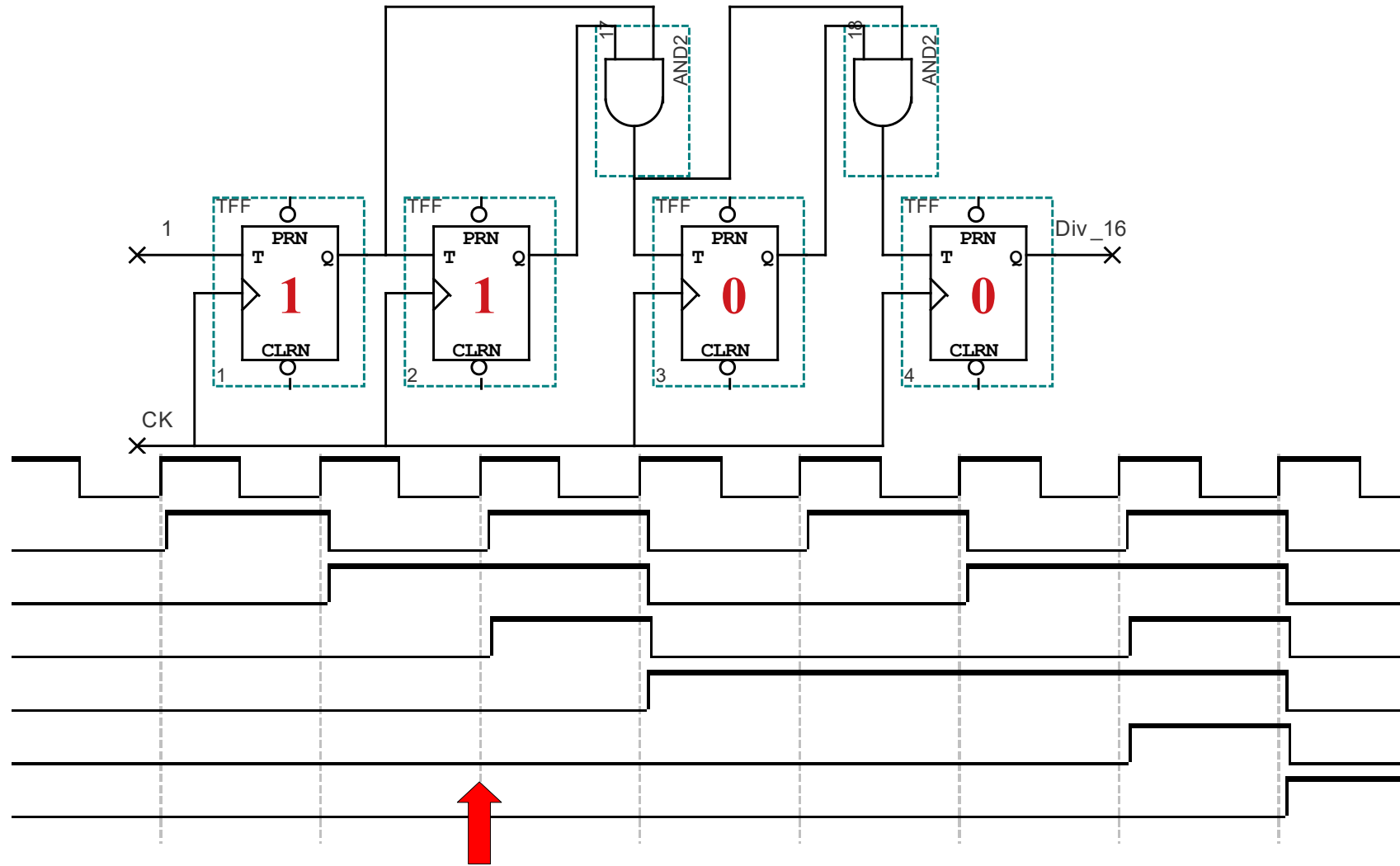
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



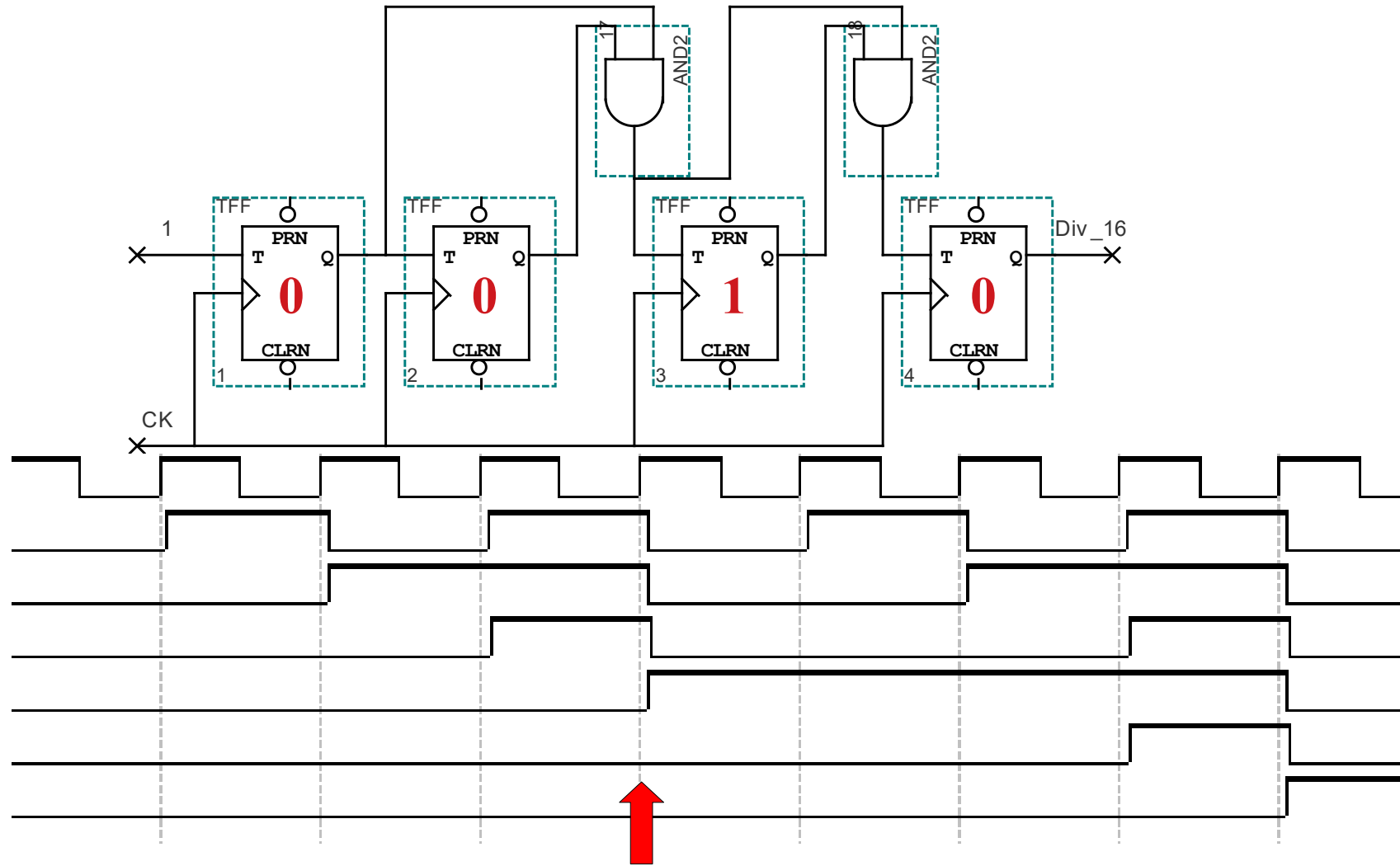
# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



# Aplicaciones

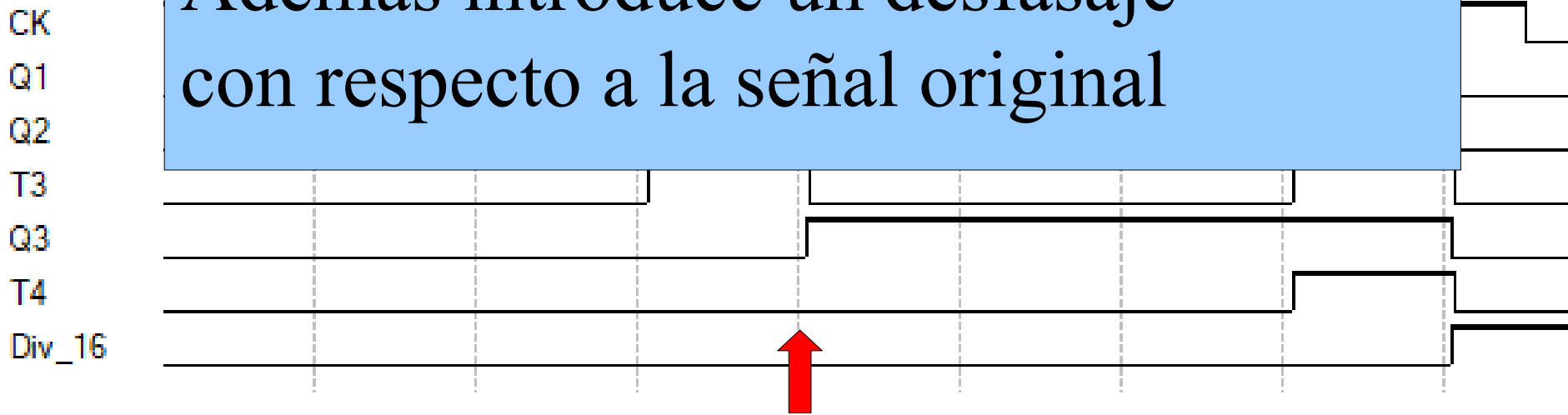
## Divisor de frecuencia – Sincrónicos



# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Sincrónicos

Esta versión soluciona el problema del retardo a costa de agregar complejidad de diseño (más compuertas, más \$\$\$)  
Además introduce un desfase con respecto a la señal original



# Aplicaciones

## Divisor de frecuencia – Generalidades

- El cociente de la división es una potencia de 2

$$f_{\text{out}} = f_{\text{in}} / 2^n$$

- El número de compuertas FF-T determina el exponente del divisor



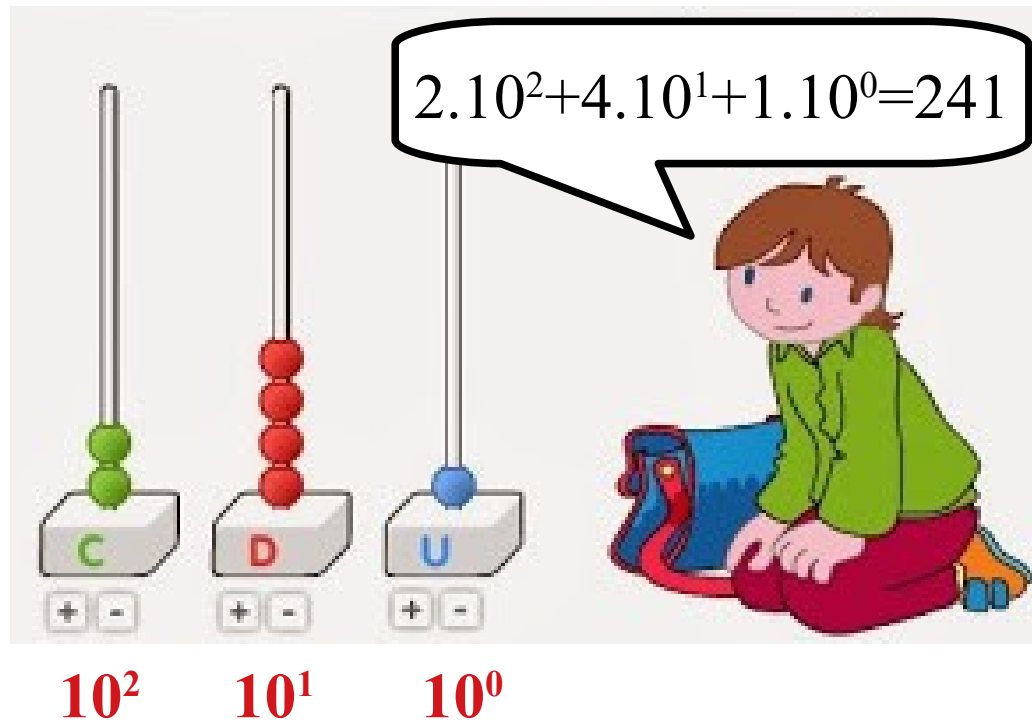
# Índice

- Repaso
- Divisor de frecuencia
- **Contadores**
- Registros

# Aplicaciones

## Contadores

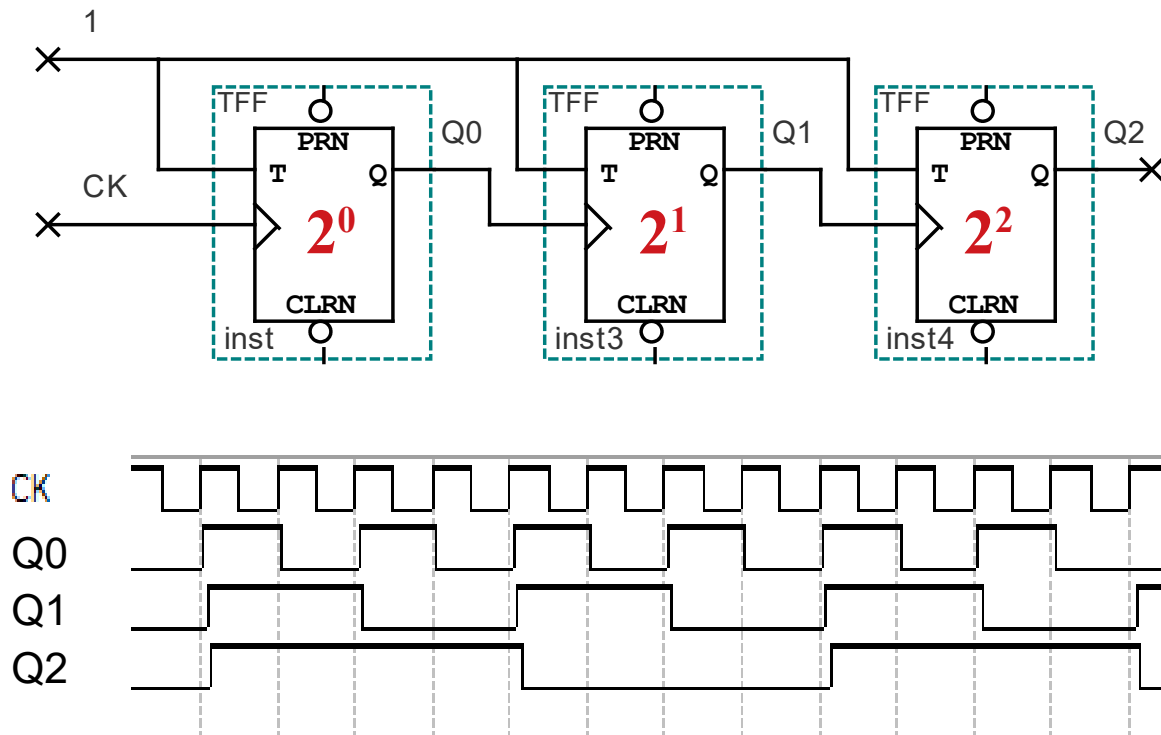
- En base a FF-T
- En base a FF-D



# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior

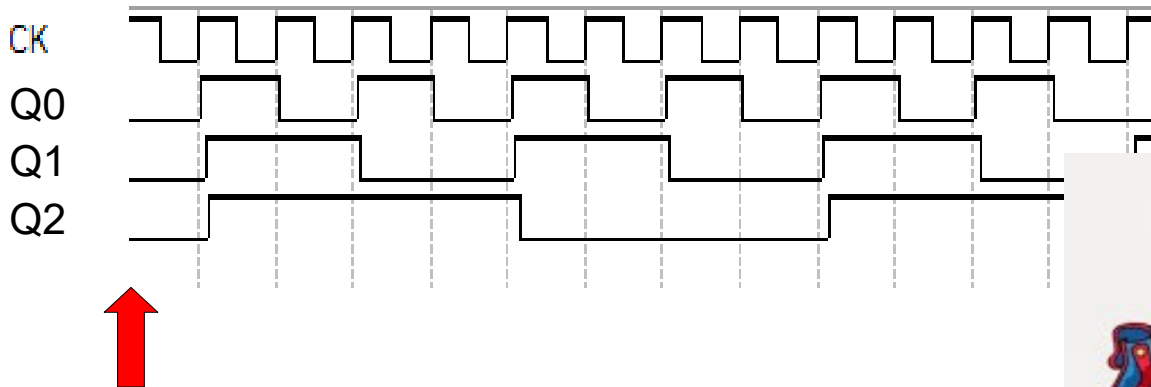
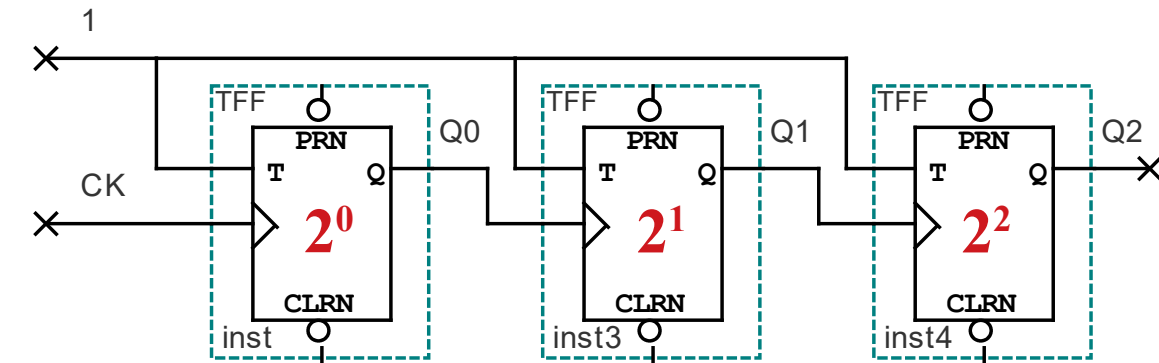


	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

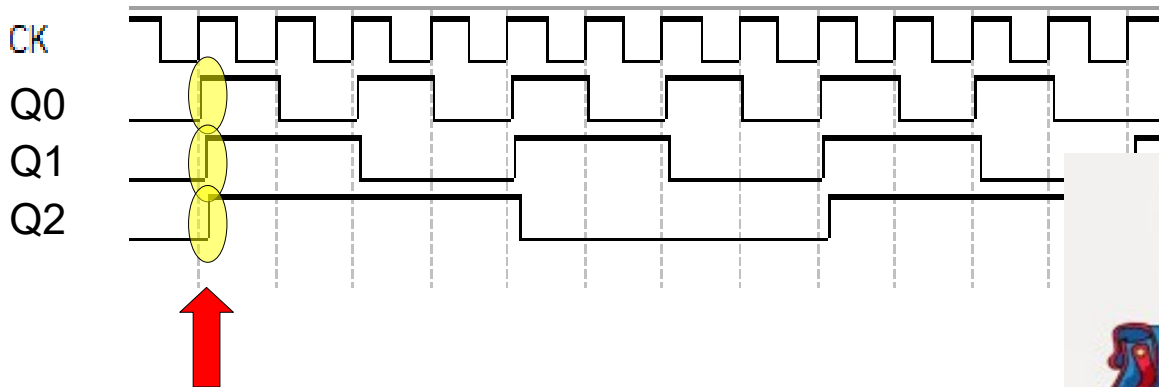
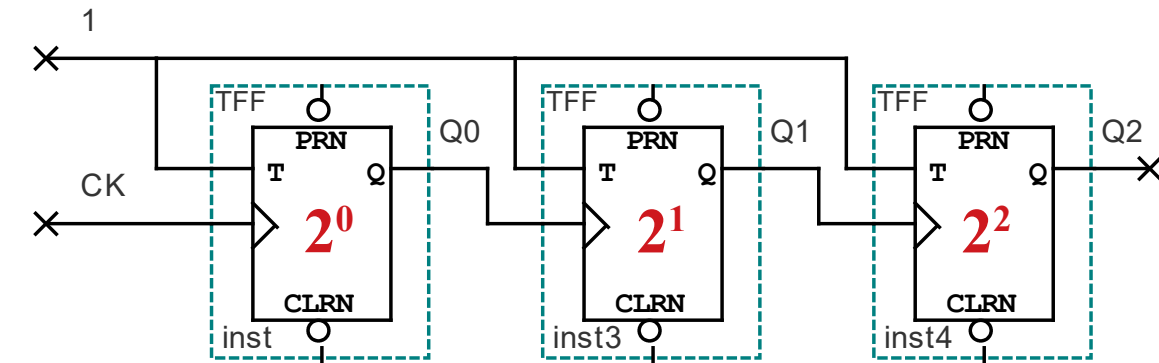
$$0.2^2 + 0.2^1 + 0.2^0 = 0$$



# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

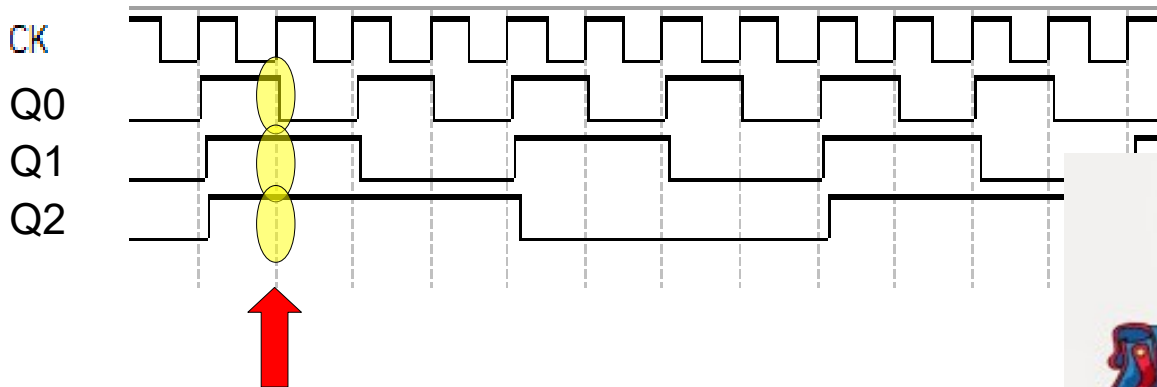
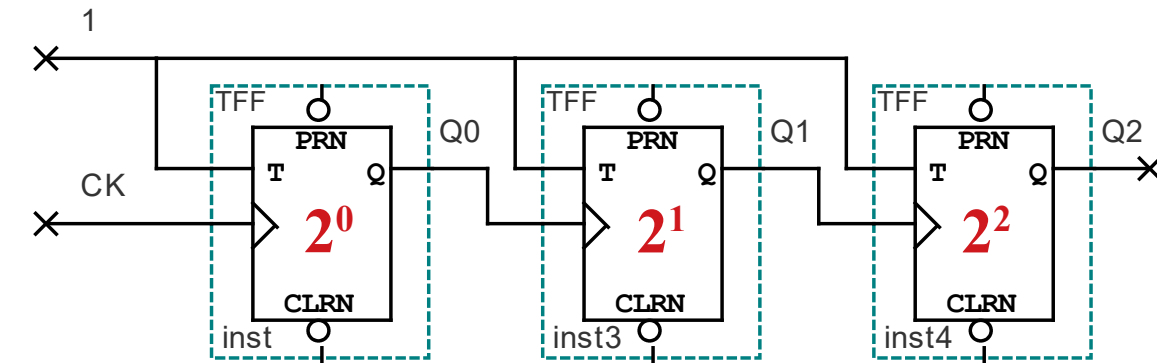


$$1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 7$$

# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

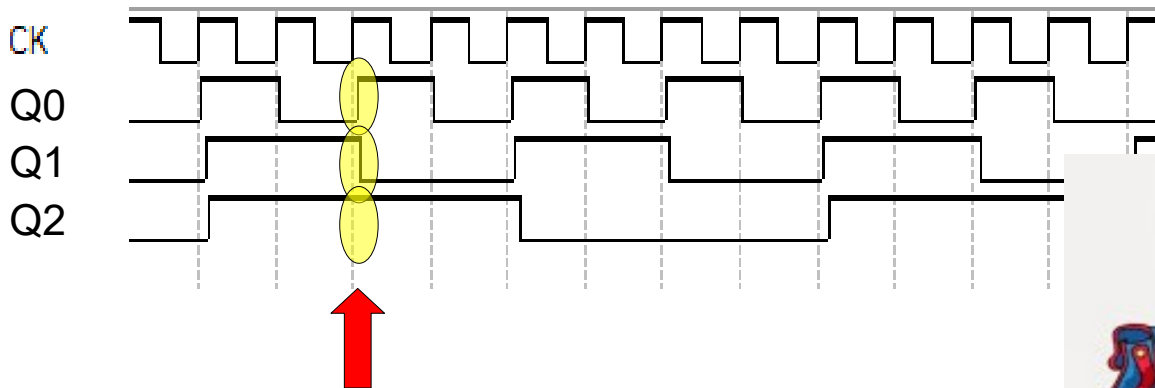
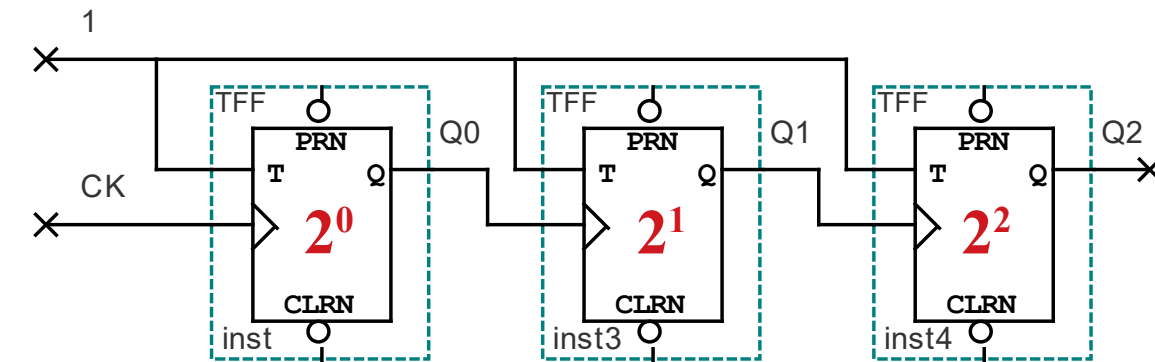
$$1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 6$$



# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

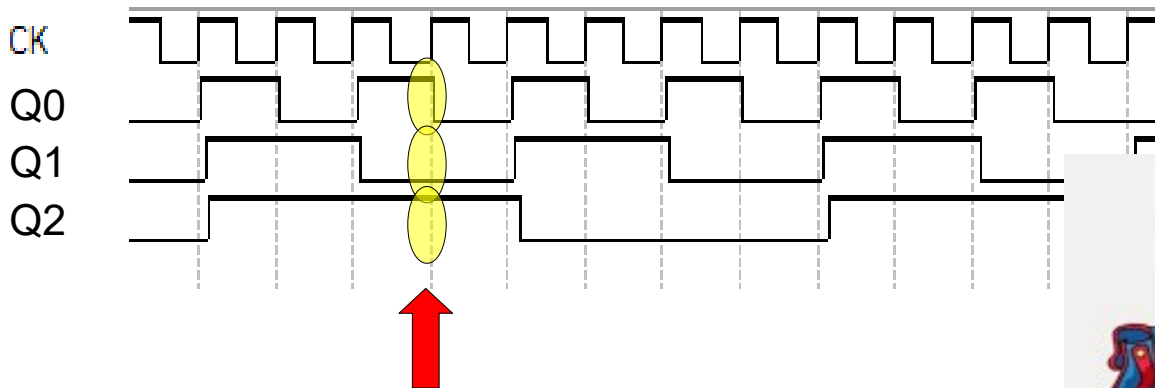
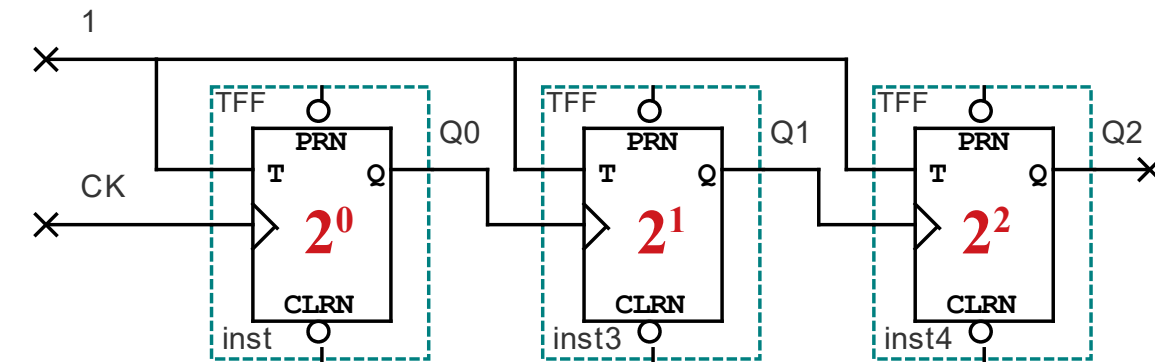


$$1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 5$$

# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0



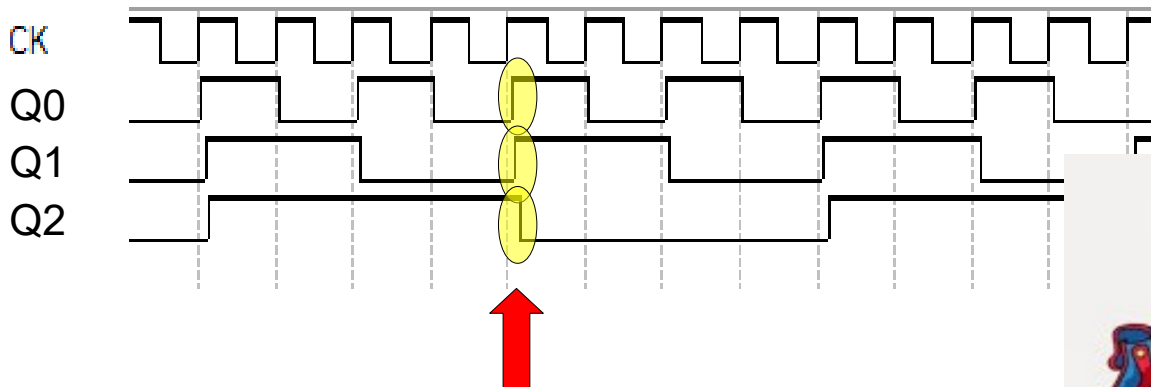
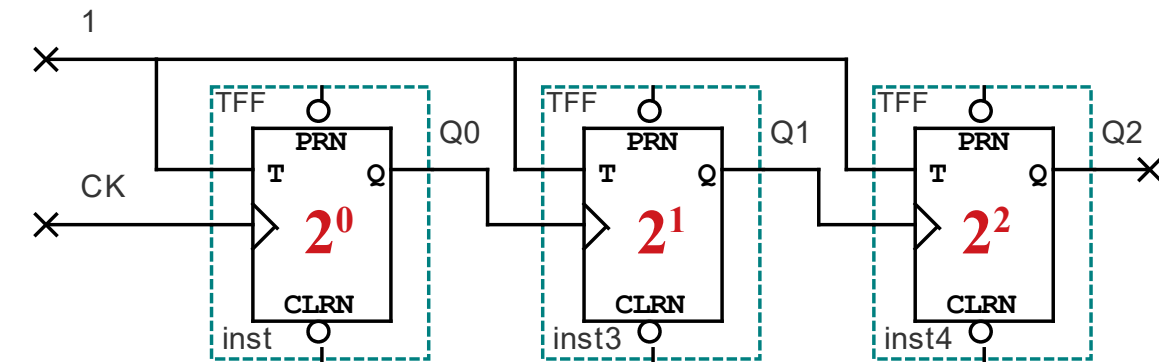
$$1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 4$$




# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

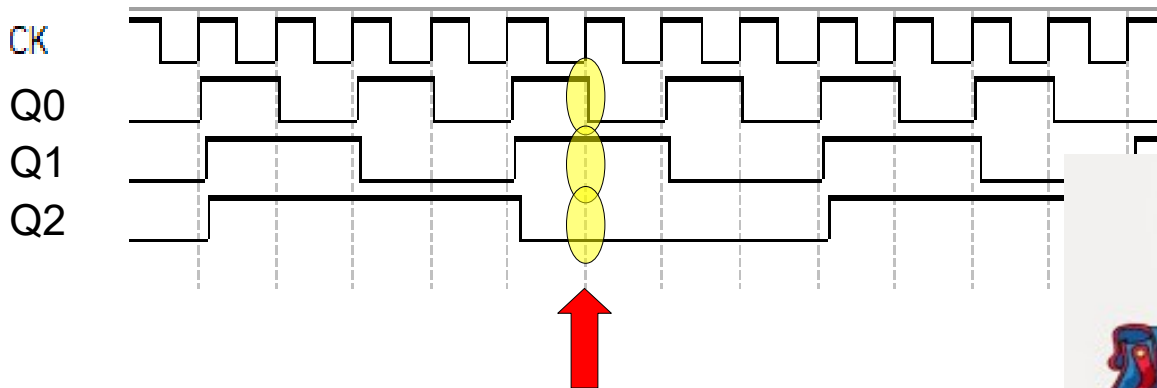
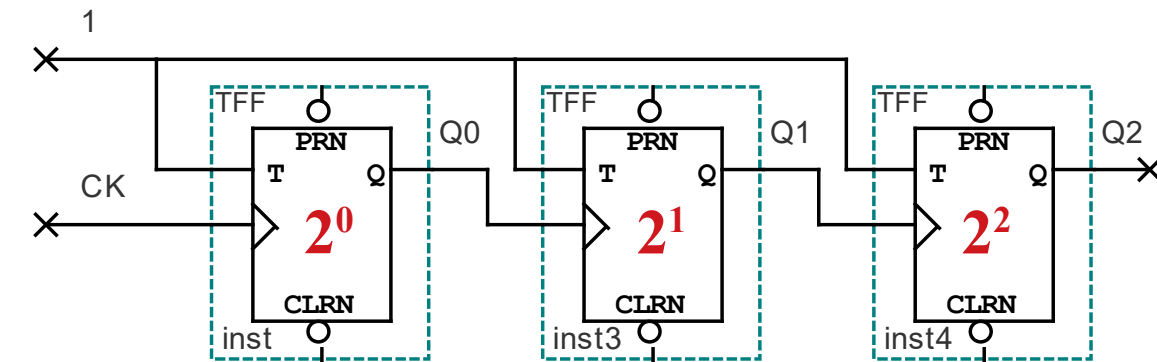


$0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 3$

# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

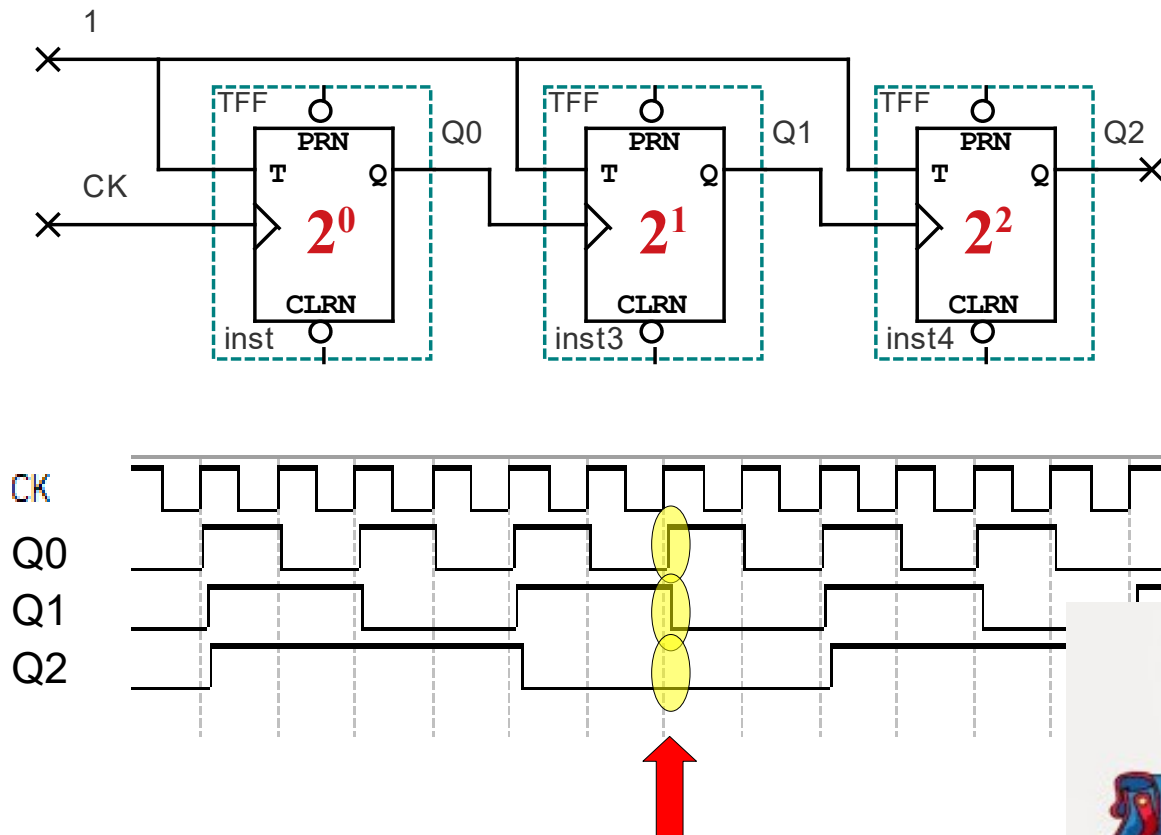


$$0.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0 = 2$$

# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0

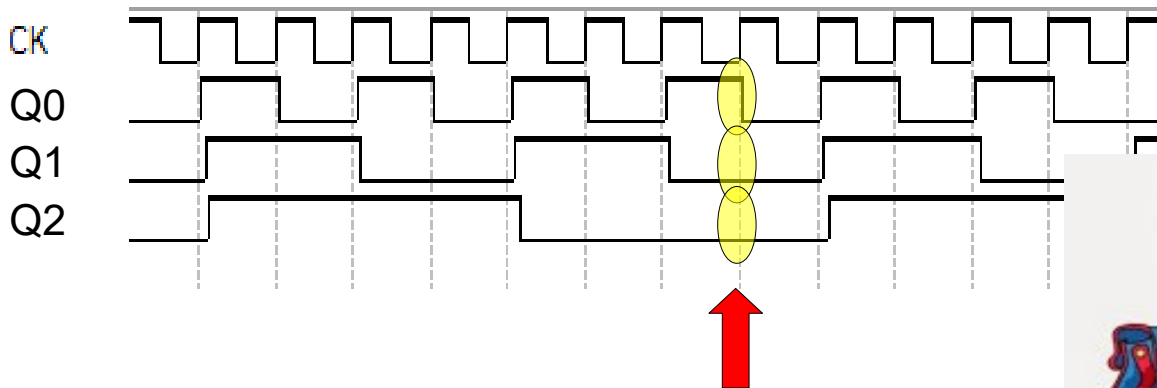
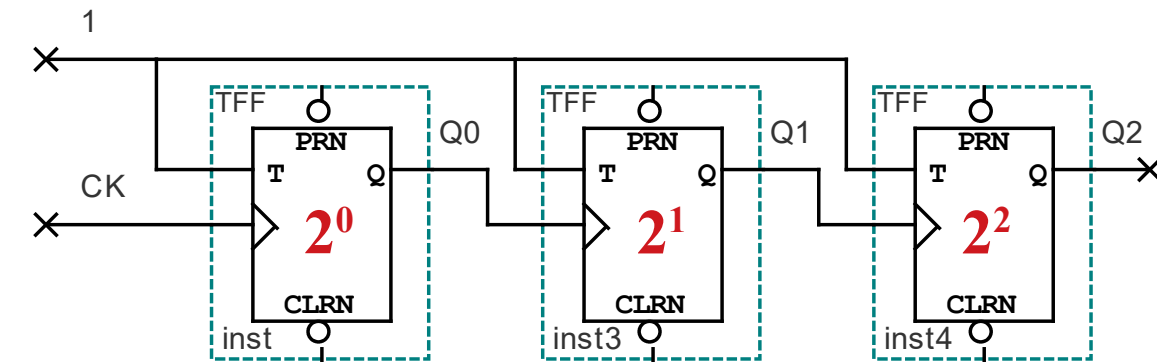
$$0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1$$



# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Como ya se vió en el ejemplo anterior



	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0



$$0.2^2 + 0.2^1 + 0.2^0 = 0$$

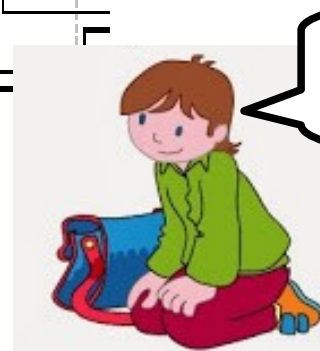
¿Otra vez de nuevo?

# Aplicaciones

## Contadores con FF-T



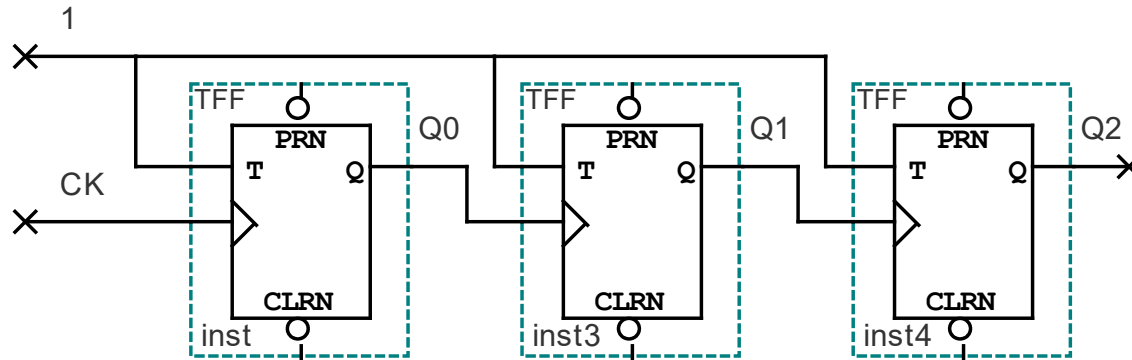
	Q2	Q1	Q0
Inicial	0	0	0
Primer flanco	1	1	1
Segundo flanco	1	1	0
Tercer flanco	1	0	1
Cuarto flanco	1	0	0
Quinto flanco	0	1	1
Sexto flanco	0	1	0
Séptimo flanco	0	0	1
Octavo flanco	0	0	0



# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Cada flip-flop representa un bit
- Cuenta de forma regresiva
- Desventaja, solo cuenta potencias de 2

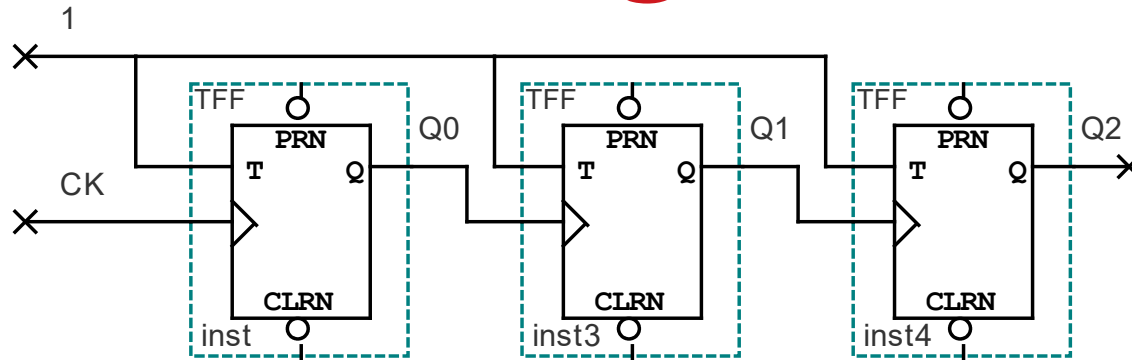


# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Cada flip-flop representa un bit
- Cuenta de forma regresiva
- Desventaja, solo cuenta potencias de 2

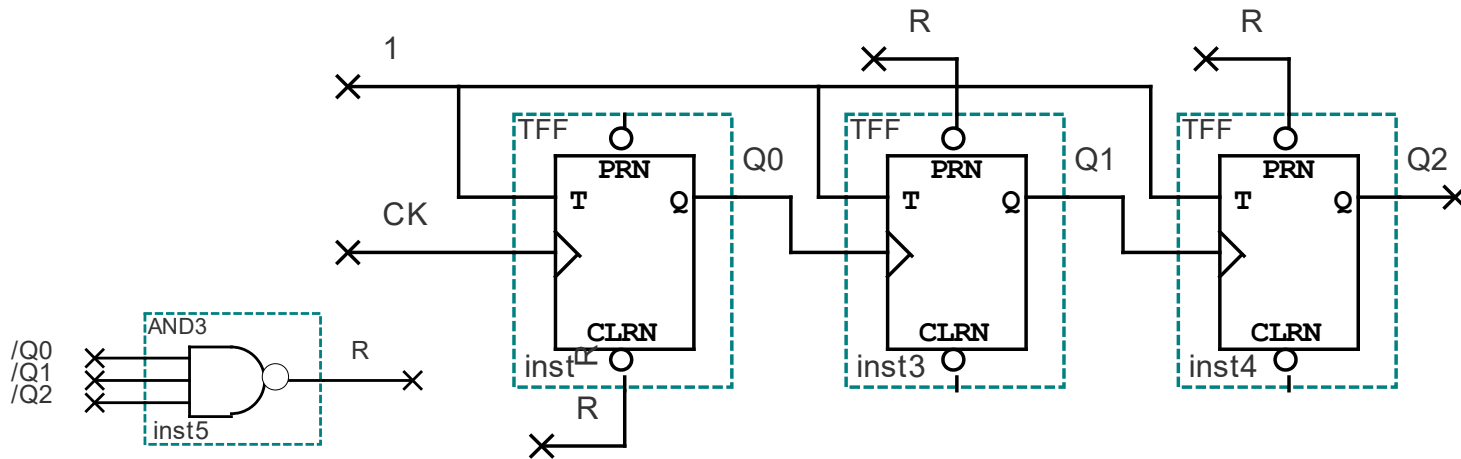
**¿Se les ocurre alguna solución?**



# Aplicaciones

## Contadores con FF-T

- Cada flip-flop representa un bit
- Cuenta de forma regresiva
- Desventaja, solo cuenta potencias de 2
- SOLUCIÓN: utilizar las entradas de clear y set para reiniciar los flip-flops al valor deseado al llegar a 0





# Aplicaciones

## Contadores con FF-D

- Más intuitivo de diseñar
- Cada FF-D representa un bit (al igual que en el caso anterior)
- Pasos para su diseño:
  - 1) Armar la tabla de verdad
  - 2) Para cada bit diseñar su circuito mínimo (mapas-k)

# Aplicaciones

## Ejemplo, contador circular con n=6

### 1) Diseño de la tabla de verdad

Dígito	Entradas			Salidas		
	Q2	Q1	Q0	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	1	0	1
5	1	0	1	0	0	0

$$Q_{n+1}[2..0] = D[2..0]$$

# Aplicaciones

## Ejemplo, contador circular con $n=6$

### 1) Diseño de la tabla de verdad

Dígito	Entradas			Salidas		
	Q2	Q1	Q0	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	1	0	1
5	1	0	1	0	0	0
6	1	1	0	X	X	X
7	1	1	1	X	X	X

# Aplicaciones

## Ejemplo, contador circular con n=6

### 2) Circuito mínimo

		D1D0				
		Q0	00	01	11	10
D2	0	0	1	0	0	1
	1	1	1	0	X	X

$$D0 = \overline{Q0}$$

		D1D0				
		Q1	00	01	11	10
D2	0	0	0	1	0	1
	1	1	0	0	X	X

$$D1 = \overline{Q2Q1Q0} + Q1\overline{Q0}$$

		D1D0				
		Q2	00	01	11	10
D2	0	0	0	0	1	0
	1	1	1	0	X	X

$$D2 = Q2\overline{Q0} + Q1Q0$$

Falta el diseño (queda de ejercicio)

# Aplicaciones

Contadores con FF-D – Cantidad de compuertas

¿Cuál es la relación entre la cantidad de compuertas y el tope de la cuenta  $n$  ?

# Aplicaciones

Contadores con FF-D – Cantidad de compuertas

¿Cuál es la relación entre la cantidad de compuertas y el tope de la cuenta  $n$  ?

Respuesta:

$$\text{Cantidad de compuertas} = \log_2(n)$$

# Índice

- Repaso
- Divisor de frecuencia
- Contadores
- **Registros**

# Aplicaciones

## Registros

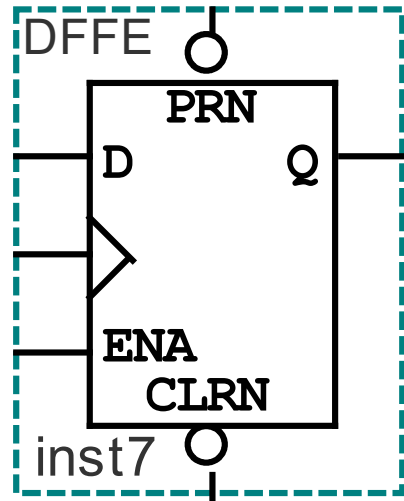
- Diseño con DFFE
- Valor inicial
- Shift-register
  - Ejemplo Serie a Paralelo
  - Aplicaciones aritméticas
- Ejemplo: Retardo



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

- En base a FF-D con habilitación



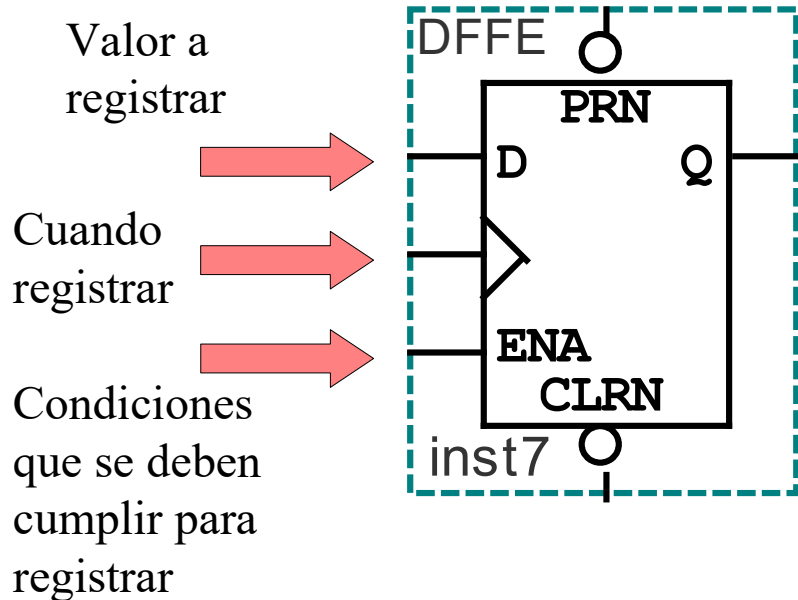
<i>D</i>	<i>Q<sub>n+1</sub></i>
0	0
1	1

Recordar que los FF-D guardan el estado anterior de la señal D

# Aplicaciones

## Registros – Diseño

- En base a FF-D con habilitación



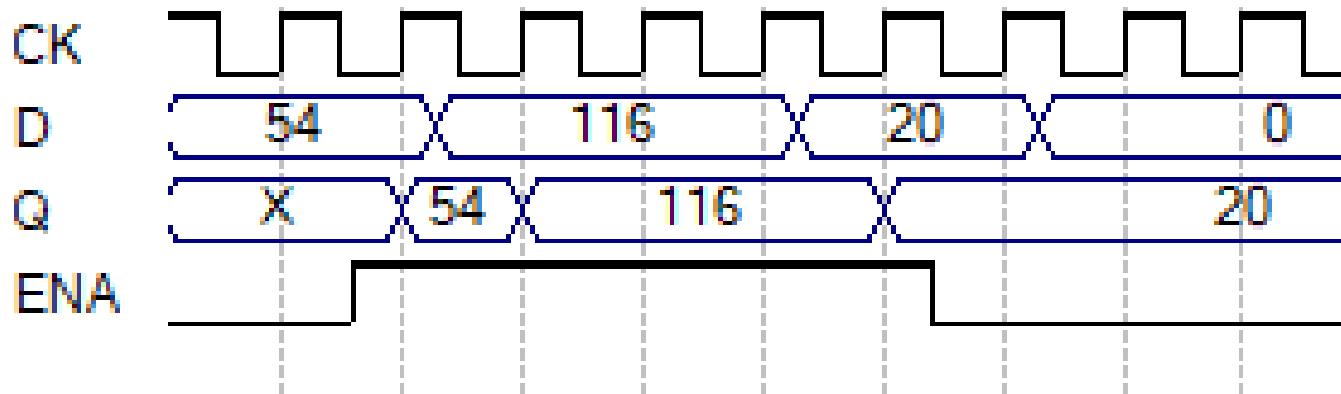
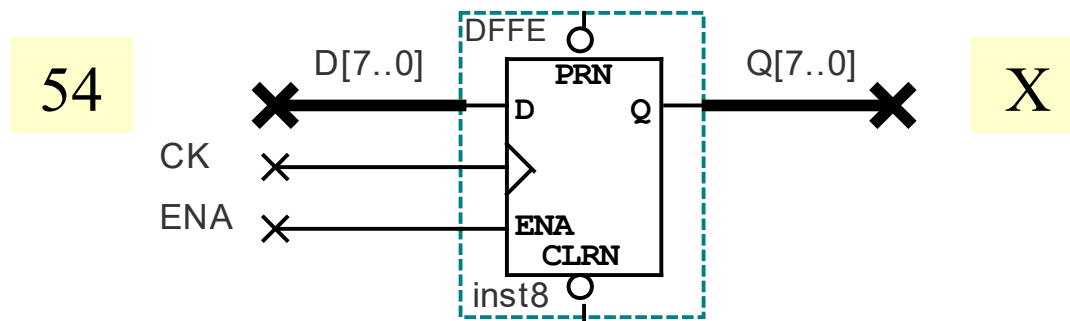
<i>D</i>	<i>Q<sub>n+1</sub></i>
0	0
1	1

Recordar que los FF-D guardan el estado anterior de la señal D

# Aplicaciones

## Registros – Diseño

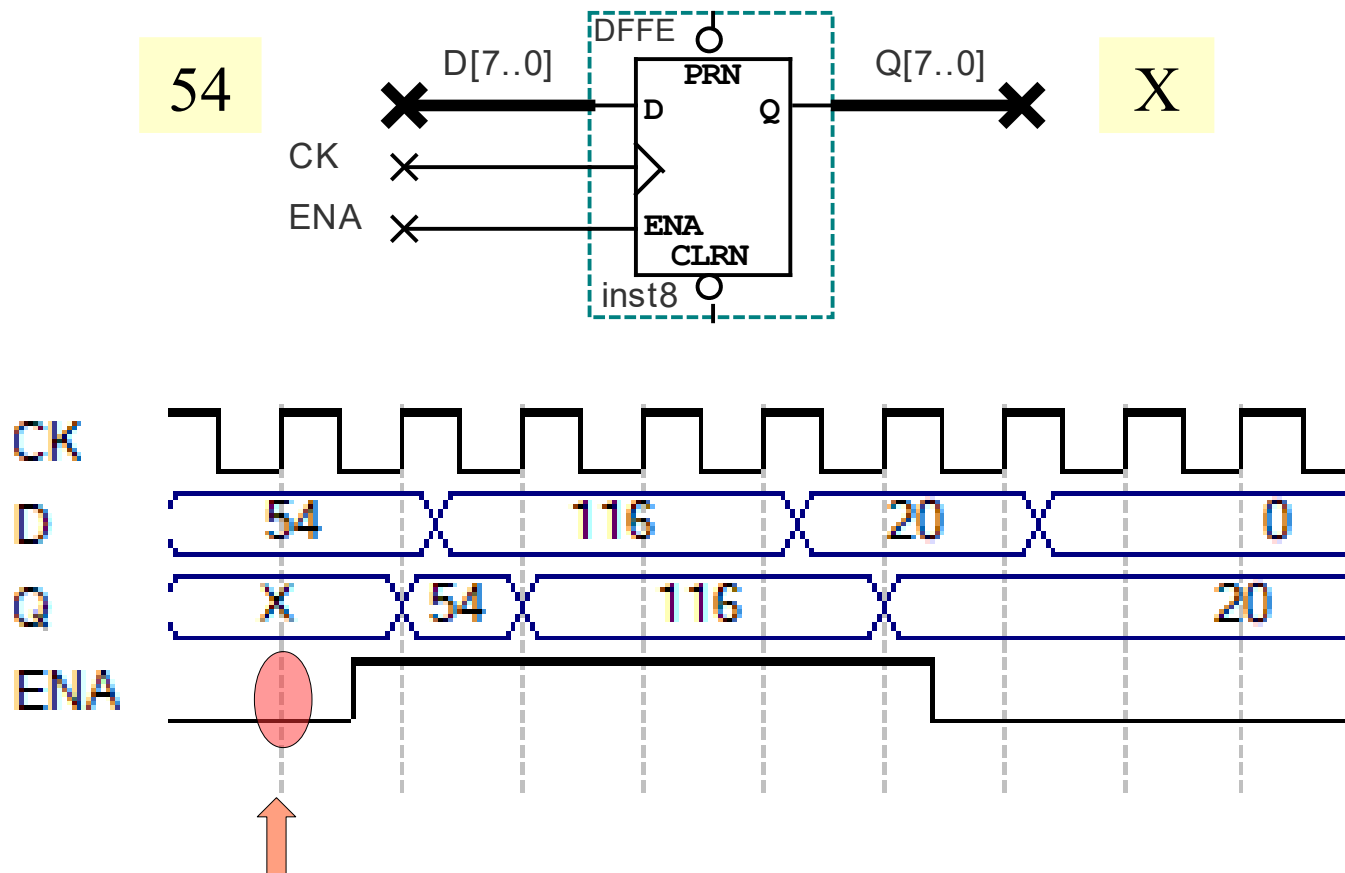
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

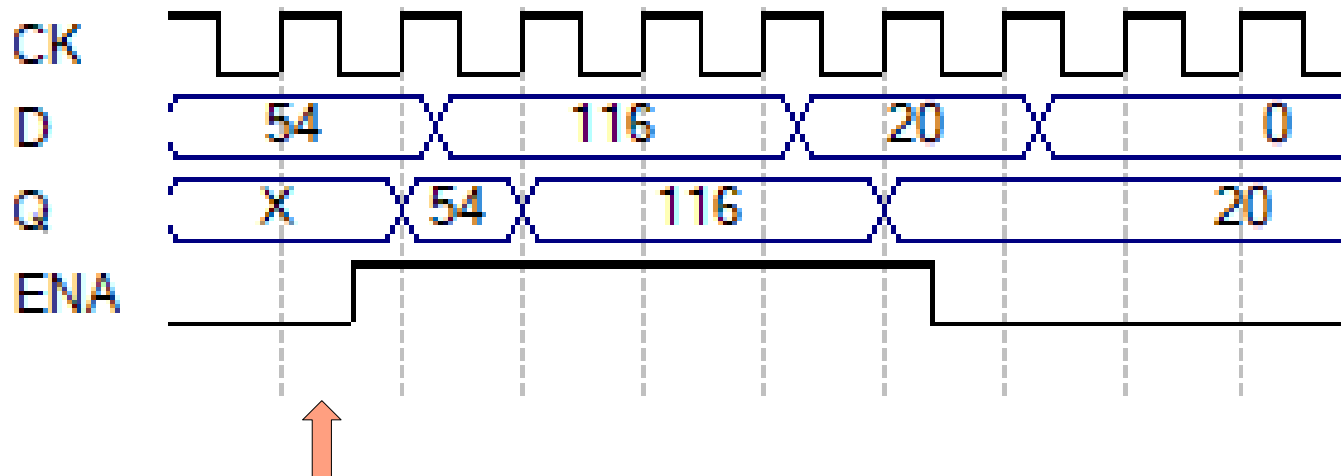
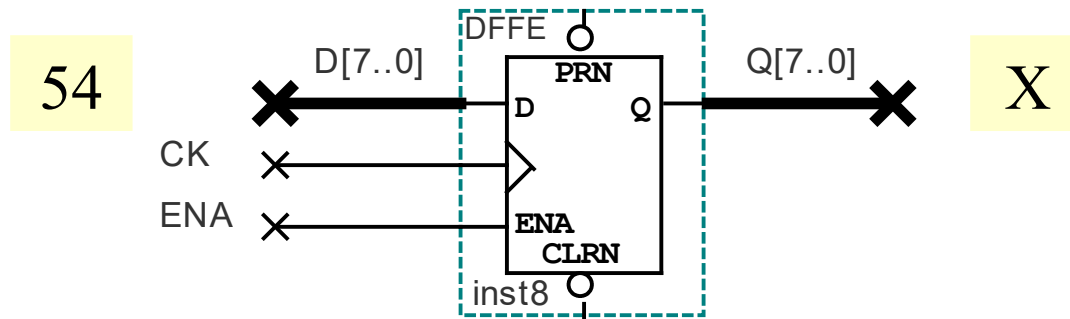
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

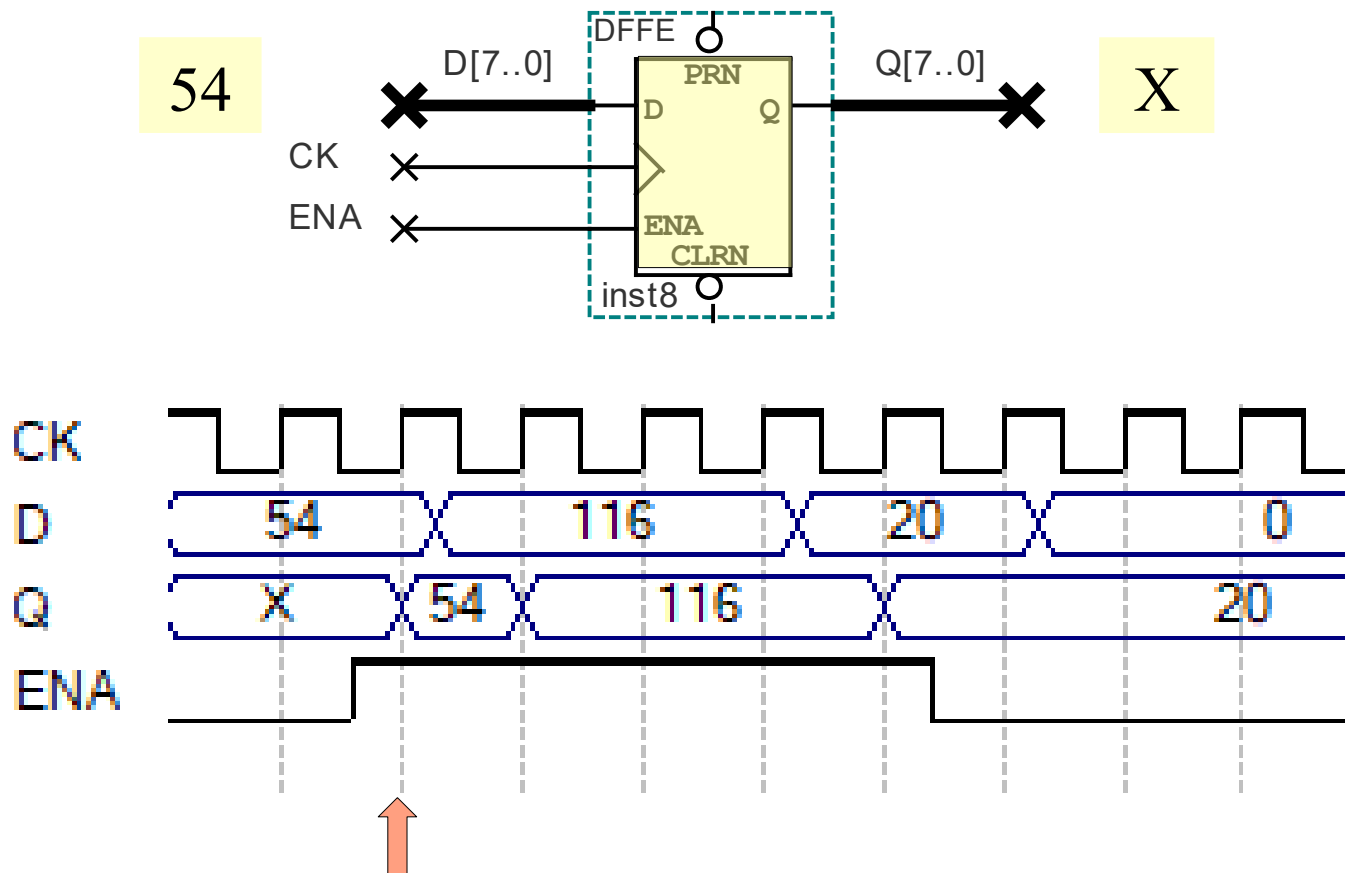
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

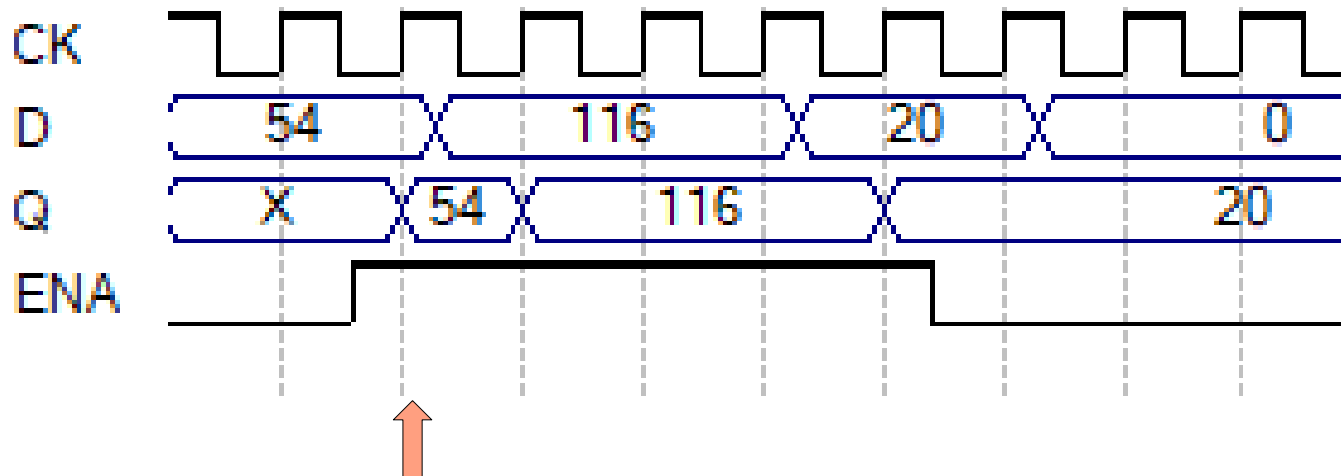
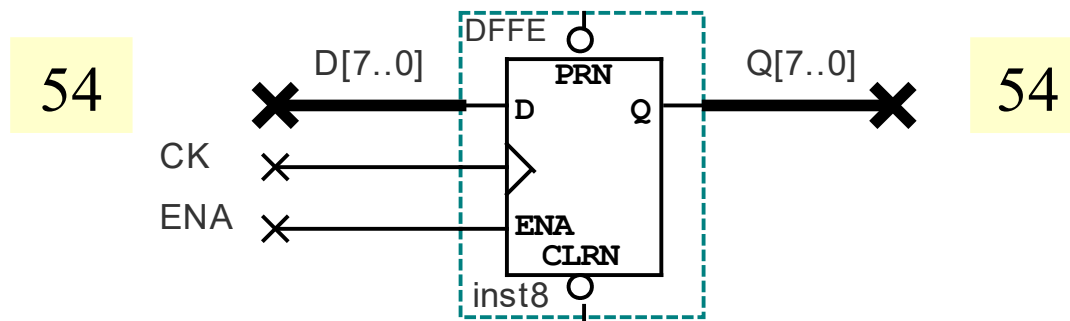
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

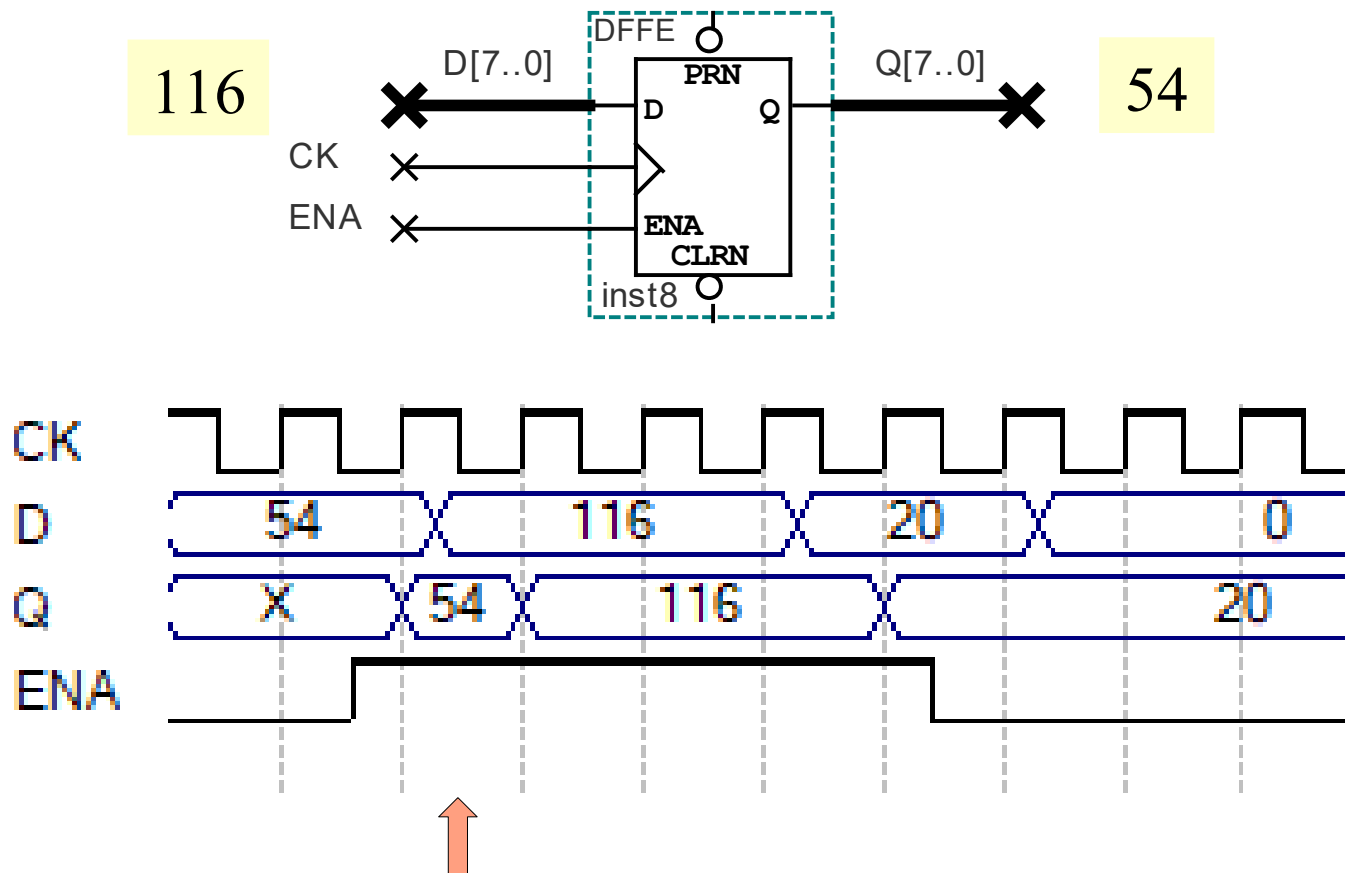
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

- ¿Cómo se registra?

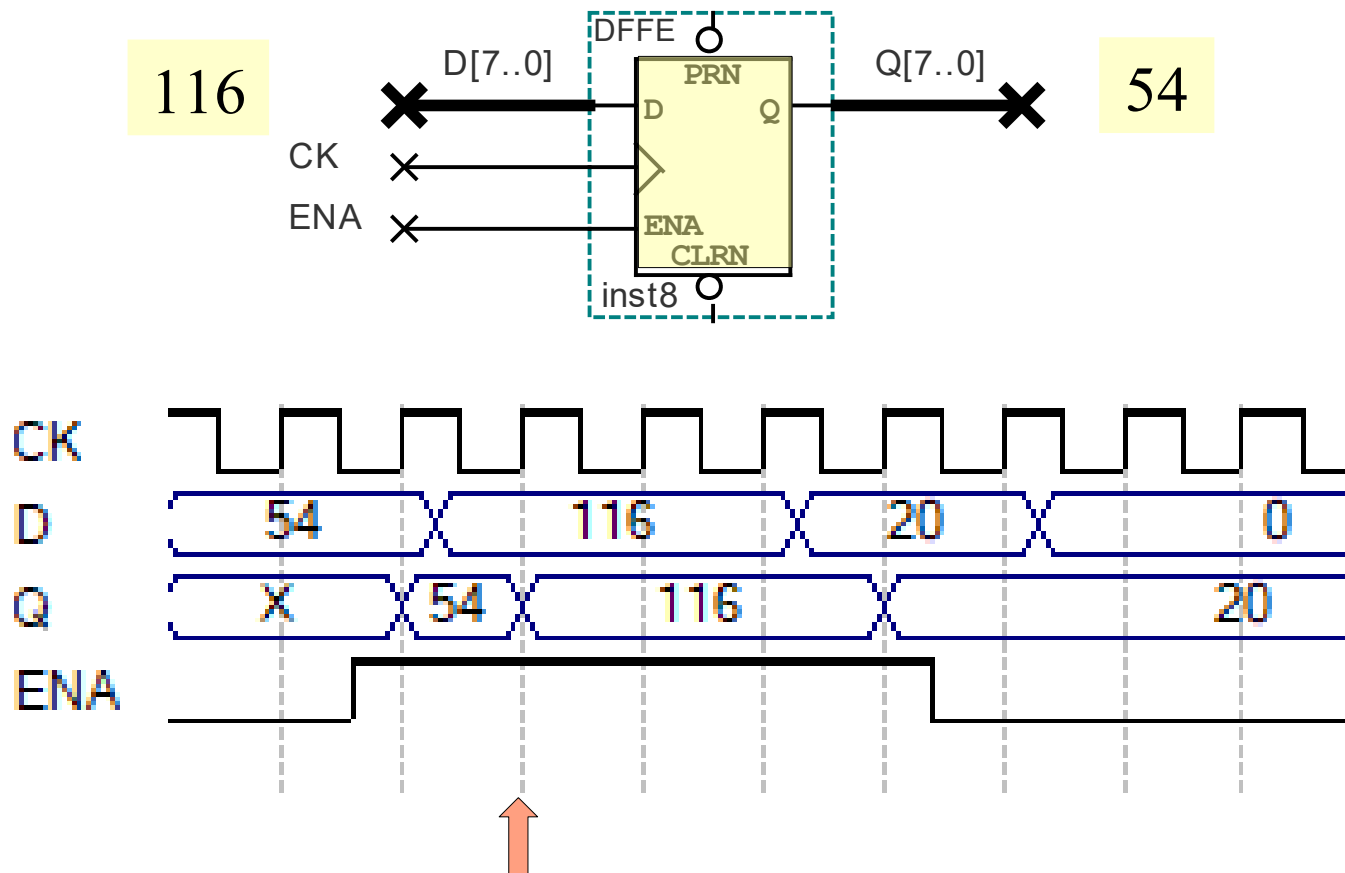




# Aplicaciones

## Registros – Diseño

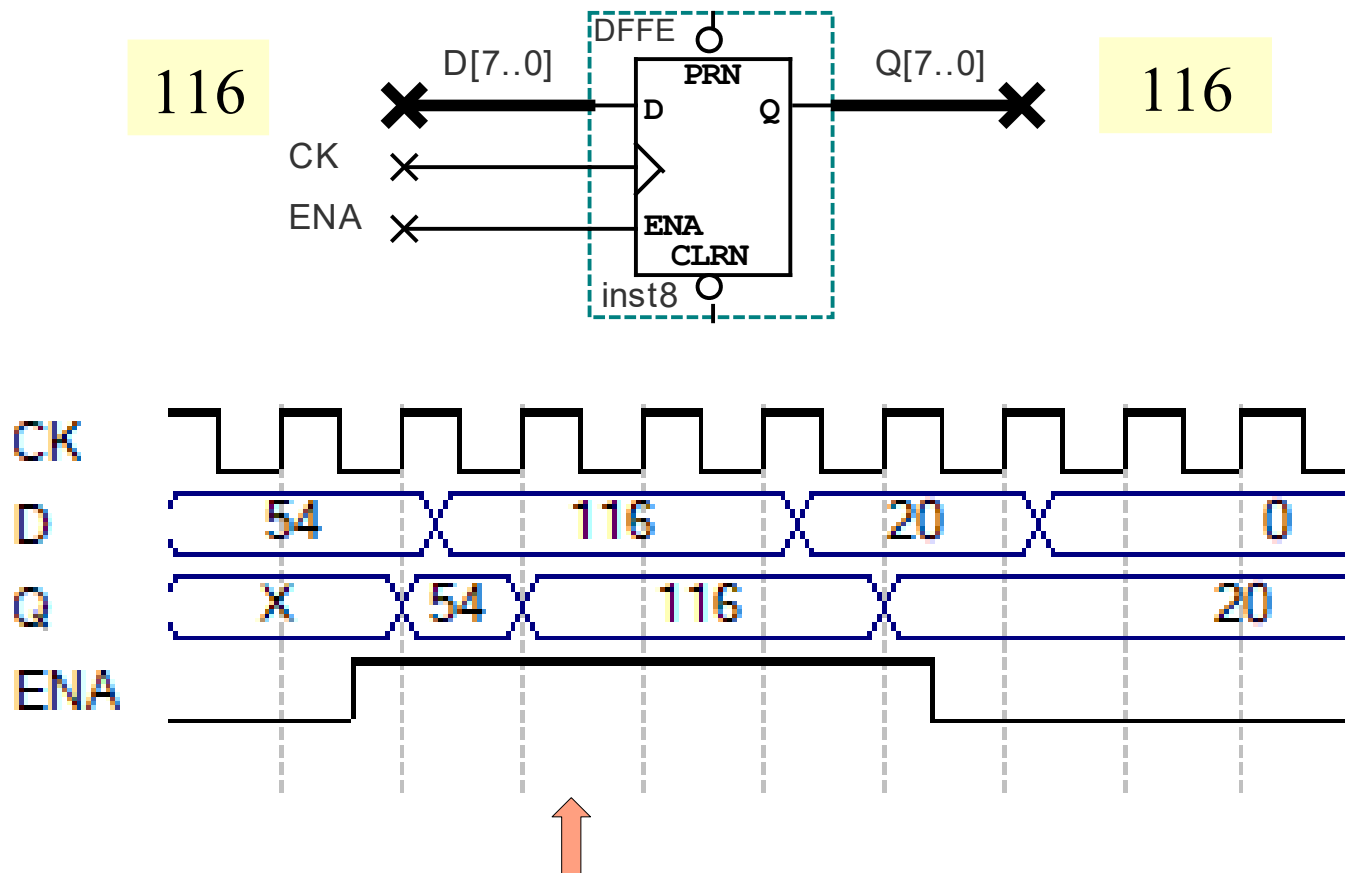
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

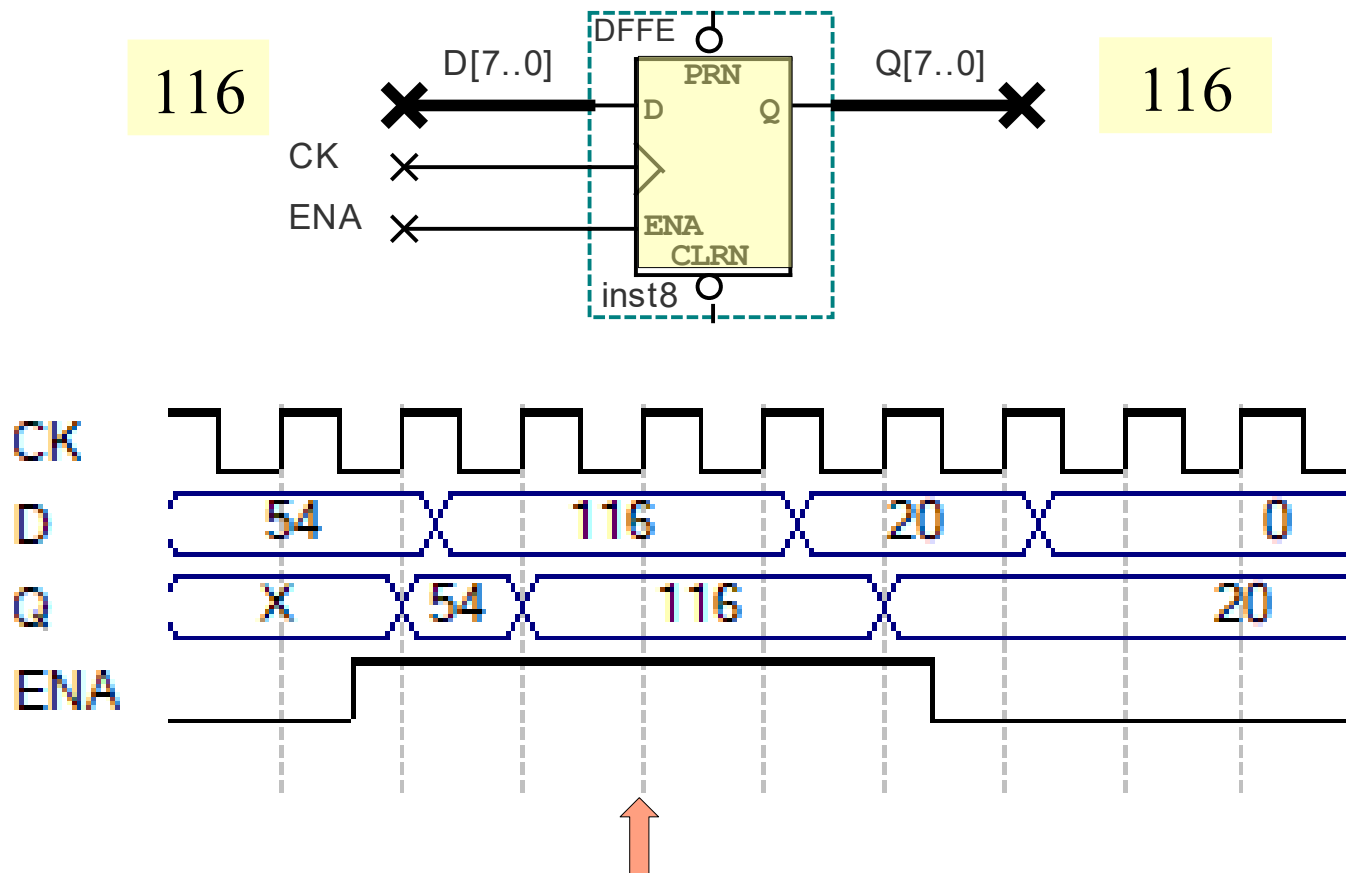
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

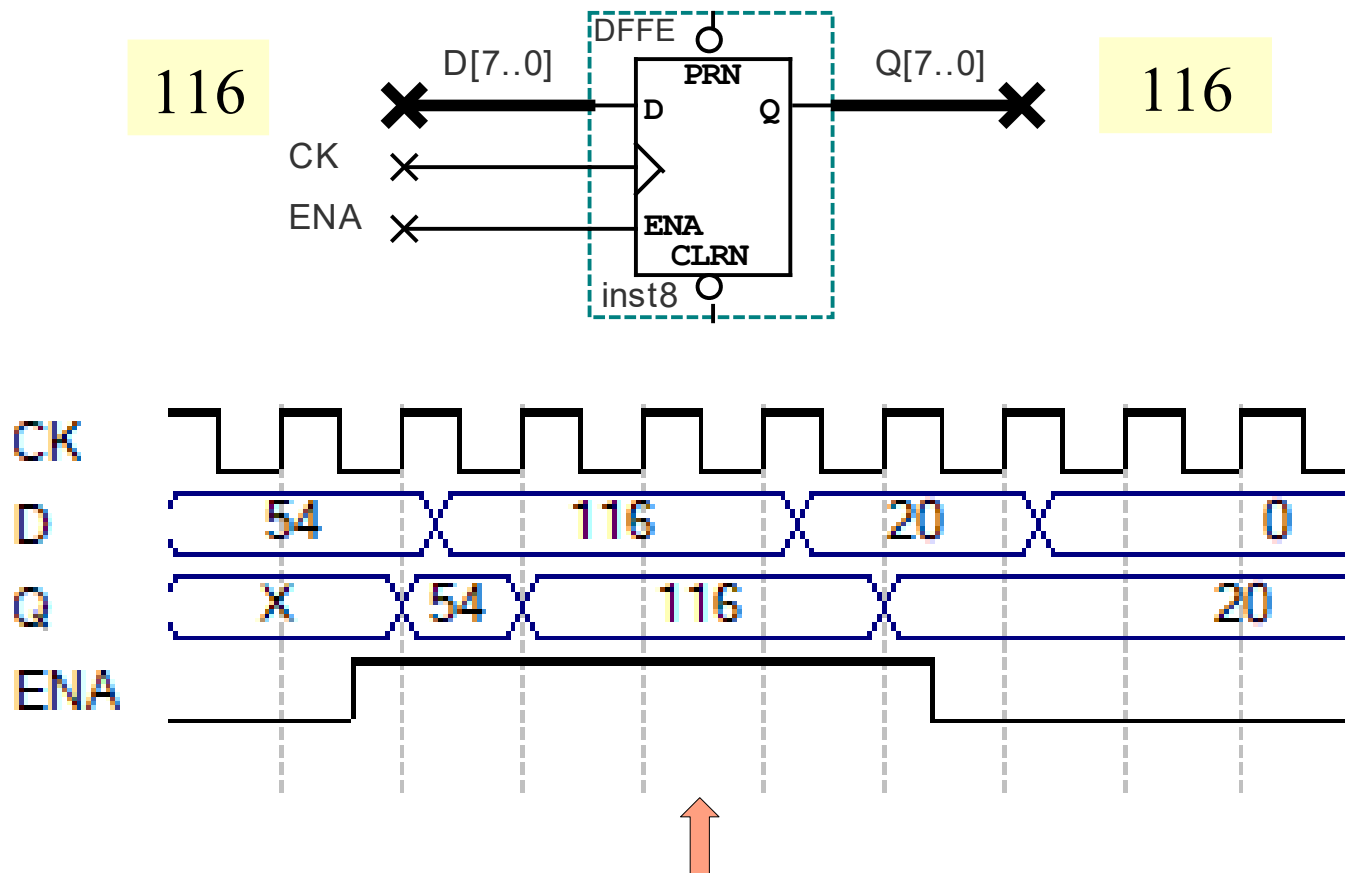
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

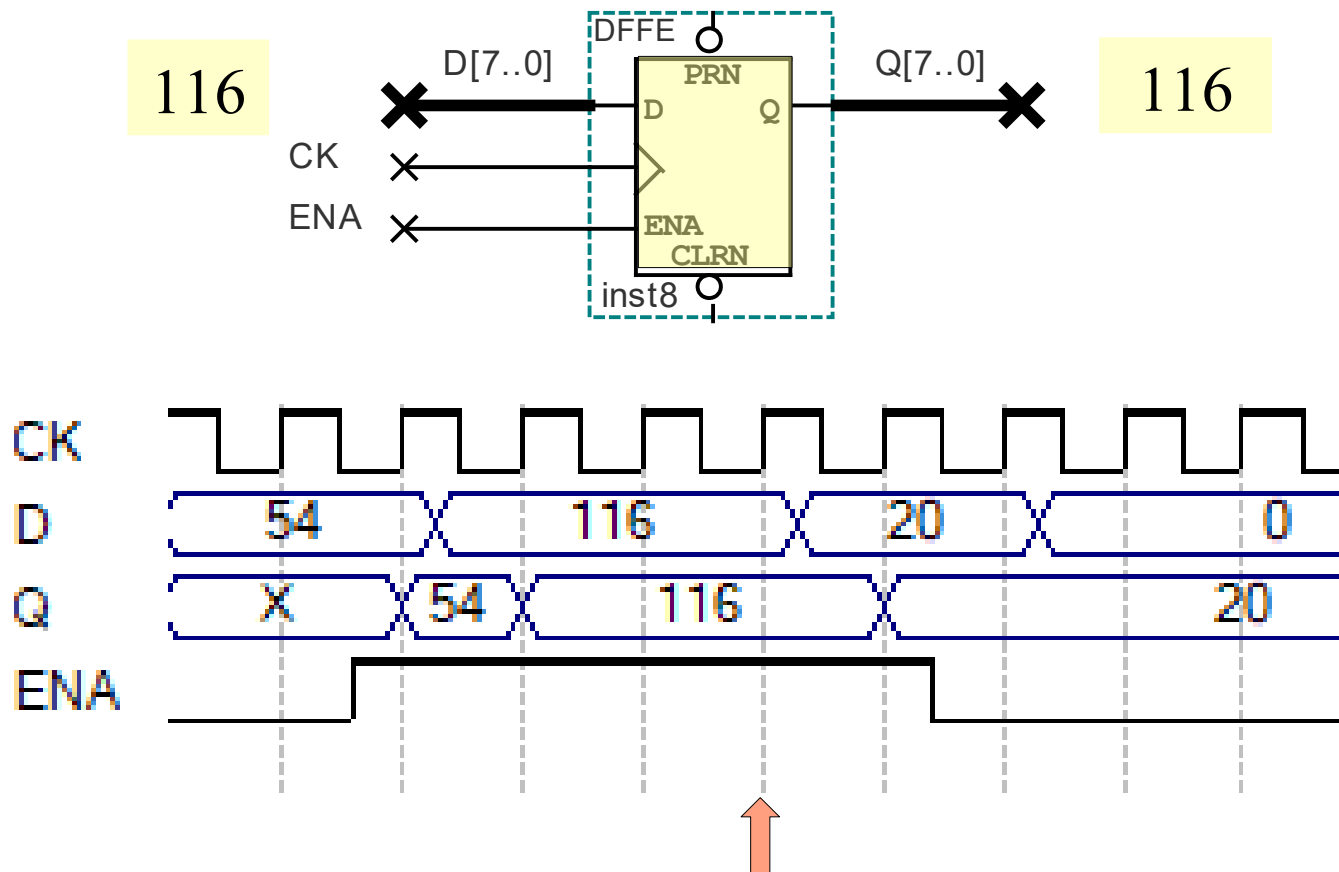
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

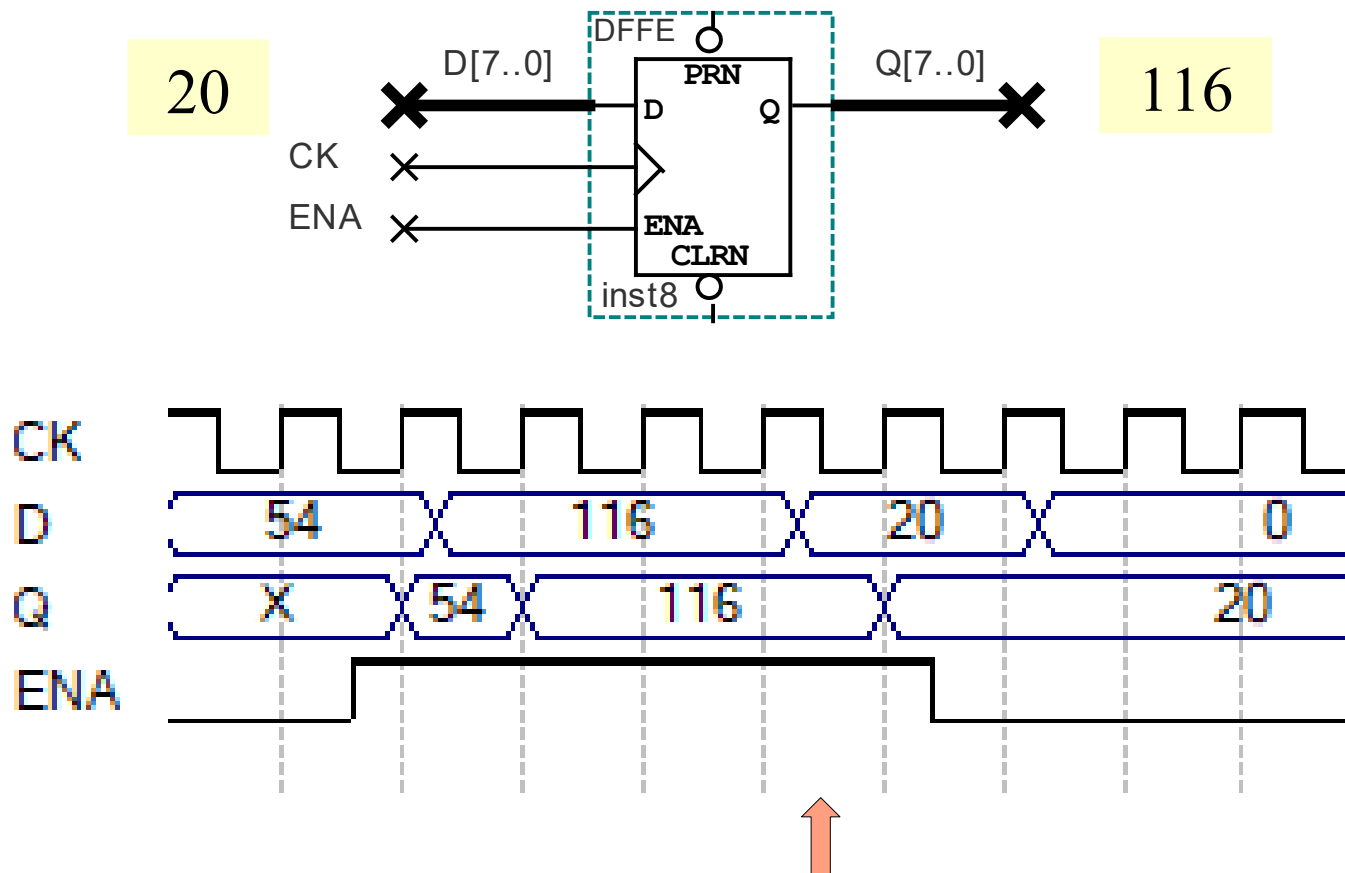
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

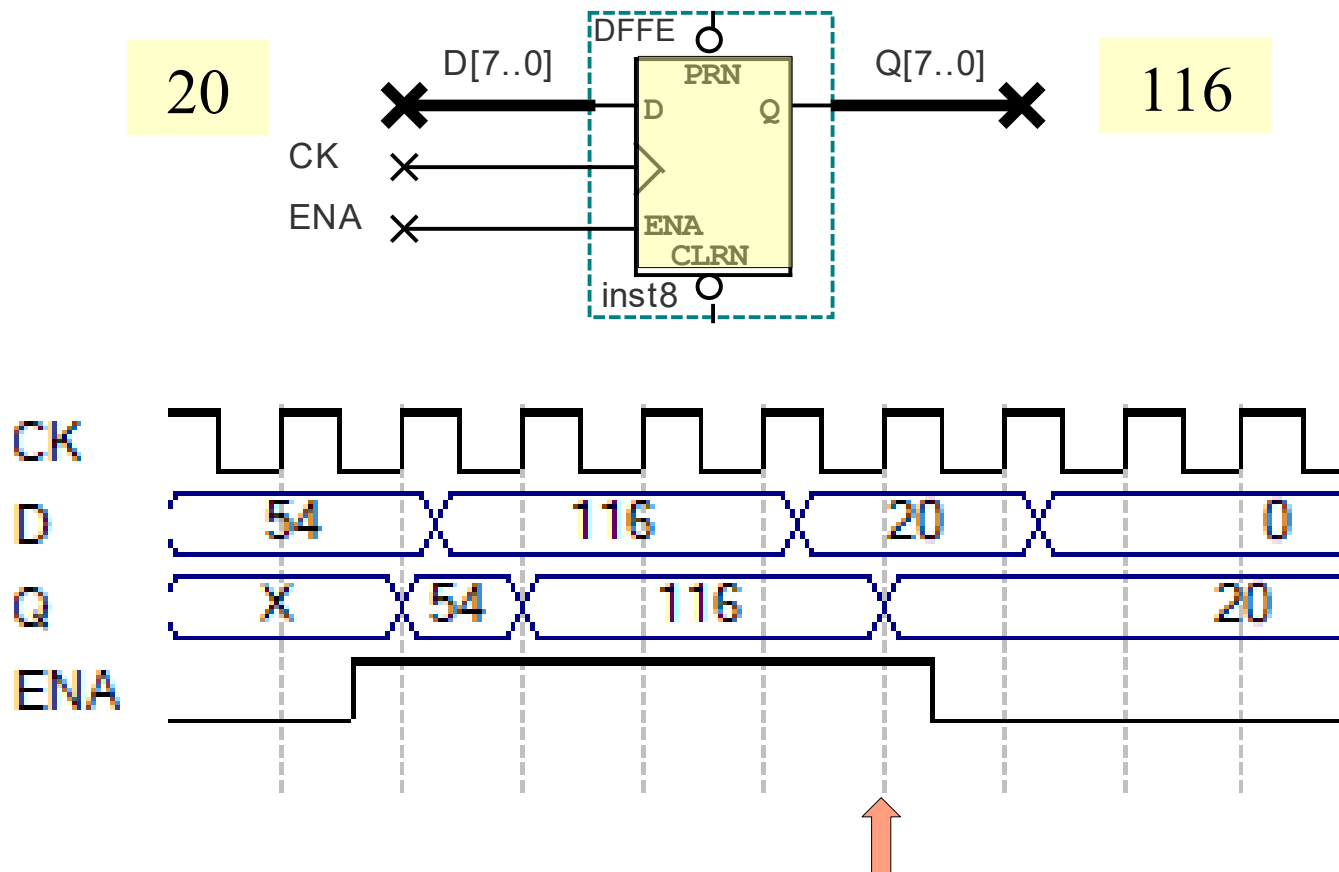
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

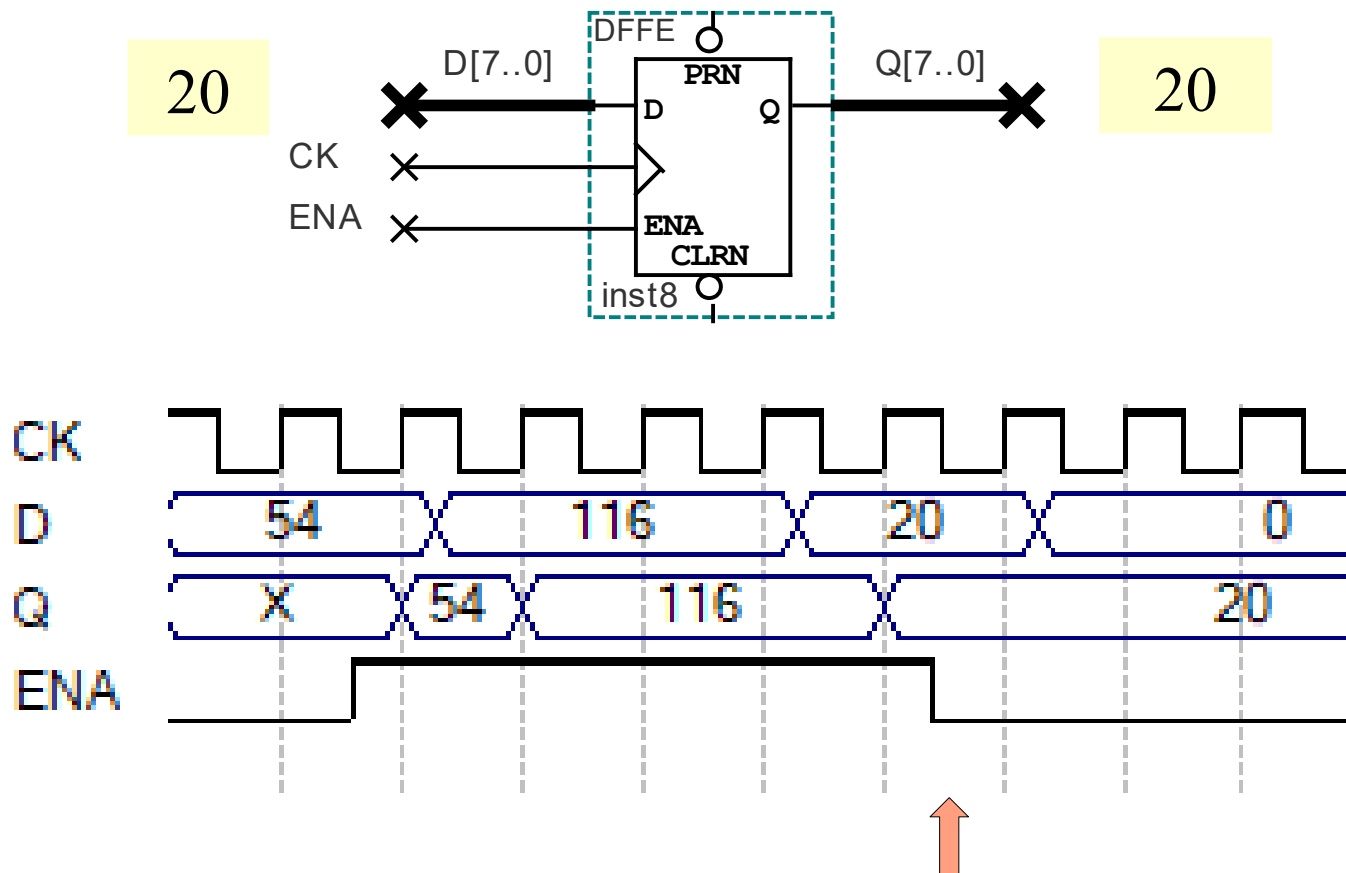
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

- ¿Cómo se registra?

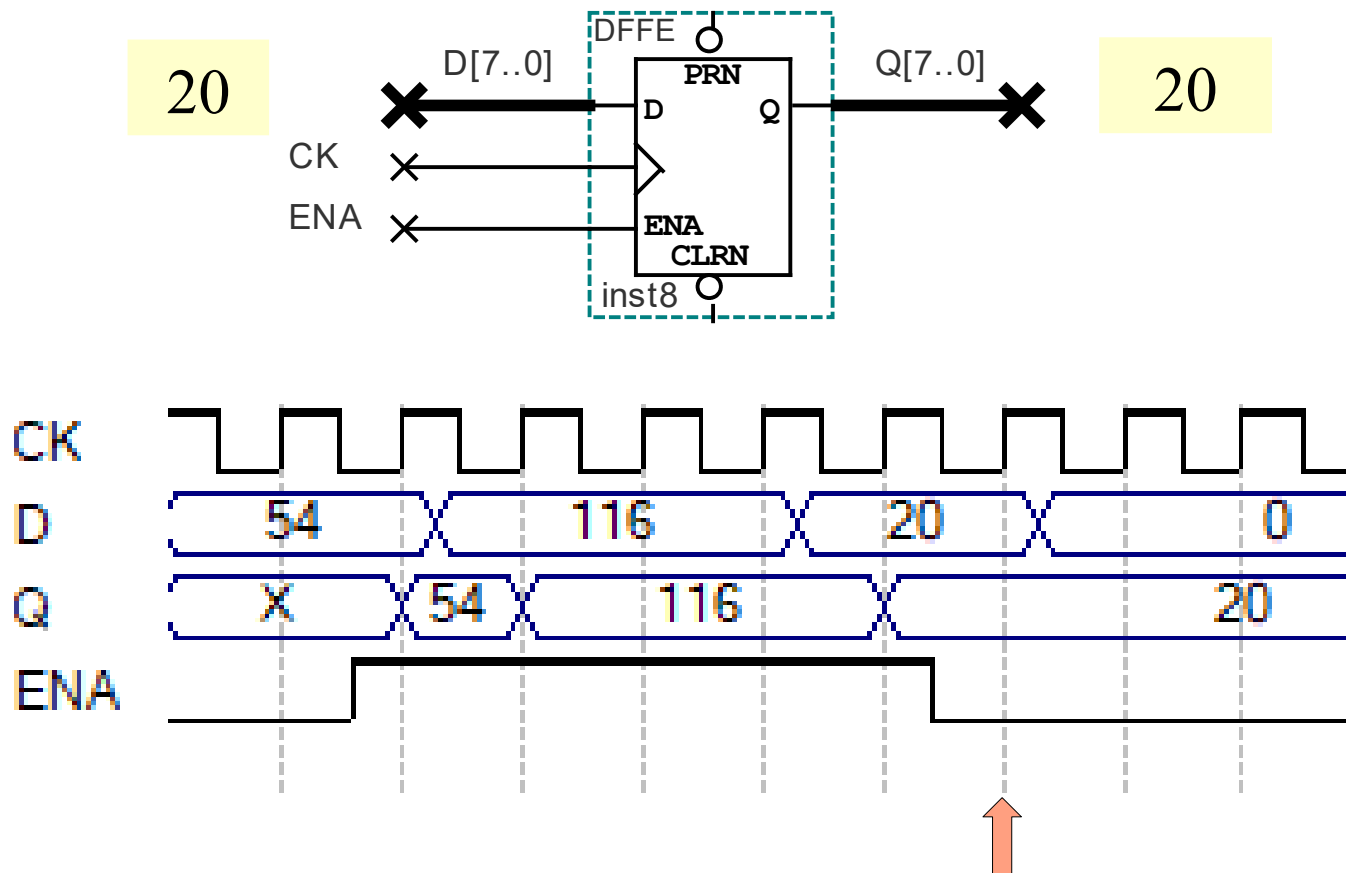




# Aplicaciones

## Registros – Diseño

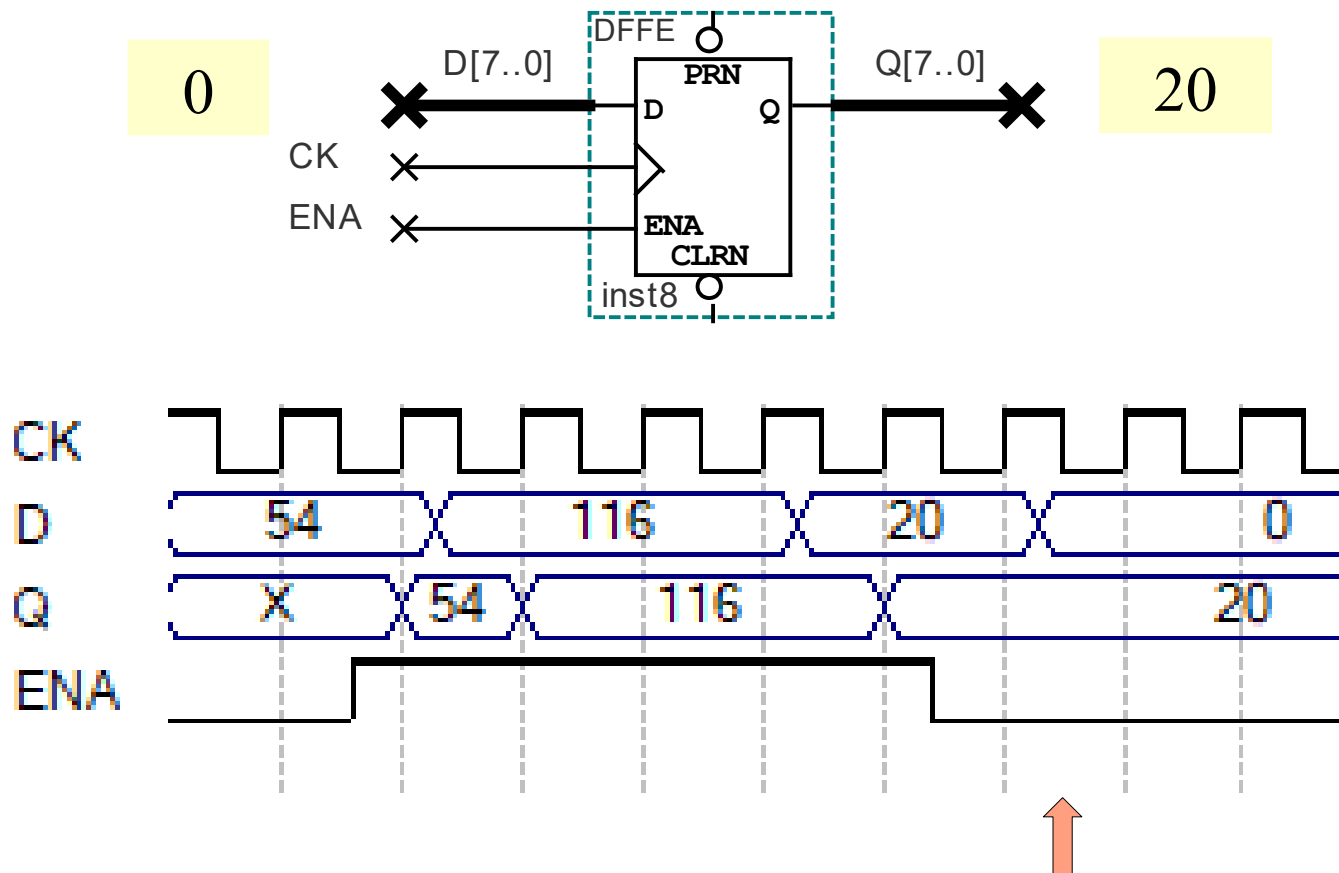
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

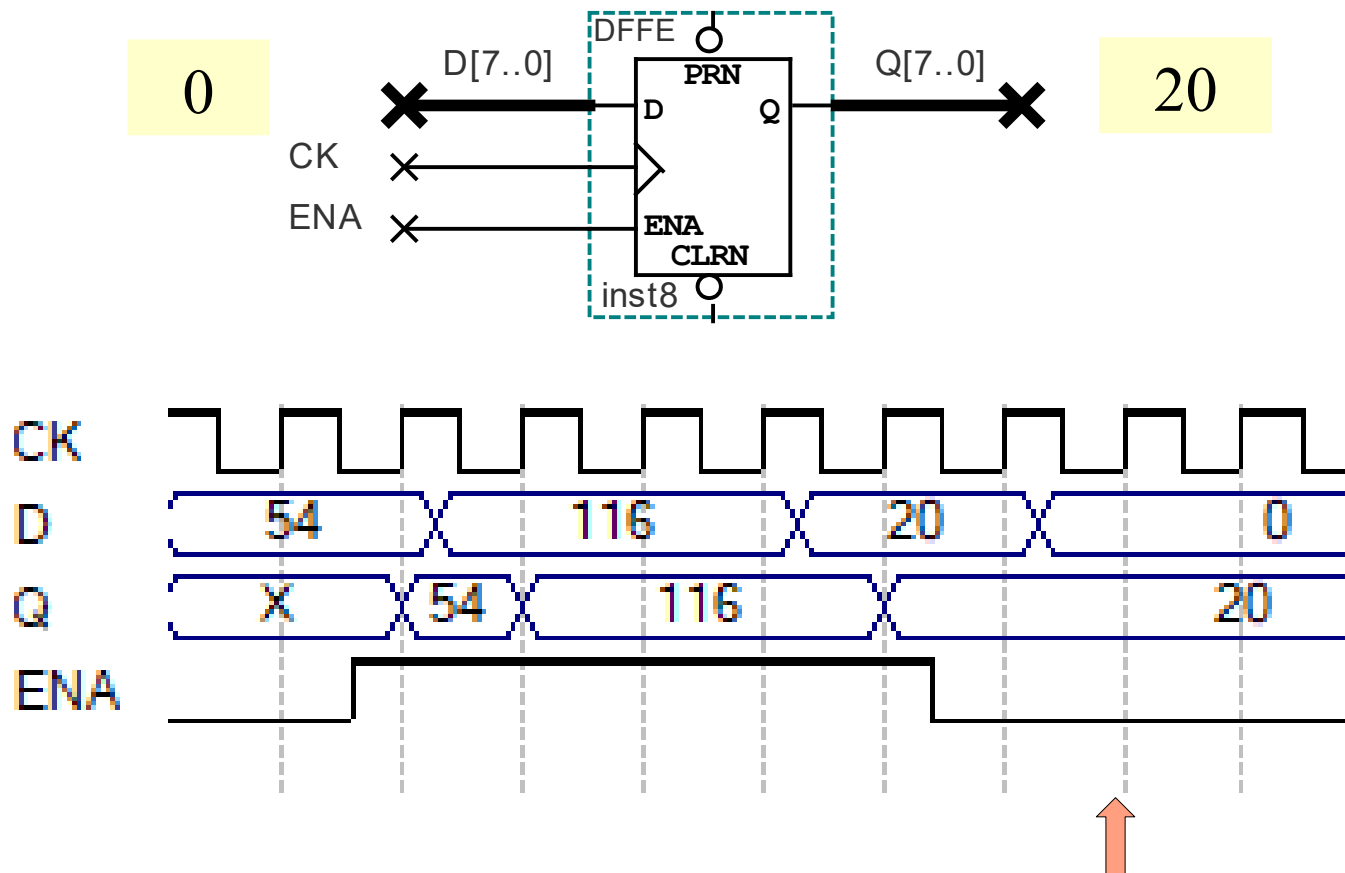
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

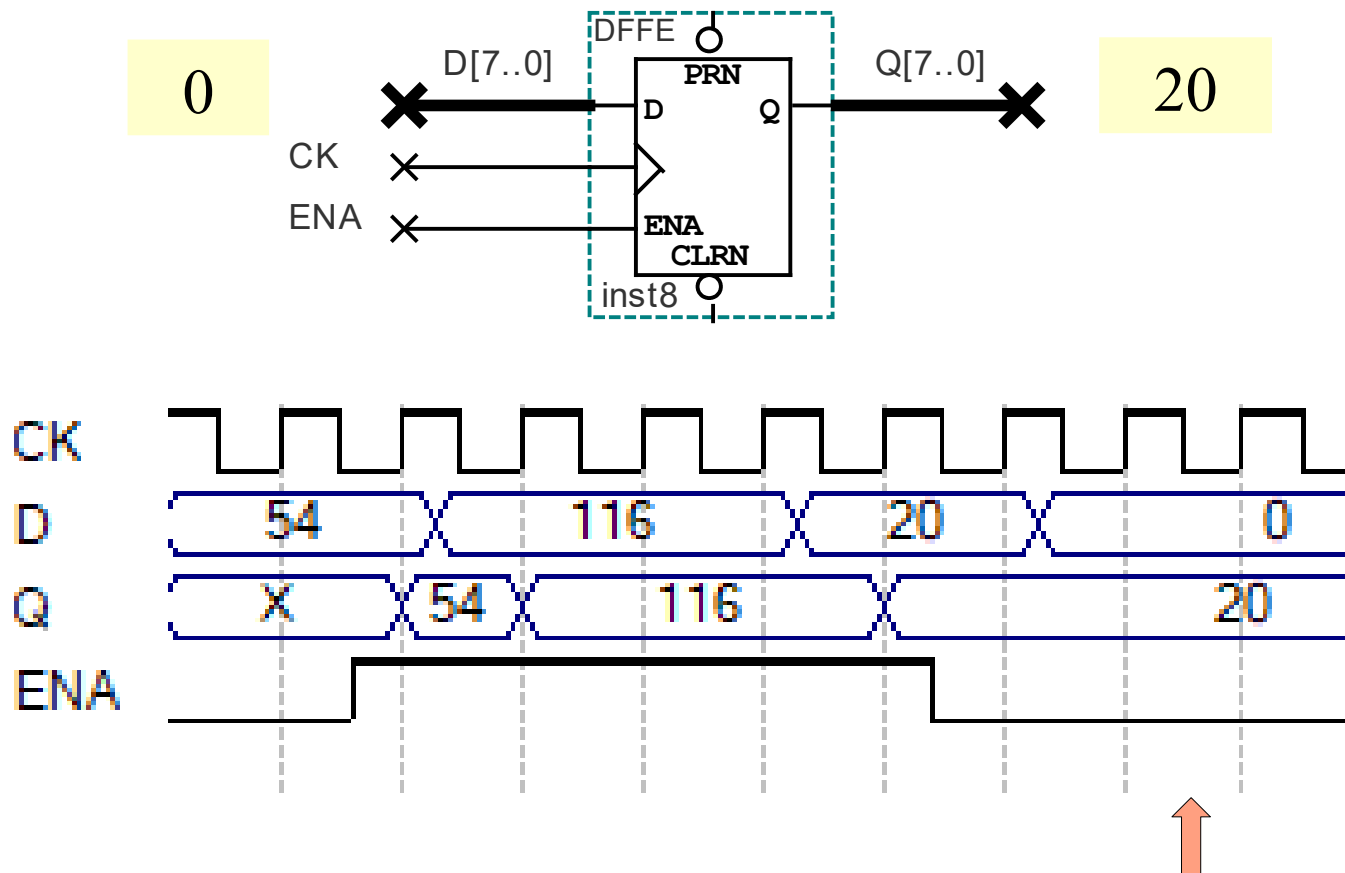
- ¿Cómo se registra?



# Aplicaciones

## Registros – Diseño

- ¿Cómo se registra?

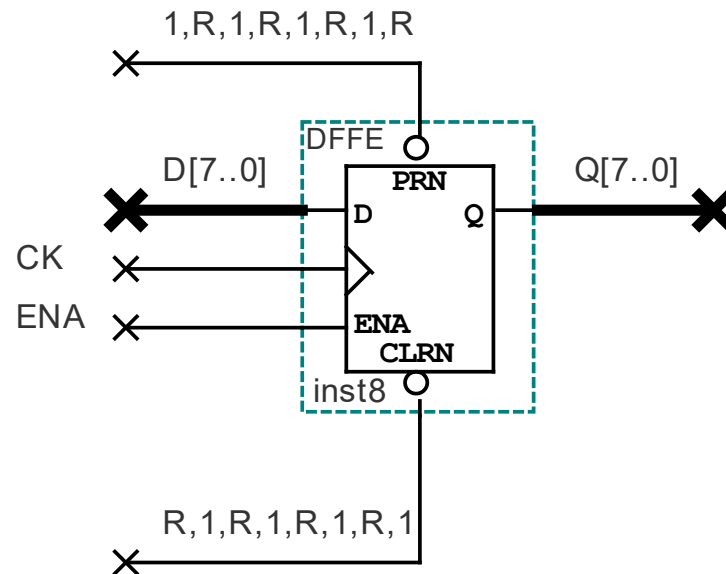


# Aplicaciones

## Registros – Valor inicial

- Con las entradas clear y reset
- Señal reset es activa por bajo

Ej.  
¿Qué número se está inicializando?



# Aplicaciones

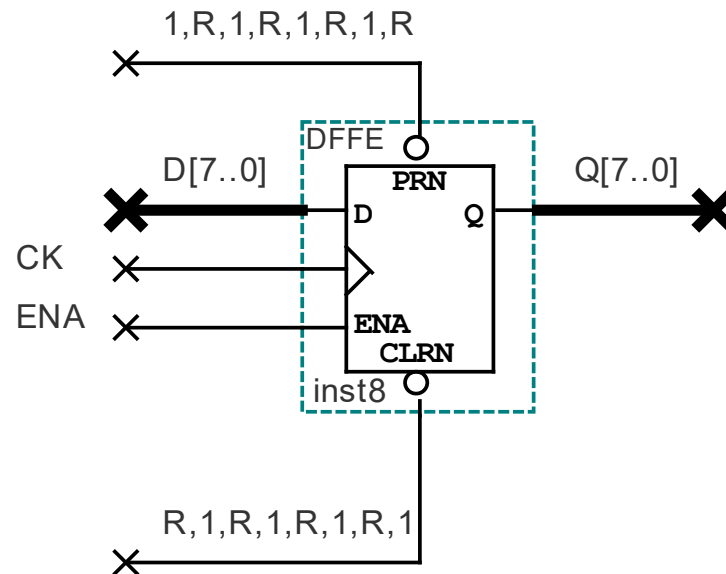
## Registros – Valor inicial

- Con las entradas clear y reset
- Señal reset es activa por bajo

Ej.

¿Qué número se está inicializando?

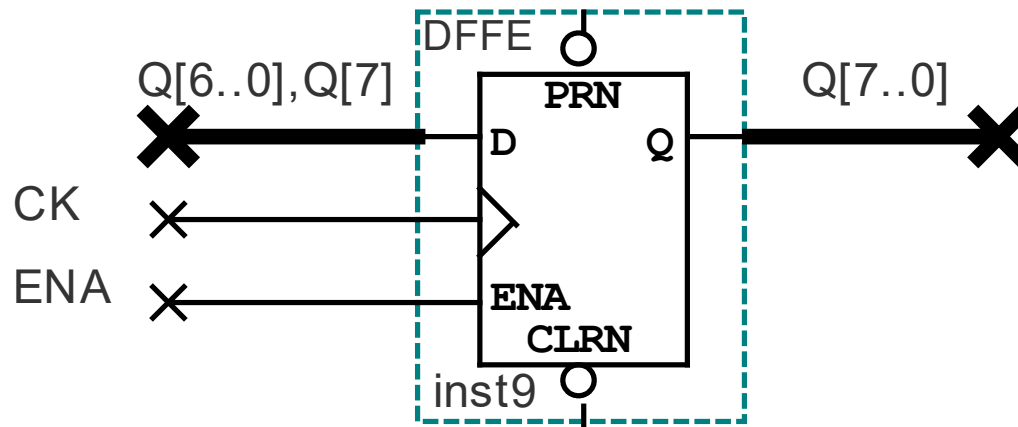
R: el número  
01010101 (85)



# Aplicaciones

## Registros – Shift-Register

- Sirve para conmutar la posición de los bits del registro



Barrel shifter left:

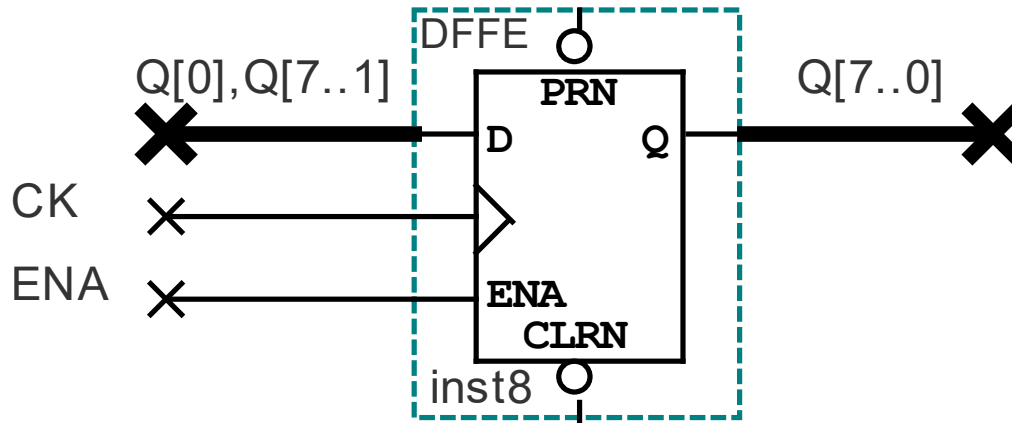
$$Q_n = [b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0]$$

$$Q_{n+1} = [b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0, b_7]$$

# Aplicaciones

## Registros – Shift-Register

- Sirve para conmutar la posición de los bits del registro



Barrel shifter right:

$$Q_n = [b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0]$$

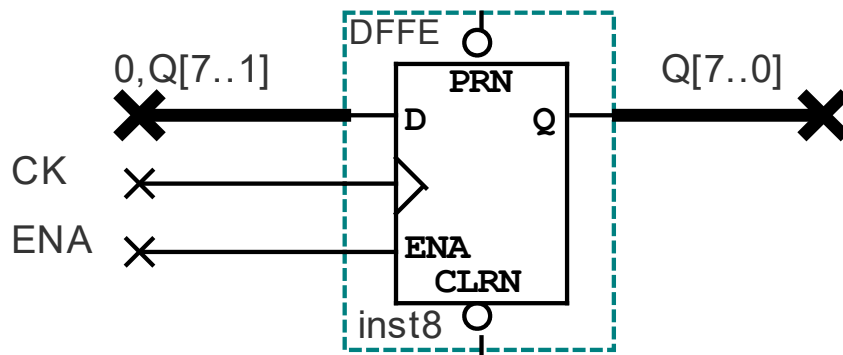
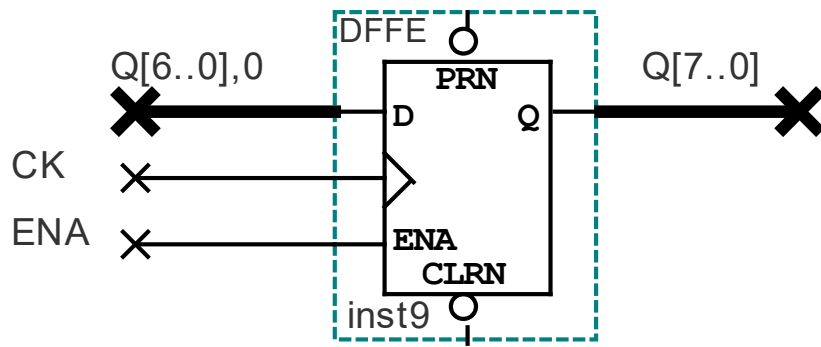
$$Q_{n+1} = [b_0, b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1]$$



# Aplicaciones

## Registros – Aritmética

- Caso particular de los shift registers



Multiplicador:

$$Q_n = [b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0]$$

$$Q_{n+1} = [b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0, 0]$$

Ej:  $Q_n = 00000100$  (4)

$$Q_{n+1} = 00001000$$
 (8)

Divisor:

$$Q_n = [b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0]$$

$$Q_{n+1} = [0, b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1]$$

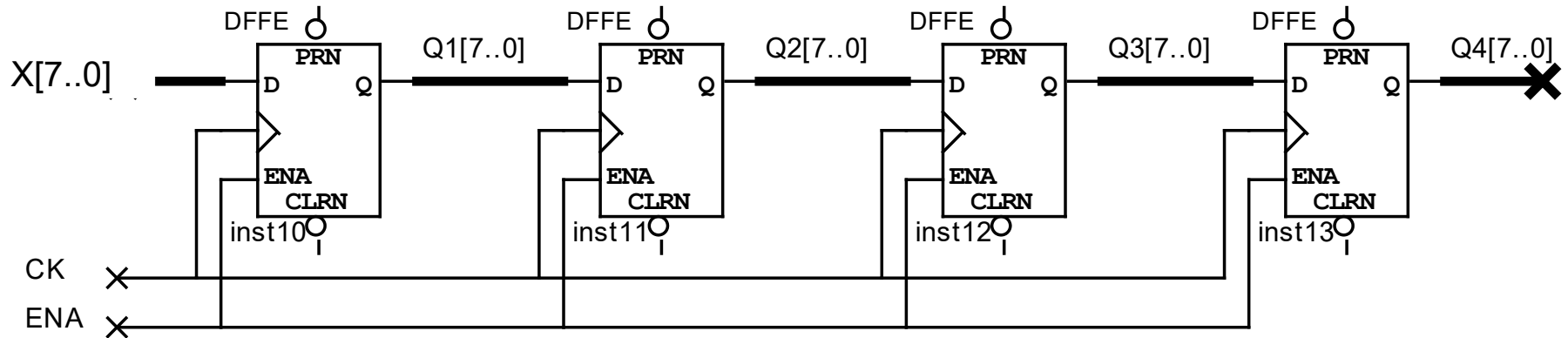
Ej:  $Q_n = 00000100$  (4)

$$Q_{n+1} = 00000010$$
 (2)

# Aplicaciones

## Registros – Retardo

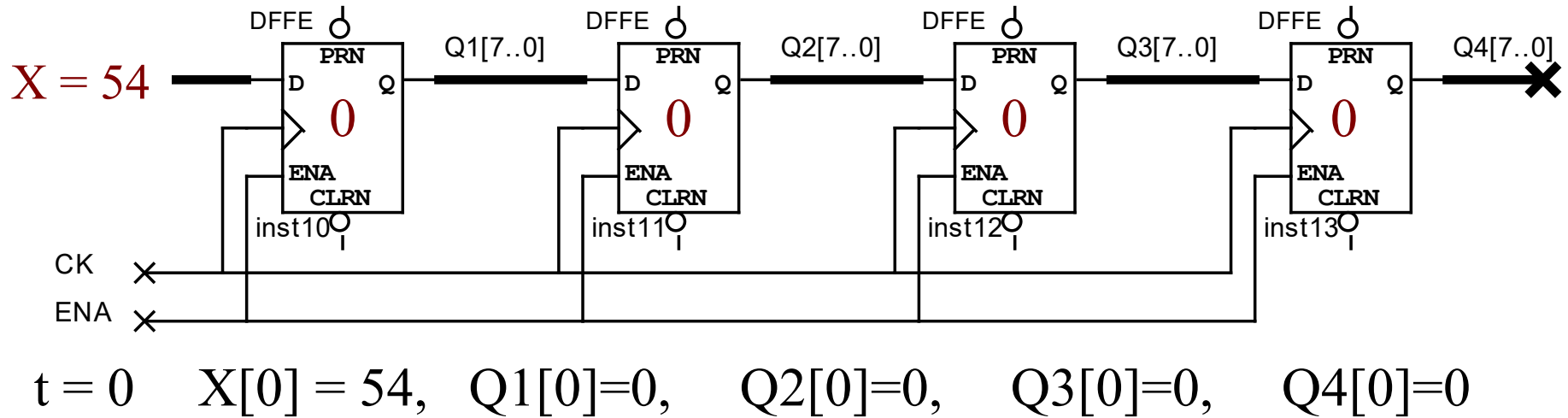
- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.



# Aplicaciones

## Registros – Retardo

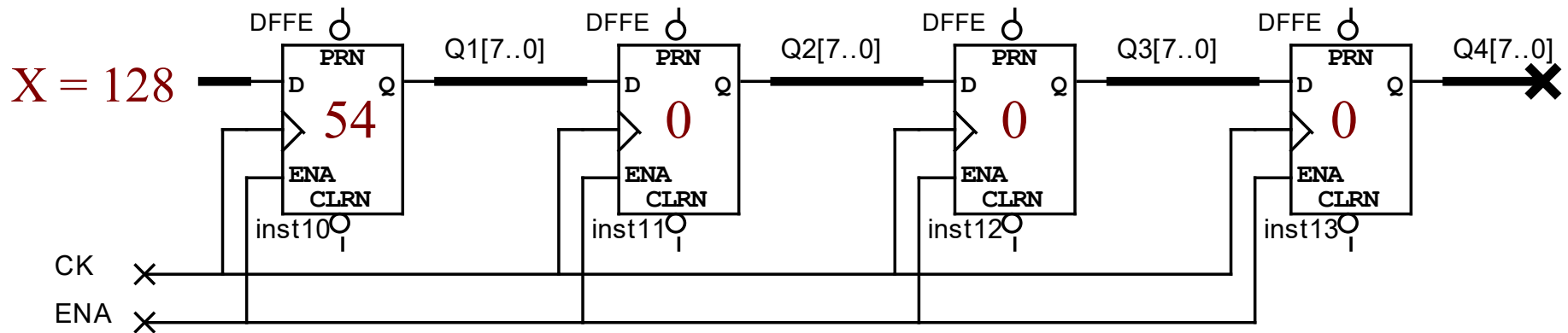
- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.



# Aplicaciones

## Registros – Retardo

- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.

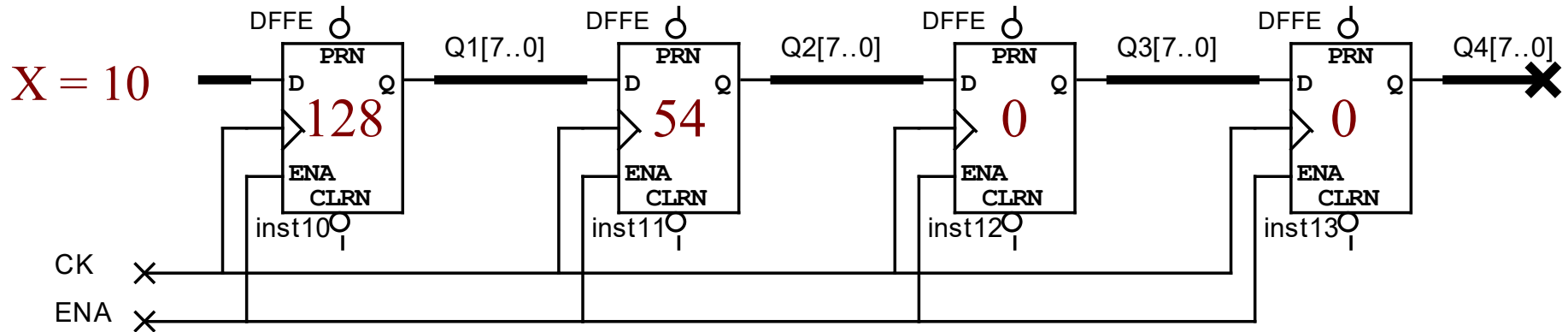


$t = 0$	$X[0] = 54,$	$Q1[0]=0,$	$Q2[0]=0,$	$Q3[0]=0,$	$Q4[0]=0$
$t = 1$	$X[1] = 128,$	$Q1[1]=54,$	$Q2[1]=0,$	$Q3[1]=0,$	$Q4[1]=0$

# Aplicaciones

## Registros – Retardo

- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.

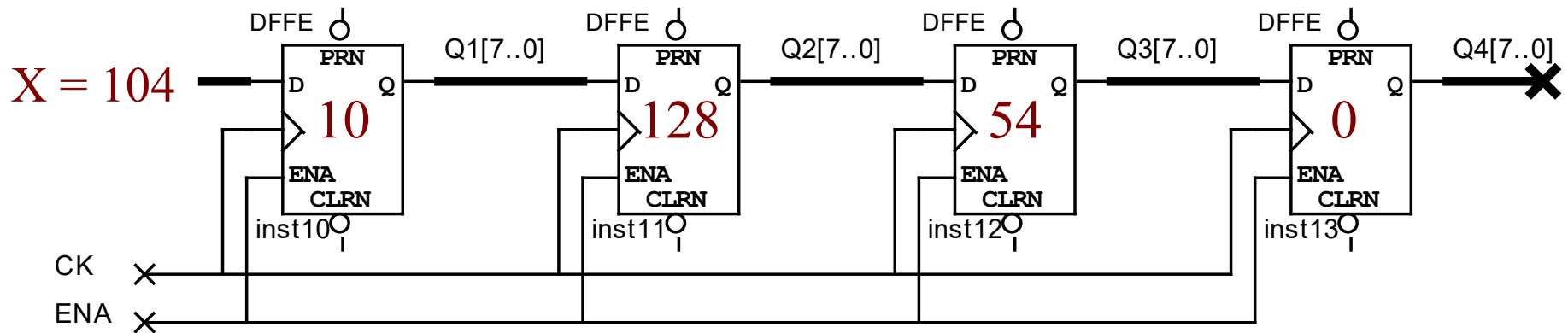


$t = 0$	$X[0] = 54,$	$Q1[0]=0,$	$Q2[0]=0,$	$Q3[0]=0,$	$Q4[0]=0$
$t = 1$	$X[1] = 128,$	$Q1[1]=54,$	$Q2[1]=0,$	$Q3[1]=0,$	$Q4[1]=0$
$t = 2$	$X[2] = 10,$	$Q1[2]=128,$	$Q2[2]=54,$	$Q3[2]=0,$	$Q4[2]=0$

# Aplicaciones

## Registros – Retardo

- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.

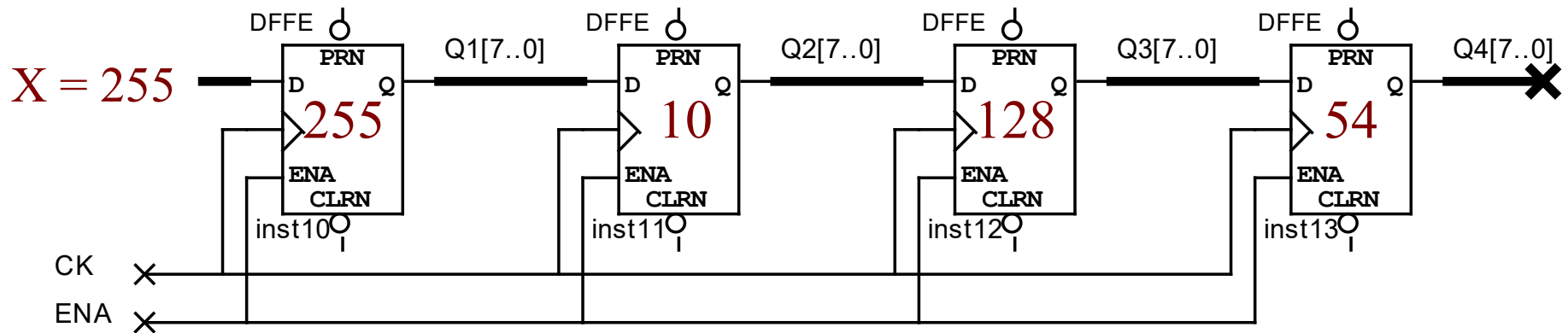


$t = 0$	$X[0] = 54$ ,	$Q1[0] = 0$ ,	$Q2[0] = 0$ ,	$Q3[0] = 0$ ,	$Q4[0] = 0$
$t = 1$	$X[1] = 128$ ,	$Q1[1] = 54$ ,	$Q2[1] = 0$ ,	$Q3[1] = 0$ ,	$Q4[1] = 0$
$t = 2$	$X[2] = 10$ ,	$Q1[2] = 128$ ,	$Q2[2] = 54$ ,	$Q3[2] = 0$ ,	$Q4[2] = 0$
$t = 3$	$X[3] = 104$ ,	$Q1[3] = 10$ ,	$Q2[3] = 128$ ,	$Q3[3] = 54$ ,	$Q4[3] = 0$

# Aplicaciones

## Registros – Retardo

- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.

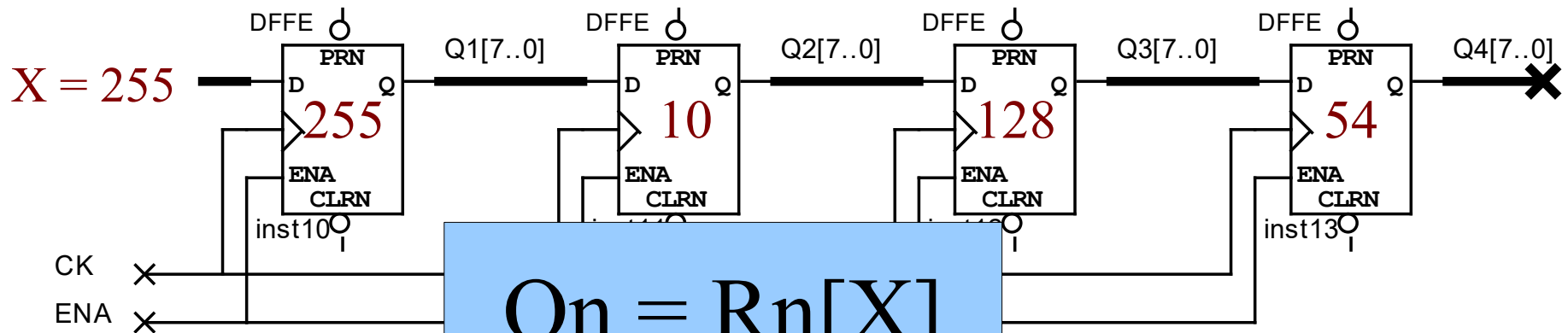


$t = 0$	$X[0] = 54$ ,	$Q1[0]=0$ ,	$Q2[0]=0$ ,	$Q3[0]=0$ ,	$Q4[0]=0$
$t = 1$	$X[1] = 128$ ,	$Q1[1]=54$ ,	$Q2[1]=0$ ,	$Q3[1]=0$ ,	$Q4[1]=0$
$t = 2$	$X[2] = 10$ ,	$Q1[2]=128$ ,	$Q2[2]=54$ ,	$Q3[2]=0$ ,	$Q4[2]=0$
$t = 3$	$X[3] = 104$ ,	$Q1[3]=10$ ,	$Q2[3]=128$ ,	$Q3[3]=54$ ,	$Q4[3]=0$
$t = 4$	$X[4] = 255$ ,	$Q1[4]=104$ ,	$Q2[4]=10$ ,	$Q3[4]=128$ ,	$Q4[4]=54$

# Aplicaciones

## Registros – Retardo

- Las compuertas FF-D se pueden aplicar para introducir retardos para realizar filtros digitales.



$t = 0$	$X[0] = 54,$	$Q1[0]=0,$	$Q2[0]=0,$	$Q3[0]=0,$	$Q4[0]=0$
$t = 1$	$X[1] = 128,$	$Q1[1]=54,$	$Q2[1]=0,$	$Q3[1]=0,$	$Q4[1]=0$
$t = 2$	$X[2] = 10,$	$Q1[2]=128,$	$Q2[2]=54,$	$Q3[2]=0,$	$Q4[2]=0$
$t = 3$	$X[3] = 104,$	$Q1[3]=10,$	$Q2[3]=128,$	$Q3[3]=54,$	$Q4[3]=0$
$t = 4$	$X[4] = 255,$	$Q1[4]=104,$	$Q2[4]=10,$	$Q3[4]=128,$	$Q4[4]=54$



# Aplicaciones

## Registros – Media móvil

- Ejercicio – Implemente una media móvil con las siguientes características:

# Aplicaciones

## Registros – Media móvil

- Ejercicio – Implemente una media móvil con las siguientes características:

