

# AUTÓMATAS PROGRAMABLES

## Modelado de sistemas de control secuenciales



1

## Índice

- Introducción
- Símbolos normalizados
- Reglas de evolución del Grafcet
- Posibilidades de representación de automatismos con Grafcet
- Implementación del Grafcet sobre autómatas programables
- Niveles de Grafcet
- Representación de situaciones especiales en Grafcet

2

# Grafcet

## Introducción

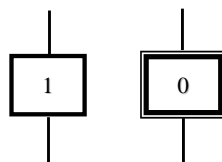
- El Grafcet es un método gráfico de modelado de sistemas de control secuenciales.
- Surgió en Francia a mediados de los años 70, y fue creado por una agrupación de algunos fabricantes de autómatas, en concreto **Telemecanique** y **Aper**, junto con dos organismos oficiales, **AFCET** (Asociación Francesa para la Cibernética, Economía y Técnica) y **ADEPA** (Agencia Nacional para el Desarrollo de la Producción Automatizada).
- Fue homologado en Francia (NFC), Alemania (DIN) y con posterioridad por la Comisión Electrotecnia Internacional (**IEC 848**, en 1998).
- Describe la evolución de un proceso que se pretende controlar, indicando las acciones que hay que realizar sobre dicho proceso y qué informaciones provocan el realizar una u otra acción.

3

# Grafcet

## Símbolos normalizados

- Etapas
  - La evolución de un proceso representada mediante un gráfico Grafcet está formada por una sucesión de etapas que representan cada uno de sus estados, llevando cada una de ellas asociada una o varias acciones a realizar sobre el proceso.
  - Las etapas se representan con un cuadro y un número o símbolo con un subíndice numérico en su interior. En ambos casos, el número indica el orden que ocupa la etapa dentro del Grafcet.
  - Las etapas iniciales, aquellas en las que se posiciona el sistema al iniciarse el proceso, se representan con un cuadro doble.

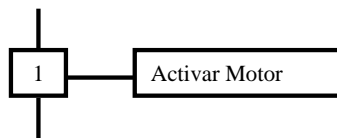


4

# Grafcet

## Símbolos normalizados

- Acción asociada
  - Son una o varias acciones a realizar sobre el proceso, cuando la etapa de la cual dependen dichas acciones se encuentra activada.
  - Dichas acciones correspondientes a una etapa, se simbolizan mediante rectángulos conectados y situados a la derecha de dicha etapa. En el interior de estos rectángulos se indica, bien de forma literal, bien de forma simbólica, las acciones a realizar.

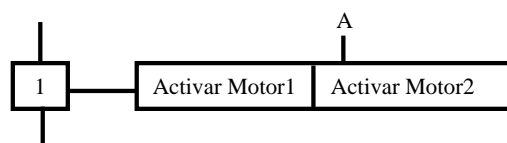


5

# Grafcet

## Símbolos normalizados

- En una primera clasificación se pueden dividir las acciones en dos tipos :
  - Incondicionales : acciones que se ejecutan con sólo quedar activadas las etapas correspondientes.
  - Condicionales : son las acciones que necesitan el cumplimiento de una condición además de la propia activación de la etapa correspondiente.



6

# Grafcet

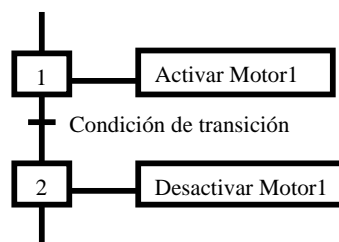
## Símbolos normalizados

- Clasificar las acciones en :
  - **Internas** : acciones que se producen en el equipo de control, por ejemplo temporizaciones, contadores, cálculos matemáticos, etc.
  - **Externas** : las acciones que se producen sobre el proceso, por ejemplo abrir o cerrar una válvula, activar o desactivar una bomba, etc.
- Transición y Condición de transición
  - En el diagrama Grafcet, un proceso se compone de una serie de etapas secuenciales que se activan una tras otra unidas mediante una transición.
  - El paso de una etapa a la siguiente se realiza dependiendo de si se cumple o no la condición de transición entre ellas.

7

# Grafcet

## Símbolos normalizados



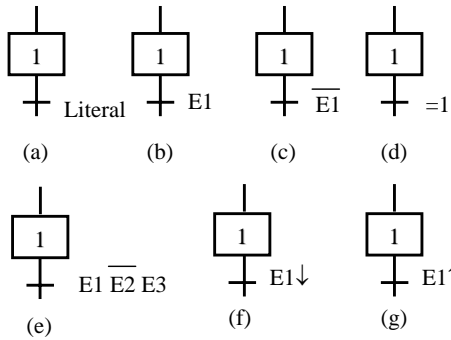
- Toda transición lleva asociada una condición de transición o función lógica booleana que se denomina **receptividad**, y que puede ser verdadera o falsa.
- Se dice que la transición está validada, cuando la etapa o etapas anteriores a la transición están activadas. El franqueamiento de la transición se producirá si, y sólo si, la transición esta validada y la receptividad es verdadera.

8

# Grafcet

## Símbolos normalizados

- Diferentes formas de anotar la receptividad:



- a) Descripción literal.
- b) Condición de transición activa.
- c) Condición de transición inactiva.
- d) Incondicional, siempre se activa la etapa siguiente.
- e) Condición de transición en forma de función lógica de varias variables.
- f) Condición de transición de flanco descendente, la señal pasa de 1 a 0.
- g) Condición de transición de flanco ascendente, la señal pasa de 0 a 1.

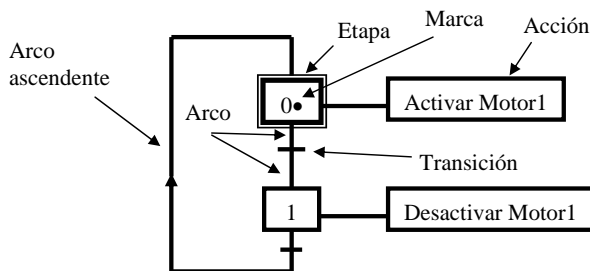
- Arco

- Es el segmento de recta que une una transición (con su condición de transición) con una etapa y viceversa, pero nunca dos elementos iguales entre sí. Los arcos pueden ser o verticales u horizontales, además los arcos verticales deben llevar una flecha indicando su sentido en el caso de ser éste ascendente

# Grafcet

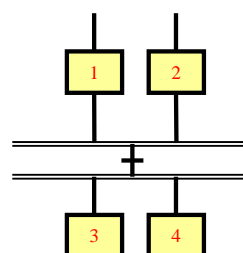
## Símbolos normalizados

- Esquema de elementos que componen el Grafcet



La situación de etapa activada, se indica mediante la colocación de una marca en el interior del gráfico representativo de la etapa

- Líneas paralelas (conurrencia)



# Grafcet

## Reglas de evolución del Grafcet

- Reglas

1. La etapa inicial de un Grafcet se activa de forma incondicional. Esta situación inicial se corresponde en general con una situación de reposo.
2. Una transición está en disposición de ser validada cuando todas las etapas inmediatamente precedentes, unidas a dicha transición, están activadas. La activación de una transición se produce cuando está validada y la condición de transición o receptividad es verdadera. Se podría definir una etapa como activable cuando la transición precedente está validada.

11

# Grafcet

## Reglas de evolución del Grafcet

- Reglas

3. Franquear una transición implica la activación de todas las etapas siguientes inmediatas y la desactivación de las inmediatas precedentes.
4. Transiciones conectadas en paralelo, se activan de forma simultánea si se cumplen las condiciones para ello.
5. Una o varias acciones se asocian a cada etapa. Estas acciones sólo están activas cuando la etapa está activa.

12

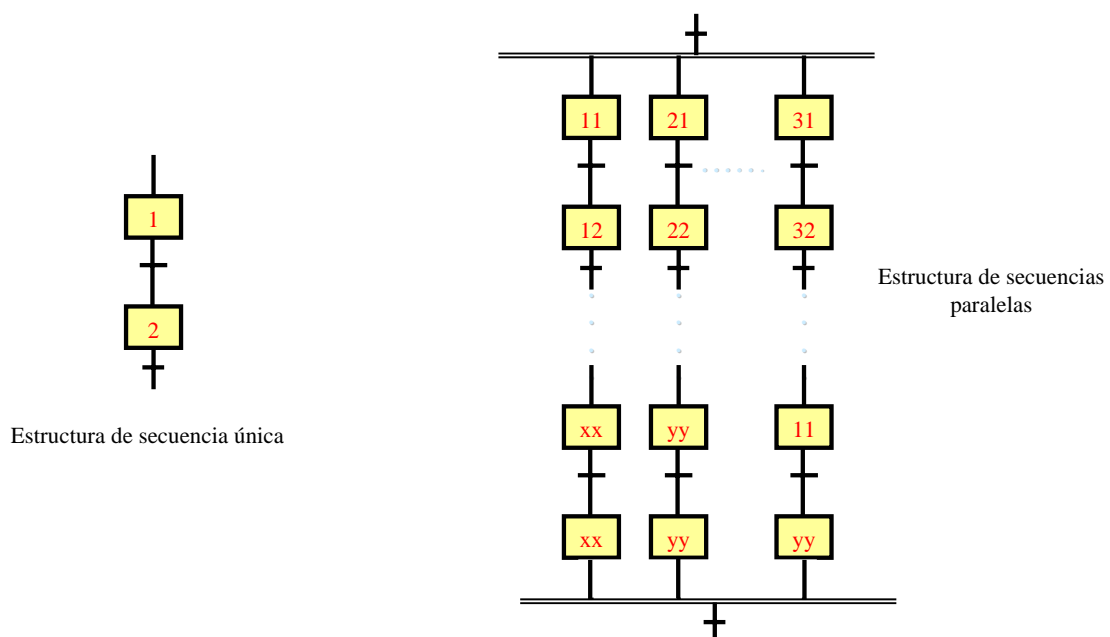
# Grafcet

## Posibilidades de representación de automatismos

- Grafcet soporta diferentes tipos de estructura secuencial:
    1. *Estructura base* : trata conceptos de secuencialidad y concurrencia
    2. *Estructura lógica* : trata conceptos de concatenación de estructuras
- ### 1. Estructuras base
- Estructuras de **secuencia única**
    - Son estructuras formadas por secuencias de etapas que se van activando una tras otra, sin interacción con ninguna otra estructura
  - Estructuras de **secuencia paralela**
    - Son un conjunto de estructuras únicas activadas por una misma transición de forma simultánea. Después de la activación de las distintas secuencias su evolución se produce de forma independiente

13

## Grafcet Estructuras base



14

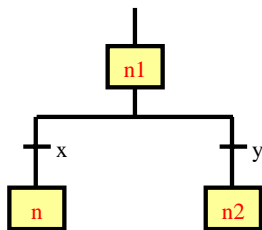
# Grafcet

## Estructuras lógicas

### 2. Estructuras lógicas

- Utiliza funciones lógicas OR, AND y saltos condicionales
- Divergencia OR

Se utiliza cuando lo que se trata es de modelar la posibilidad de tomar dos o más secuencias alternativas a partir de una etapa común.



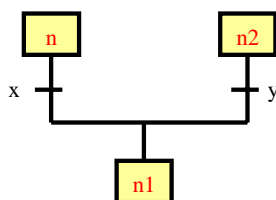
La etapa **n** pasará a estar activa si estando activa la etapa **n1**, se satisface la condición de transición o receptividad **x**. De igual forma la etapa **n2** pasará a estar activa si estando activa la etapa **n1** se satisface la condición de transición o receptividad **y**.

15

# Grafcet

## Estructuras lógicas

- Convergencia OR



la etapa **n1** pasará a estar activa, si estando activa la etapa **n** se satisface la condición de transición o receptividad **x**; o si estando activa la etapa **n2** se satisface la condición de transición o receptividad **y**.

- Divergencia AND

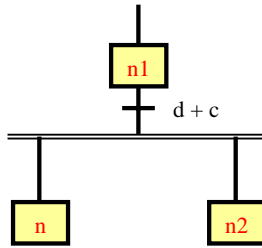
- Permite la implementación de procesos concurrentes síncronos, de forma que dos o más subprocesos del sistema, representados por las secuencias paralelas, pueden activarse de forma sincronizada.

16

# Grafcet

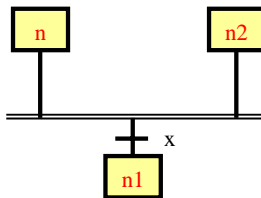
## Estructuras lógicas

- Grafcet. Divergencia en AND



La etapa  $n2$  y  $n$  pasarán al estado activo, si estando activa la etapa  $n1$  se satisface la condición de transición o receptividad  $d+c$

- Convergencia en AND



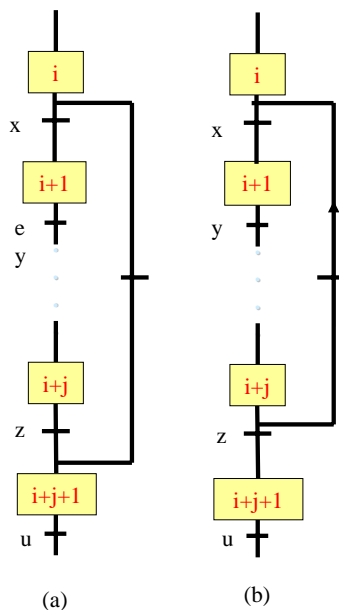
La etapa  $n1$  pasará a estar activa si, estando las etapas  $n-1$  y  $n-2$  activas, se satisface la condición de transición o receptividad  $x$

17

# Grafcet

## Estructuras lógicas

- Saltos Condicionales



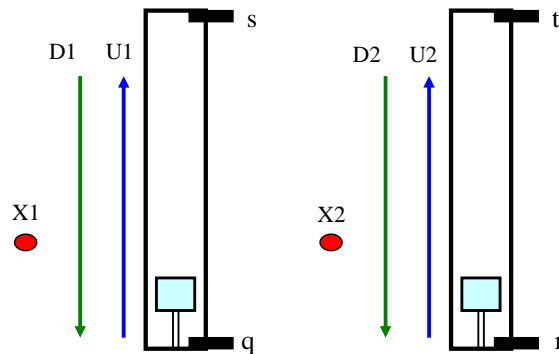
(a) se implementa un salto condicional a la etapa  $i+j+1$  si está activada la etapa  $i$  y se cumple la condición de transición o receptividad

(b) se implementa un bucle que permite la repetición de la secuencia de etapas hasta que  $x$  sea igual a 1.

18

# Grafcet Ejemplo

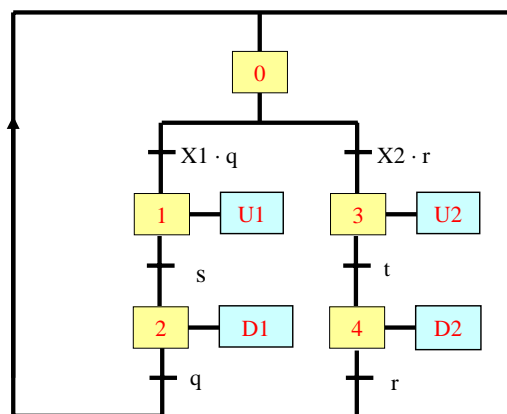
- El siguiente ejemplo, dos montacargas se mueven cuando se pulsa un botón ( $x_1$  o  $x_2$ ) en sentido ascendente hasta el final de recorrido ( $s,t$ ) y de inmediato descienden a la situación inicial ( $q,r$ ).



19

# Grafcet Ejemplo

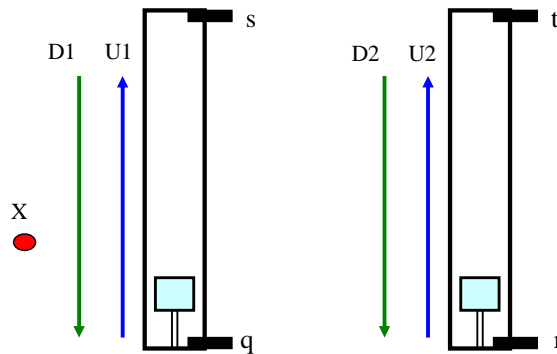
- Primer supuesto* :
  - La pulsación de  $x_1$  o  $x_2$  deberá iniciar el movimiento ascendente del montacargas  $m_1$  o  $m_2$  respectivamente. Sólo un montacargas debe estar en funcionamiento a la vez. También inicialmente se supone que el accionamiento simultáneo de los dos pulsadores no puede ocurrir.



20

# Grafcet Ejemplo

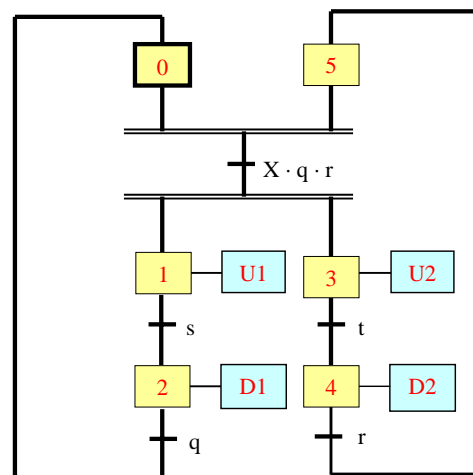
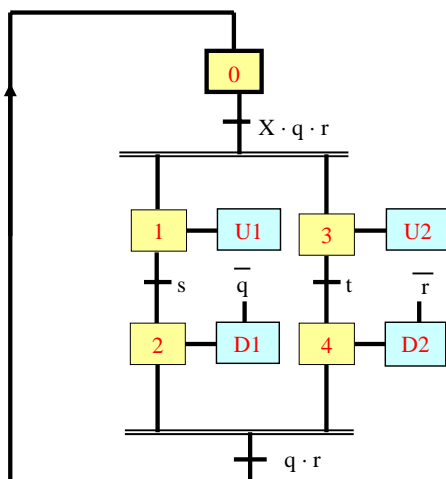
- Variación** : se requiere un solo pulsador X para iniciar el movimiento de los dos montacargas, sincronismo en el inicio del movimiento y la única restricción que se impone es que para cada ciclo de funcionamiento ambos montacargas deben estar situados en su posición inicial (q y r). Además se deja abierta la posibilidad de que los dos montacargas posean movimientos con distintas velocidades.



21

# Grafcet Ejemplo

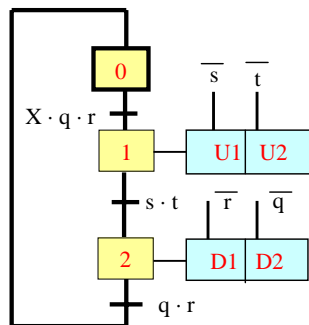
- Con acciones condicionales
- Ejemplo con un solo pulsador



22

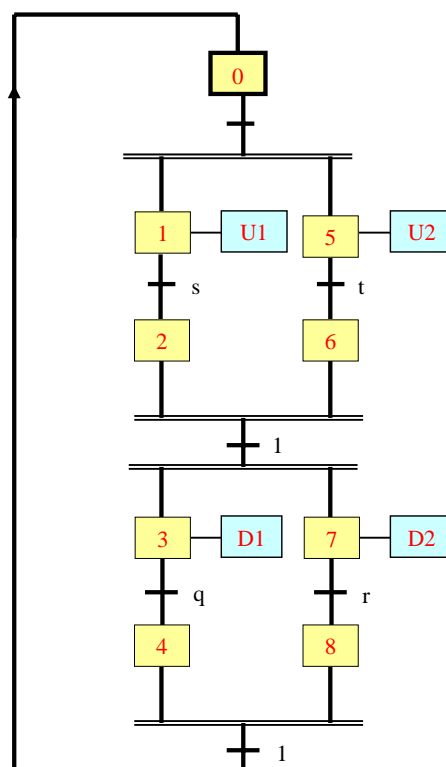
# Grafcet Ejemplo

- **Variación** : En el ejemplo anterior se pretende que exista también sincronismo en el movimiento de descenso del montacargas. Para ello, el sistema debe esperar a que ambos montacargas se encuentren en la posición (s, t) antes de iniciar el movimiento de descenso simultáneo hasta la situación inicial (q, r).



23

# Grafcet Ejemplo



24

# Grafcet

## Implementación del Grafcet sobre A.P.I

- Para implementar un diagrama Grafcet sobre un autómata programable, debemos traducirlo a un lenguaje de programación (KOP, FUP o AWL) entendible por el autómata.
- En nuestro caso, vamos a estudiar la manera de traducir Grafcet a diagrama de contactos (KOP), puesto que este es el lenguaje de programación que hemos estudiado en profundidad.
- Existen dos métodos:
  - Método directo
  - Método indirecto: A través de funciones lógicas

25

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

- A cada una de las etapas en las que se divide el Grafcet se le asocia una variable interna.

Dichas variables internas serán marcas.

Etapa	Marca asociada
0	M0.0
1	M0.1
...	...
7	M0.7
8	M1.0
...	...

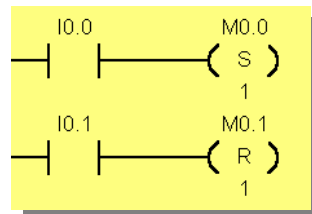
- La condición de transición es la encargada de activar la etapa siguiente y desactivar la anterior. Para ello, se utilizan las instrucciones Set y Reset que poseen todos los autómatas programables.

26

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

- En el Siemens S7-200 las instrucciones SET y RESET son:
  - Cuando se ejecutan las operaciones "Set" (Poner a 1 (S)) y "Reset" (Poner a 0 (R)), se activa (se pone a 1) o se desactiva (se pone a 0) el número indicado de salidas (N) a partir de la dirección que aparece en la parte superior.
  - Las instrucciones Set y Reset se utilizan para activar o desactivar las variables internas que en este autómata son las marcas internas (M0.0, M0.1,....., etc.).

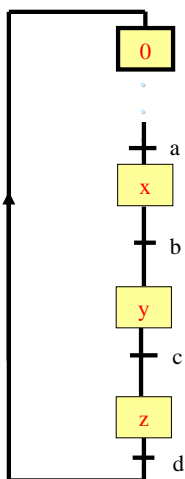


27

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

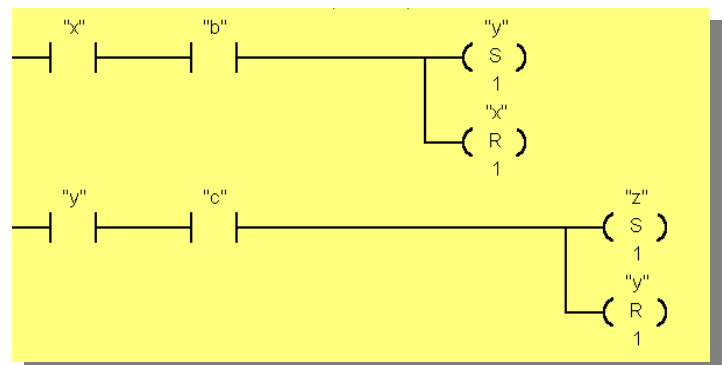
Grafcet



Activa la etapa "y" y desactiva la etapa "x"

Activa la etapa "z" y desactiva la etapa "y"

Diagrama de contactos



28

# Grafcet

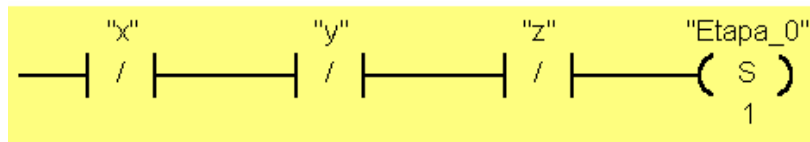
## Implementación del Grafcet: Método directo

Para **activar la etapa** inicial "0" debemos tener en cuenta que:

- De acuerdo con la primera regla de evolución de grafcet, la etapa inicial se activa de forma incondicional. Esto implica que la etapa inicial 0 debe activarse cuando el autómata comienza a ejecutar el programa de control.

Para activar la etapa inicial en el primer ciclo de programa, tenemos dos opciones:

- 1) Puesto que todas las variables están desactivadas al encender el autómata, podemos utilizar dicha condición para activar la etapa inicial.

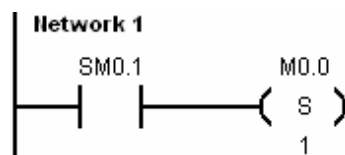


29

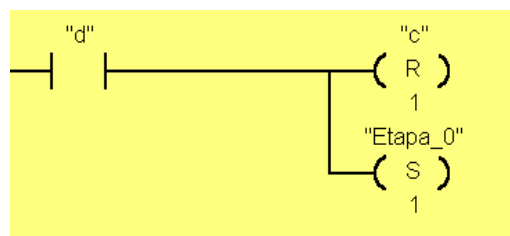
# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

- 2) Otra posibilidad es activar la etapa inicial utilizando la marca especial SM0.1, la cual se activa únicamente durante el primer ciclo de programa.



- Además, hay que tener en cuenta que cuando se cumpla la última condición de transición se debe desactivar la última etapa activa y se debe activar la etapa inicial.



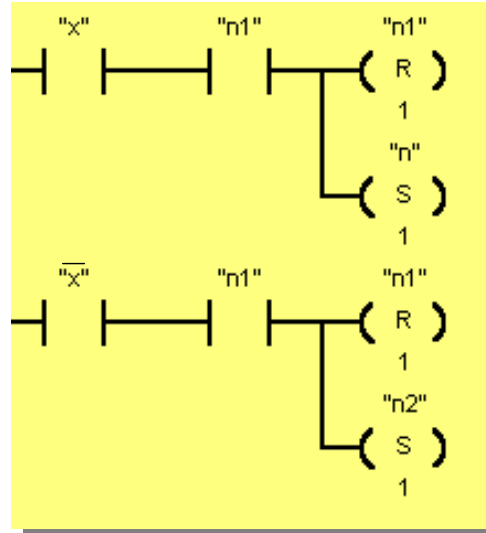
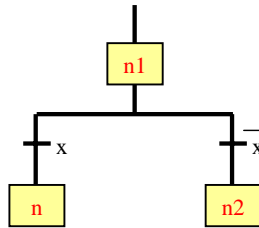
30

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

- Veamos ahora cómo codificar en lenguaje de diagrama de contactos las distintas estructuras lógicas que podemos tener en diagramas Grafcet

- Divergencia OR

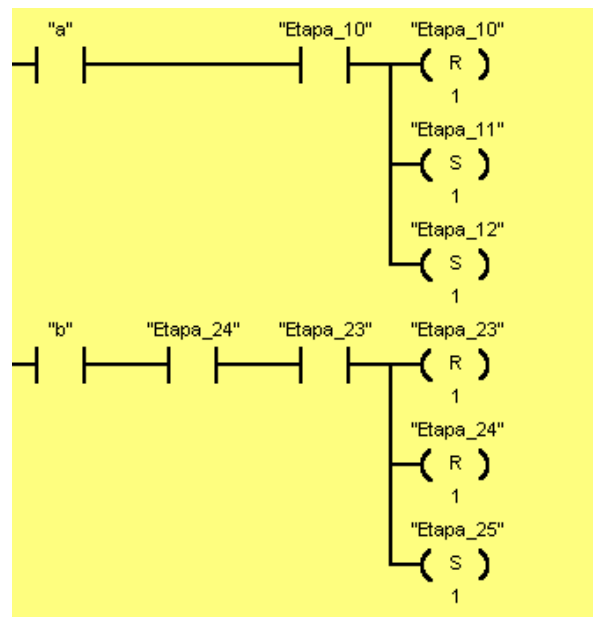
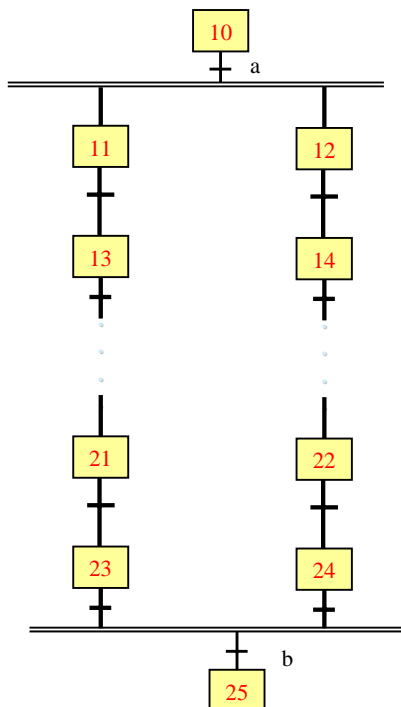


31

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

- Caso de secuencias paralelas

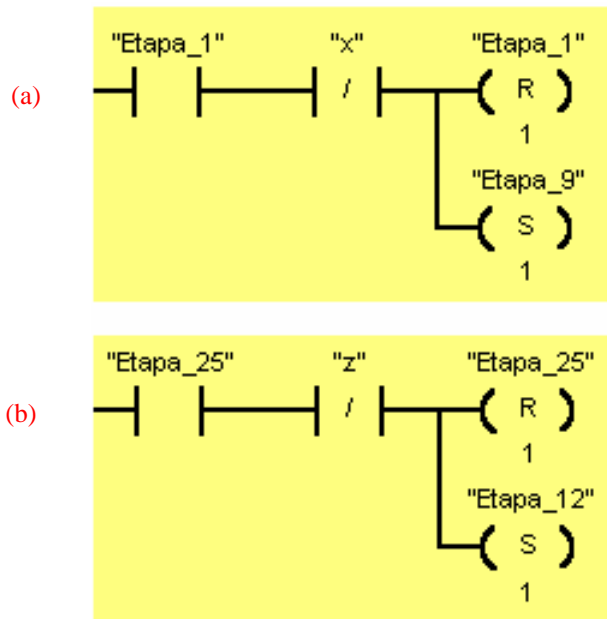
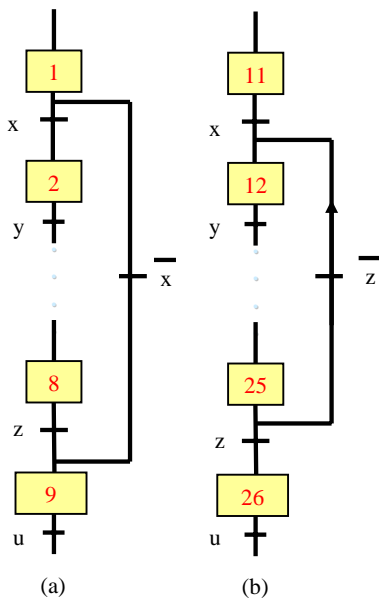


32

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método directo

- Saltos condicionales a otras etapas y bucles



33

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto

- Mediante funciones lógicas en un diagrama de escalera
- La **ecuación de activación o desactivación asociada a la etapa enésima** :

$$E_n = E_{n-1} \cdot T_{n-1} + \overline{E_{n+1}} \cdot E_n$$

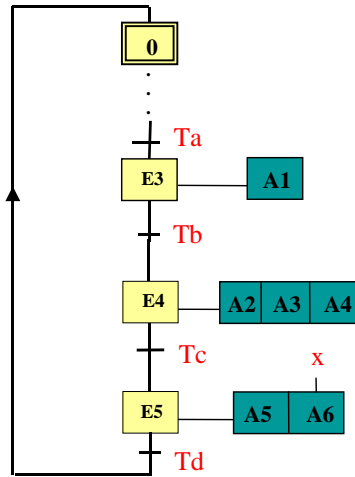
*"La etapa  $E_n$  se activará, si estando activada la etapa  $E_{n-1}$  y desactivada la  $E_{n+1}$  se satisface la transición  $T_{n-1}$ . A partir de este instante permanecerá activada hasta que se active la  $E_{n+1}$ "*

- Además se tienen que implementar las **ecuaciones de activación de las acciones asociadas a las etapas**. La expresión de estas ecuaciones dependerá del carácter condicional o incondicional de estas acciones.

34

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto



### Etapa número 3

$$E_3 = E_2 \cdot T_a + E_3 \overline{E_4}$$

$$A_1 = E_3$$

### Etapa número 5

$$E_5 = E_4 \cdot T_c + E_5 \overline{E_6}$$

$$A_5 = E_5$$

$$A_6 = x \cdot E_5$$

### Etapa número 4

$$E_4 = E_3 \cdot T_b + E_4 \overline{E_5}$$

$$A_2 = E_4$$

$$A_3 = E_4$$

$$A_4 = E_4$$

35

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto

- Si en el diagrama Grafcet tenemos estructuras lógicas, saltos, etc., las funciones lógicas serán más complejas
- Partiendo de la Ecuación General:
  - CondA: condición de activación
  - ConDD: condición de mantenimiento y desactivación

$$E_n(t + \Delta t) = Cond_A + Cond_D \cdot E_n(t)$$

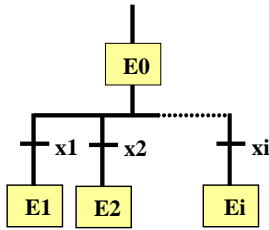
- Ahora vamos a estudiar la manera de traducir cada una de las estructuras lógicas a funciones lógicas.

36

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto

- DIVERGENCIA OR



$$Cond_D = (\overline{E_1 + E_2 + \dots + E_i}) = \overline{\sum_{n=1}^i E_n}$$

MORGAN

$$Cond_D = \prod_{n=1}^i \overline{E_n}$$



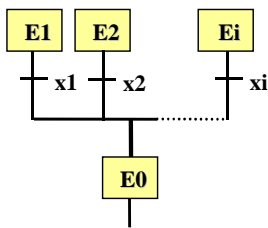
$$E_0(t + \Delta t) = Cond_A + \prod_{n=1}^i \overline{E_n} \cdot E_0(t)$$

37

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto

- CONVERGENCIA OR

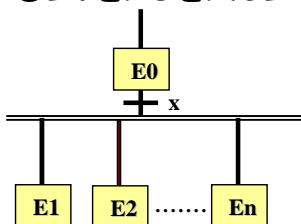


$$Cond_A = (E_1 \cdot x_1 + E_2 \cdot x_2 + \dots + E_j \cdot x_i) = \sum_{n=1}^i E_n \cdot x_n$$



$$E_0(t + \Delta t) = \sum_{n=1}^i E_n \cdot x_n + Cond_D \cdot E_0(t)$$

- DIVERGENCIA AND



$$Cond_D = \prod_{n=1}^i \overline{E_n}$$



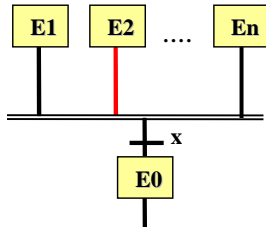
$$E_0(t + \Delta t) = Cond_A + \prod_{n=1}^i \overline{E_n} \cdot E_0(t)$$

38

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto

- CONVERGENCIA AND



$$Cond_A = \left( \prod_{n=1}^i E_n \right) \cdot x$$



$$E_0(t + \Delta t) = \left( \prod_{n=1}^i E_n \right) \cdot x + Cond_D \cdot E_0(t)$$

39

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto

- Etapas iniciales
  - La/s etapa/s inicial/es deben quedar activadas cuando se inicializa el sistema.
  - Las etapas iniciales no tienen ninguna etapa ni transición precedente que puedan incluirse en las condiciones de activación ( $Cond_A$ ) de la expresión general.
  - Para solucionar este problema se introducen unas condiciones de activación iniciales  $Cond_{AI}$ , adicionales a las condiciones de activación  $Cond_A$ .
  - Este tipo de etapas se implementan, mediante la siguiente expresión:

$$E_0(t) = Cond_{AI} + Cond_A + Cond_D \cdot E_0(t)$$

40

## Grafcet

### Implementación del Grafcet: Método indirecto

- La expresión de las condiciones de activación iniciales se puede obtener de dos formas:
  1. Aprovechando el hecho de que en la fase de inicialización del programa las variables están inicializadas a cero y, por tanto, también todas las variables internas representativas de las diversas etapas existentes estarán inicializadas a cero.

$$Cond_{AI} = \prod_{n=1}^i \overline{E_n} \quad \Rightarrow \quad E_0(t) = \prod_{n=1}^i \overline{E_n} + Cond_A + Cond_D \cdot E_0(t)$$

Esta expresión puede llegar a ser laboriosa de implementar, si el Grafcet que se está realizando dispone de un gran número de etapas.

41

## Grafcet

### Implementación del Grafcet: Método indirecto

2. Otra posibilidad aparece por el hecho de que los autómatas programables disponen de una serie de marcas del sistema o marcas especiales. Existe una de ellas que está activa durante el primer ciclo de programa y desactiva en los restantes.

$$Cond_{AI} = SM$$

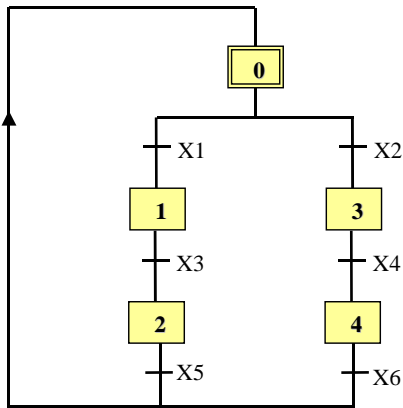


$$E_0(t + \Delta t) = SM + Cond_A + Cond_D \cdot E_0(t)$$

42

# Grafcet

## Implementación del Grafcet: Método indirecto



Ejemplo de implementar las etapas iniciales :

a) 
$$E_0(t) = \overline{E_1} \cdot \overline{E_2} \cdot \overline{E_3} \cdot \overline{E_4} + E_2 \cdot X5 + E_4 \cdot X6$$

b) 
$$E_0(t + \Delta t) = SM + (\overline{E_1} + \overline{E_3}) \cdot E_0(t) + E_2 \cdot X5 + E_4 \cdot X6$$

ó

$$E_0(t + \Delta t) = SM + (\overline{E_1} \cdot \overline{E_3}) \cdot E_0(t) + E_2 \cdot X5 + E_4 \cdot X6$$

43

# Grafcet

## Niveles de Grafcet

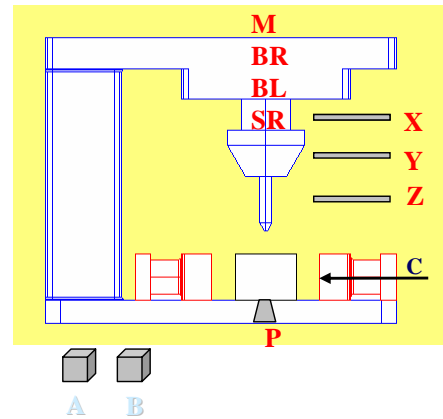
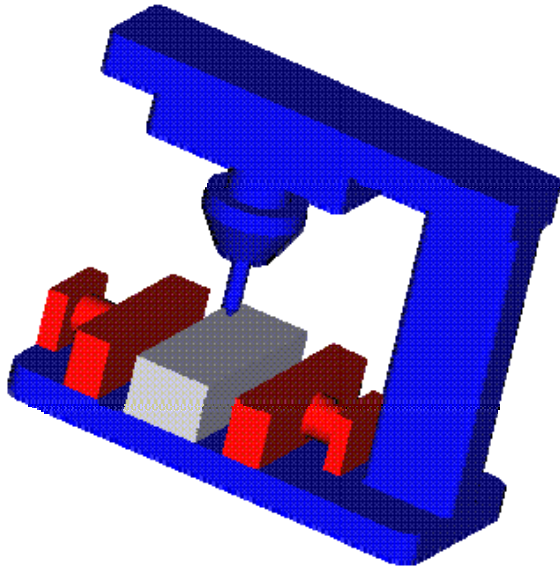
- A la hora de representar mediante un grafcet el sistema de control es conveniente estructurarlo dos niveles :
  - **Nivel 1** : En este nivel se representa solamente el funcionamiento lógico del sistema en una terminología próxima al lenguaje corriente, se realiza independientemente de las decisiones que a posteriori se tomen en cuanto a la tecnología a utilizar, a la nomenclatura y tipo de variables seleccionadas, etc
  - **Nivel 2** : En este nivel se tienen en cuenta las decisiones tecnológicas tomadas, la nomenclatura y tipo de variables, etc. y se hace referencia a ellas en el diagrama grafcet de este nivel

44

# Grafcet

## Niveles de Grafcet

- Ejemplo: Sistema de control de una máquina taladradora



45

# Grafcet

## Niveles de Grafcet

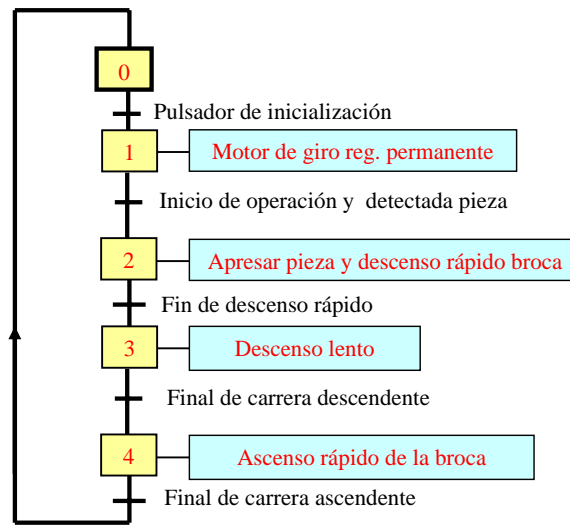
- Funcionamiento de la taladradora:
  - Existe un pulsador "B", de inicialización del sistema, con objeto de que el motor adquiriera una velocidad de giro de régimen permanente, que se obtiene accionando M. El taladro posee varias velocidades en el sentido longitudinal del eje, léase bajada lenta del utensilio del taladro BL, bajada rápida BR y subida rápida SR.
  - La pieza en la que se va a realizar el taladro se detecta mediante un detector inductivo P, y se sujeta mediante dos sujeciones accionadas por C. La tarea de realizar un taladro sigue la siguiente secuencia: primero se detecta la pieza mediante el detector inductivo, posteriormente se pulsa el botón "A" de inicio de operación con lo que actúan las sujeciones de la pieza y al mismo tiempo se inicia el descenso rápido de la broca "BR".
  - Antes de empezar a realizar el taladro propiamente dicho a la pieza, el detector "Y" provoca el paso de descenso rápido de la broca a descenso lento "BL", el cual se interrumpe cuando se detecta el final de carrera "Z". Inmediatamente se produce la subida rápida de la broca hasta alcanzar la posición de reposo "X".

46

# Grafcet

## Niveles de Grafcet

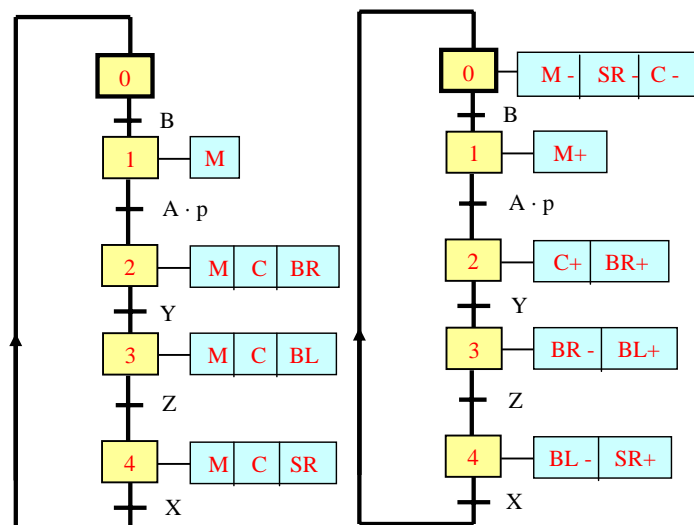
- Grafcet Nivel 1



# Grafcet

## Niveles de Grafcet

- Grafcet Nivel 2

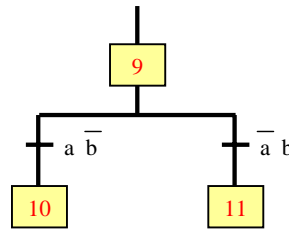


(a) Pr. monoestable

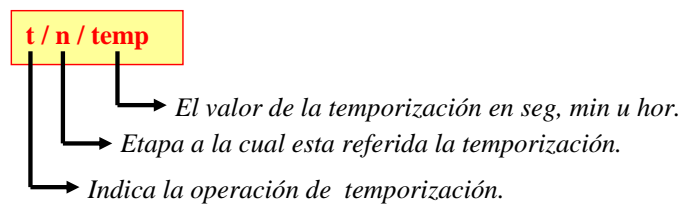
(b) Pr. biestable

# Representación de situaciones especiales en Grafcet

- Secuencias exclusivas



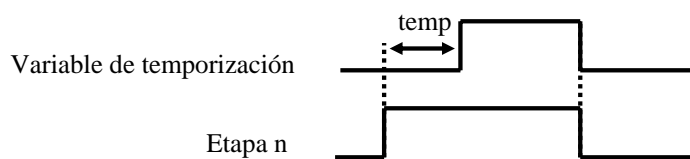
- Temporizadores y contadores
  - La función de temporización en Grafcet se implementa a través del operador de temporización



49

# Representación de situaciones especiales en Grafcet

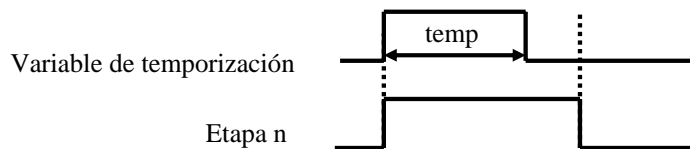
- Clasificación de las temporizaciones:
  - **Temporización con retardo:** Cada dispositivo de temporización tiene asociada una variable que en este tipo de temporización permanece en estado bajo "0", mientras que se efectúa la operación de temporización.



50

# Representación de situaciones especiales en Grafcet

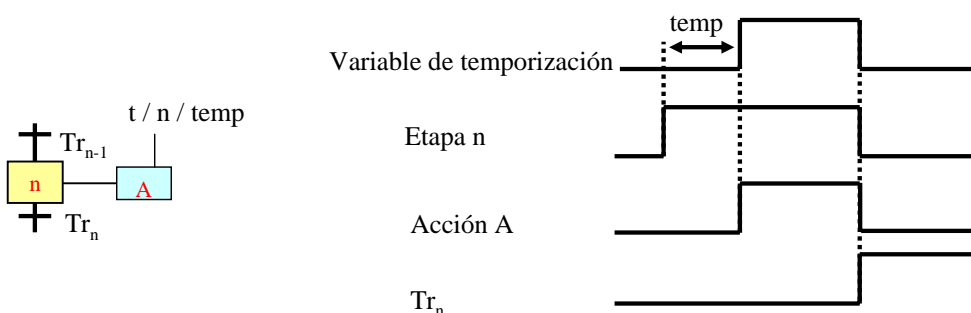
- **Temporización al arranque:** Cada dispositivo de temporización tiene asociada una variable que en este tipo de temporización permanece en estado lógico alto "1", desde el mismo comienzo de la temporización, pasando a estado lógico bajo "0" cuando ha transcurrido la temporización establecida. Su funcionamiento es el mismo que la temporización con retardo si la variable asociada al temporizador es complementada, por lo tanto este tipo de temporización se denota complementando la notación que representa la temporización con retardo.



51

# Representación de situaciones especiales en Grafcet

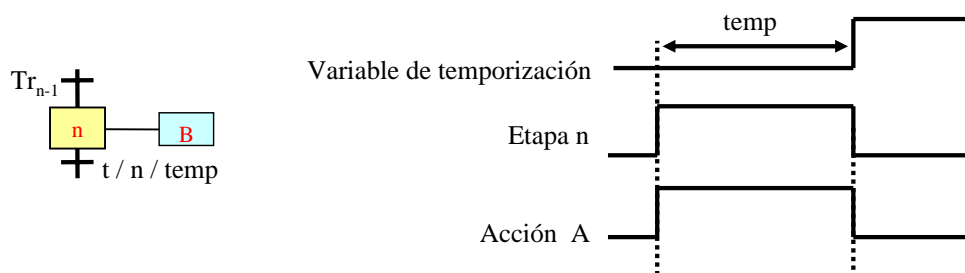
- Incorporación de las temporizaciones al Grafcet:
  - **Temporización de acciones:** Es el caso en el cual se pretende temporizar la ejecución de la acción asociada a una etapa, de forma que no se ejecute la acción hasta que transcurra un cierto instante de tiempo.



52

# Representación de situaciones especiales en Grafcet

- **Temporización de la transición de una etapa:** Es el caso en el cual la receptividad asociada a una transición depende de que la variable de temporización sea activada. Si se trata de una temporización con retardo esta transición no será superada hasta que transcurra un cierto instante de tiempo.



53

# Representación de situaciones especiales en Grafcet

- **Contadores**
  - Hay tres tipos, los que realizan la operación cuenta de forma ascendente, descendente o ambas a la vez.



54

# Ejemplo

