



Circuitos Digitales Avanzados

Circuitos Secuenciales

Introducción

- Los circuitos secuenciales se pueden clasificar en:
 - Circuitos secuenciales asíncronos:
Las entradas actúan en todo instante sobre el estado de circuito
 - Circuitos secuenciales síncronos:
Las entradas actúan sobre el estado del circuito sólo en determinados instantes, que vienen determinados por la señal de reloj.
- El diseño de circuitos secuenciales se basa en el diseño de máquinas de estado también llamadas máquinas de estados finitos.



Máquinas de Estado

Se denomina máquina de estados a un modelo de comportamiento de un sistema con entradas y salidas, en donde el comportamiento de sus salidas dependen no sólo de las señales de entradas actuales sino también de las anteriores.

Las máquinas de estados se definen como un conjunto de estados que sirve de intermediario en esta relación de entradas y salidas, haciendo que el historial de señales de entrada determine, para cada instante, un estado para la máquina, de forma tal que el próximo estado depende únicamente del estado y las entradas actuales.



Definiciones

Diagrama de estados:

- Muestra la forma y la función de la máquina de estados.
- Normalmente un diagrama de círculos y flechas (grafo dirigido).

Estado:

- Identifica de forma única una situación del sistema digital

Próximo estado:

- El estado al que irá la máquina de estados en la siguiente transición
- La transición se produce con la señal de reloj
- Depende de los valores de las entradas y del estado presente



Rama:

- Indica un cambio del estado presente al próximo estado.

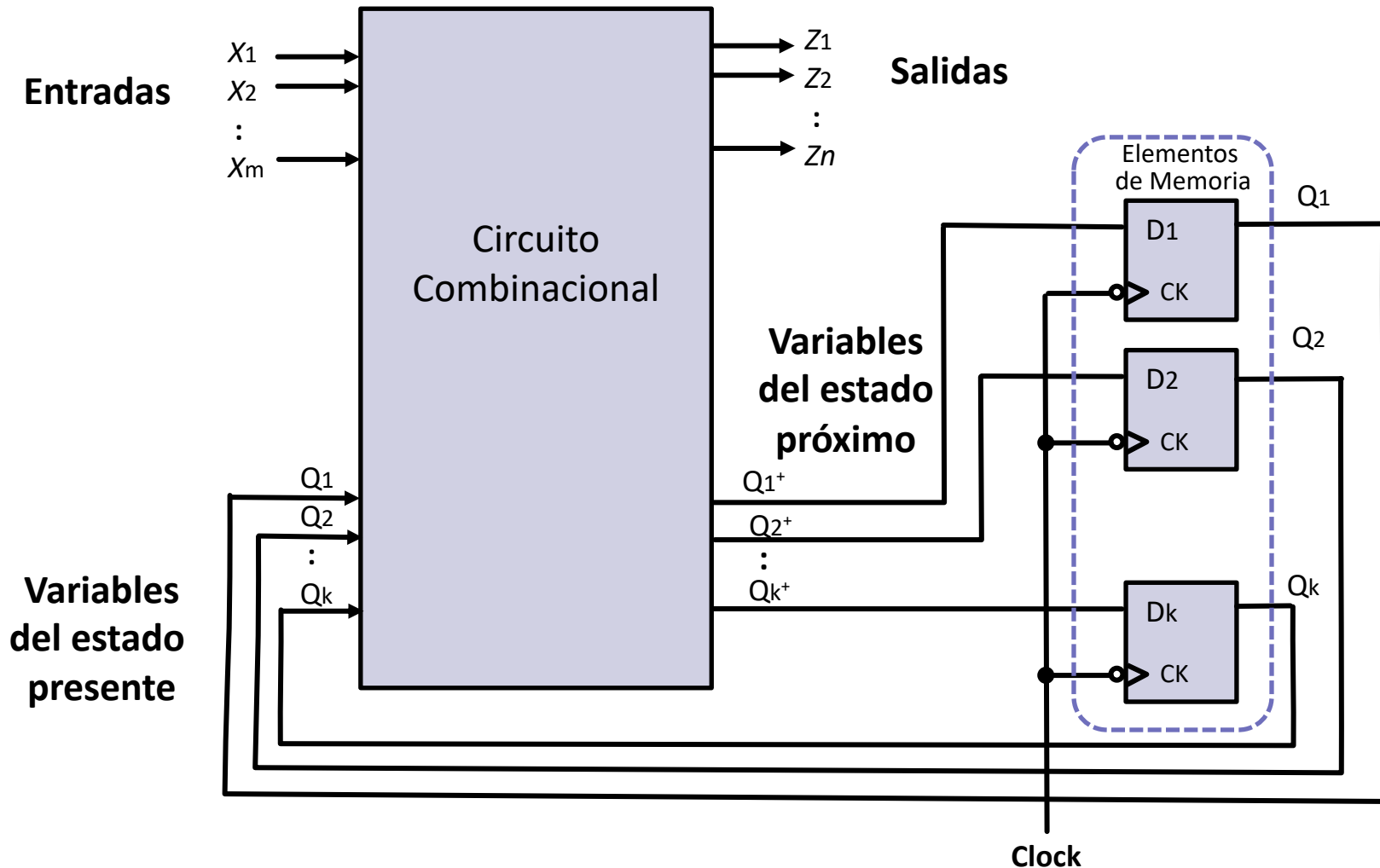
Máquina de Mealy:

- Una máquina de estados que determina sus salidas en base al estado presente y a las entradas.

Máquina de Moore:

- Una máquina que determina sus salidas sólo en base a su estado presente.

Esquema general de una máquina de estados Mealy



La figura anterior presenta una esquema genera de máquina de estados tipo **Mealy** con ***m*** entradas, ***n*** salidas y ***k*** flip-flops tipo D usados como memoria.

El esquema enfatiza la presencia de la retroalimentación en la red secuencial dado que las salidas de los flip-flops son retroalimentadas a las entradas de circuitos combinacional.

En circuito combinacional lleva acabo la ***n*** funciones de salida y las ***k*** funciones para el próximo estado las cuales funcionan como entradas para los flip-flops tipo D.


$$Z_1 = f_1(X_1, X_2, \dots, X_m, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$$

$$Z_2 = f_2(X_1, X_2, \dots, X_m, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$$

:

$$Z_n = f_n(X_1, X_2, \dots, X_m, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$$

n funciones de salida


$$Q_1 = D_1 = g_1(X_1, X_2, \dots, X_m, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$$

$$Q_2 = D_2 = g_2(X_1, X_2, \dots, X_m, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$$

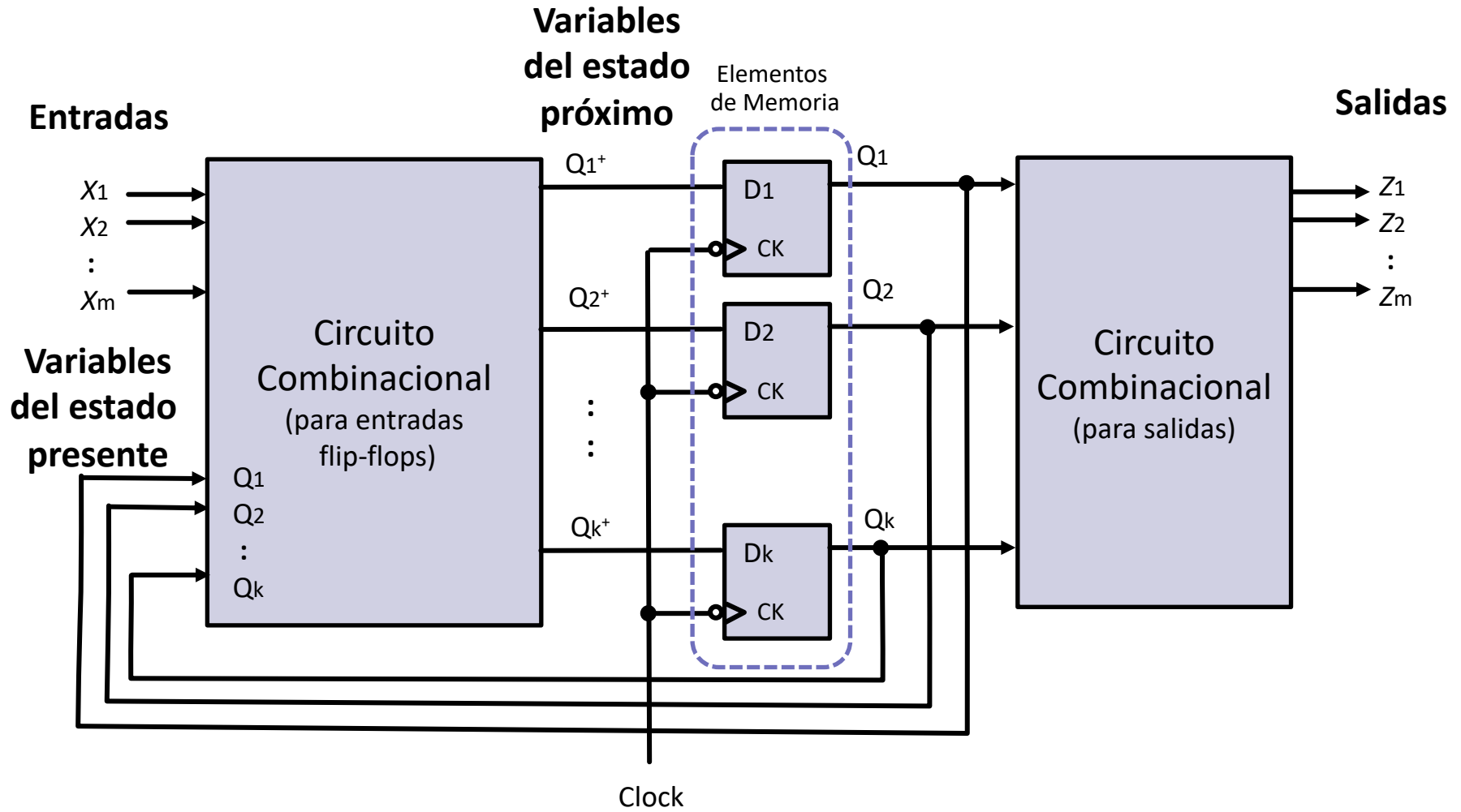
:

$$Q_k = D_k = g_k(X_1, X_2, \dots, X_m, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$$

k funciones de próximo estado

Cuando un conjunto de entradas es aplicado, el circuito combinacional genera tanto las salida (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) y así como las entradas a los flip-flops tipo D (D_1, D_2, \dots, D_k). Entonces cuando un pulso de reloj (flanco negativo) es aplicado los flip-flops cambian al próximo estado apropiado. Este proceso se repite para cada conjunto de entradas.

Esquema general de una máquina de estados Moore





La figura anterior presenta un esquema general de máquina de estados tipo **Moore** con m entradas, n salidas y k flip-flops tipo D usados como memoria.

El esquema presenta de forma separada un circuito combinacional para las salidas porque en este tipo de máquinas las salidas están únicamente en función del estado presente en los flip-flops.

La operación de este tipo de máquina es similar al tipo Mealy excepto que cuando un conjunto de entradas es aplicado, el resultado de las salidas no aparece en ese momento, sino hasta que el pulso de reloj es aplicado causando el cambio de estado en los flip-flops; y por tanto en las salidas.

Máquinas de estados tipo Mealy y Moore

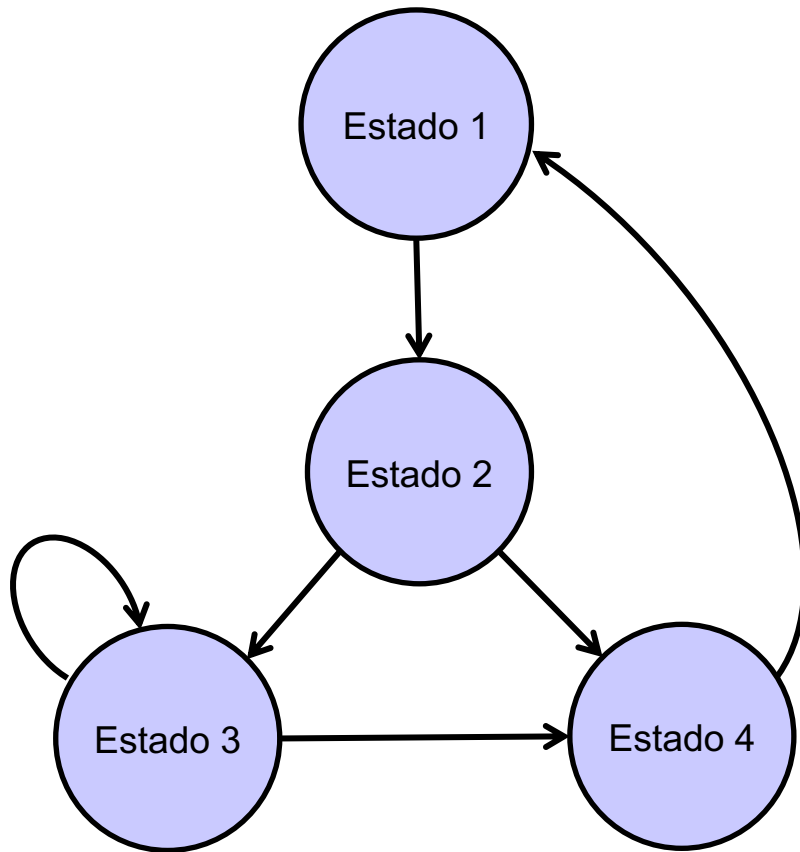
- Su diferencia está únicamente en la dependencia de las salidas
- **Maquinas Moore:**
 - Las salidas dependen únicamente del estado presente.
 - Las entradas intervienen en la decisión del próximo estado.

$$Z = f (Q)$$

- **Maquinas Mealy:**
 - Las salidas dependen tanto del estado como del valor de las entradas.

$$Z = f (Q , X)$$

Diagrama de estados



- Para cualquier estado, hay un número **finito** de posibles estados próximos.
- En cada ciclo de reloj la máquina cambia al siguiente estado.
- Uno de los posibles estados próximos se convierte en el nuevo estado presente.
- El estado próximo dependerá del estado presente y de las entradas.

Diagrama de estados de máquinas Moore

- Las salidas de la máquinas tipo Moore Muestra dentro del círculo del estado.
- Las salidas están asociadas al estado y sólo cambian cuando el estado cambia.

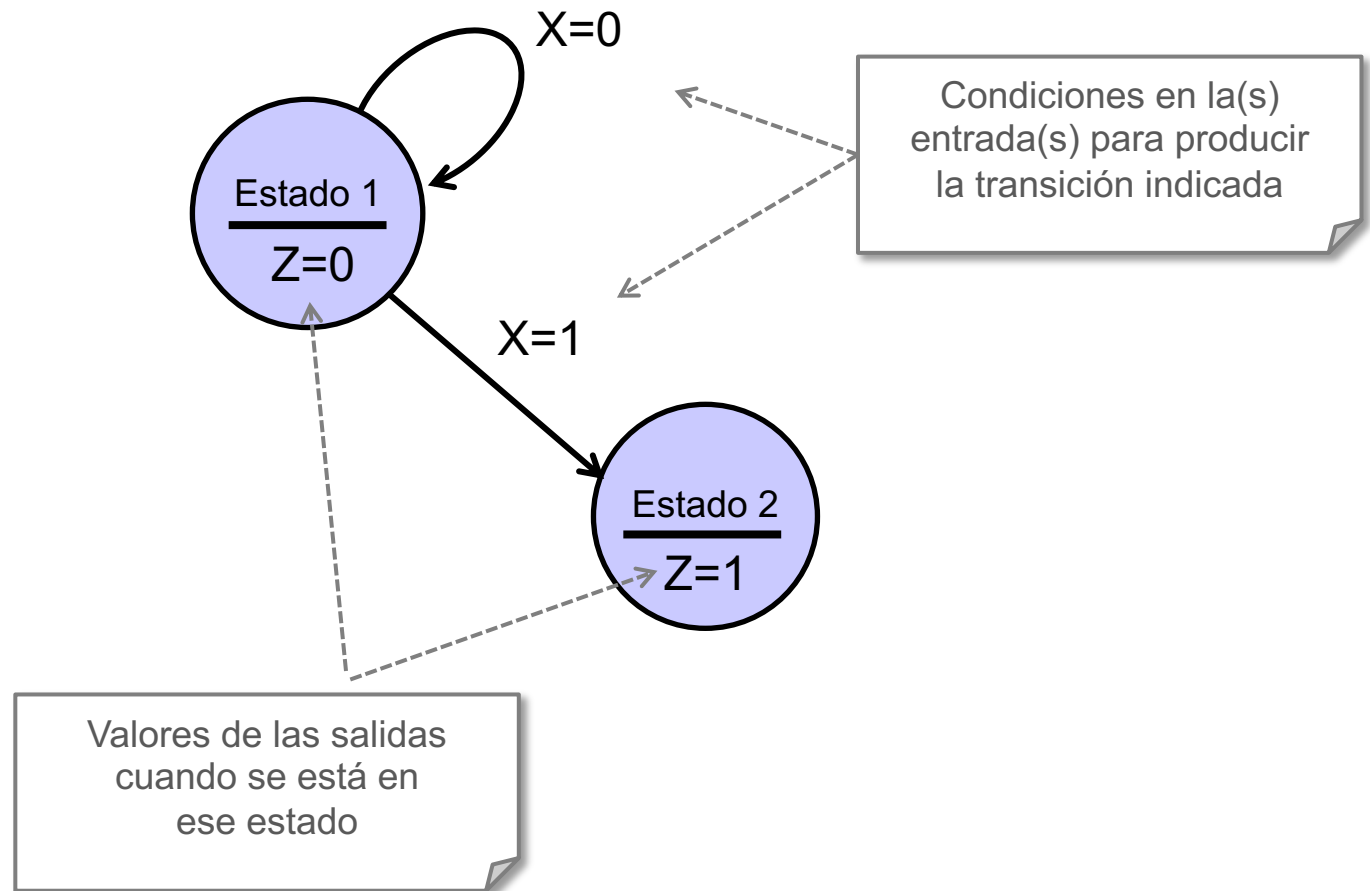


Diagrama de estados de máquinas Mealy

- Las salidas de la máquinas tipo Mealy generan su salida en base al **estado** presente y al valor de las **entradas**.
- Es capaz de generar salidas diferentes para el mismo estado.
- Los valores de las salidas se muestran en las transiciones, dado que son determinadas de igual manera que los estados próximos.

