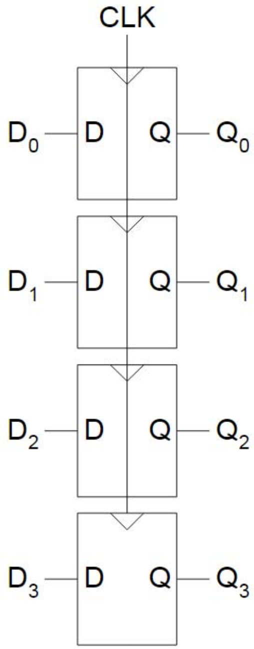
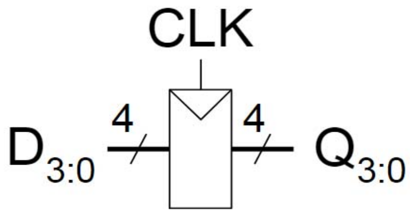
Circuitos secuenciales síncronos

- Lógica combinacional seguida por un banco de flip-flops.
- Dan secuencia a los eventos y tienen memoria.
- Usan retroalimentación desde la salida a las entradas para almacenar la información.
- Todos los elementos de almacenamiento responden a la misma señal de reloj (a un flanco de la misma).

Registros

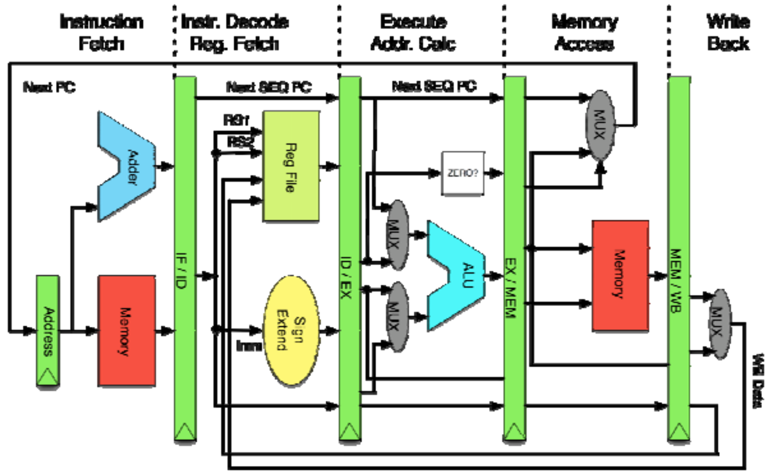
- Agrupación de varios flip-flops en paralelo. Almacenan más de un dato.



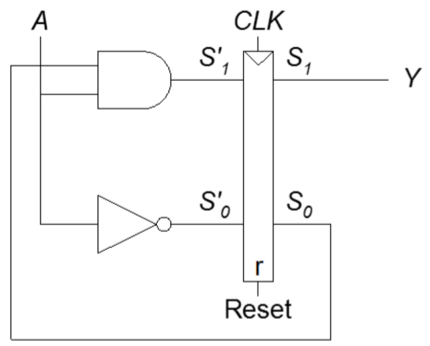


Ejemplos de circuitos secuenciales síncronos

- Pipelines.



- Máquinas de estados finitos.



Máquinas de estados

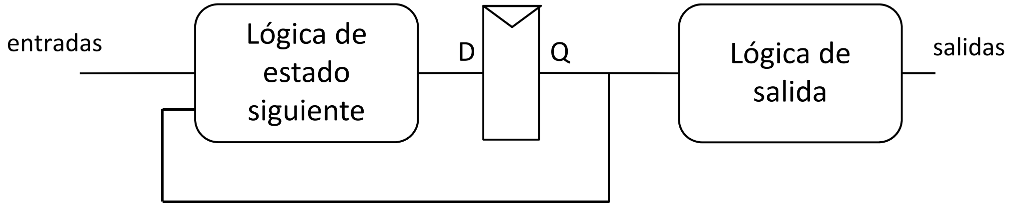
- Número finito de estados con transiciones definidas entre los mismos.
- Formada por lógica combinacional y memoria (registros).
- Máquina de Moore: la salida depende solo del estado interno actual.
- Máquina de Mealy: la salida depende del estado interno actual y de las entradas.
- Tres partes: lógica de cálculo del estado siguiente (combinacional), registros que almacenan el estado (secuencial) y lógica de cálculo de la salida (combinacional).

Ecuaciones características

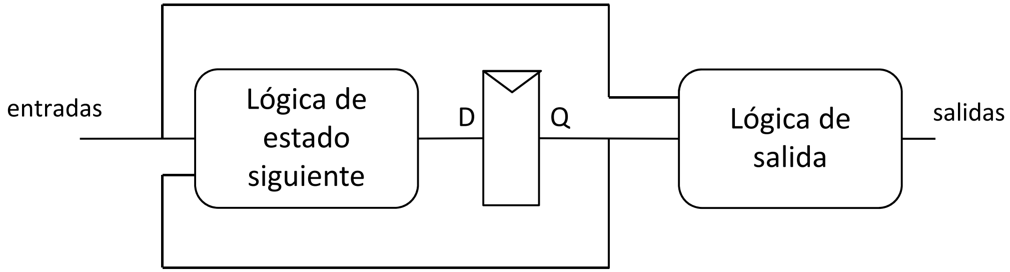
- Define formalmente el comportamiento de los circuitos secuenciales.
- Q* (estado siguiente) significa próximo valor de Q (estado actual).
- Para un flip-flop D el siguiente estado corresponderá a la entrada D que llegue en el flanco de reloj. $Q^*=D$
- Para un flip-flop D con habilitación (enable), $Q^*=D \cdot EN + \overline{EN} \cdot Q$
- Para un latch S-R: $Q^*=S+\overline{R} \cdot Q$
- Nos centraremos en flip-flops D.

Máquinas de estados con flip-flops D

Moore



Mealy



Análisis de máquinas de estado con flip-flops D

- Determinar las ecuaciones de excitación para los flip-flops. Ecuaciones de excitación: D en función de estado y entradas actuales.

- A partir de estas ecuaciones, obtener las de transición. Ecuaciones de transición: Q* en función de estado y entradas actuales.

- Construir la tabla de transición.

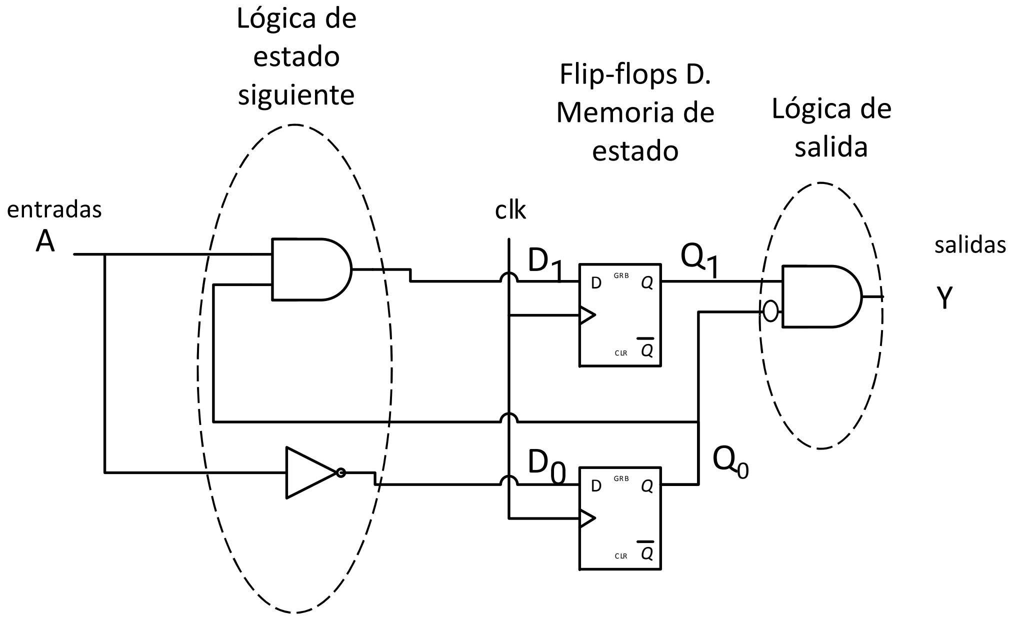
- Determinar las ecuaciones de salida.

- Construir una tabla de Estado/Salida.

- Dibujar un diagrama de estados que muestre gráficamente esa información.

Ejemplo

¿Moore o Mealy?



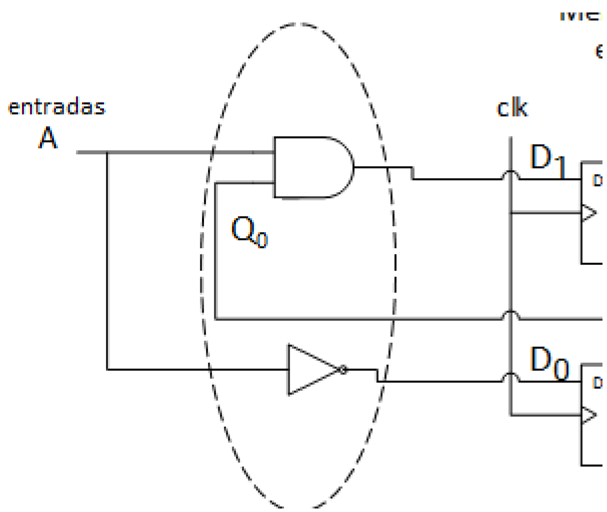
Ejemplo. Ecuaciones de excitación y transición.

- Ecuaciones de excitación para los flip-flops.

  $D_0 = \bar{A}$
  $D_1 = Q_0 \cdot A$

- Ecuaciones de transición.

  $Q^*_0 = \bar{A}$
  $Q^*_1 = Q_0 \cdot A$



Ejemplo. Tabla de transición binaria.

Si $\boxed{A=0}$, $\boxed{Q_1=0 \text{ y } Q_0=0}$ ➡ $Q^*_1 = Q_0 \cdot A = 0 \cdot 0 = 0$; $Q^*_0 = \bar{A} = \bar{0} = 1$

	A	
Q_1Q_0	0	1
00	01	00
01	01	10
10	01	00
11	01	10
	$Q^*_1Q^*_0$	

Ejemplo. Tabla de transición con estados.

Asignación de estados. Por ejemplo:

$S_0 = 00$
$S_1 = 01$
$S_2 = 10$
$S_3 = 11$

El estado S_3 en realidad no se puede alcanzar si no se producen errores.

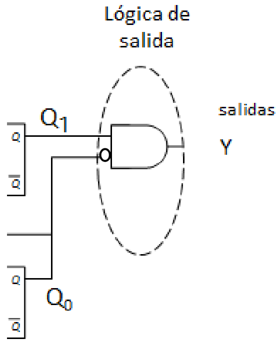
Q_1Q_0	A = 0	A = 1
00	01	00
01	01	10
10	01	00
11	01	10
	$Q^*_1Q^*_0$	

S	A = 0	A = 1
S_0	S_1	S_0
S_1	S_1	S_2
S_2	S_1	S_0
S_3	S_1	S_2
	S^*	

Ejemplo. Ecuaciones de Salida y Tabla Estado/Salida.

- Ecuaciones de salida.

$$Y = Q_1 \cdot \overline{Q_0}$$

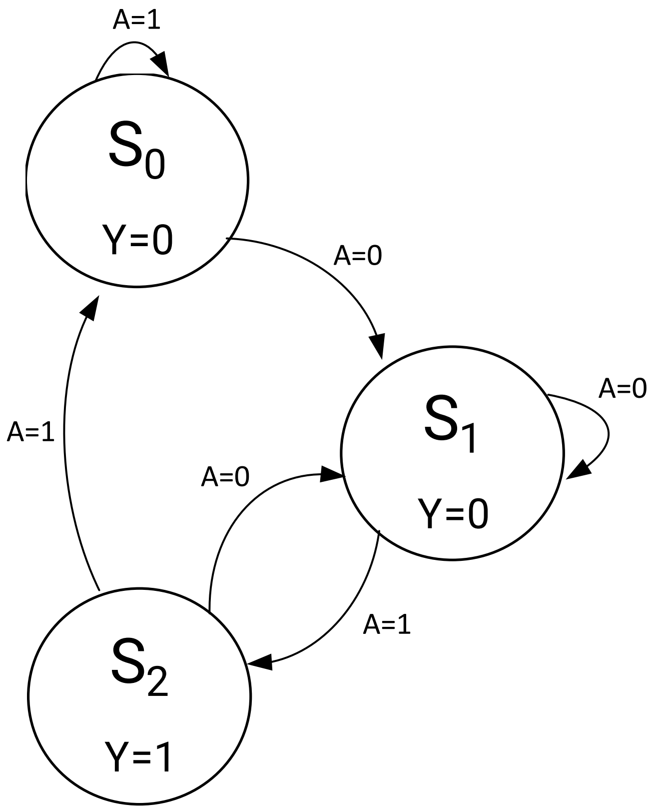


	A		
Q_1Q_0	0	1	Y
00	01	00	0
01	01	10	0
10	01	00	1
11	01	10	0
	$Q^*_1Q^*_0$		

	A		
S	0	1	Y
S_0	S_1	S_0	0
S_1	S_1	S_2	0
S_2	S_1	S_0	1
S_3	S_1	S_2	0
	S^*		

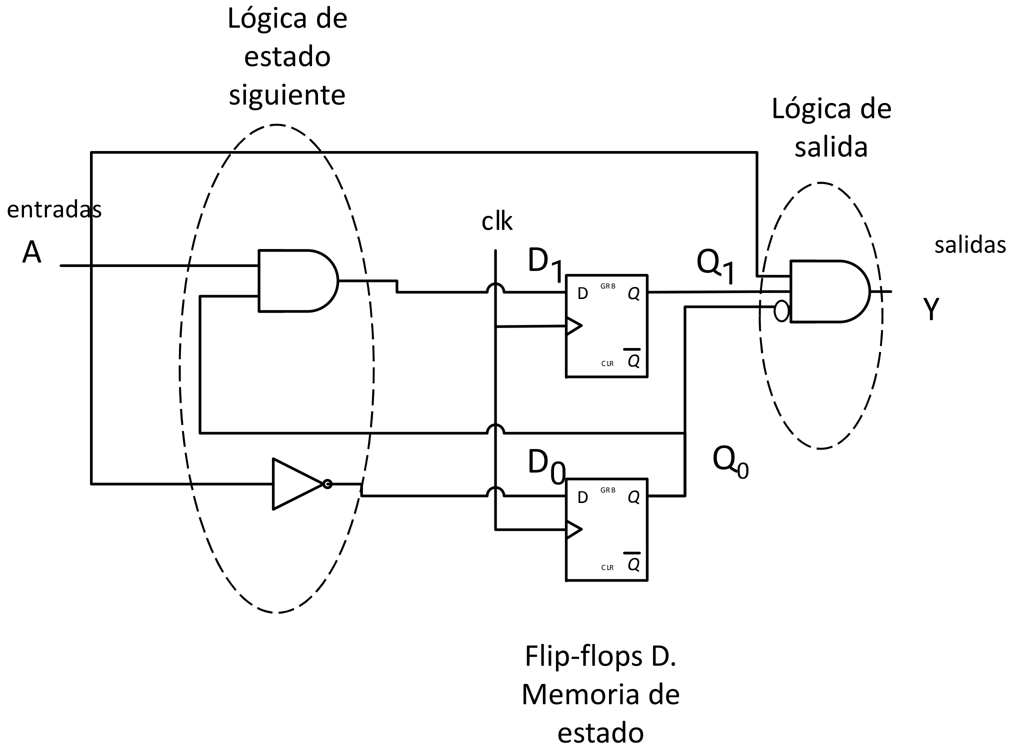
Ejemplo. Diagrama de estado.

	A		
S	0	1	Y
S_0	S_1	S_0	0
S_1	S_1	S_2	0
S_2	S_1	S_0	1
	S^*		



Ejemplo 2: modificando 1 conexión

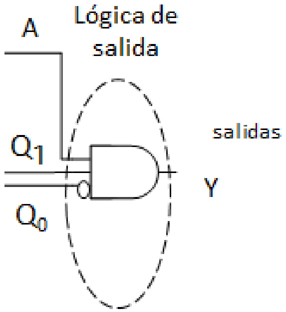
¿Moore o Mealy?



Ejemplo 2. Tabla Estado/Salida.

- Ecuaciones de salida.

$$Y = Q_1 \cdot \overline{Q_0} \cdot A$$

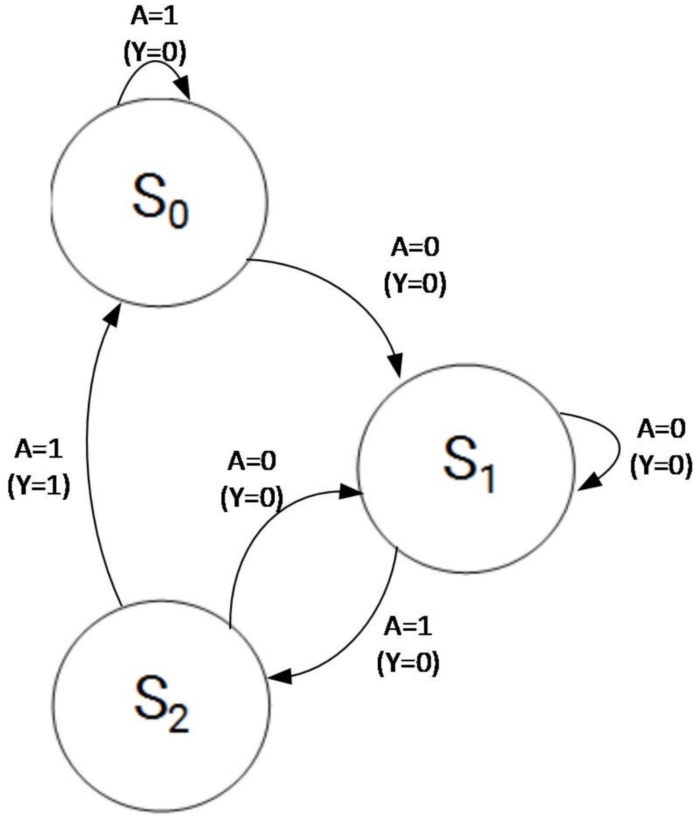


	A	
Q_1Q_0	0	1
00	01, 0	00, 0
01	01, 0	10, 0
10	01, 0	00, 1
11	01, 0	10, 0
	$Q^*_1Q^*_0$, Y	

	A	
S	0	1
S_0	S_1, 0	S_0, 0
S_1	S_1, 0	S_2, 0
S_2	S_1, 0	S_0, 1
S_3	S_1, 0	S_2, 0
	S^*, Y	

Ejemplo 2. Diagrama de estado.

	A	
S	0	1
S_0	S_1, 0	S_0, 0
S_1	S_1, 0	S_2, 0
S_2	S_1, 0	S_0, 1
	S^*, Y	



Diseño de máquinas de estado

- Construir la tabla de Estado/Salida.
- Minimizar el número de estados.
- Escoger un conjunto de variables y asignar combinaciones a los estados.
- Crear la tabla de Transición/Salida.
- Escoger un tipo de flip-flop. En nuestro caso el D.
- Construir la tabla de excitación y derivar las ecuaciones.
- Obtener las ecuaciones de salida.
- Dibujar el diagrama lógico.

Ejemplo

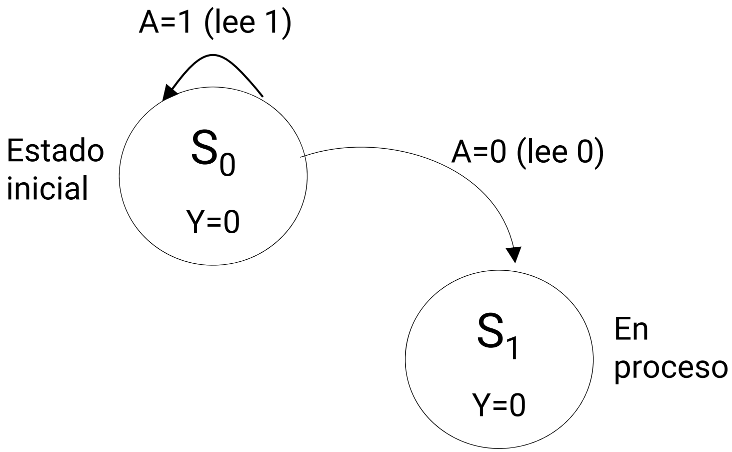
Tienes un caracol que se desliza por una cinta de papel con 1’s y 0’s en ella. El caracol sonríe cuando los dos últimos dígitos por los que pasó fueron 01.

- Diseña la máquinas de estado de Moore del cerebro del caracol.

Llamemos a la entrada que corresponde al dígito que lee A.
La salida (sonreír) la llamaremos Y. Valdrá 0 si no sonríe y 1 si sonríe.

Ejemplo. Construir la tabla de Estado/Salida. Moore

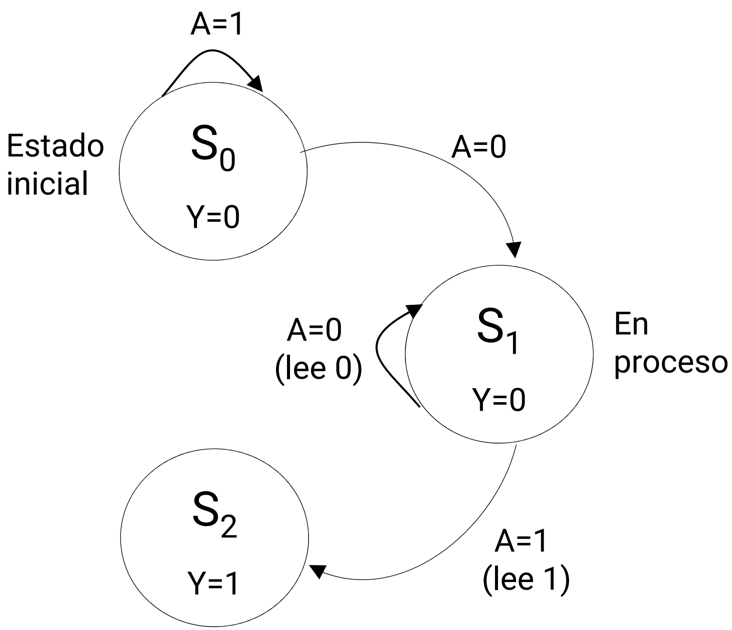
Ha de leer 01



S	A = 0	A = 1	Y
Inicial (S_0)	S_1	S_0	0
En proceso de sonreír (S_1)			
	S^*		

Ejemplo. Construir la tabla de Estado/Salida. Moore

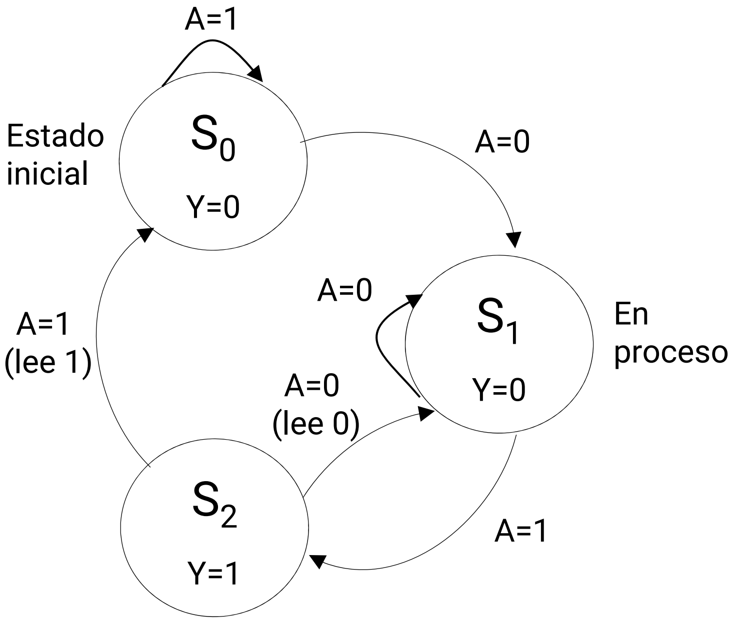
Ha de leer 01



S	A: 0	A: 1	Y
Inicial (S_0)	S_1	S_0	0
En proceso de sonreír (S_1)	S_1	S_2	0
Sonriendo (S_2)			1
	S^*		

Ejemplo. Construir la tabla de Estado/Salida. Moore

Ha de leer 01



S	A = 0	A = 1	Y
Inicial (S_0)	S_1	S_0	0
En proceso de sonreír (S_1)	S_1	S_2	0
Sonriendo (S_2)	S_1	S_0	1
	S^*		

Ejemplo. Minimización de estados.

- Eliminar estados equivalentes.

- Dos estados son equivalentes si, para todas y cada una de las combinaciones de entradas:
  - o Producen las mismas salidas.
  - o Transitan a los mismos estados.

- En el ejemplo:
  - S_0 y S_1 tienen la misma salida, pero no transitan a los mismos estados para A=1.
  - S_0 y S_1 no transitan a los mismos estados, pero no tienen el mismo valor para la salida Y.
  - No hay estados equivalentes.

	A		
S	0	1	Y
S_0	S_1	S_0	0
S_1	S_1	S_2	0
S_2	S_1	S_0	1
	S^*		

Ejemplo. Asignación de estados.

- Determinar el número de variables binarias.
  - Si tenemos s estados, necesitamos al menos $\log_2(s)$ variables.

- Codificar cada estado con combinaciones de estas variables binarias.

- Diferentes opciones…

S	asignación: binaria	asignación: one-hot
S_0	00	001
S_1	01	010
S_2	10	100
	S^*	

Ejemplo. Tablas y flip-flops.

Una vez codificados los estados, construir la tabla de transición a partir de la tabla de estados.

Con flip-flops D, como Q* = D, la tabla de transición coincide con la de excitación.

Tabla de transición / salida

Q_1Q_0	A = 0	A = 1	Y
00	01	00	0
01	01	10	0
10	01	00	1
	$Q^*_1Q^*_0$		

Tabla de excitación / salida

Q_1Q_0	A = 0	A = 1	Y
00	01	00	0
01	01	10	0
10	01	00	1
	D_1D_0		

Ejemplo. Ecuaciones.

Q_1Q_0	$A = 0$	$A = 1$	Y
00	01	00	0
01	01	10	0
10	01	00	1
	D_1D_0	D_1D_0	

$$Y = Q_1 \cdot \overline{Q_0}$$

$$D_1 = A \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0$$

$$D_0 = \overline{A}$$

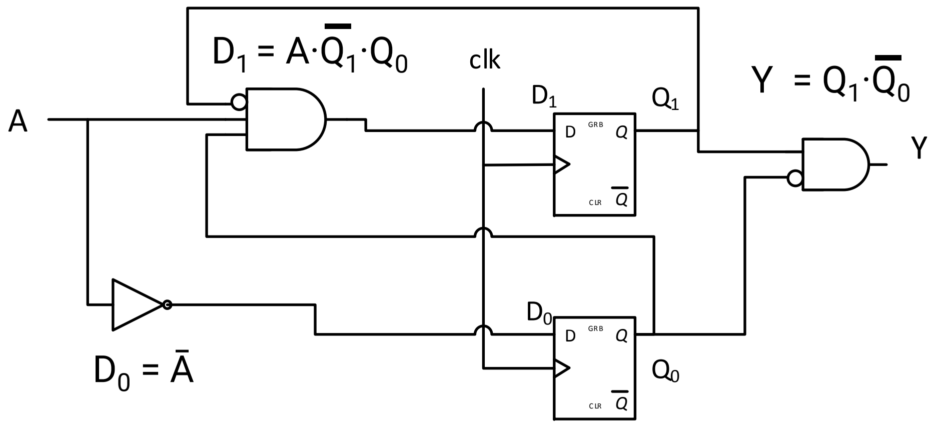
Si no podemos simplificar a simple vista o mediante reglas, usar Karnaugh.

D_0

Q_1Q_0 \ A	0	1
00	1	0
01	1	0
11	X	X
10	1	0

Ejemplo. Diagrama lógico.

$Y = Q_1 \cdot Q_0$



Ejercicio

Repite el mismo ejemplo, pero para una máquina de Mealy