

# Sistemas Digitales

Circuitos Secuenciales

Flip-Flop

Procesamiento Digital de Señales

# Índice

- Introducción: Circuitos secuenciales
  - Repaso: Circuitos combinatorios
  - Definición
- Flip-Flop – Introducción
  - Definición
  - Clasificación por tipo de salida
- Flip-Flop – Diseño
  - Ejemplo – FF-RS asíncrono
  - Ejemplo – FF-RS síncrono
- Tipos de Flip-Flop
  - Flip-Flop RS
  - Flip-Flop D
  - Flip-Flop T
  - Flip-Flop JK
  - Flip-Flop J-K como flip-flop universal
- Tipo de entradas de un FF en Quartus
  - Entradas set y clear
  - Entradas de CLK y habilitación

# Índice

- **Introducción: Circuitos secuenciales**
  - Repaso: Circuitos combinatorios
  - Definición
- **Flip-Flop – Introducción**
  - Definición
  - Clasificación por tipo de salida
- **Flip-Flop – Diseño**
  - Ejemplo – FF-RS asíncrono
  - Ejemplo – FF-RS síncrono
- **Tipos de Flip-Flop**
  - Flip-Flop RS
  - Flip-Flop D
  - Flip-Flop T
  - Flip-Flop JK
  - Flip-Flop J-K como flip-flop universal
- **Tipo de entradas de un FF en Quartus**
  - Entradas set y clear
  - Entradas de CLK y habilitación

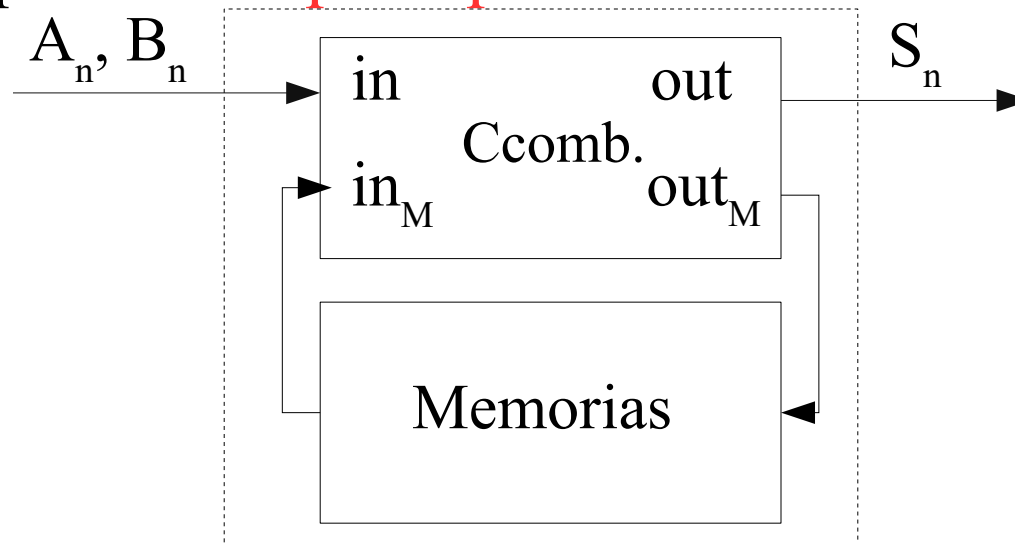
# Circuitos combinatorios

- Implementan funciones lógicas
- Las salidas están determinadas únicamente por el valor de sus entradas
- Elaborados en partir de compuertas lógicas



# 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**



# Índice

- Introducción: Circuitos secuenciales
  - Repaso: Circuitos combinatorios
  - Definición
- **Flip-Flop – Introducción**
  - Definición
  - Clasificación por tipo de salida
- Flip-Flop – Diseño
  - Ejemplo – FF-RS asíncrono
  - Ejemplo – FF-RS síncrono
- Tipos de Flip-Flop
  - Flip-Flop RS
  - Flip-Flop D
  - Flip-Flop T
  - Flip-Flop JK
  - Flip-Flop J-K como flip-flop universal
- Tipo de entradas de un FF en Quartus
  - Entradas set y clear
  - Entradas de CLK y habilitación

# Flip-Flops - Introducción

- “Elemento de memoria”
- Tiene la capacidad de “recordar” el estado previo al circuito

# Flip-Flops - Introducción

- Clasificación (según la secuencia):
  - Asíncrono: Los cambios a la salida ocurren en cualquier momento
  - Síncrono: Los cambios a la salida ocurren en los momentos que se determinan por una entrada de habilitación
    - Activos por nivel: Cambia cuando la entrada de habilitación está activa
    - Activos por flanco: Varían al momento del cambio en la entrada de habilitación (Ej. G, CLK)



# Flip-Flops - Introducción

- Clasificación (según la secuencia):
  - Asíncrono: Los cambios a la salida ocurren en cualquier momento
  - Síncrono: Los cambios a la salida ocurren en los momentos que se determinan por una entrada de habilitación
    - Activos por nivel: Cambia cuando la entrada de habilitación está activa
    - Activos por flanco: Varían al momento del cambio en la entrada de habilitación (Ej. G, CLK)

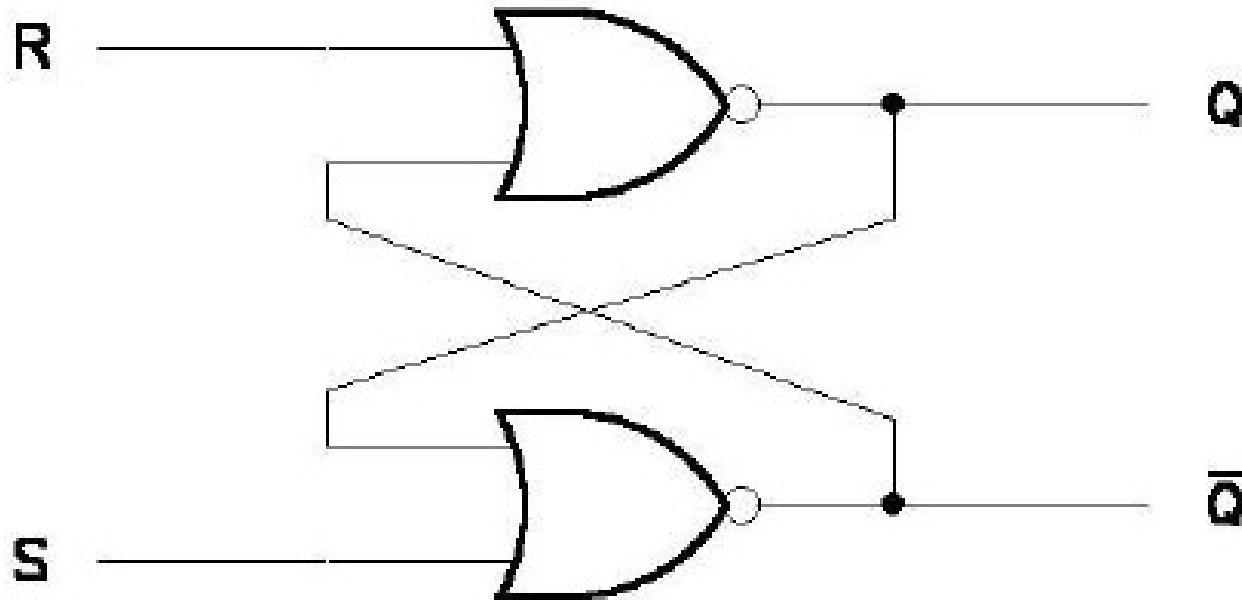
**¡Veamos algunos ejemplos!**

# Índice

- Introducción: Circuitos secuenciales
  - Repaso: Circuitos combinatorios
  - Definición
- Flip-Flop – Introducción
  - Definición
  - Clasificación por tipo de salida
- **Flip-Flop – Diseño**
  - Ejemplo – FF-RS asíncrono
  - Ejemplo – FF-RS síncrono
- Tipos de Flip-Flop
  - Flip-Flop RS
  - Flip-Flop D
  - Flip-Flop T
  - Flip-Flop JK
  - Flip-Flop J-K como flip-flop universal
- Tipo de entradas de un FF en Quartus
  - Entradas set y clear
  - Entradas de CLK y habilitación

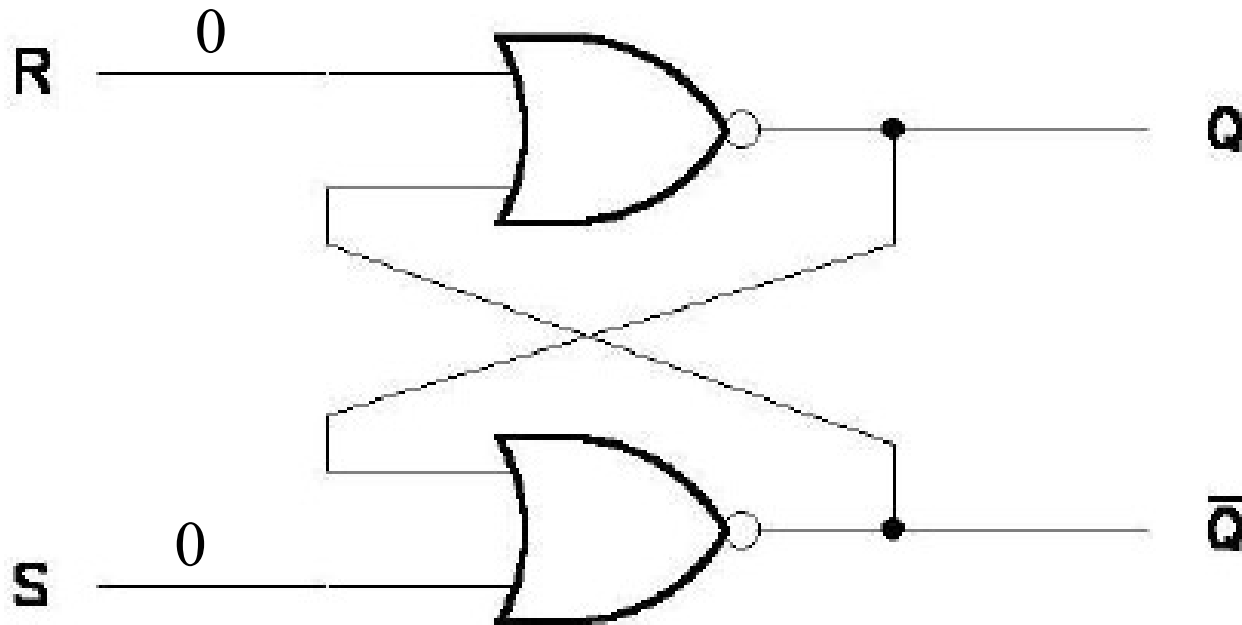
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



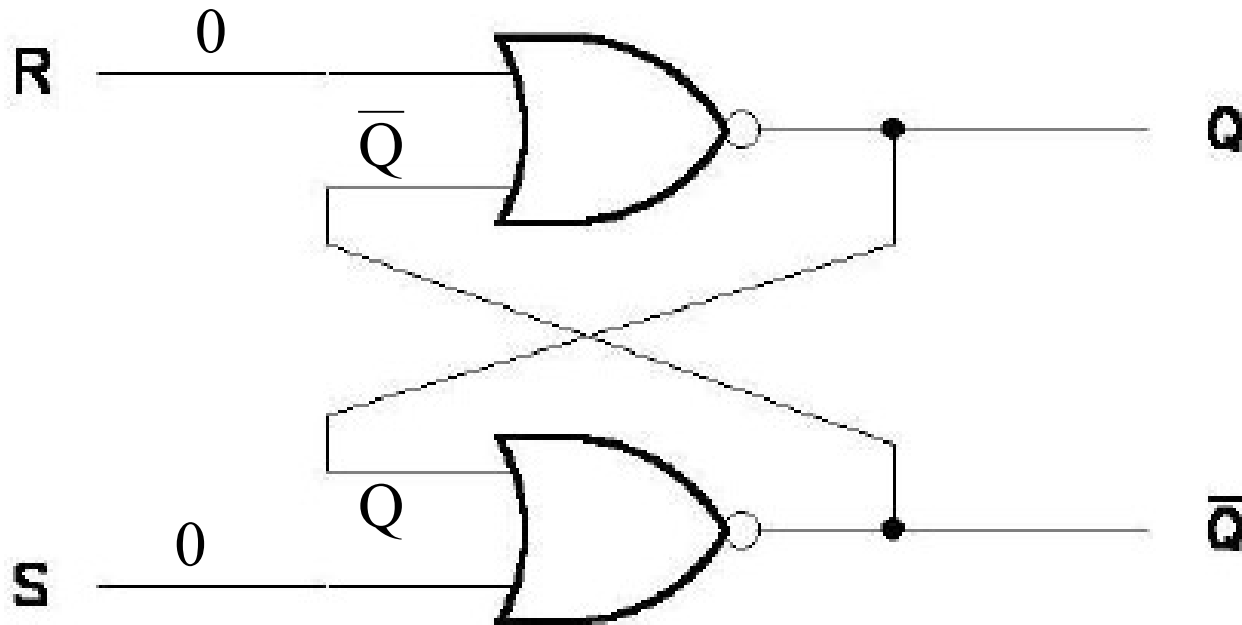
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



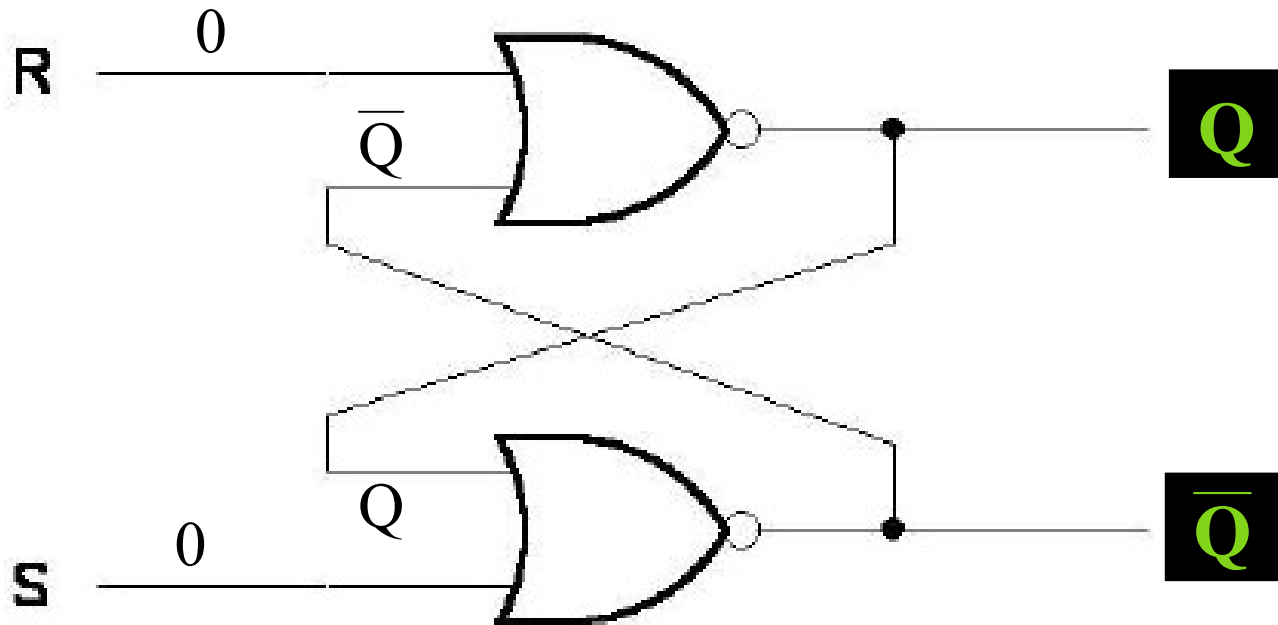
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



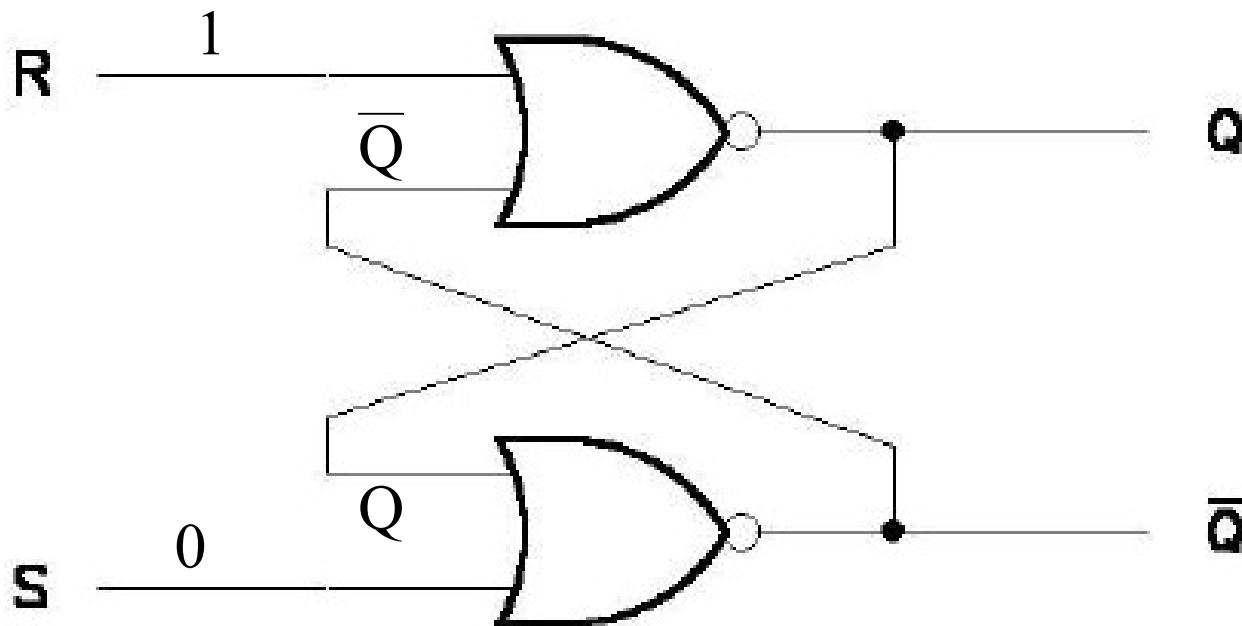
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



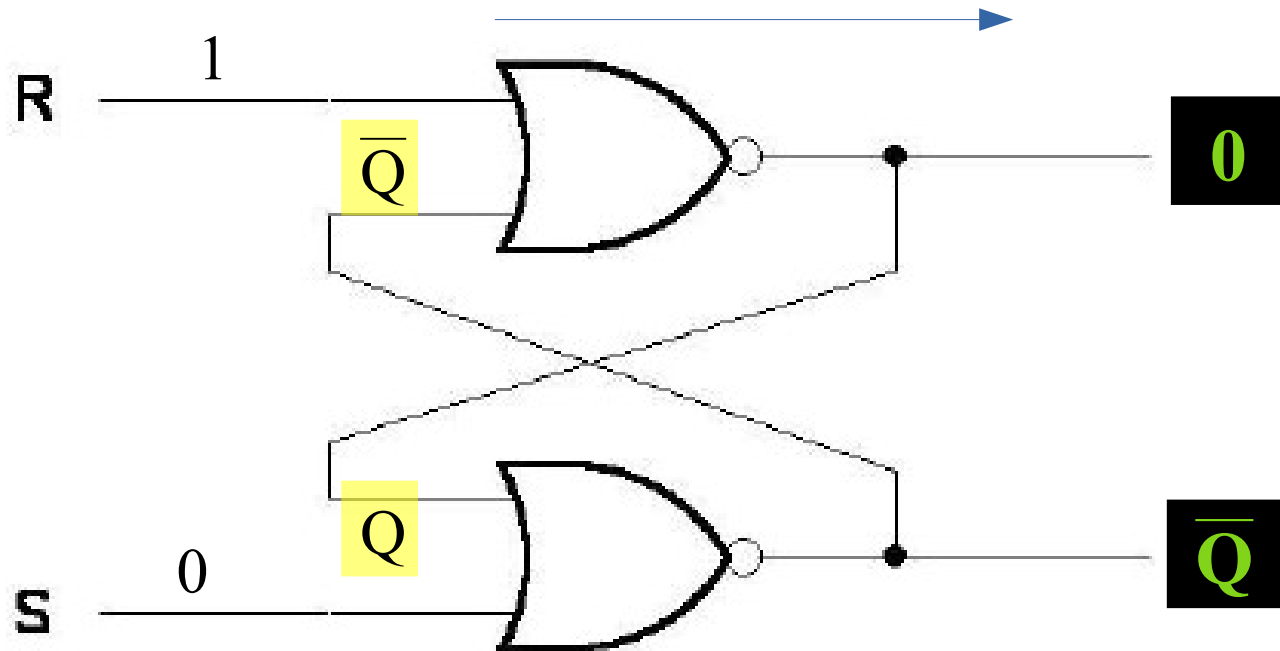
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



# Flip-Flop - Diseño

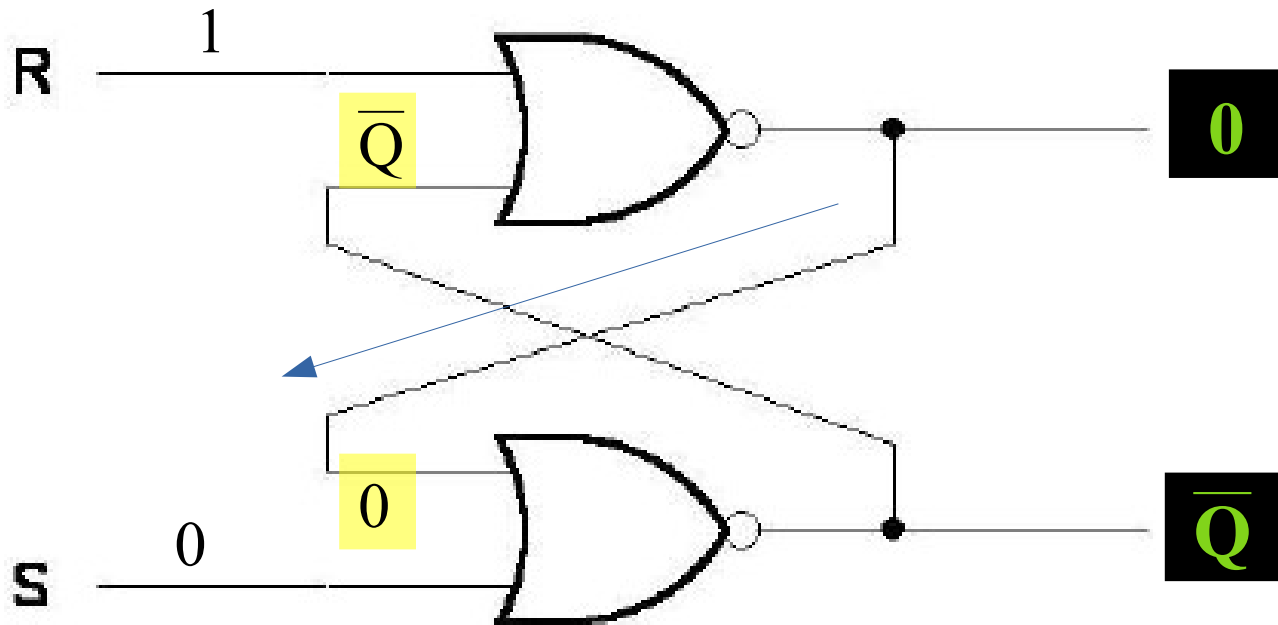
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono





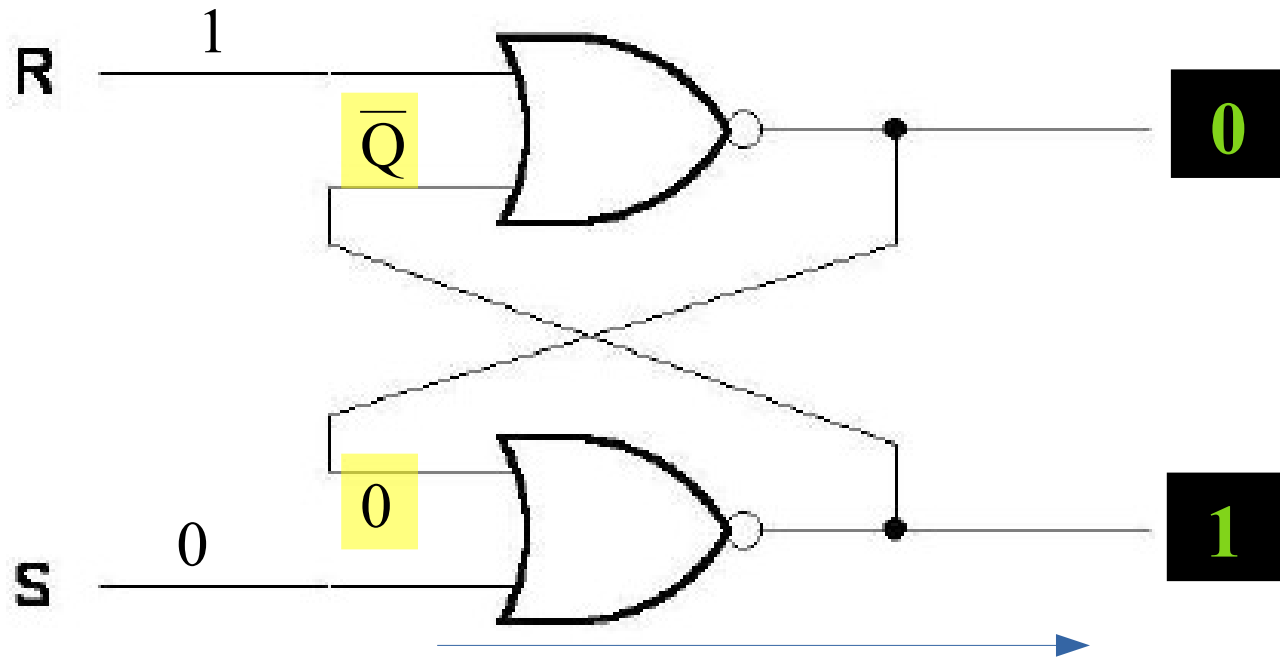
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



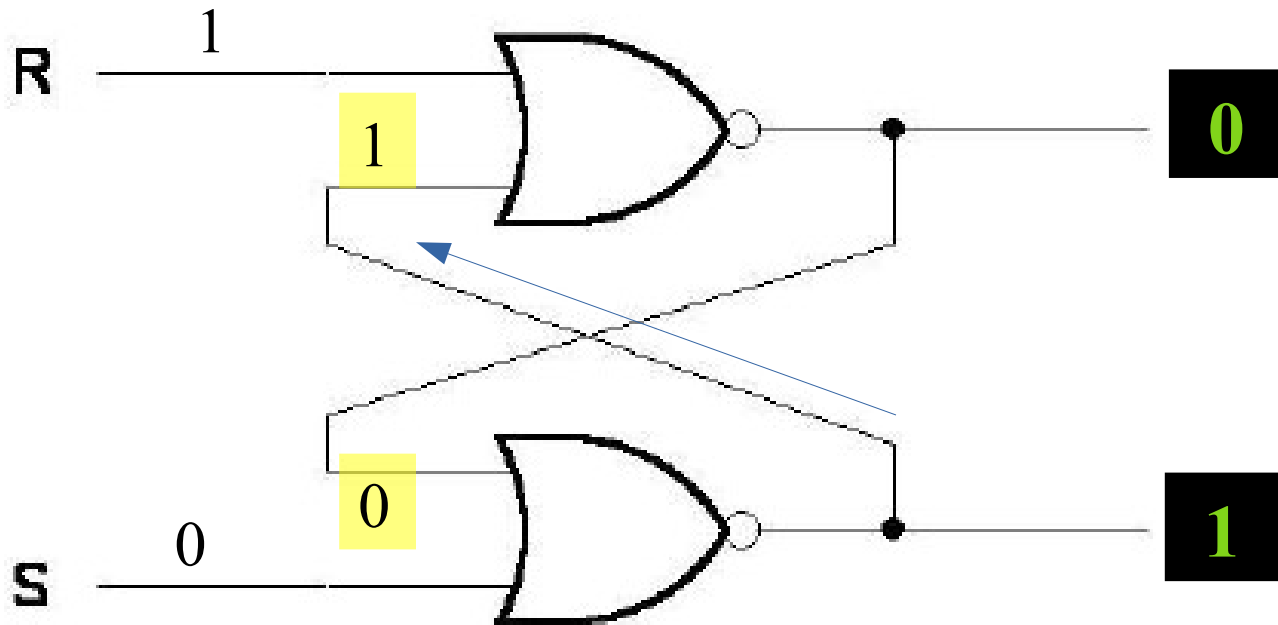
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



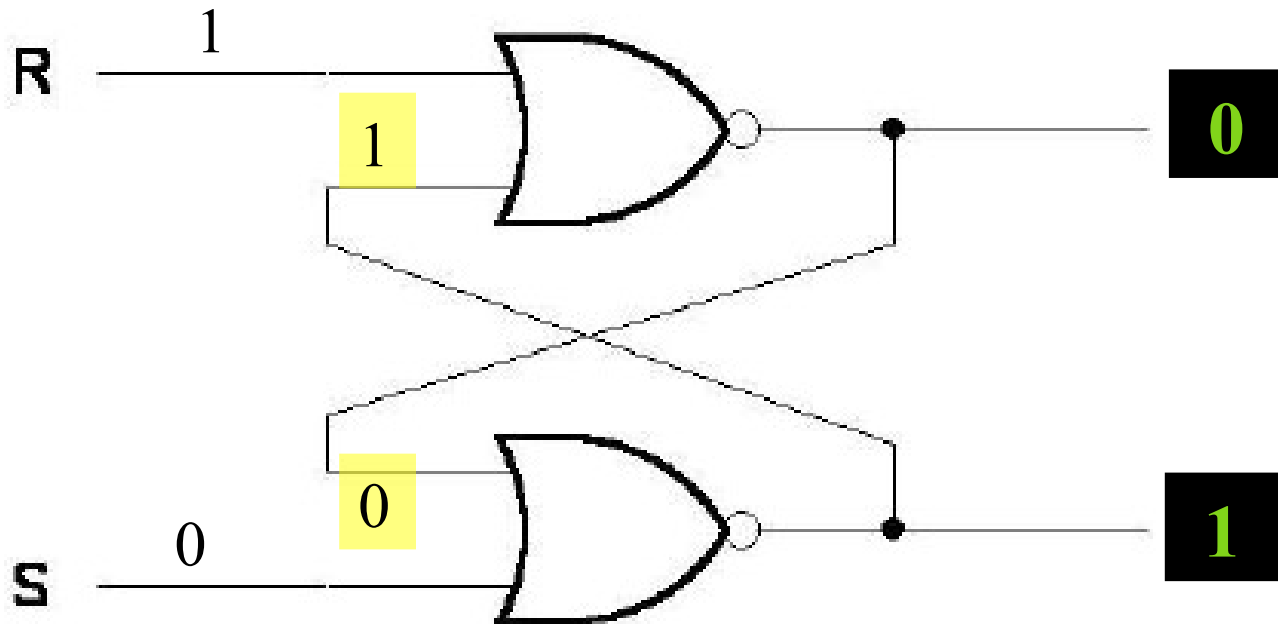
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



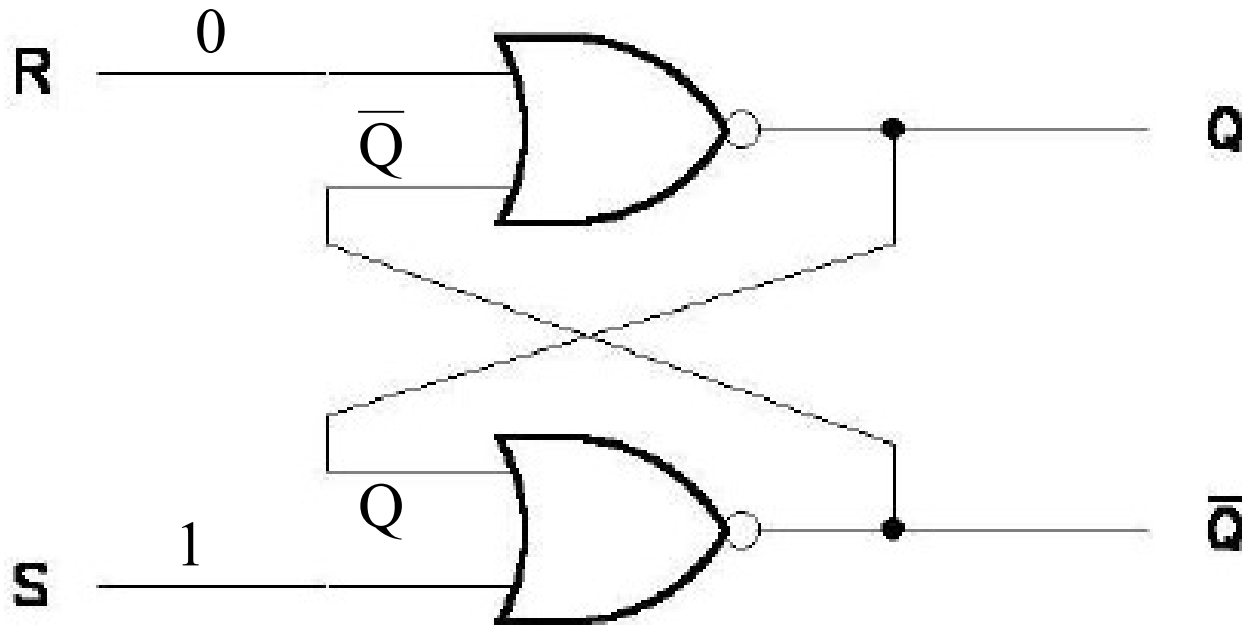
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



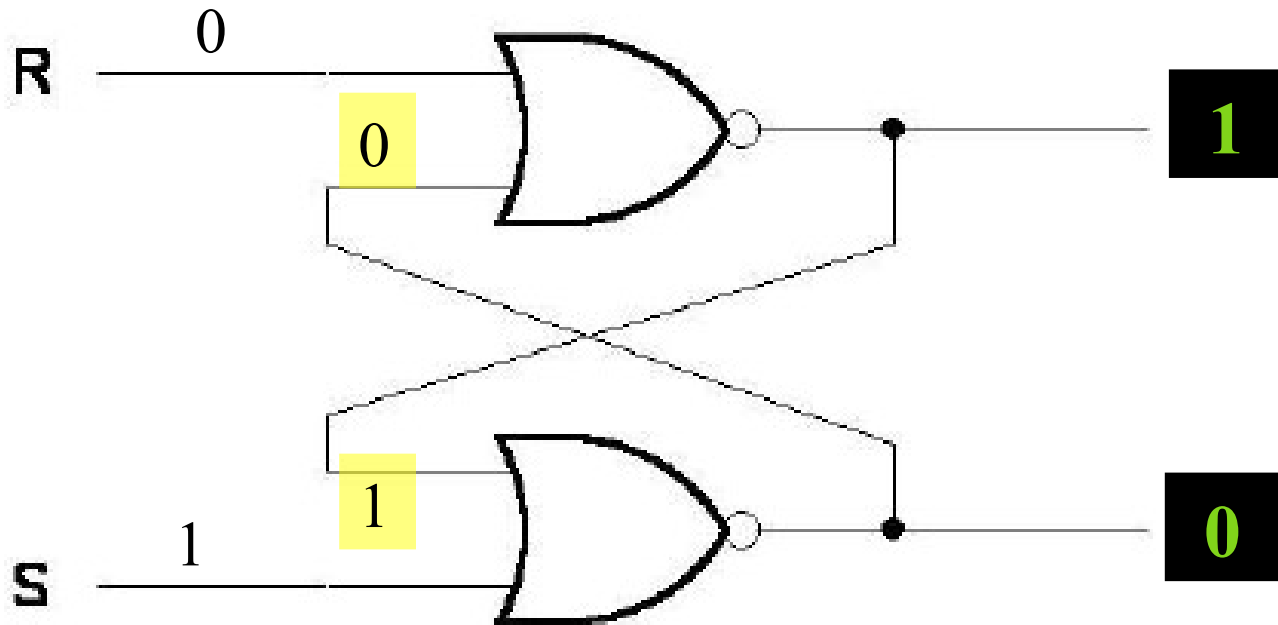
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



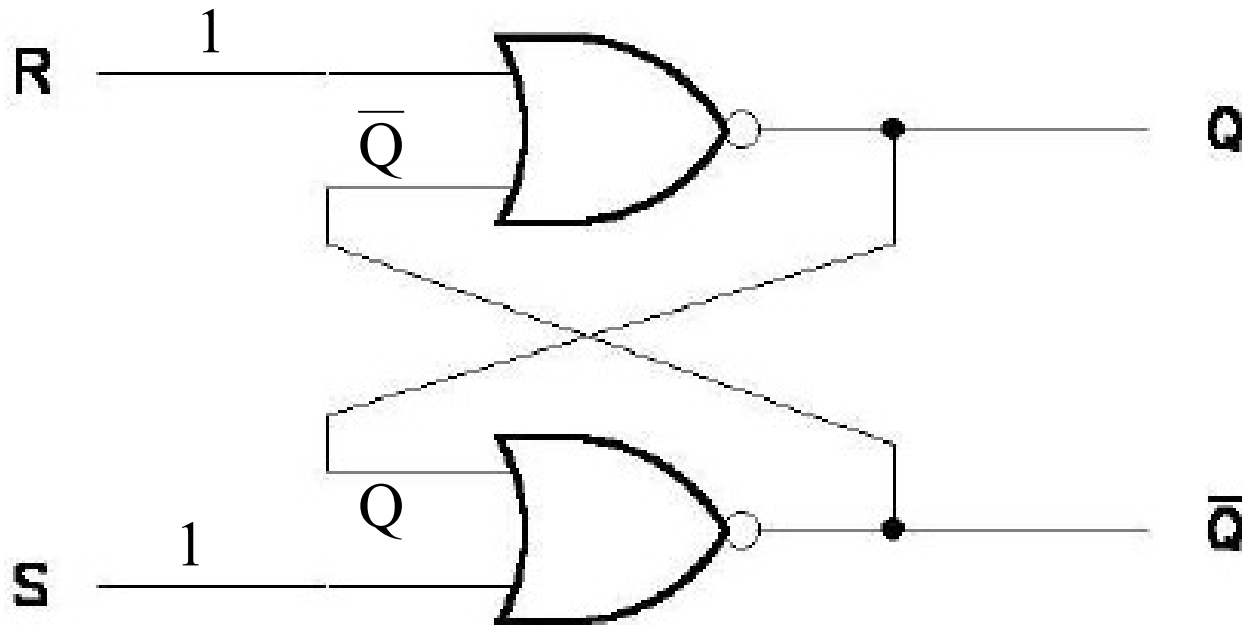
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



# Flip-Flop - Diseño

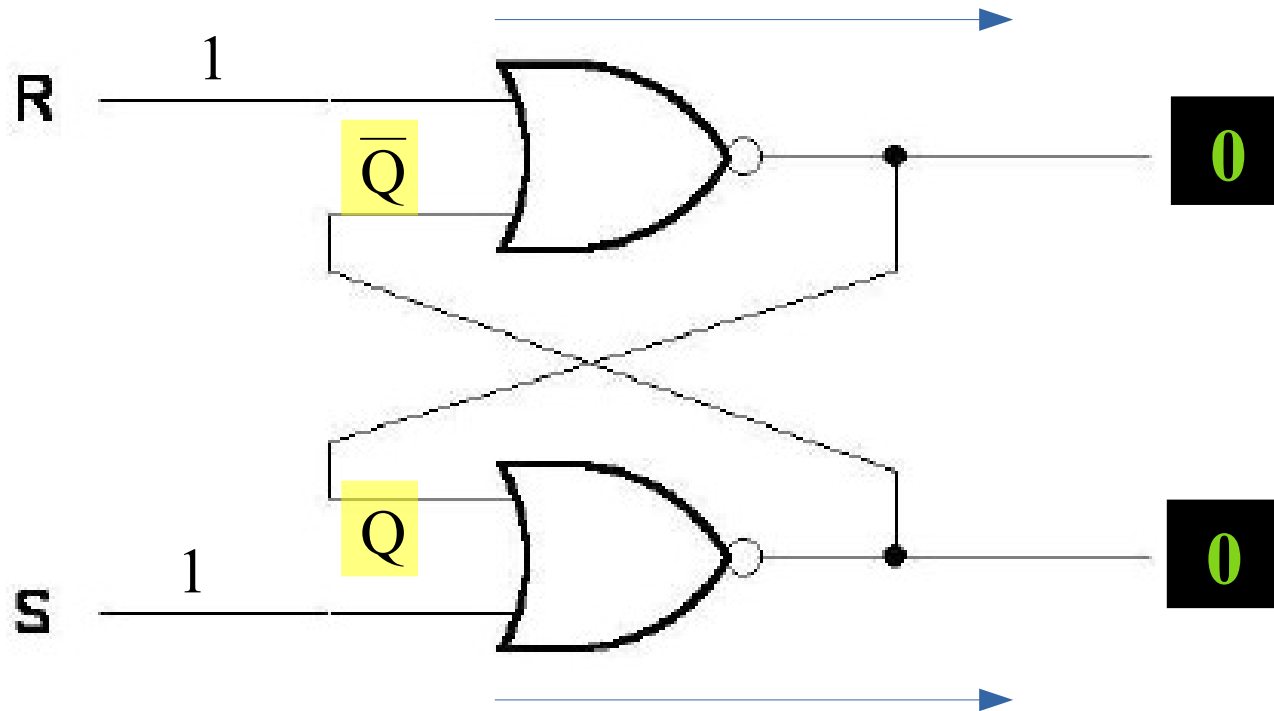
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



¿Qué ocurre en este caso?

# Flip-Flop - Diseño

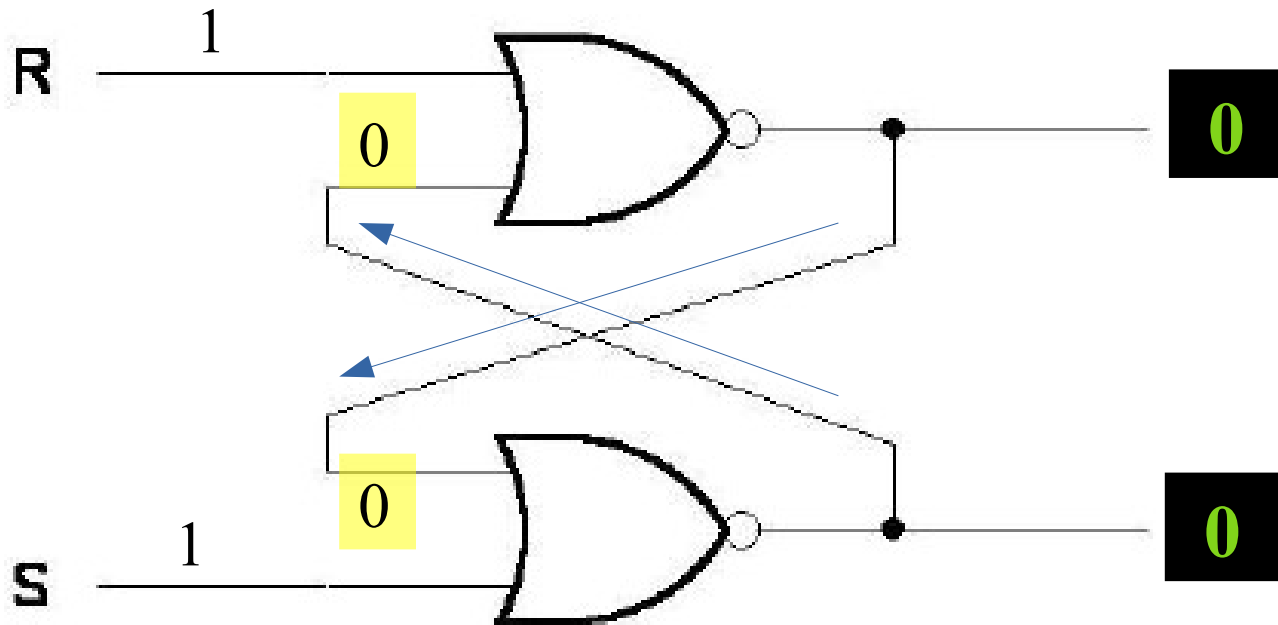
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono





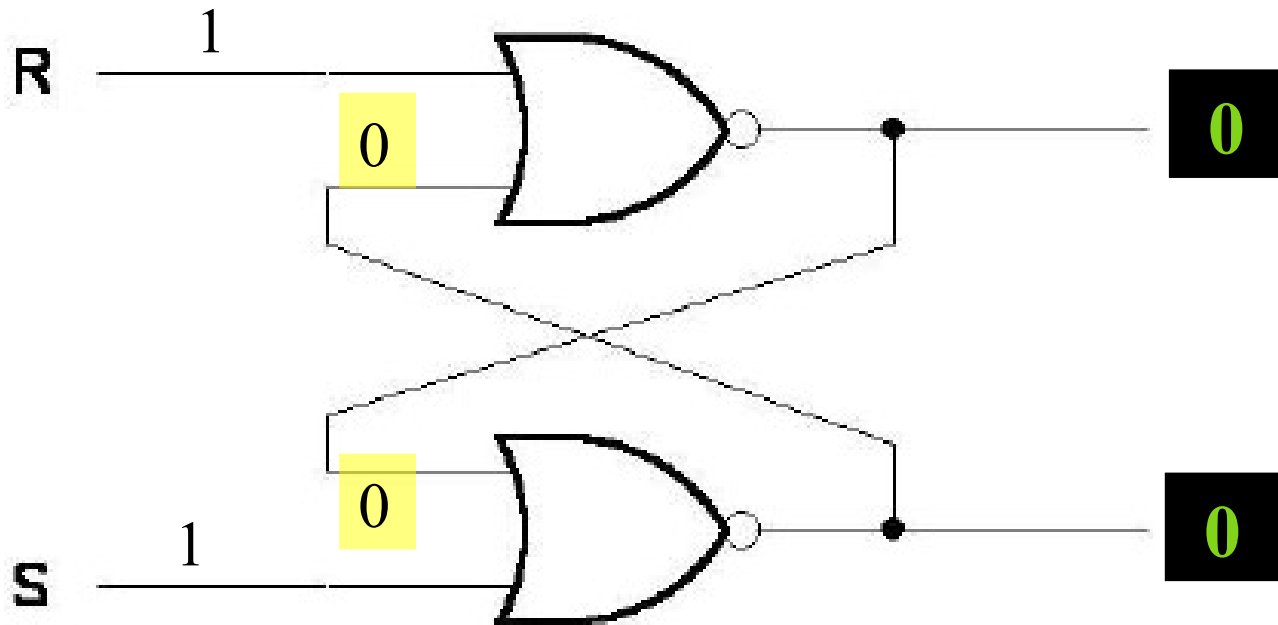
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



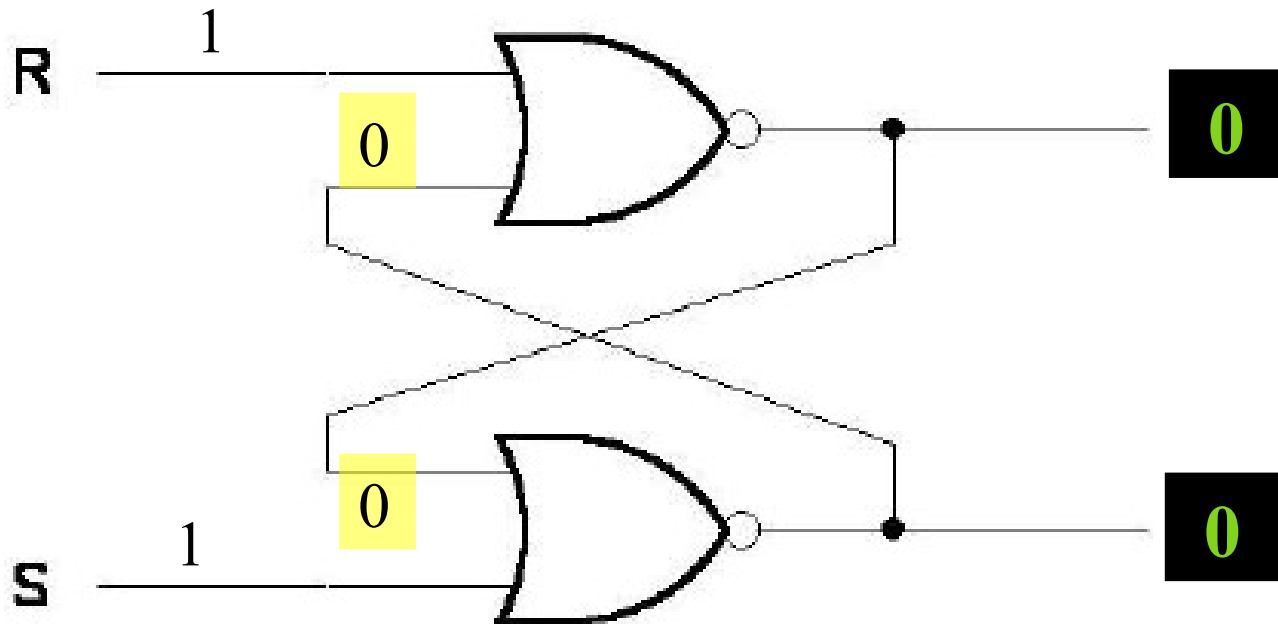
# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



# Flip-Flop - Diseño

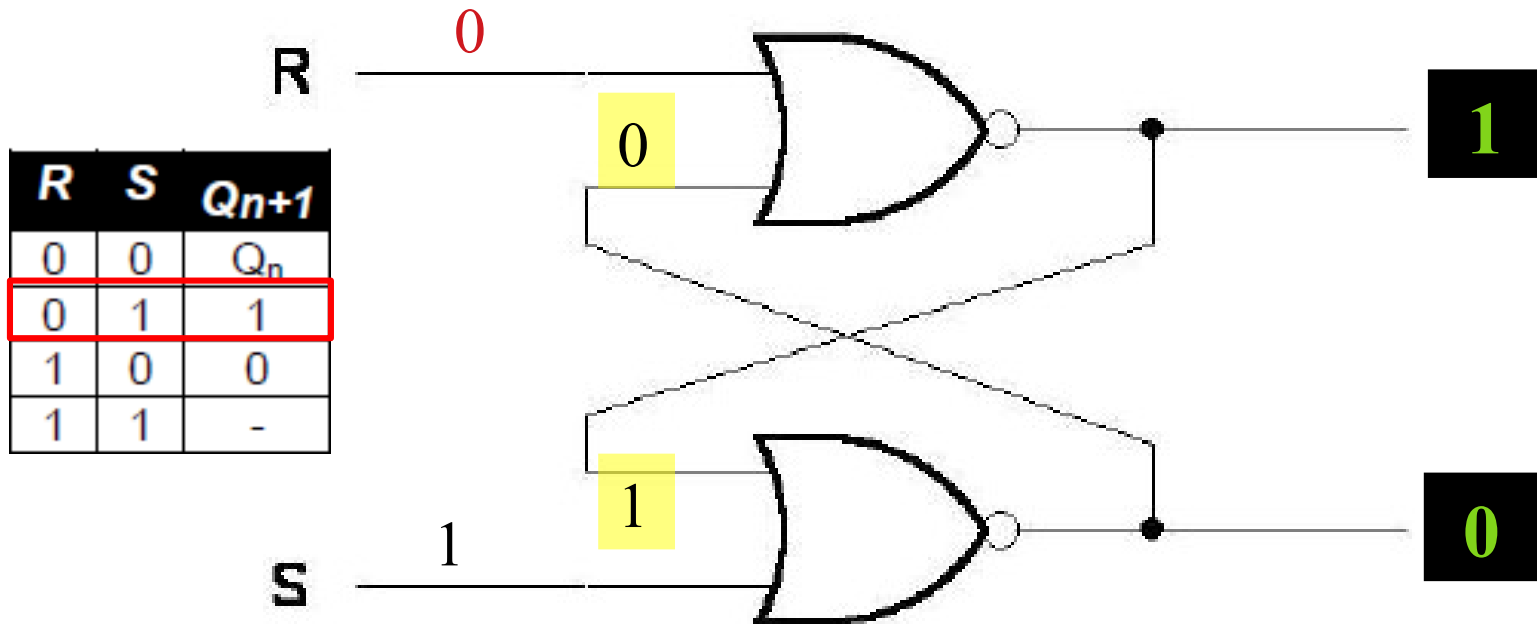
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



¿Qué ocurre si cambia R o S?

# Flip-Flop - Diseño

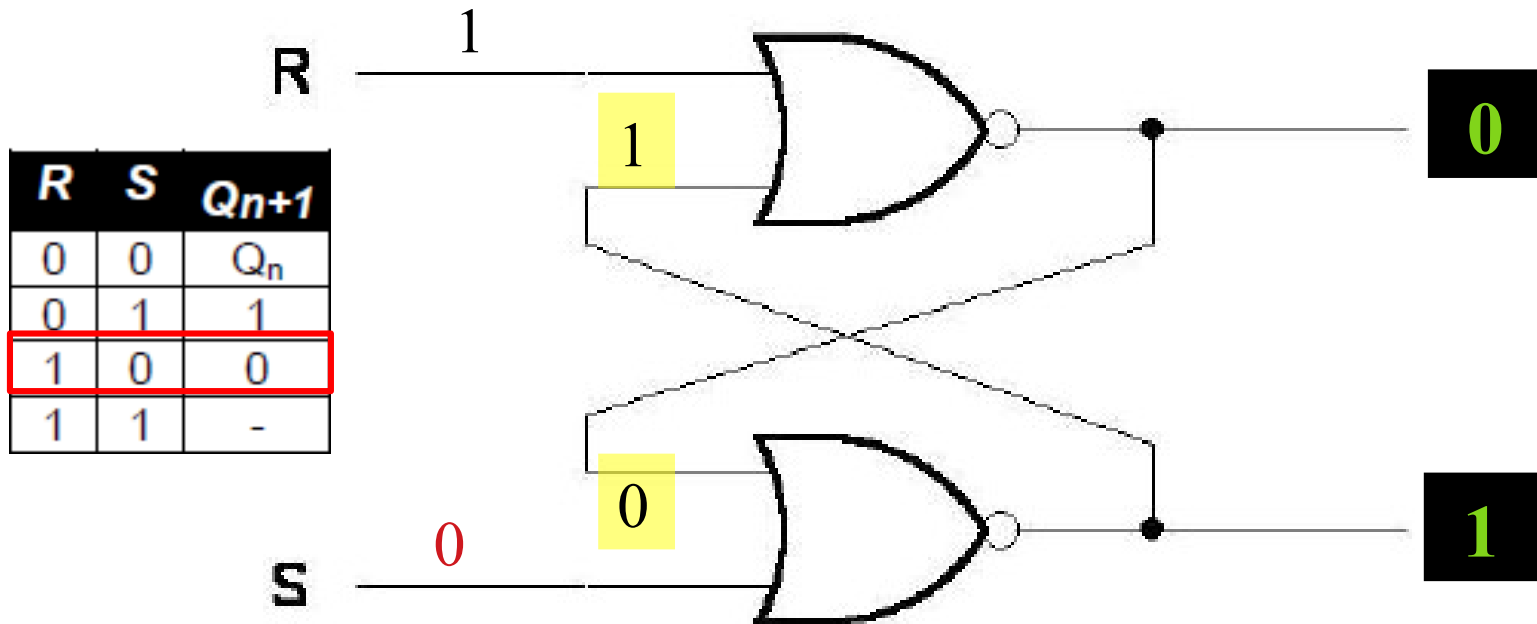
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



Con  $R \rightarrow 0$ ,  $\text{NOR}(0,0) = 1 \rightarrow Q = 1$   
¡Funcionamiento esperado!

# Flip-Flop - Diseño

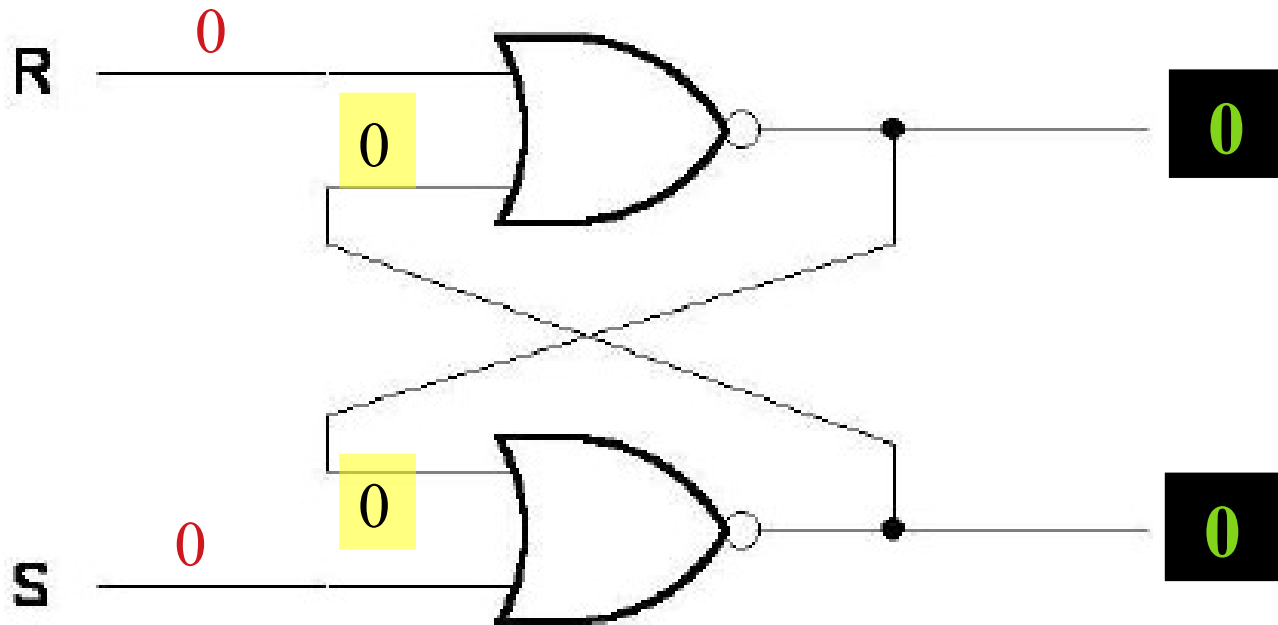
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



Con  $S \rightarrow 0$ ,  $\text{NOR}(1,1) = 0 \rightarrow Q = 0$   
¡Funcionamiento esperado!

# Flip-Flop - Diseño

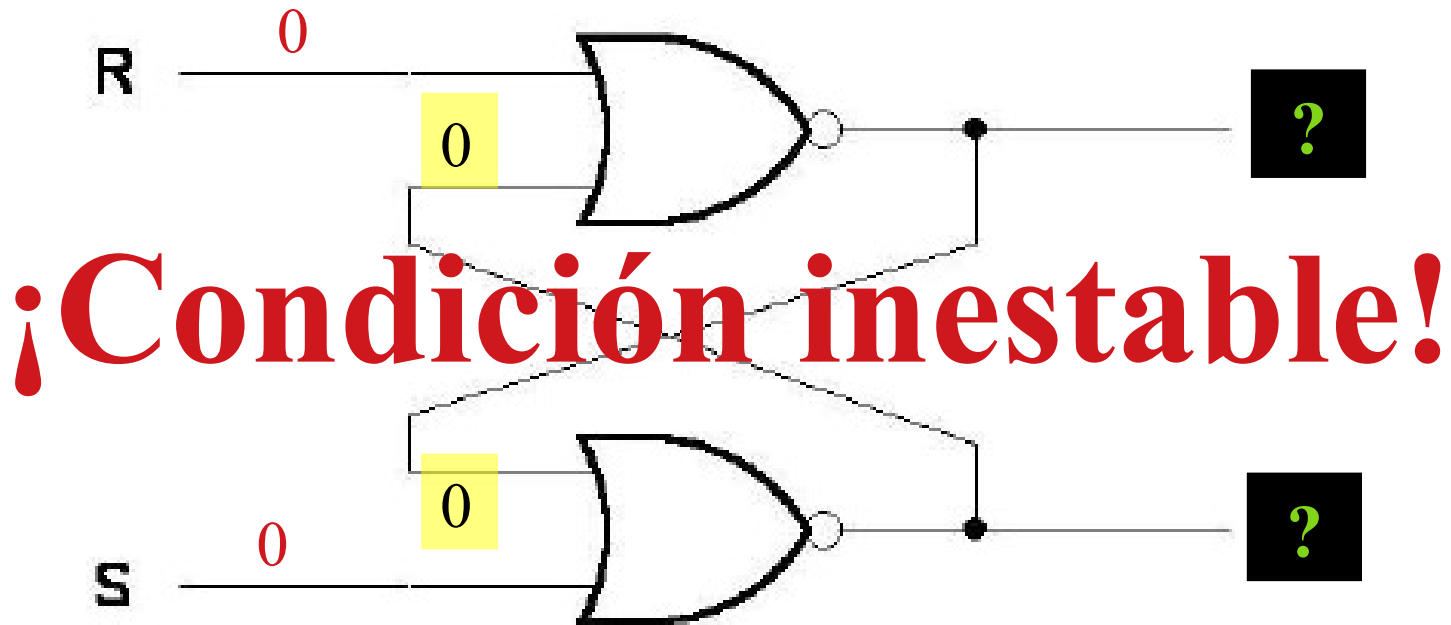
Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono



¿Qué ocurre si cambian R y S a 0 en simultáneo?

# Flip-Flop - Diseño

Ejemplo: FF Reset-Set (R-S) Asíncrono

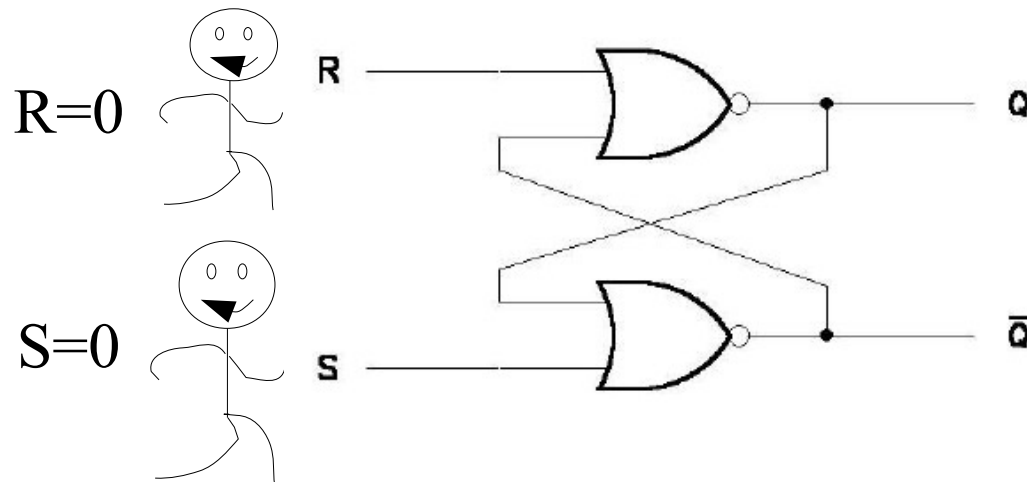


¿Qué ocurre si cambian R y S a 0 en simultáneo?

# Flip-Flop - Diseño

## Modo fundamental

- La probabilidad de que ocurran dos cambios en simultáneo es nula.
- En el caso anterior, o bien R baja primero, o S lo hace. Por lo que el estado quedará determinado por la señal que bajó antes.

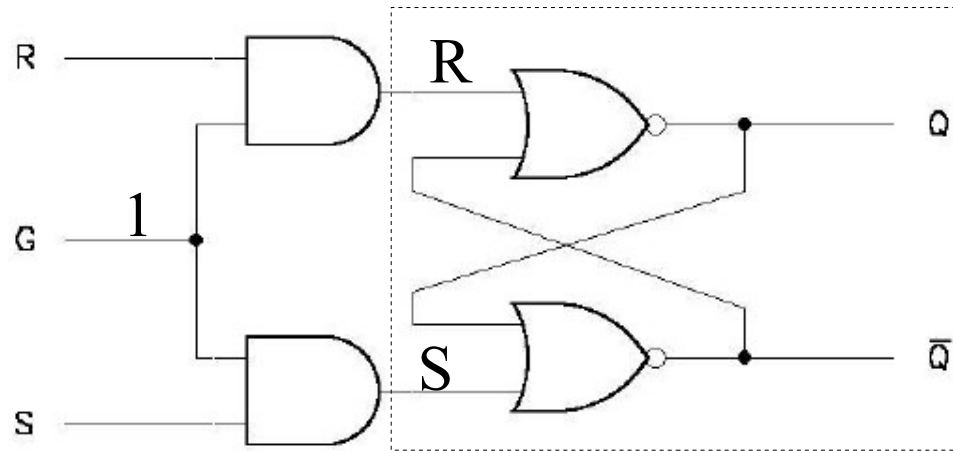




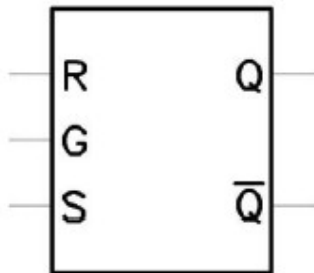
# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop R-S síncrono – Por nivel

<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	-



FF-RS asíncrono



Por nivel

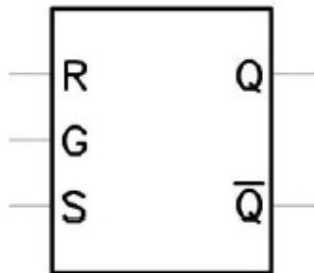
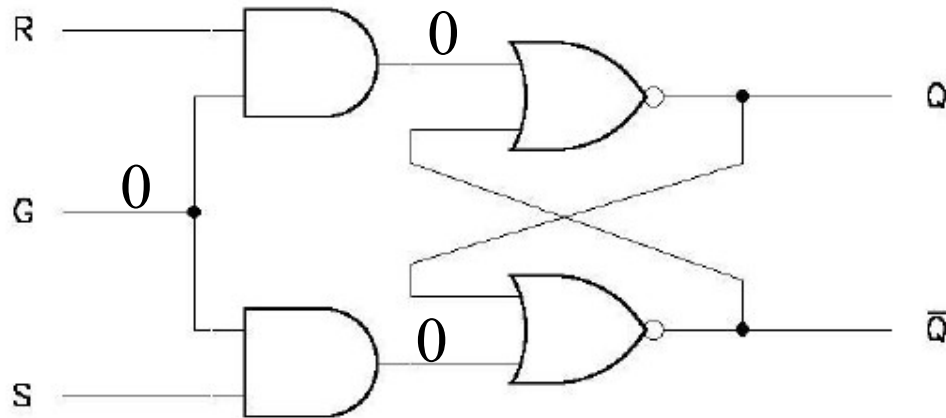


**Funciona como un FF-RS  
asíncrono si  $G = 1$**

# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop R-S síncrono – Por nivel

R	S	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	1
1	0	0
1	1	-

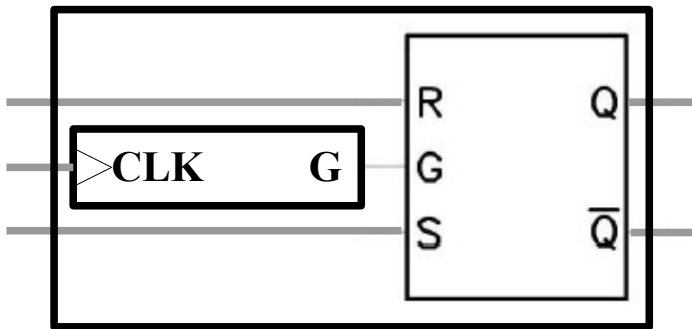


Por nivel

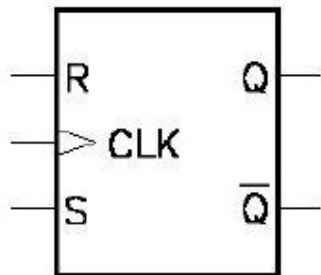
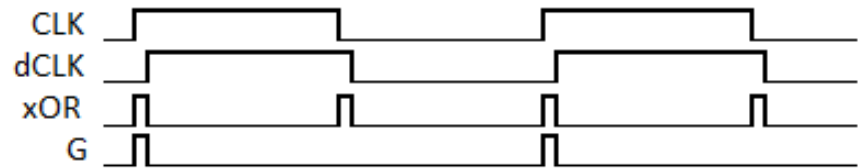
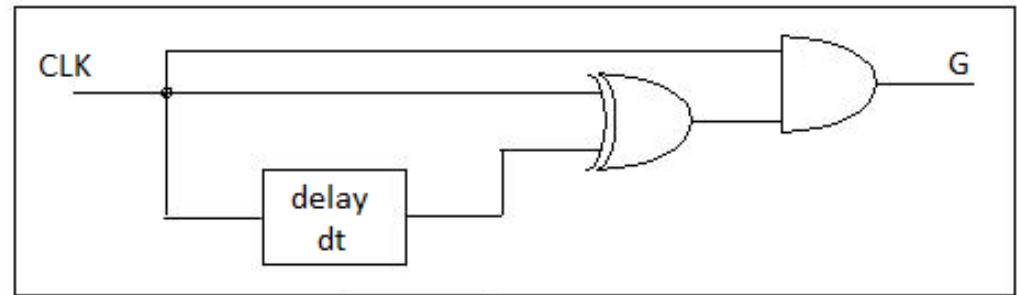
Funciona como un FF-RS  
asíncrono si  $G = 1$   
**Si  $G = 0$  permanece  
bloqueado**

# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop R-S síncrono – por flanco



### Detector de flancos de subida



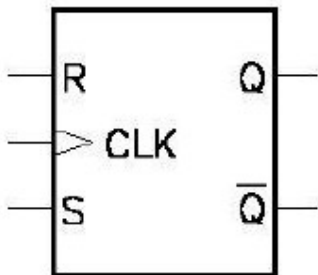
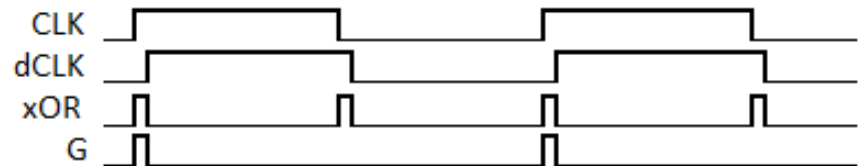
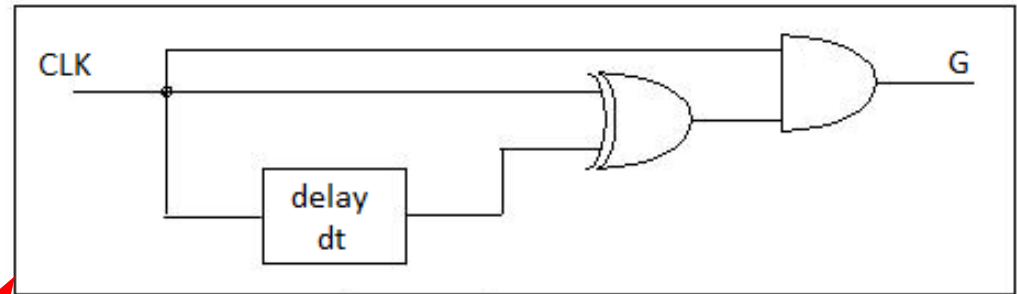
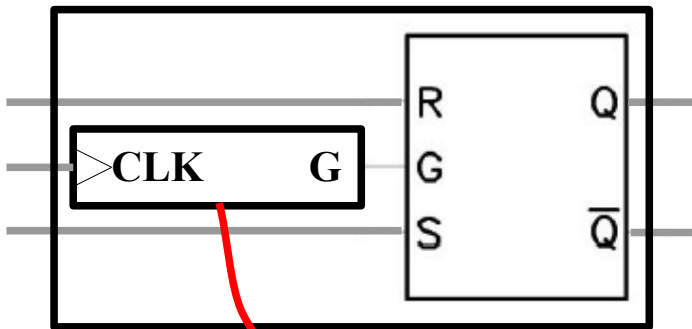
Los cambios ocurren en los flancos de subida de CLK

Por flanco

# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop R-S síncrono – por flanco

### Detector de flancos de subida

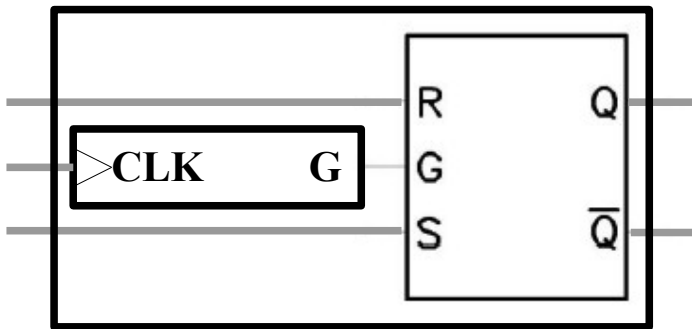


Los cambios ocurren en los flancos de subida de CLK

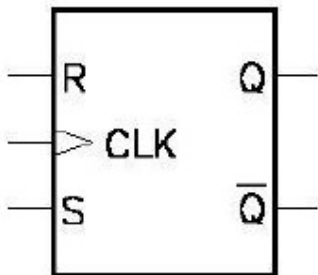
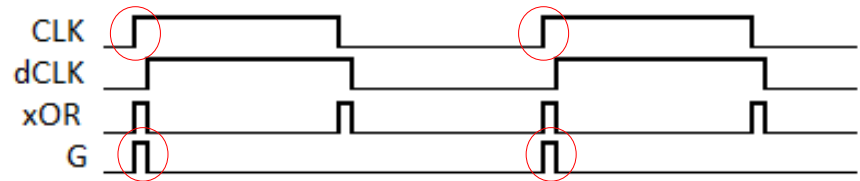
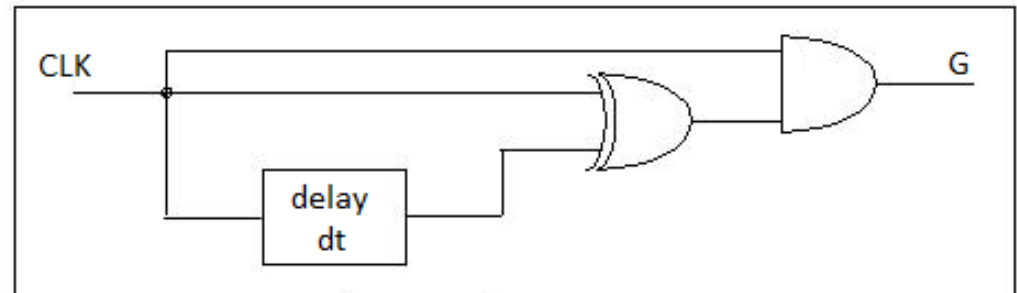
Por flanco

# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop R-S síncrono – por flanco



### Detector de flancos de subida



Los cambios ocurren en los flancos de subida de CLK

Por flanco

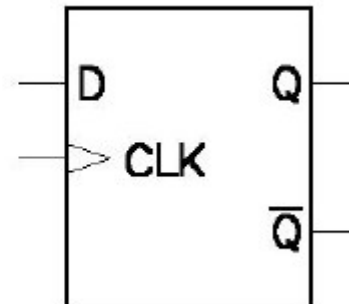
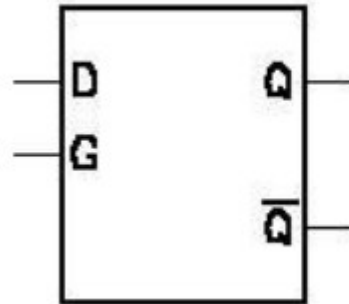
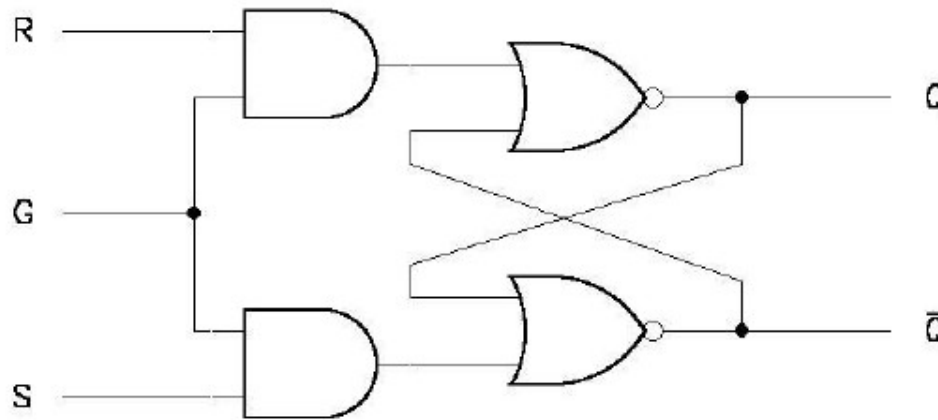
# Índice

- Introducción: Circuitos secuenciales
  - Repaso: Circuitos combinatorios
  - Definición
- Flip-Flop – Introducción
  - Definición
  - Clasificación por tipo de salida
- Flip-Flop – Diseño
  - Ejemplo – FF-RS asíncrono
  - Ejemplo – FF-RS síncrono
- **Tipos de Flip-Flop**
  - Flip-Flop RS
  - Flip-Flop D
  - Flip-Flop T
  - Flip-Flop JK
  - Flip-Flop J-K como flip-flop universal
- Tipo de entradas de un FF en Quartus
  - Entradas set y clear
  - Entradas de CLK y habilitación

# 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	-

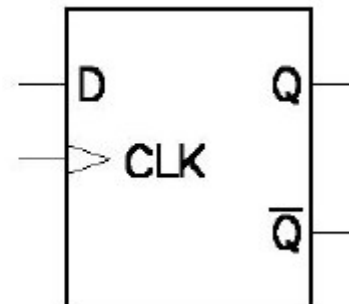
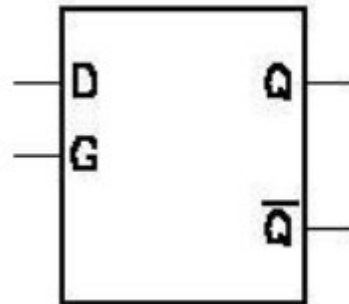
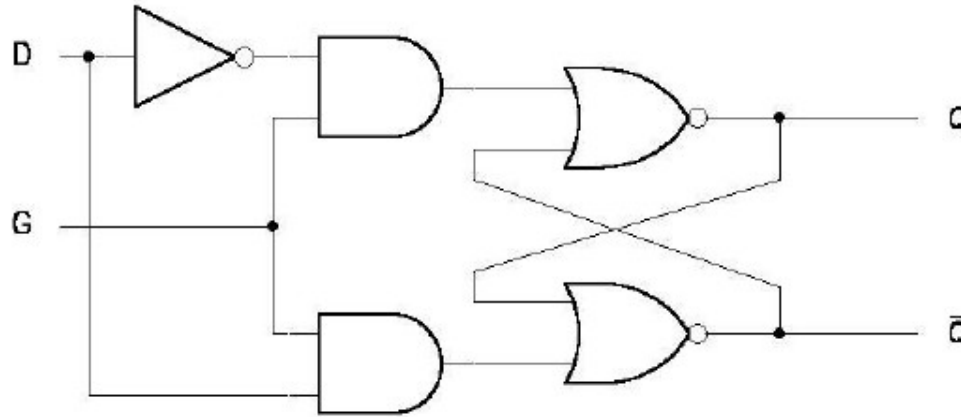


# Tipos de Flip-Flop

## Flip-Flop D (Data)

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

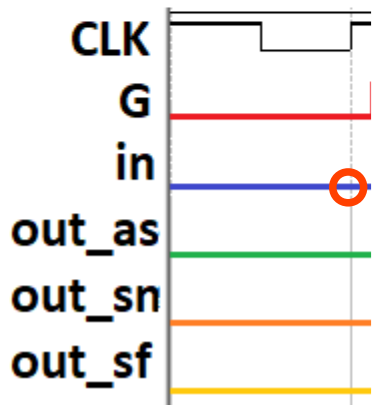
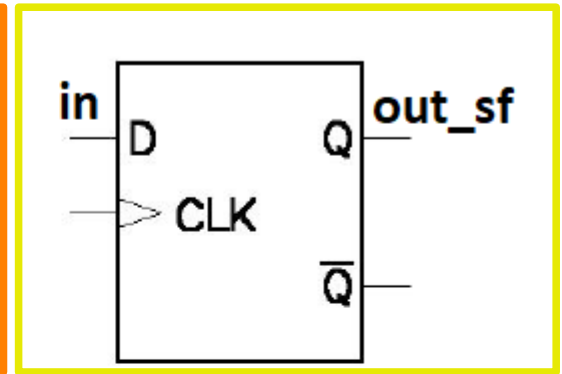
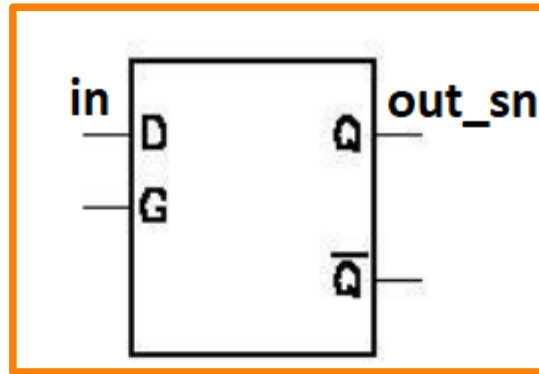
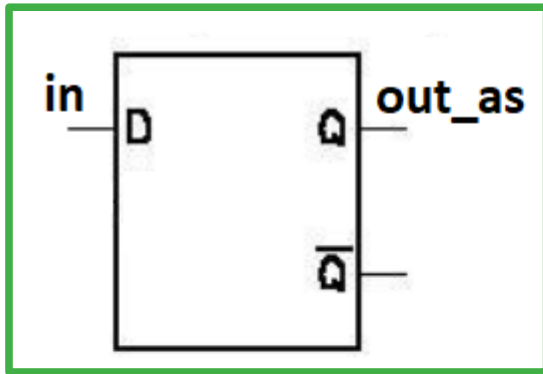
$$Q_{n+1} = D_n$$





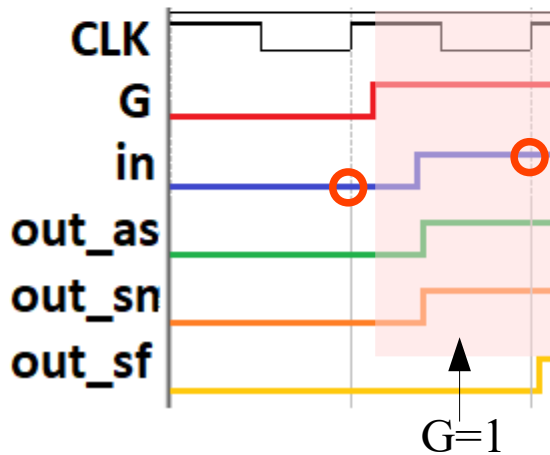
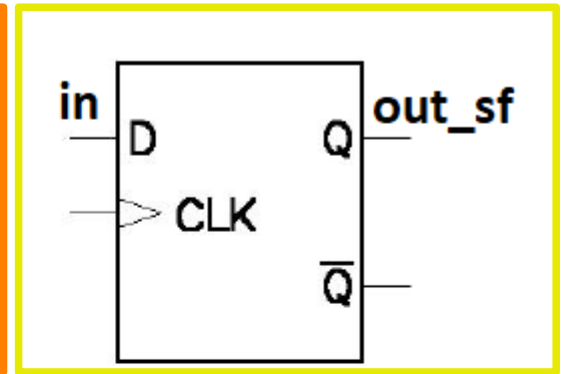
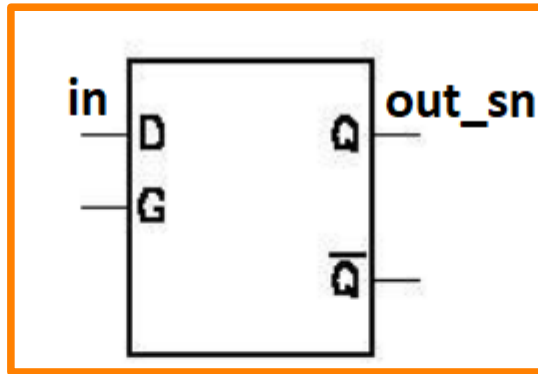
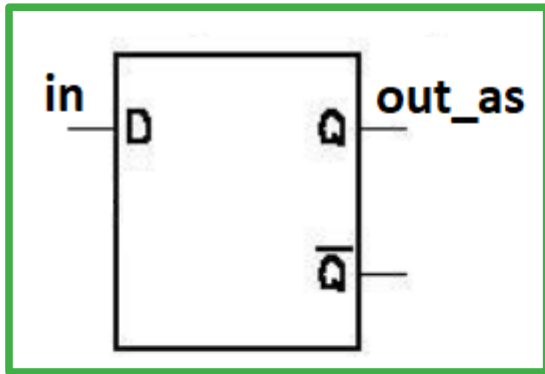
# Tipos de Flip-Flop

FF-D – Funcionamiento dinámico



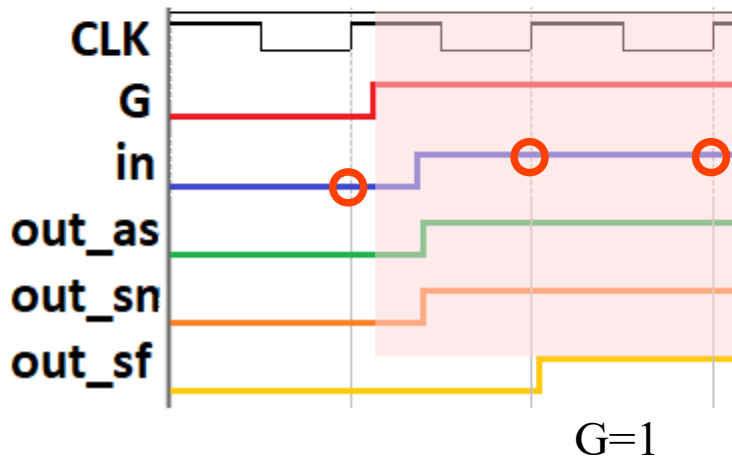
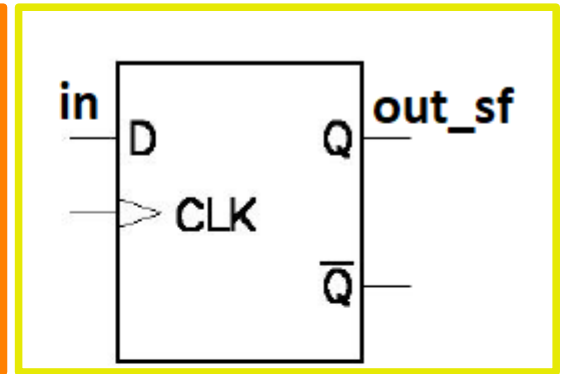
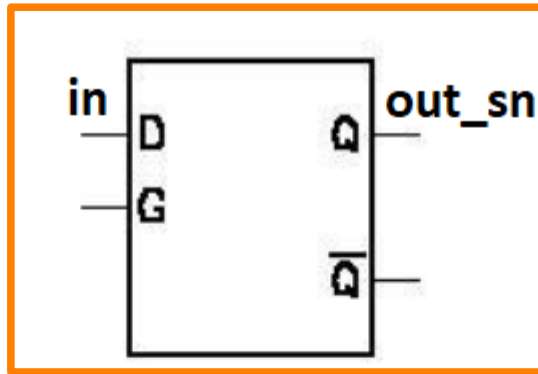
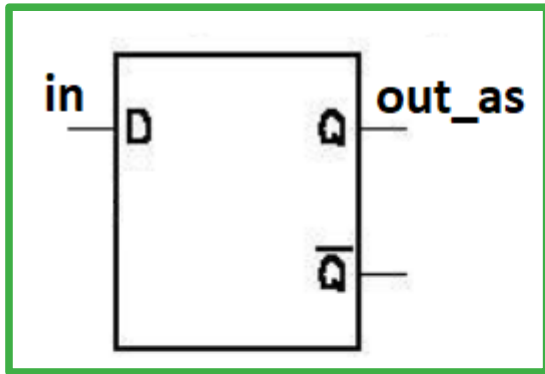
# Tipos de Flip-Flop

## FF-D – Funcionamiento dinámico



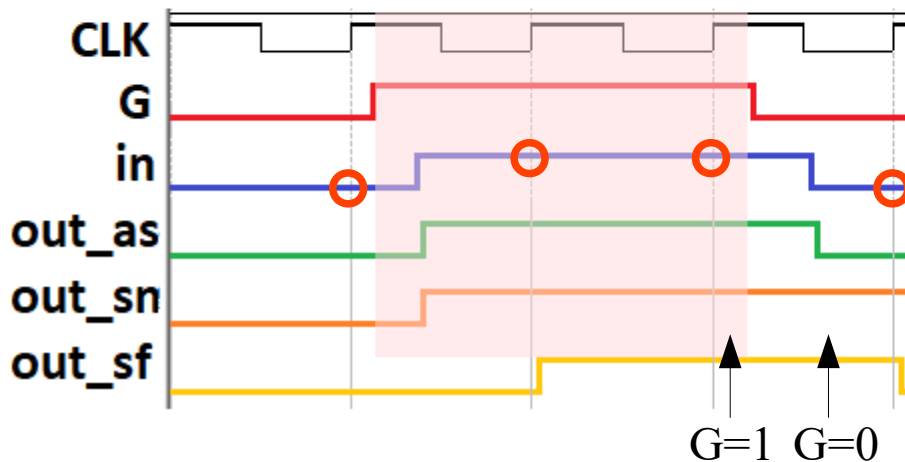
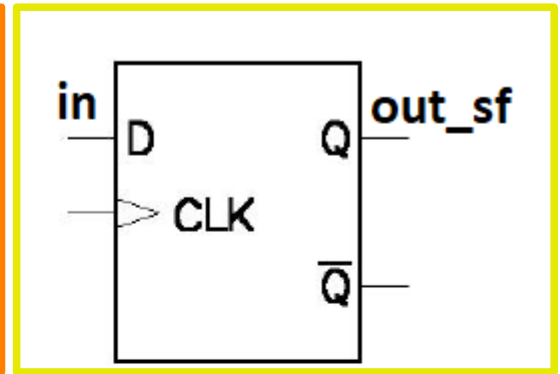
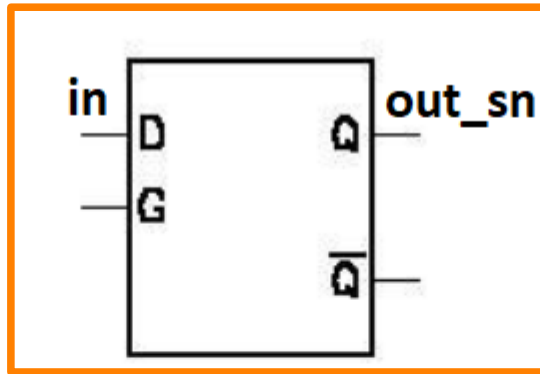
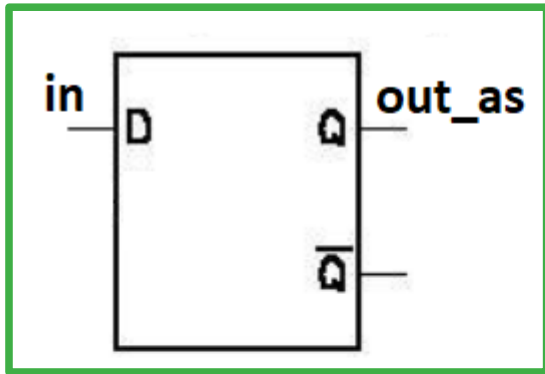
# Tipos de Flip-Flop

FF-D – Funcionamiento dinámico



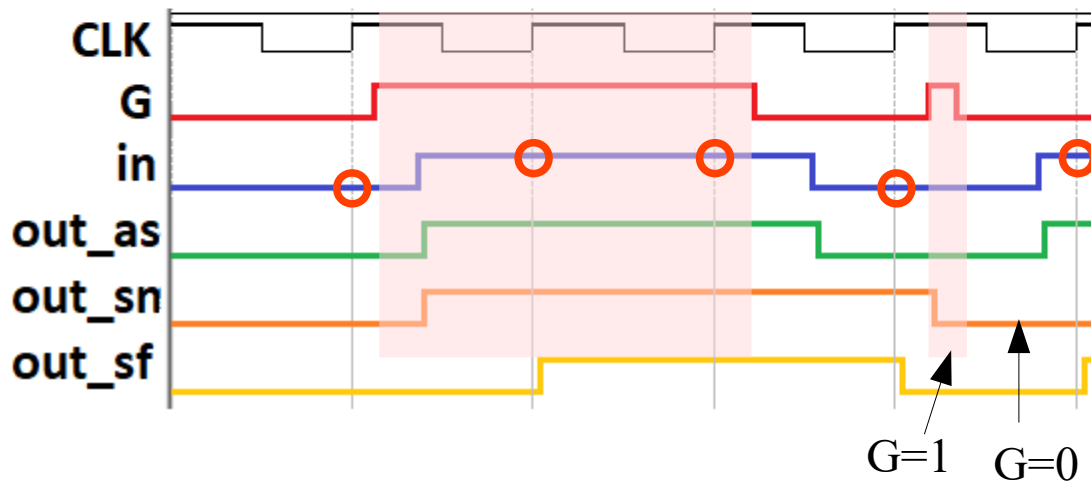
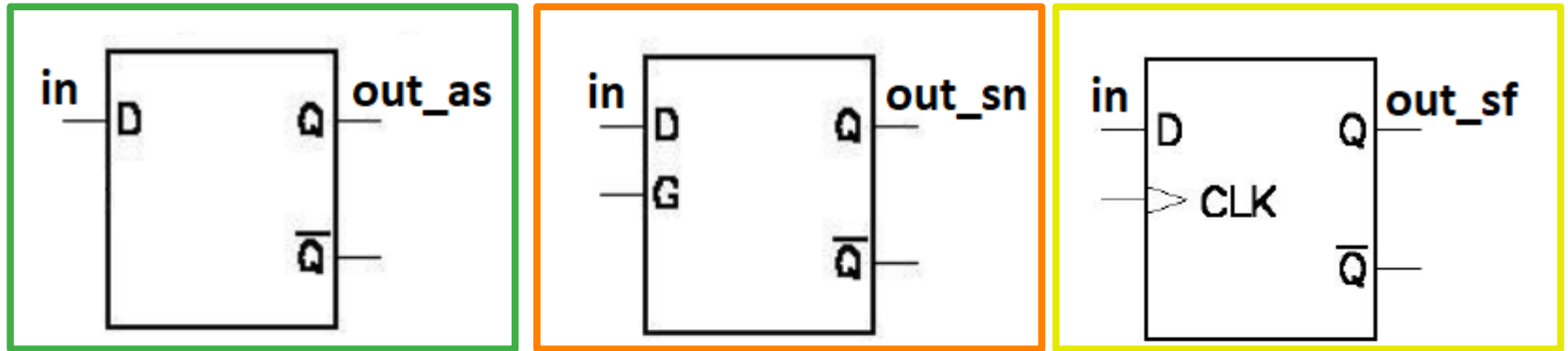
# Tipos de Flip-Flop

FF-D – Funcionamiento dinámico



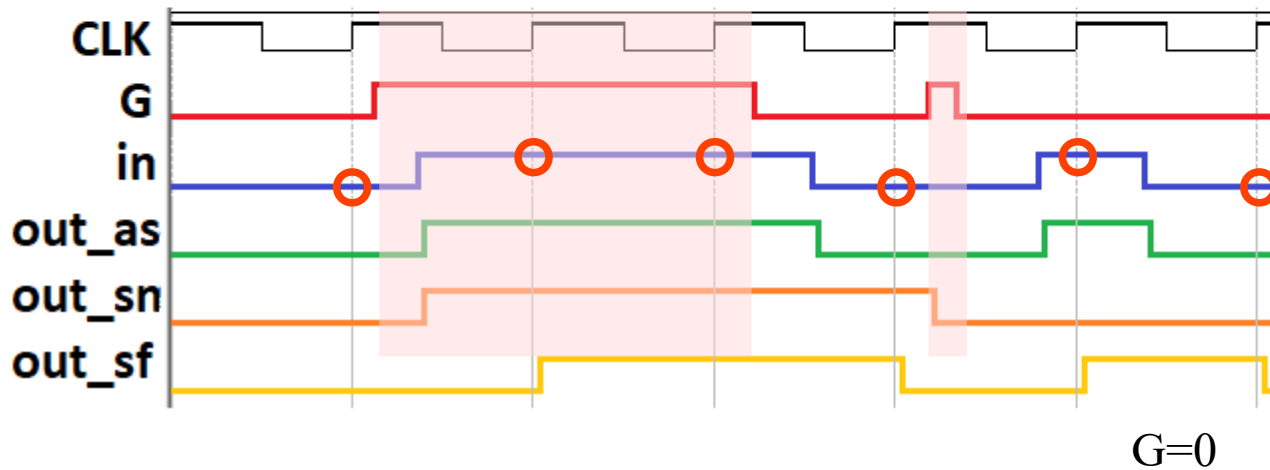
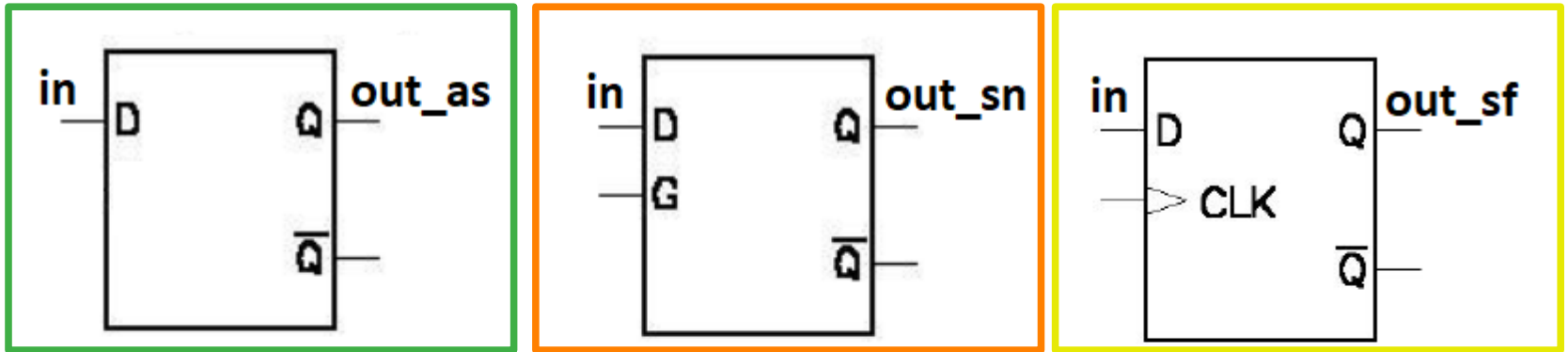
# Tipos de Flip-Flop

## FF-D – Funcionamiento dinámico



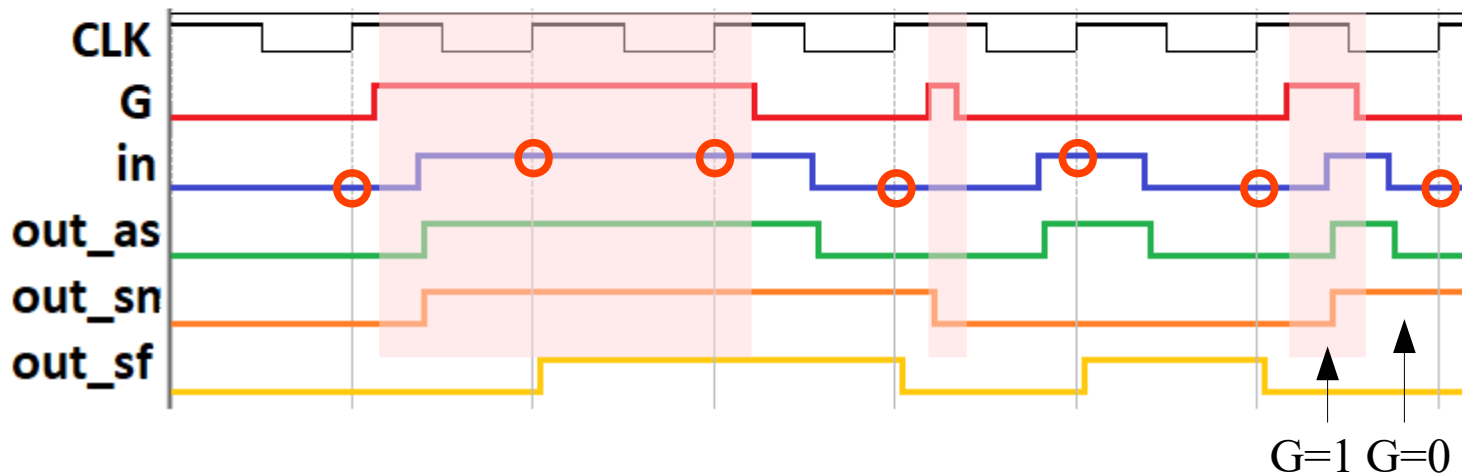
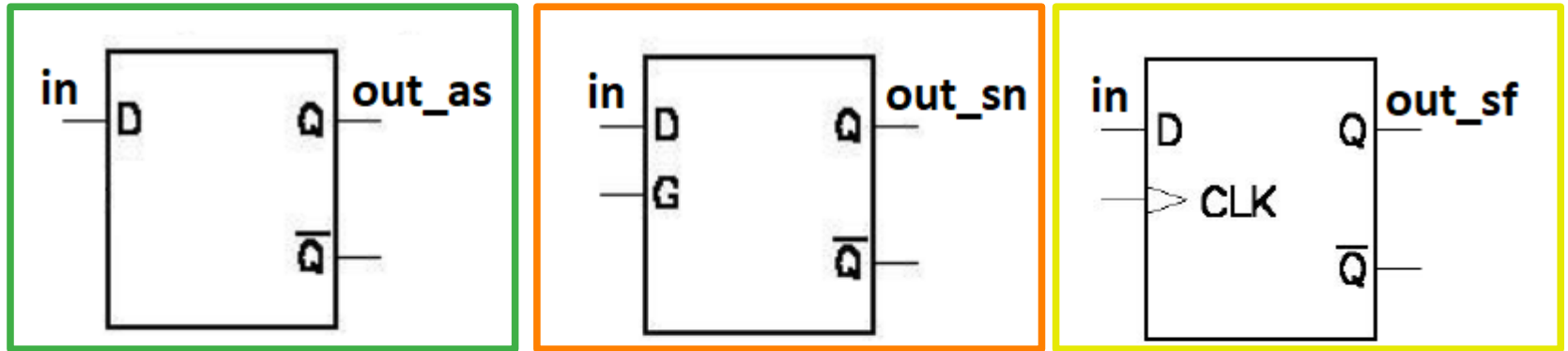
# Tipos de Flip-Flop

## FF-D – Funcionamiento dinámico



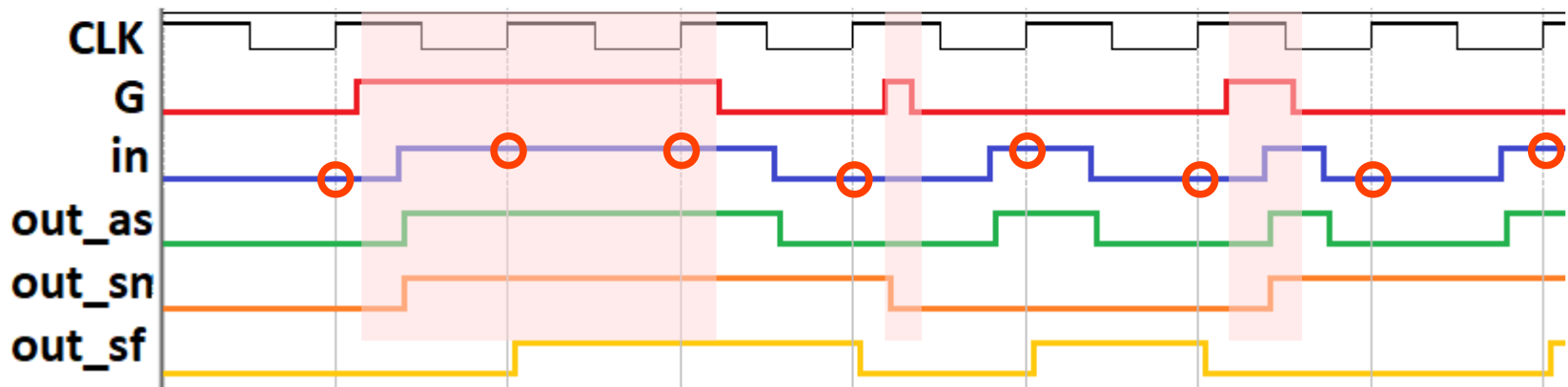
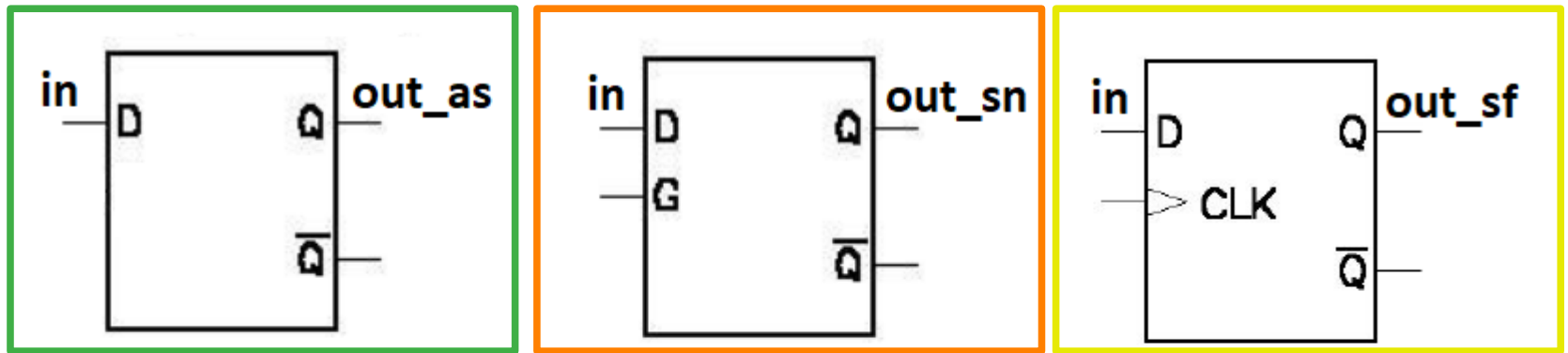
# Tipos de Flip-Flop

## FF-D – Funcionamiento dinámico



# Tipos de Flip-Flop

## FF-D – Funcionamiento dinámico

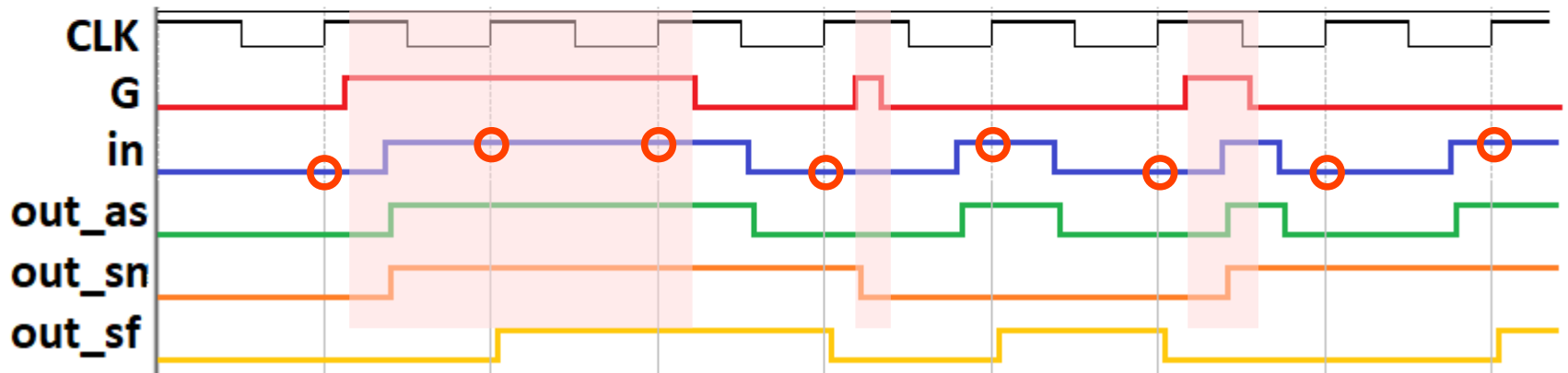
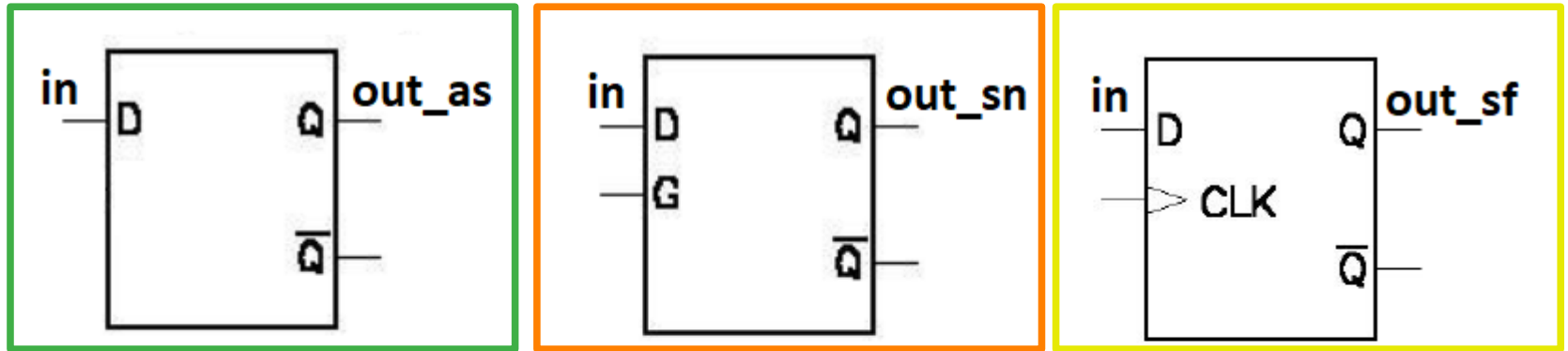


G=0



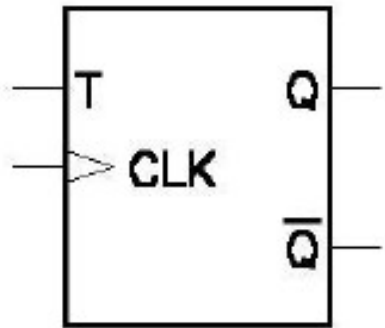
# Tipos de Flip-Flop

## FF-D – Funcionamiento dinámico



# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop T (Toggle)

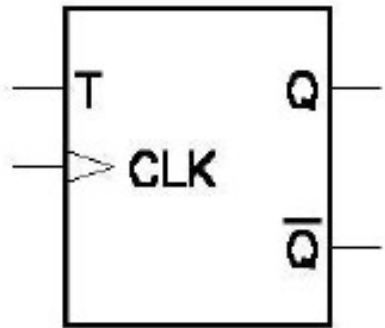


<b>T</b>	<b><math>Q_{n+1}</math></b>
0	$Q_n$
1	$\overline{Q_n}$

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

# Flip-Flop - Diseño

## Flip-Flop T (Toggle)



<b>T</b>	<b><math>Q_{n+1}</math></b>
0	$Q_n$
1	$\overline{Q_n}$

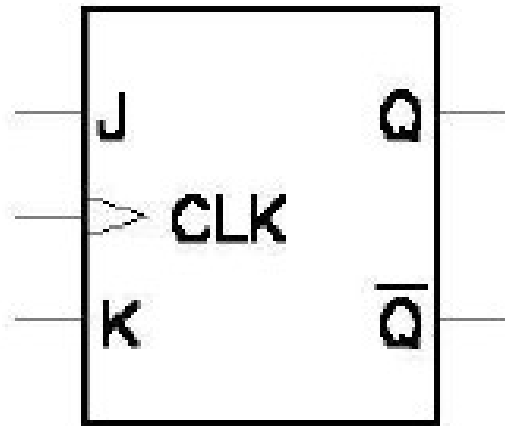
$$Q_{n+1} = Q_n \overline{T} + \overline{Q_n} T$$

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

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

# Flip-Flop

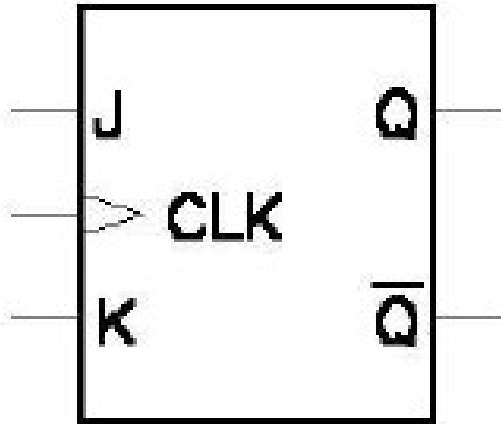
## FF-JK síncrono



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

# Flip-Flop

## FF-JK síncrono

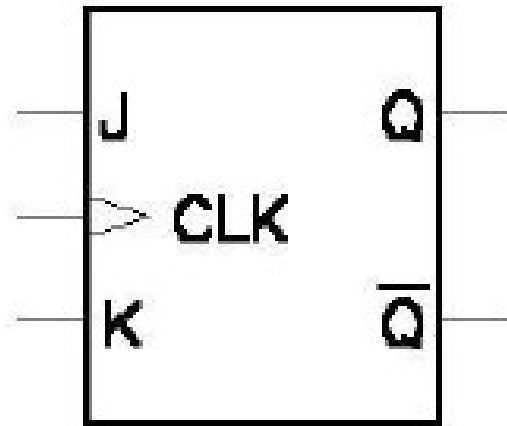


J	K	$Q_n$	$Q_{n+1}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

EJERCICIO: Encuentre la ecuación característica considerando a  $Q_{n+1}$  como salida

# Flip-Flop

## FF-JK síncrono



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

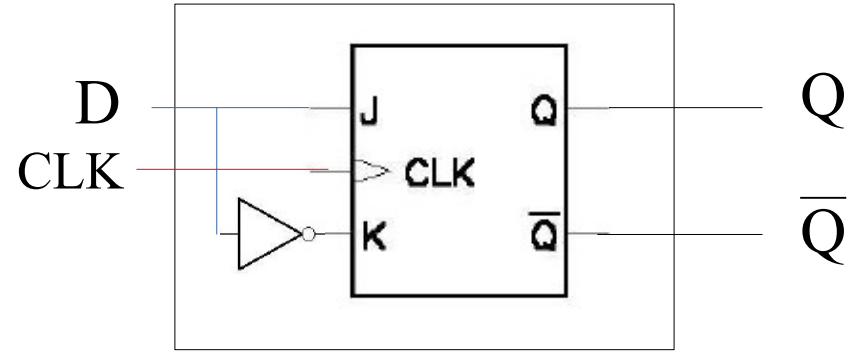
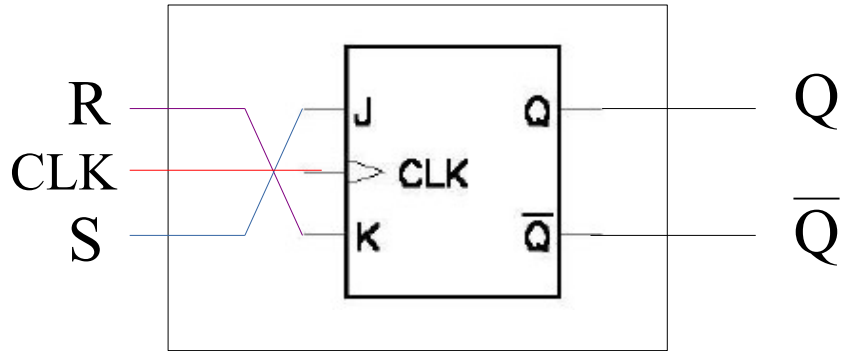
Mapa K

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

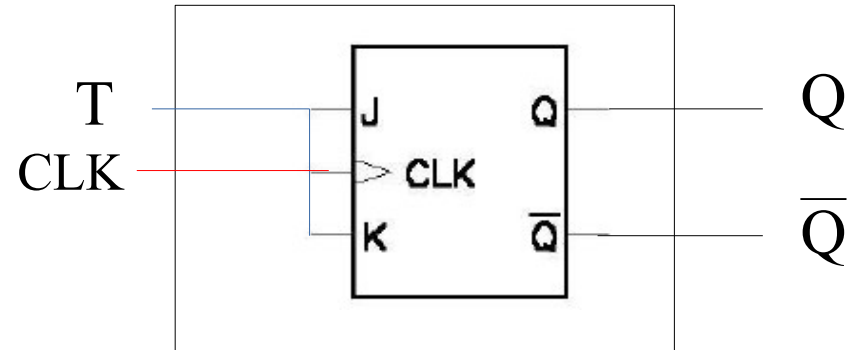
$$Q_{n+1} = J\overline{Q_n} + \overline{K}Q_n$$

# Flip-Flop

## FF-JK como Flip-Flop síncrono universal



J	K	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_n$



# Índice

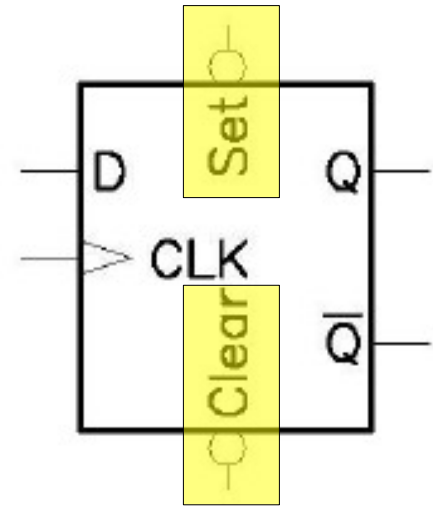
- **Introducción: Circuitos secuenciales**
  - Repaso: Circuitos combinatorios
  - Definición
- **Flip-Flop – Introducción**
  - Definición
  - Clasificación por tipo de salida
- **Flip-Flop – Diseño**
  - Ejemplo – FF-RS asíncrono
  - Ejemplo – FF-RS síncrono
- **Tipos de Flip-Flop**
  - Flip-Flop RS
  - Flip-Flop D
  - Flip-Flop T
  - Flip-Flop JK
  - Flip-Flop J-K como flip-flop universal
- **Tipo de entradas de un FF en Quartus**
  - Entradas set y clear
  - Entradas de CLK y habilitación



# Flip-Flop

## Entradas clear y set

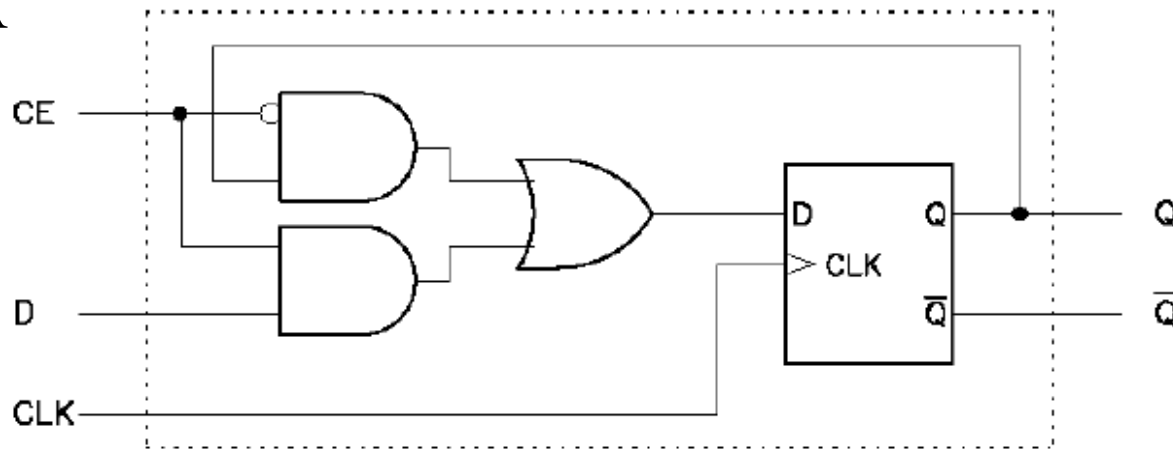
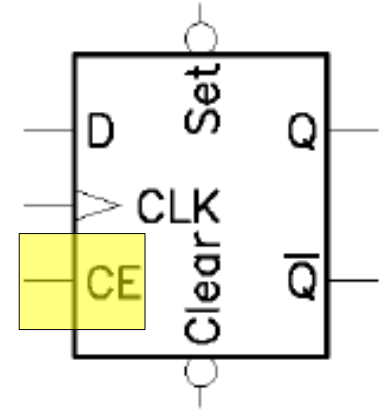
- Clear setea Q a 0 de forma asíncrona
- Set setea Q a 1 de forma asíncrona
- Ambas son activas por nivel bajo (se activan colocando un 0 en la entrada)



# Flip-Flop

## Entradas de habilitación

- El flip-flop cumple su función, solo si esta entrada está activa
- En caso contrario, no se modifica el valor de Q
- En Quartus, esta entrada se llama “ENA”



# Ejercicio

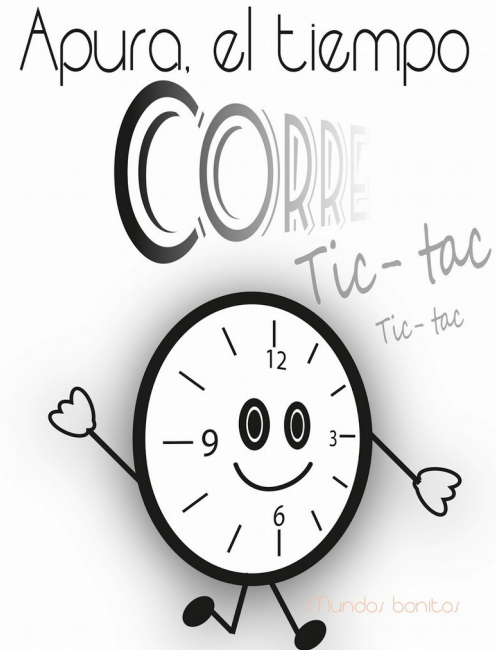
Realice el diseño del siguiente circuito según la tabla de verdad usando FF-D

A	B	C	$Q_{n-1}$	$Q_n$
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

# Ejercicio

Realice el diseño del siguiente circuito según la tabla de verdad usando FF-D

A	B	C	$Q_{n-1}$	$Q_n$
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1



# Ejercicio

Realice el diseño del siguiente circuito según la tabla de verdad usando FF-D

A	B	C	$Q_{n-1}$	$Q_n$
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Era broma,

terminamos acá!

Apura, el tiempo

CORRE

Tic-tac

Tic-tac

Mundo bontor