

# EQUIPOS MICROPROGRAMABLES

## 12. INTRODUCCIÓN A LOS CIRCUITOS SECUENCIALES

# INDICE

- Noción de lógica secuencial. Función memoria.
- Clasificación de los circuitos secuenciales.
- Resolución de circuitos secuenciales cuando la memoria está en la salida.
- Resolución general de los circuitos secuenciales.
- Resolución mediante multiplexores y decodificadores.

# NOCIÓN DE LÓGICA SECUENCIAL

- A diferencia de los circuitos combinacionales, en lógica secuencial el estado de la salida o salidas no depende únicamente del estado de la entrada o entradas, sino de la secuencia de acontecimientos previos, es decir, de la historia del circuito.
- Para una o varias combinaciones de las variables de entrada, la salida o salidas puede tomar valores distintos según la ocasión.

# LA FUNCIÓN MEMORIA

- En los circuitos secuenciales, algo debe recordar esa historia del circuito. La podemos llamar función memoria.
- Observando el circuito, tomando 0 como valor inicial de salida y entrada, cuando A pasa a 1, la salida es 1. Si luego A se hace 0, la salida sigue siendo 1.

$$S=(A+S)$$



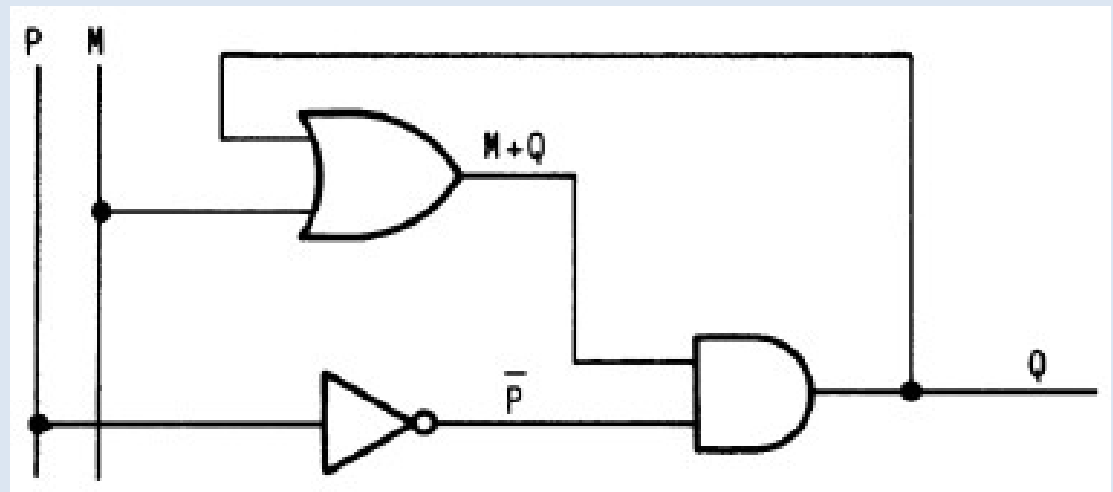
# CLASIFICACIÓN

- Una primera clasificación de los circuitos secuenciales se hace para diferenciar los circuitos secuenciales **asíncronos** de los circuitos secuenciales **síncronos**.
- En los circuitos síncronos, para que los cambios de las entradas puedan trasladarse a la salida es necesario el concurso de una nueva entrada, el **reloj**, que tiene la función de hacer que los cambios en la salida se produzcan a la vez. **Sincroniza** los cambios.

# CIRCUITO GUARDAMOTOR

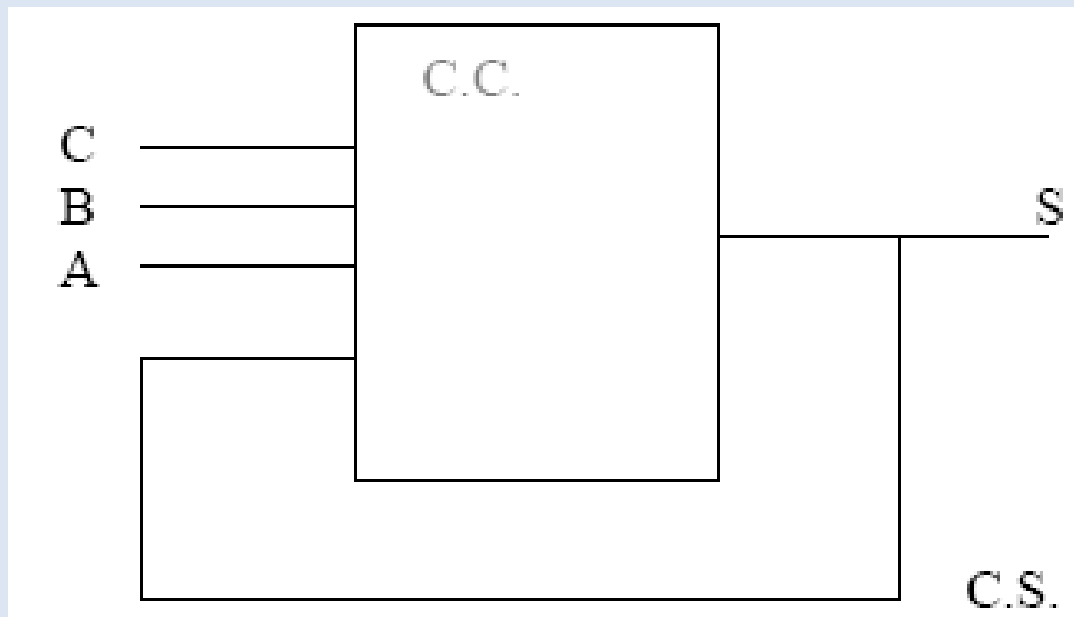
- Es el caso más usado de lógica secuencial en los circuitos eléctricos. Es el gobierno de un motor con un pulsador de puesta en marcha y un pulsador de paro.

$$Q = \bar{P} \cdot (M + Q)$$



# DISEÑO DE C.S. ASÍNCRONOS

- En muchas ocasiones la historia del circuito no es más que el valor anterior de la salida.
- En estos casos es suficiente con añadir al cuadro de funcionamiento una nueva entrada, la propia salida.



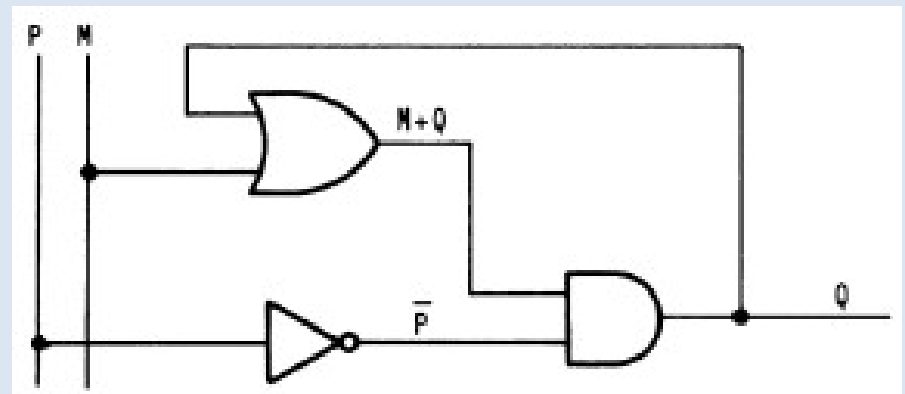
# CIRCUITO GUADAMOTOR

- Recordando su funcionamiento, la salida se pone en marcha al pulsar M. Sigue en marcha al soltar M. Pulsando P se para siempre.
- $Q_{-1}$  es el valor anterior de la salida, que se toma como entrada.

| M | P | $Q_{-1}$ | Q |
|---|---|----------|---|
| 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        | 0 |
| 1 | 1 | 1        | 0 |

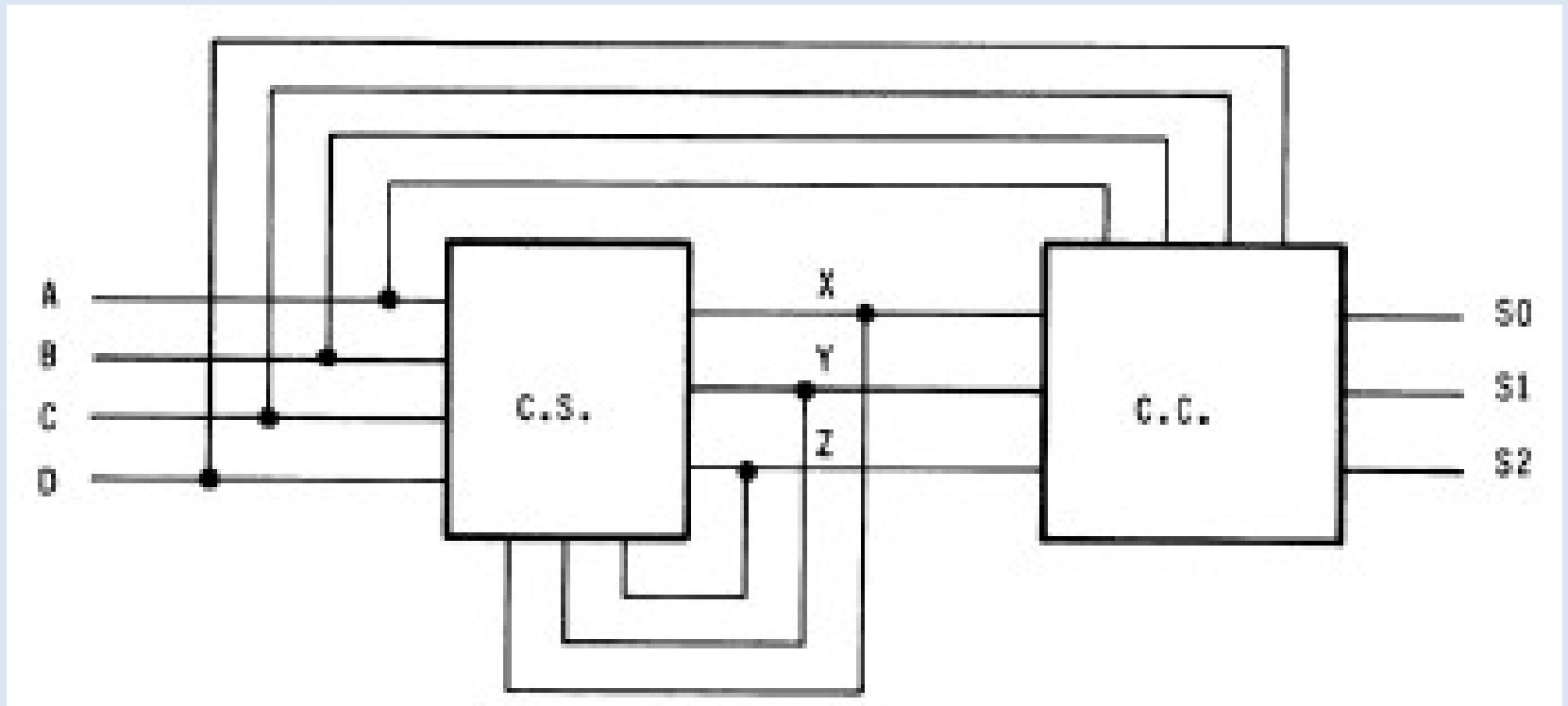
| M | P | Q        |
|---|---|----------|
| 0 | 0 | $Q_{-1}$ |
| 0 | 1 | 0        |
| 1 | 0 | 1        |
| 1 | 1 | 0        |

$$Q = \bar{P} \cdot (M + Q_{-1})$$



# RESOLUCIÓN GENERAL

- En el segundo grupo la historia del circuito se construye con unas variables internas.



# RESOLUCIÓN GENERAL

Para aplicar el método de resolución general para todos los circuitos secuenciales asíncronos, hay que tener en cuenta:

- El estado de la salida depende de las entradas y de la historia del circuito.
- Siempre hay una combinación de entrada que da lugar a dos o más valores de salidas.
- Los cambios no son instantáneos, hay retrasos.
- Dos o más entradas distintas no pueden cambiar de valor a la vez.

# RESOLUCIÓN GENERAL

El método de resolución universal, válido para los dos tipos de circuitos secuenciales asíncronos, se realiza en varios pasos:

- Determinación de los estados.
- Diagrama de flujo.
- Matriz primitiva.
- Polígono de enlaces.
- Matriz reducida.
- Obtención de las ecuaciones de salida.
- Obtención de las ecuaciones de las variables internas.

# DETERMINACIÓN DE LOS ESTADOS

- Como ejemplo, vamos a resolver el problema del guardamotor .
- Es imprescindible entender muy bien el funcionamiento del circuito.
- Nos imaginamos delante de los dos pulsadores M y P y numeramos las posibles situaciones en que nos podemos encontrar. Puede servir de ayuda hacer un cuadro de funcionamiento combinacional y luego ir añadiendo nuevas posibilidades de salida.

# DETERMINACIÓN DE LOS ESTADOS

- Estado 1. Ningún pulsador en 1, motor parado.
- Estado 2. Pulso M, motor se pone en marcha.
- Estado 3. Suelto M, motor sigue en marcha. Es un estado diferente, aunque las entradas sean las mismas que en el estado 1, la salida cambia.
- Estado 4. Pulso P, motor se para.
- Al soltar P, motor parado, volvemos al estado 1.
- Existe un estado 5, en que M y P están pulsados, en este caso, motor parado.

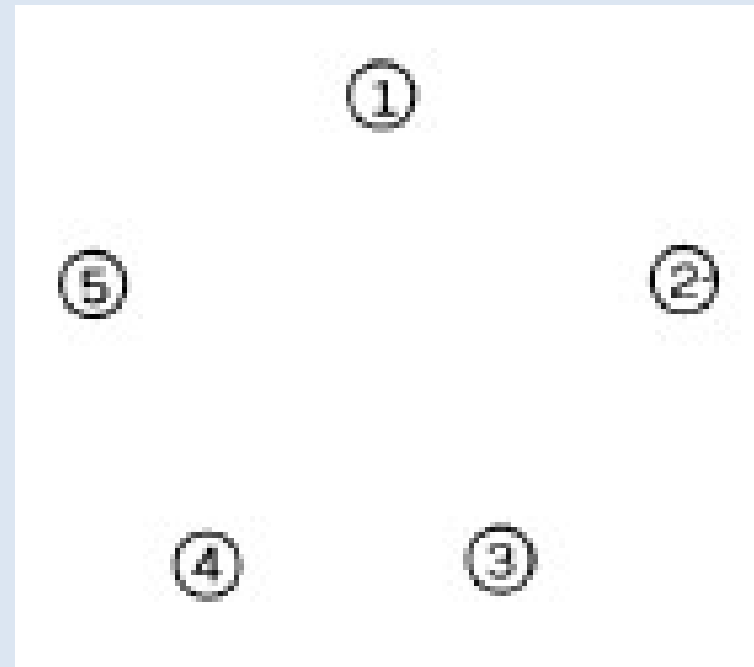
# DETERMINACIÓN DE LOS ESTADOS

- El número que se dé a cada estado no es importante, pero sí es importante que no falte ninguna posibilidad.

| Estado | Salida | Entradas |   |
|--------|--------|----------|---|
|        |        | M        | P |
| 1      | Reposo | 0        | 0 |
| 2      | Marcha | 1        | 0 |
| 3      | Marcha | 0        | 0 |
| 4      | Paro   | 0        | 1 |
| 5      | Paro   | 1        | 1 |

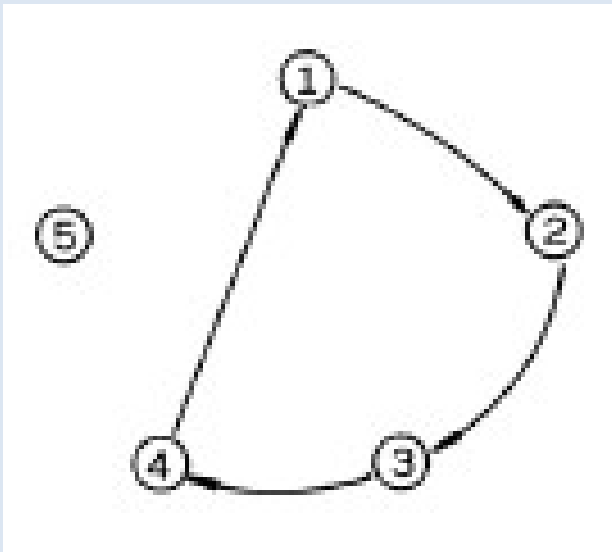
# DIAGRAMA DE FLUJO

- También se llama diagrama o polígono de fases o de secuencias.
- Visualiza mediante vectores todos los caminos o secuencias y cambios que puede experimentar el circuito.
- Se empieza con una circunferencia imaginaria en la que se van colocando los estados.

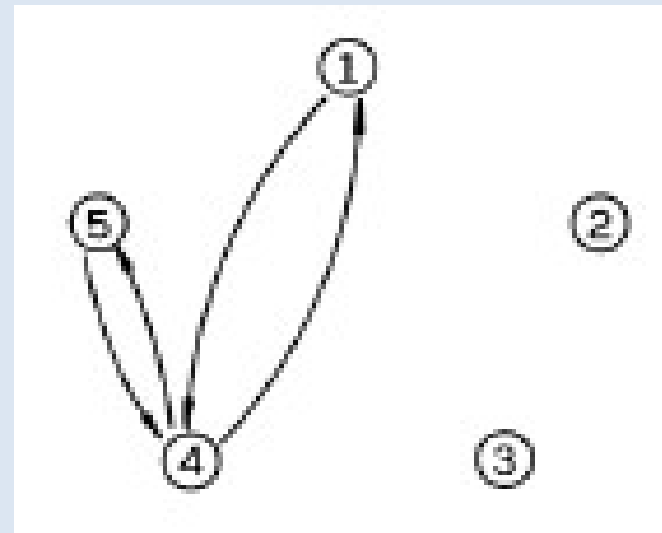


# DIAGRAMA DE FLUJO

- A continuación se colocan los vectores siguiendo todas las secuencias posibles.

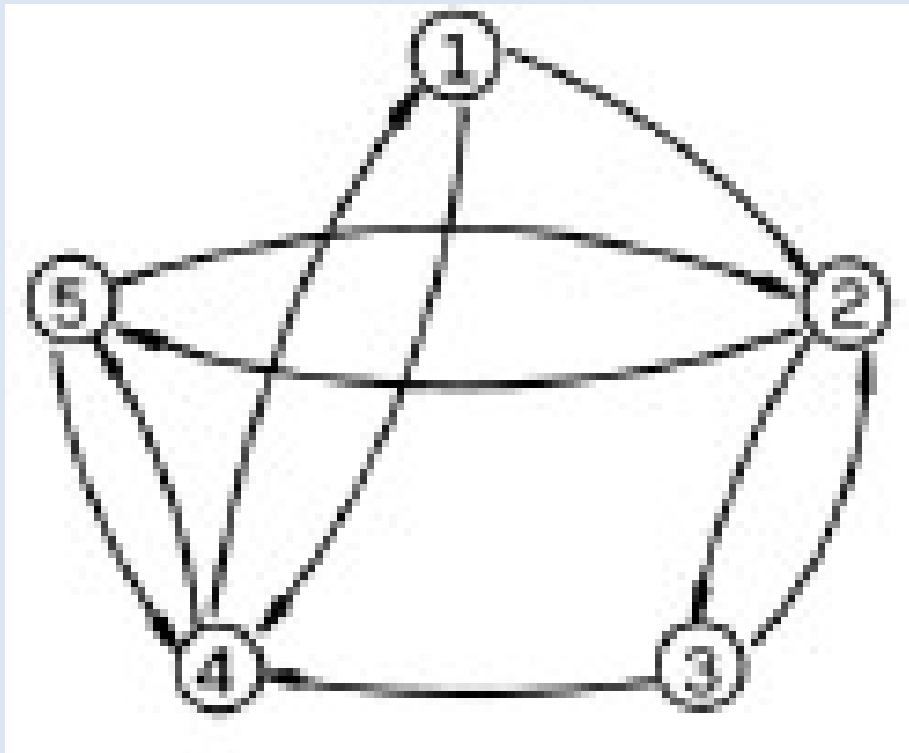


- Incorporando el estado 5, aunque no sea “normal”.



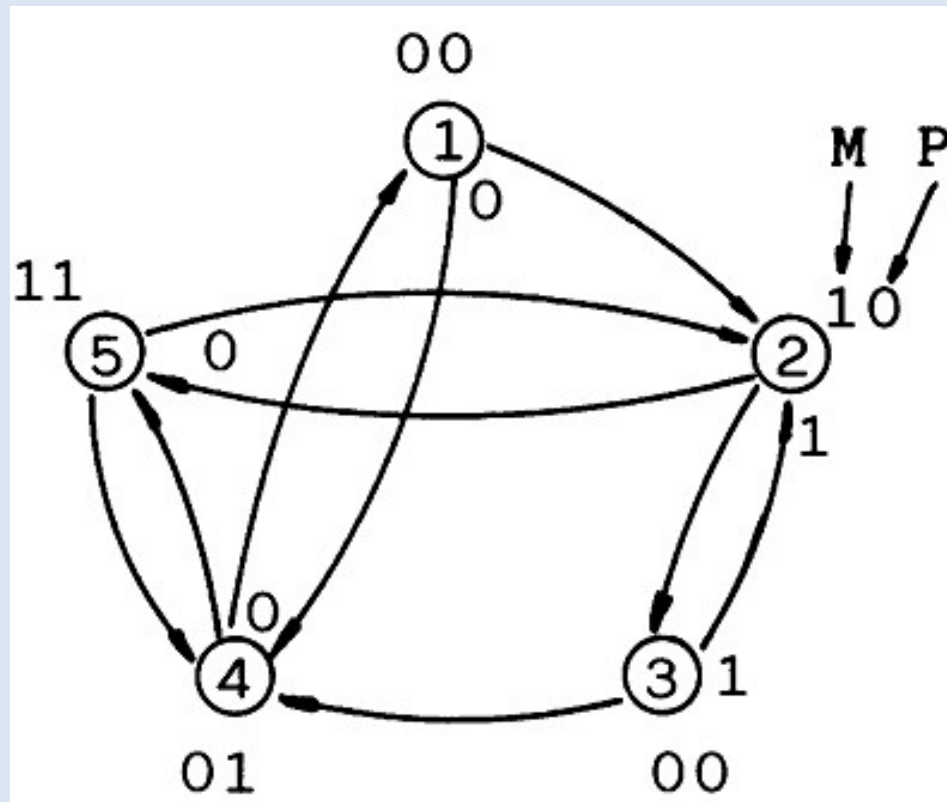
# DIAGRAMA DE FLUJO

- Con todos los posibles caminos, el diagrama queda completado .



# DIAGRAMA DE FLUJO

- Para trabajar en los siguientes pasos, viene bien indicar cuáles son los estados de las entradas y salidas en cada uno de los estados.



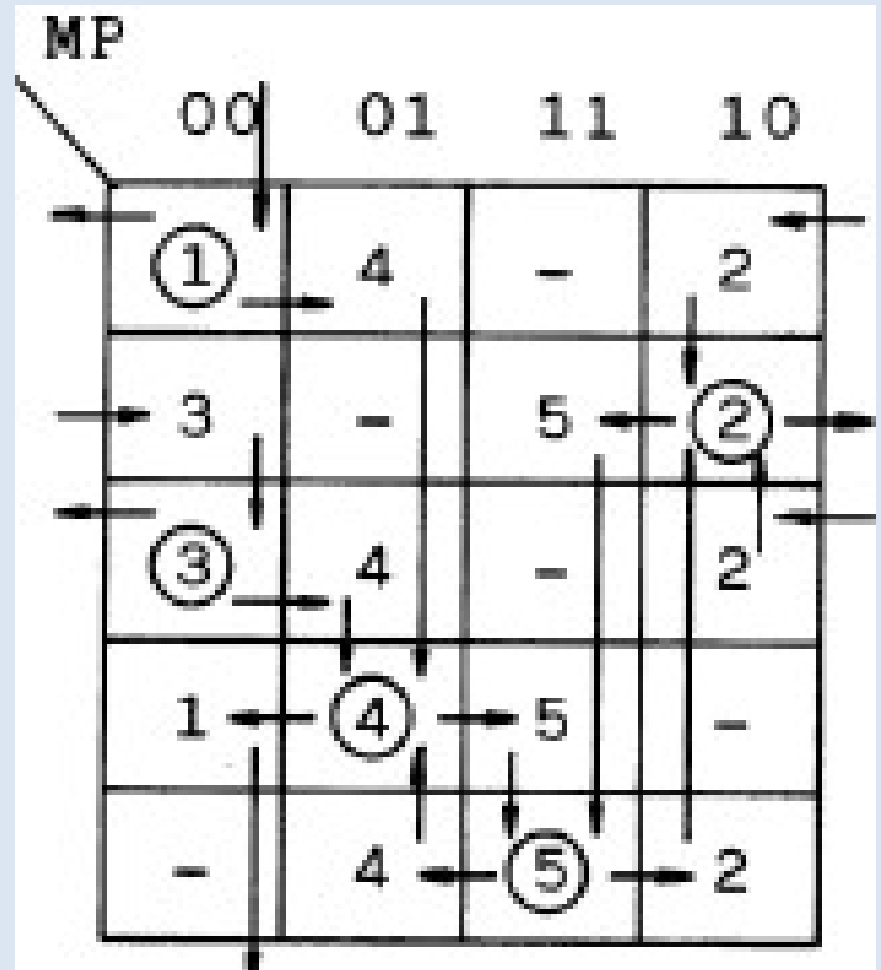
# MATRIZ PRIMITIVA

- Los siguientes pasos van dirigidos a construir un cuadro de Karnaugh para sacar las ecuaciones.
- El primer paso es poner un cuadro con tantas filas como estados. Colocamos cada estado en una fila y en la columna que le toca por los valores de entrada. A estos estados les llamaremos estados estables.

| MP |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
|    | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 1  |    |    |    |    |
|    |    |    |    | 2  |
| 3  |    |    |    |    |
|    |    | 4  |    |    |
|    |    |    | 5  |    |

# MATRIZ PRIMITIVA

- A continuación se ponen los cambios representados por los vectores en el diagrama de flujo, a los que llamaremos estados transitorios.
- Los estables los encerramos en círculos.
- De un estable a otro se pasa a través de un transitorio, quedando los transitorios en la misma columna de su estable.

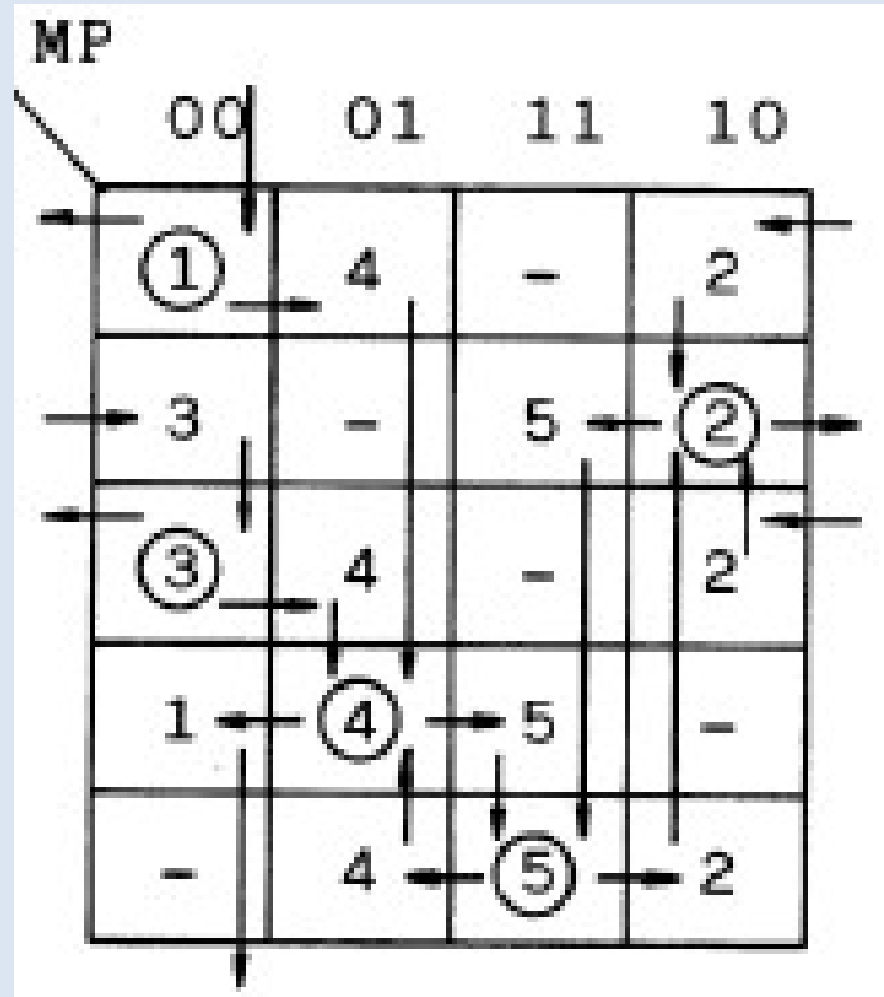


# POLÍGONO DE ENLACES

- En el camino para llegar a un cuadro de Karnaugh, la matriz primitiva hay que reducirla para tener  $2^n$  filas. Tenemos 5 filas, hay que reducirlas a 4 o mejor a 2. Mejor cuantos menos filas.
- Eso se hace superponiendo unas filas con otras.
- Se pueden superponer filas, superponiéndolas casilla a casilla, siempre que no coincidan números distintos al juntarlos.
- El polígono de enlaces o superposiciones indica qué superposiciones son posibles.

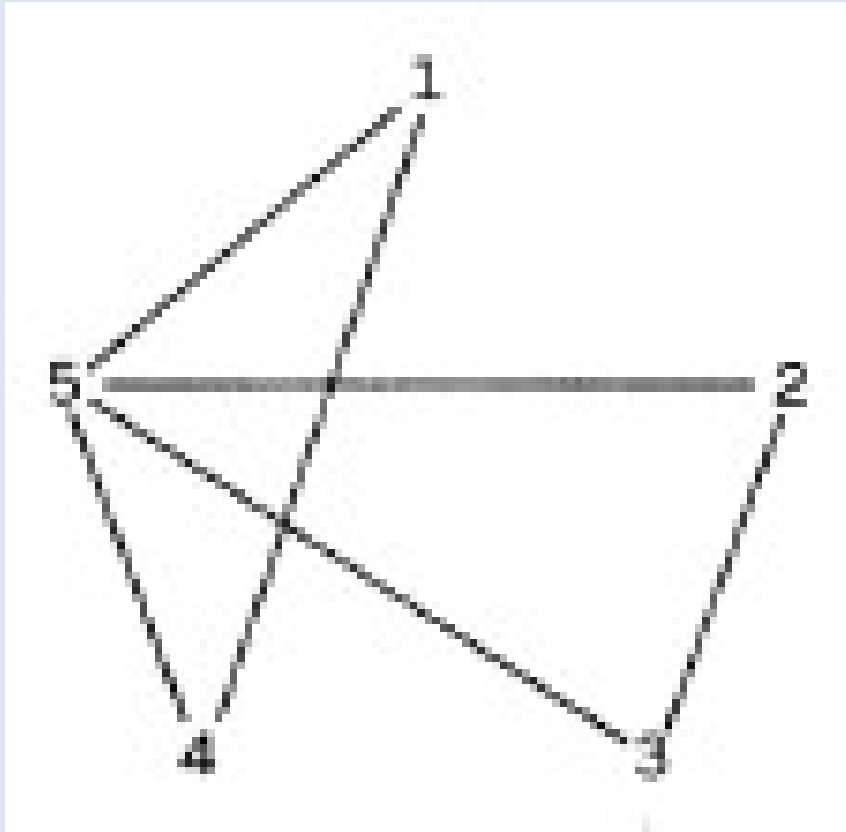
# POLÍGONO DE ENLACES

- Empezando por la fila 1, intentamos juntarla con la 2, pero no es posible porque supondría juntar el estable 1 con el transitorio 3.
- Seguimos mirando la fila 1 con las demás y veremos que se puede juntar con la 4 y con la 5.



# POLÍGONO DE ENLACES

- Repitiendo el mismo proceso con las restantes filas, veremos que son posibles unos cuantos enlaces.



# MATRIZ REDUCIDA

- Se pueden reducir dos o más filas a una sola, considerando que de la unión en cada casilla quedará el valor de más prioridad: 1º estado estable, 2º estado transitorio, 3º línea de indiferencia cuando quedan espacios vacíos.
- Cuando hay varias opciones posibles de enlaces, se mira el valor que toman las salidas y si es posible, se unen las filas en las que la salida toma el mismo valor.

# MATRIZ REDUCIDA

- En nuestro caso la opción elegida es 2-3 por un lado y 1-4-5 por otro.

$$\begin{array}{l} \text{Fila 2} \\ \text{Fila 3} \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 3 & - & 5 & \textcircled{2} \\ \hline \textcircled{3} & 4 & - & 2 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \textcircled{3} & 4 & 5 & \textcircled{2} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Fila 1} \\ \text{Fila 4} \\ \text{Fila 5} \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \textcircled{1} & 4 & - & 2 \\ \hline 1 & \textcircled{4} & 5 & - \\ \hline - & 4 & \textcircled{5} & 2 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \textcircled{1} & \textcircled{4} & \textcircled{5} & 2 \\ \hline \end{array}$$

# MATRIZ REDUCIDA

- La matriz reducida queda configurada con dos filas.
- Es como un cuadro de Karnaugh en el que se añade una nueva variable para las filas.
- El orden de las filas se ponen haciendo coincidir el valor de la variable interna con el de los estados estables.

|   |   | MP |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|
|   |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
| X | 0 | ①  | ④  | ⑤  | 2  |
|   | 1 | ③  | 4  | 5  | ②  |

# ECUACIÓN DE LA SALIDA

- Para sacar las ecuaciones de salida, la matriz reducida se convierte en un cuadro de Karnaugh en el que los estados estables toman el valor de la salida en cada caso y los estados transitorios se sustituyen por líneas de indiferencia.

| MP |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
|----|---|----|----|----|----|
| X  | 0 | 0  | 0  | 0  | -  |
|    | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  |

$$Q = X$$

# ECUACIÓN DE LA VARIABLE INTERNA

- También se parte de la matriz reducida.
- En este caso los estados estables toman el valor de la variable interna.
- A los estados transitorios se les da el mismo valor que se le ha dado a su estado estable.

| MP |   | X  |    |    |    |
|----|---|----|----|----|----|
|    |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
| X  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  |
|    | 1 | 1  | 0  | 0  | 1  |

$$X = (M \cdot \bar{P}) + (X \cdot \bar{P})$$

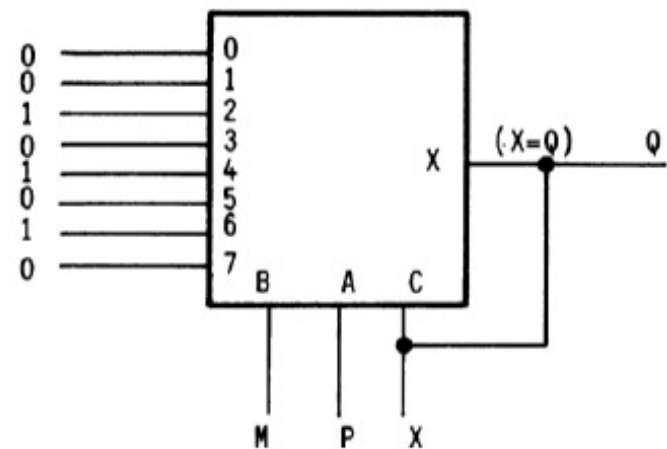
$$X = \bar{P} \cdot (M + X)$$

$$\text{Como } Q = X, Q = \bar{P} \cdot (M + Q)$$

# CON MULTIPLEXORES

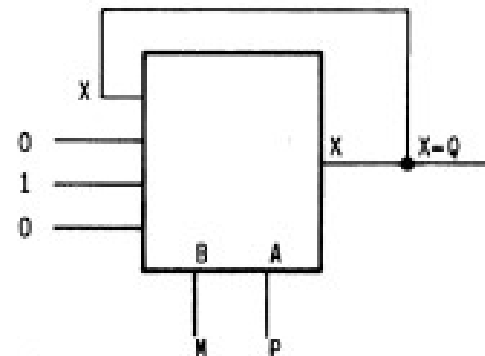
- Al usar multiplexores o decodificadores el circuito secuencial se obtiene directamente de la matriz reducida, tanto en las variables internas como en la salida.

| MP |   | X              |                |                |                |
|----|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    |   | 00             | 01             | 11             | 10             |
| X  | 0 | 0 <sub>0</sub> | 0 <sub>1</sub> | 0 <sub>3</sub> | 1 <sub>2</sub> |
|    | 1 | 1 <sub>4</sub> | 0 <sub>5</sub> | 0 <sub>7</sub> | 1 <sub>6</sub> |



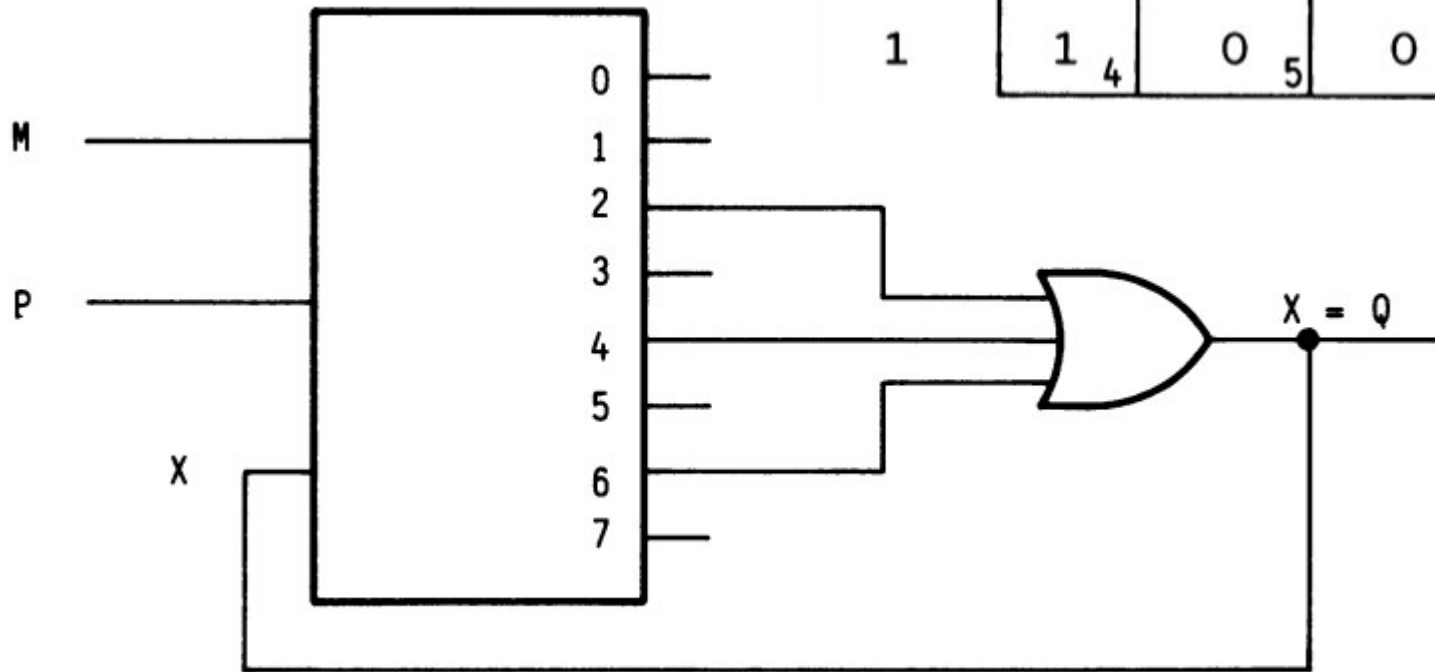
| MP |   | X  |    |    |    |
|----|---|----|----|----|----|
|    |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
| X  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  |
|    | 1 | 1  | 0  | 0  | 1  |

$$\begin{aligned} E0 &= X \\ E1 &= 0 \\ E2 &= 1 \\ E3 &= 0 \end{aligned}$$

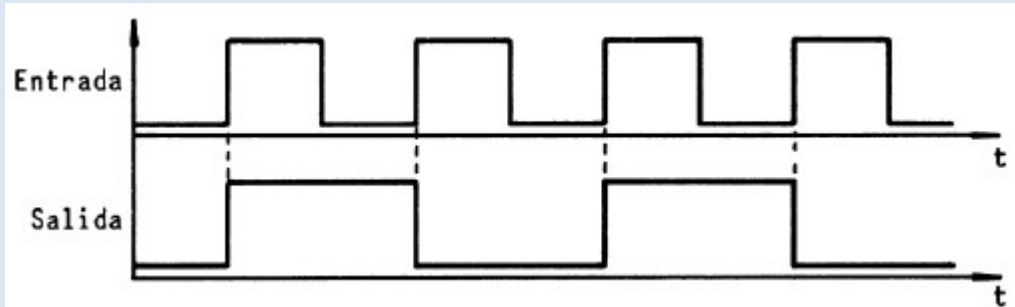


# CON DECODIFICADORES

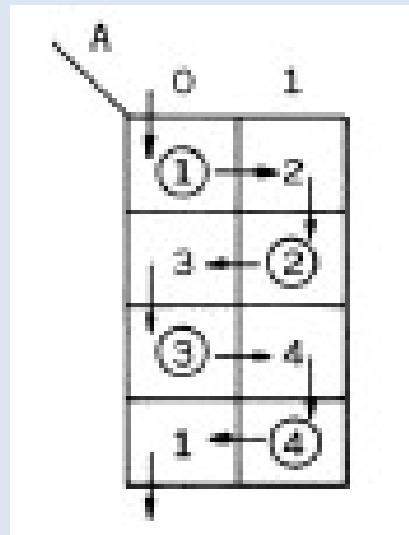
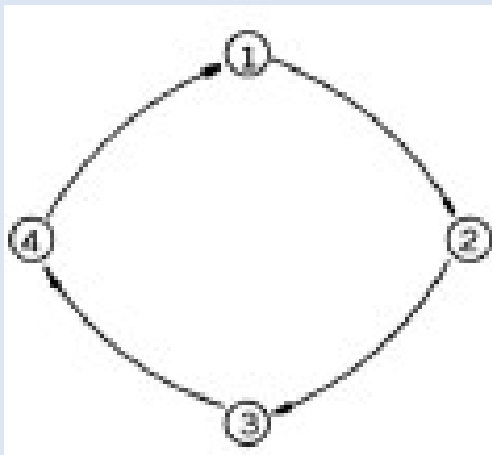
|   |    | X              |                |                |                |
|---|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| X | MP | 00             | 01             | 11             | 10             |
|   |    |                |                |                |                |
| 0 |    | 0 <sub>0</sub> | 0 <sub>1</sub> | 0 <sub>3</sub> | 1 <sub>2</sub> |
| 1 |    | 1 <sub>4</sub> | 0 <sub>5</sub> | 0 <sub>7</sub> | 1 <sub>6</sub> |



# DIVISOR DE FRECUENCIA POR DOS



| Estados | Entrada | Salida |
|---------|---------|--------|
| 1       | 0       | 0      |
| 2       | 1       | 1      |
| 3       | 0       | 1      |
| 4       | 1       | 0      |



|    |    |   |   |
|----|----|---|---|
|    |    | 0 | 1 |
| XY | 00 | 1 | 2 |
|    | 01 | 3 | 2 |
|    | 11 | 3 | 4 |
|    | 10 | 1 | 4 |

# DIVISOR DE FRECUENCIA POR DOS

$S = Y$

| XY \ A | 0 | 1 |
|--------|---|---|
| 00     | 0 | - |
| 01     | - | 1 |
| 11     | 1 | - |
| 10     | - | 0 |

| XY \ A | 0   | 1   |
|--------|-----|-----|
| 00     | 0 0 | 0 1 |
| 01     | 1 1 | 0 1 |
| 11     | 1 1 | 1 0 |
| 10     | 0 0 | 1 0 |

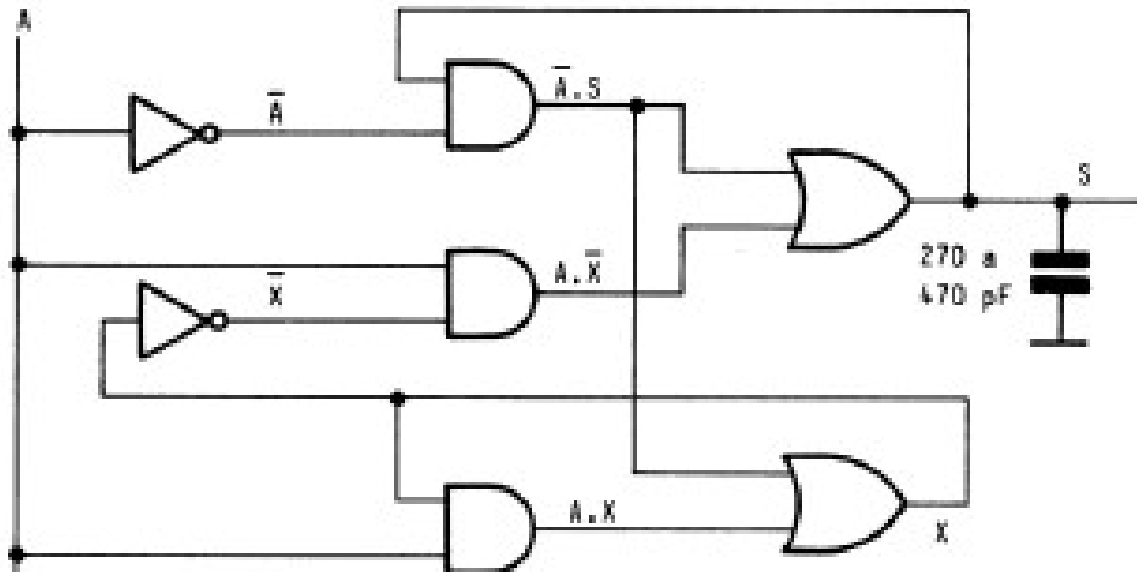
$$Y = (A \cdot \bar{X}) + (\bar{A} \cdot Y)$$

$$X = (\bar{A} \cdot Y) + (A \cdot X)$$

$S = Y$

$$S = (A \cdot \bar{X}) + (\bar{A} \cdot S)$$

$$X = (\bar{A} \cdot S) + (A \cdot X)$$



El condensador es para producir un retardo. En realidad debe sustituirse por una puerta de retardo en la entrada de alguna puerta.

# DIVISOR DE FRECUENCIA POR DOS

