

AUTÓMATAS PROGRAMABLES

Modelado de sistemas de control secuenciales

GRAFCET

Arturo Gil Aparicio

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

Grafcet

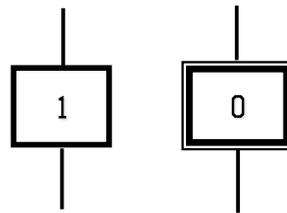
Introducción

- 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 y organismos oficiales.
- 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.

Grafcet

Símbolos normalizados

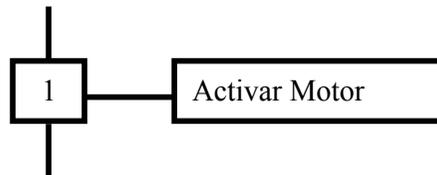
- Etapas
 - La evolución de un proceso representada mediante un gráfico Grafcet está formada por una sucesión de etapas que representan cada uno de sus estados, llevando cada una de ellas asociada una o varias acciones a realizar sobre el proceso.
 - Las etapas se representan con un cuadro y un número 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.



Grafcet

Símbolos normalizados

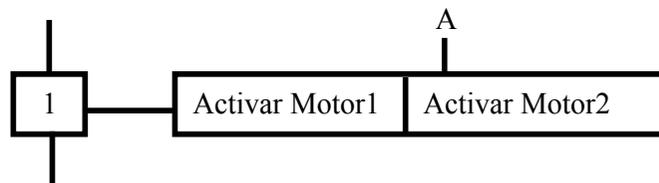
- Acción asociada
 - Son una o varias acciones a realizar sobre el proceso, cuando la etapa de la cual dependen dichas acciones se encuentra activada.
 - Dichas acciones correspondientes a una etapa, se simbolizan mediante rectángulos conectados y situados a la derecha de dicha etapa. En el interior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



Grafcet

Símbolos normalizados

- En una primera clasificación se pueden dividir las acciones en dos tipos :
 - Incondicionales : acciones que se ejecutan siempre que las etapas correspondientes están activadas.
 - Condicionales : son las acciones que necesitan el cumplimiento de una condición adicional (además de la activación de la etapa correspondiente).



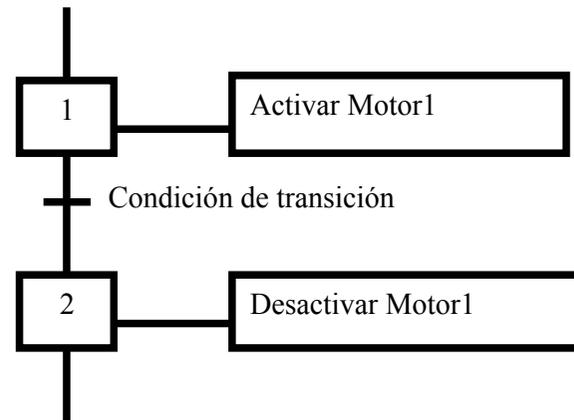
Grafcet

Símbolos normalizados

- Las acciones se pueden clasificar 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.

Grafcet

Símbolos normalizados

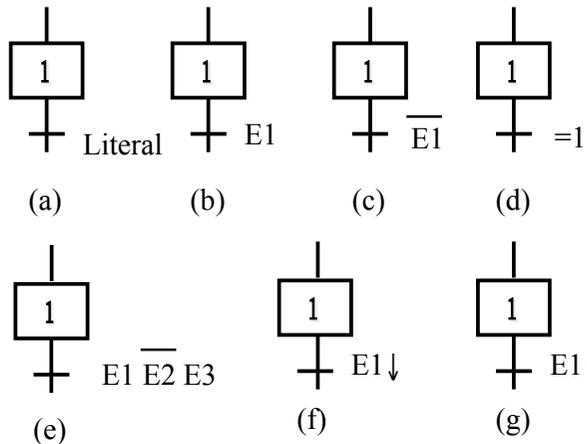


- Toda transición lleva asociada una condición de transición o función lógica booleana que se denomina **receptividad**, y que puede ser verdadera o falsa.
- Se dice que la transición está validada, cuando la etapa o etapas anteriores a la transición están activadas. El franqueamiento de la transición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

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.

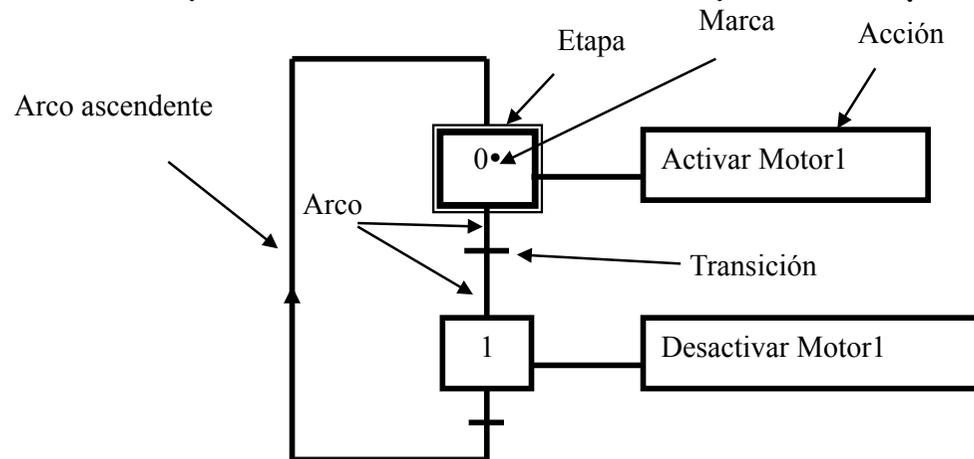
- Arco

- 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 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

- 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 verticales u horizontales, además los arcos verticales deben llevar una flecha indicando su sentido en el caso de ser éste ascendente

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

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 puede ser validada cuando todas las etapas inmediatamente precedentes, unidas a dicha transición, están activadas.
 3. La activación de una transición se produce cuando está validada y la condición de transición o receptividad es verdadera.

Grafcet

Reglas de evolución del Grafcet

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

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

Grafcet

Posibilidades de representación de automatismos

- Grafcet soporta diferentes tipos de estructura secuencial:
 1. **Estructura base** : Que permite definir la manera con la que se activan las etapas: p.e. etapas que se activan de forma concurrente.
 2. **Estructura lógica** : Permite definir saltos condicionales en la estructura (p.e decisiones)

Grafcet

Posibilidades de representación de automatismos

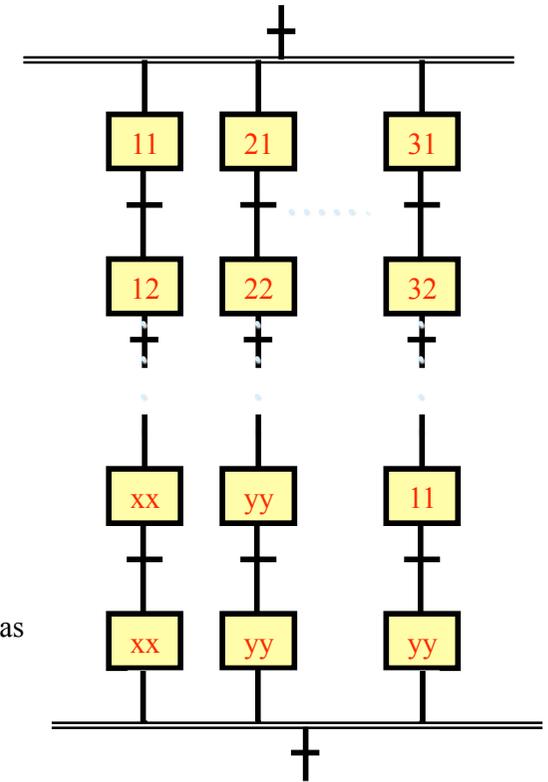
Estructuras base

- 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



Estructura de secuencia única

Estructura de secuencias paralelas

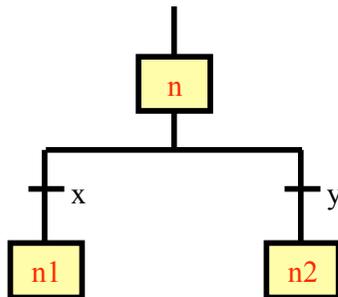


Grafcet

Estructuras lógicas

2. Estructuras lógicas

- Representa funciones lógicas OR, AND y saltos condicionales
- 2.1 Divergencia OR
 - Uso: Se utiliza cuando se quiere modelar la posibilidad de tomar dos o más secuencias alternativas a partir de una etapa común.

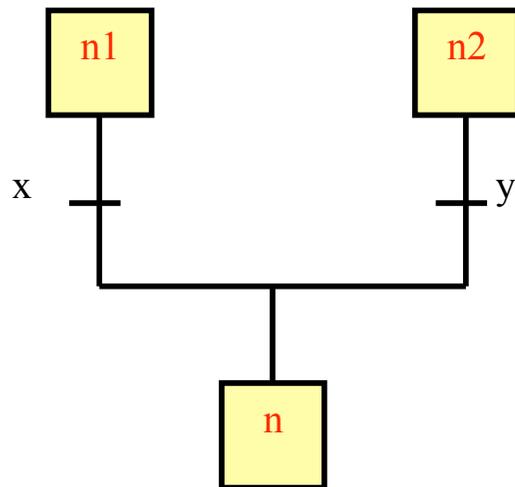


- La etapa **n1** pasará a estar activa si estando activa la etapa **n**, se satisface la condición de transición o receptividad **x**.
- De igual forma la etapa **n2** pasará a estar activa si estando activa la etapa **n** se satisface la condición de transición o receptividad **y**.
- **Importante:** las condiciones **x** e **y** son exclusivas (solamente se activa **n1** o **n2**)

Grafcet

Estructuras lógicas

- 2.2 Convergencia OR



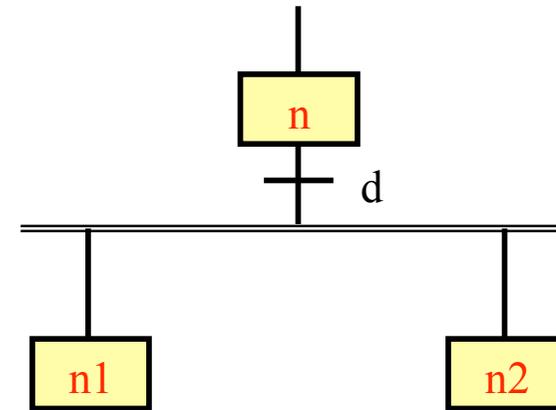
- la etapa **n** pasará a estar activa, si estando activa la etapa **n1** se satisface la condición de transición o receptividad **x**; o si estando activa la etapa **n2** se satisface la condición de transición o receptividad **y**.

Grafcet

Estructuras lógicas

- 2.3 Divergencia AND

- Uso: Permite la representación de procesos concurrentes síncronos
- dos o más subprocessos del sistema, representados por las secuencias paralelas, pueden activarse de forma sincronizada.



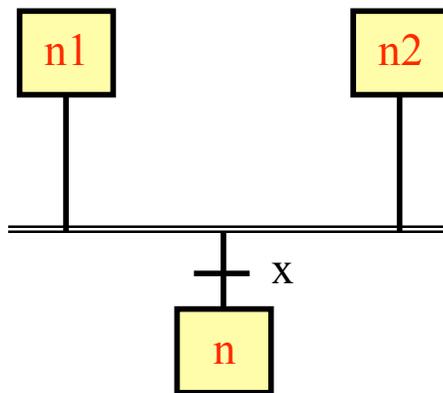
La etapa **n1** y **n2** pasarán al estado activo, si estando activa la etapa **n** se satisface la condición de transición o receptividad **d**

Grafcet

Estructuras lógicas

- 2.4 Convergencia en AND

- Uso: Representa una espera entre dos o más subprocesos.
 - La etapa n se activa cuando todos los procesos anteriores han finalizado.

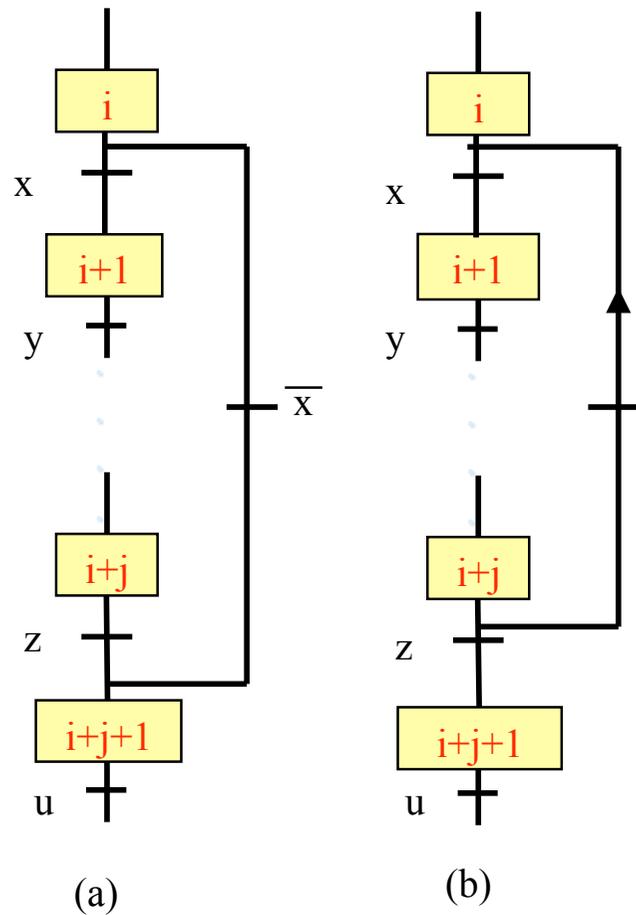


La etapa n pasará a estar activa si, estando ambas etapas $n1$ **y** $n2$ activas, se satisface la condición de transición o receptividad x

Grafcet

Estructuras lógicas

- 2.5 Saltos Condicionales

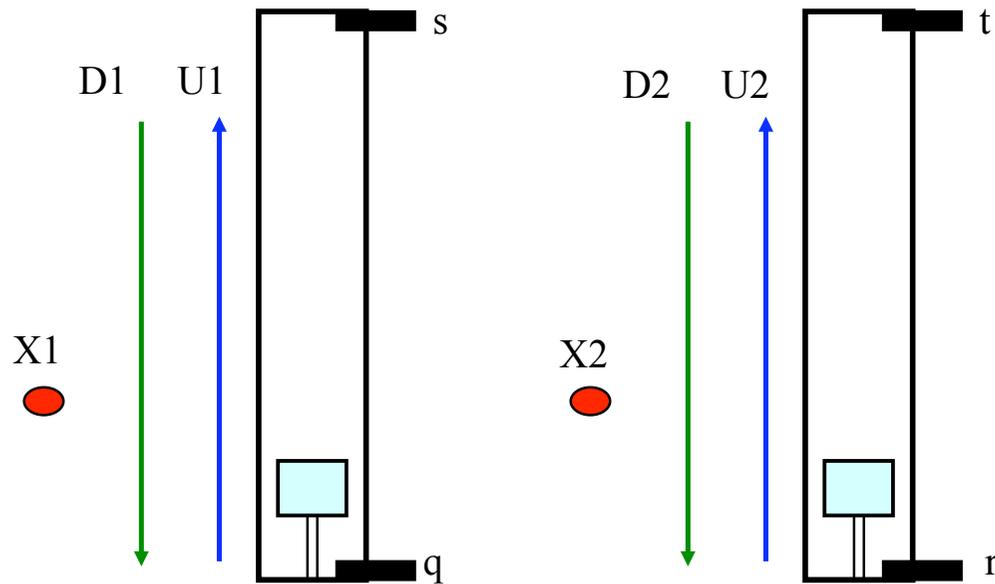


- (a) se implementa un salto condicional a la etapa $i+j+1$ si está activada la etapa i y se cumple la condición de transición o receptividad
- (b) se implementa un bucle que permite la repetición de la secuencia de etapas hasta que z sea igual a 1.

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).

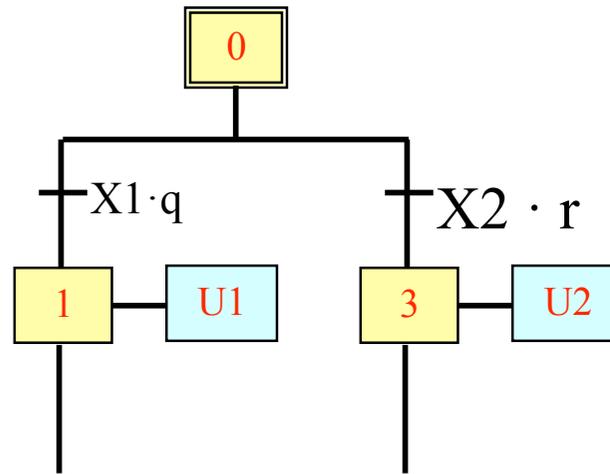


Grafcet

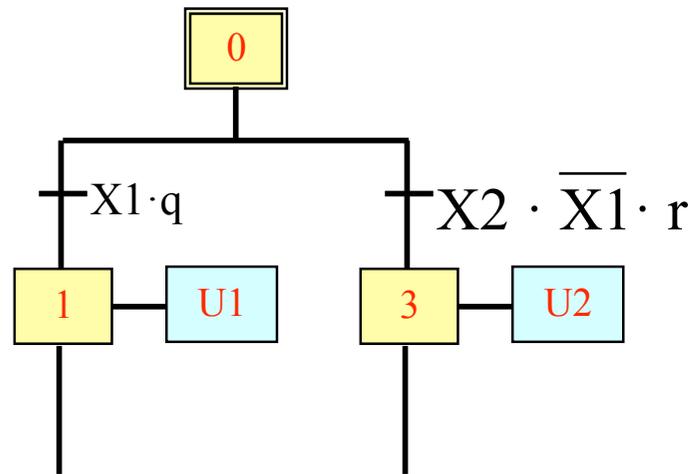
Ejemplo

- **Funcionamiento:**
 - La pulsación de x1 o x2 deberá iniciar el movimiento ascendente del montacargas m1 o m2 respectivamente.
 - Sólo un montacargas debe estar en funcionamiento a la vez.
 - Si se pulsaran simultáneamente ambos pulsadores el montacargas de la izquierda tiene preferencia.

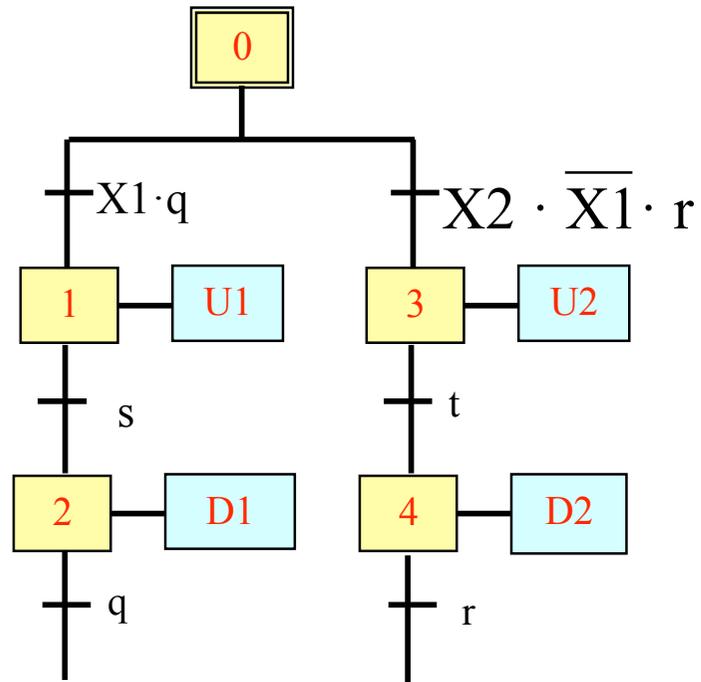
Grafcet Ejemplo



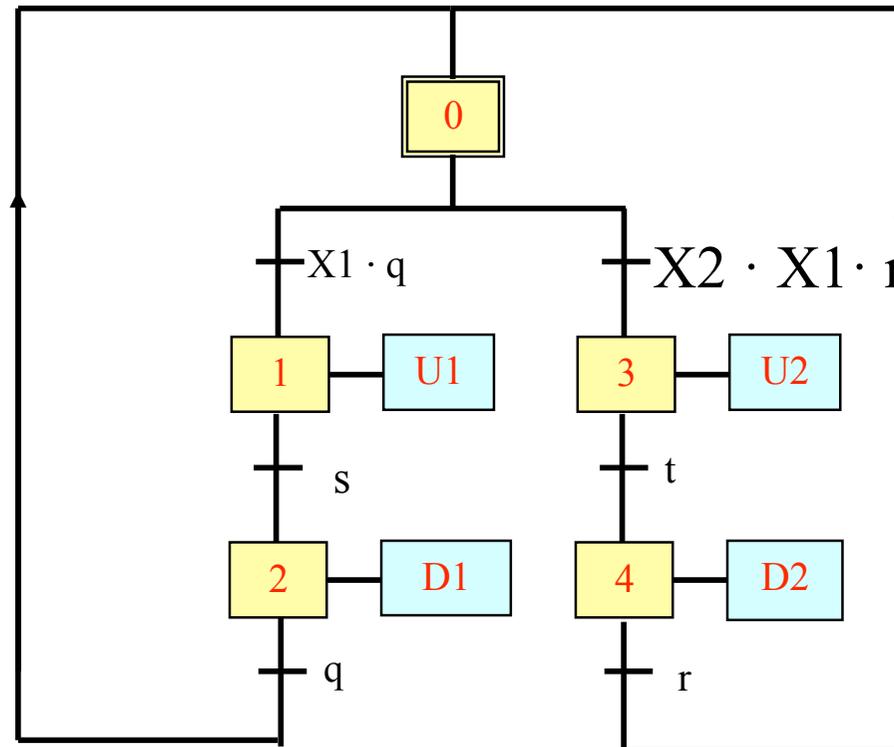
Grafcet Ejemplo



Grafcet Ejemplo

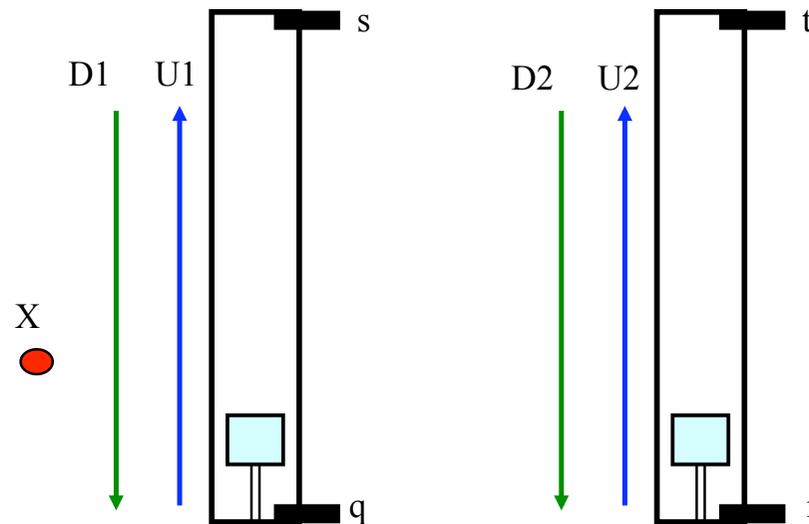


Grafcet Ejemplo

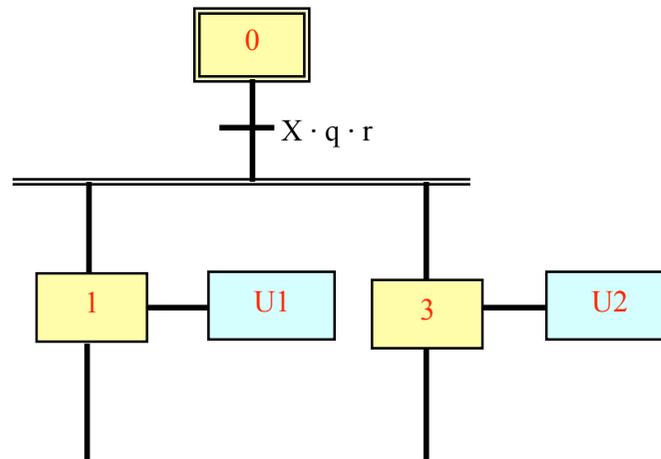


Grafcet Ejemplo

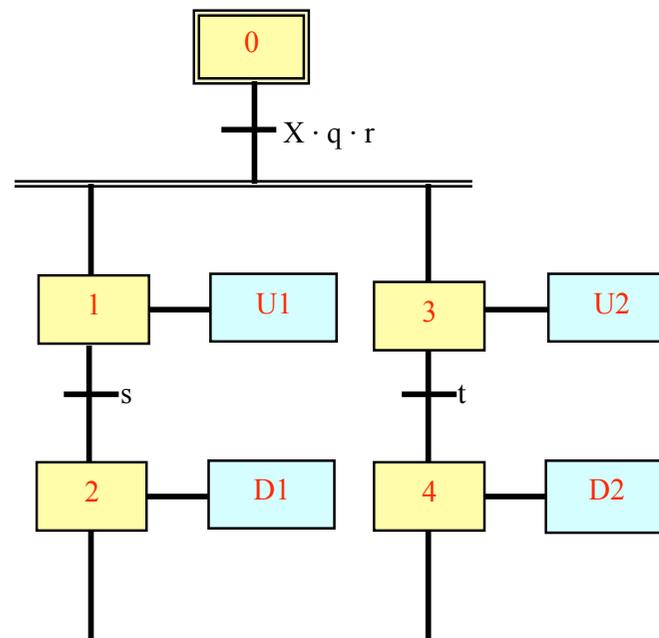
- **Variación :**
 - Se requiere un solo pulsador X para iniciar el movimiento de los dos montacargas,
 - Los dos montacargas inician el movimiento al mismo tiempo
 - Para iniciar el movimiento en cada ciclo de funcionamiento, ambos montacargas deben estar situados en su posición inicial (q y r activados).
 - Los dos montacargas pueden poseer movimientos con distintas velocidades.



Grafcet Ejemplo

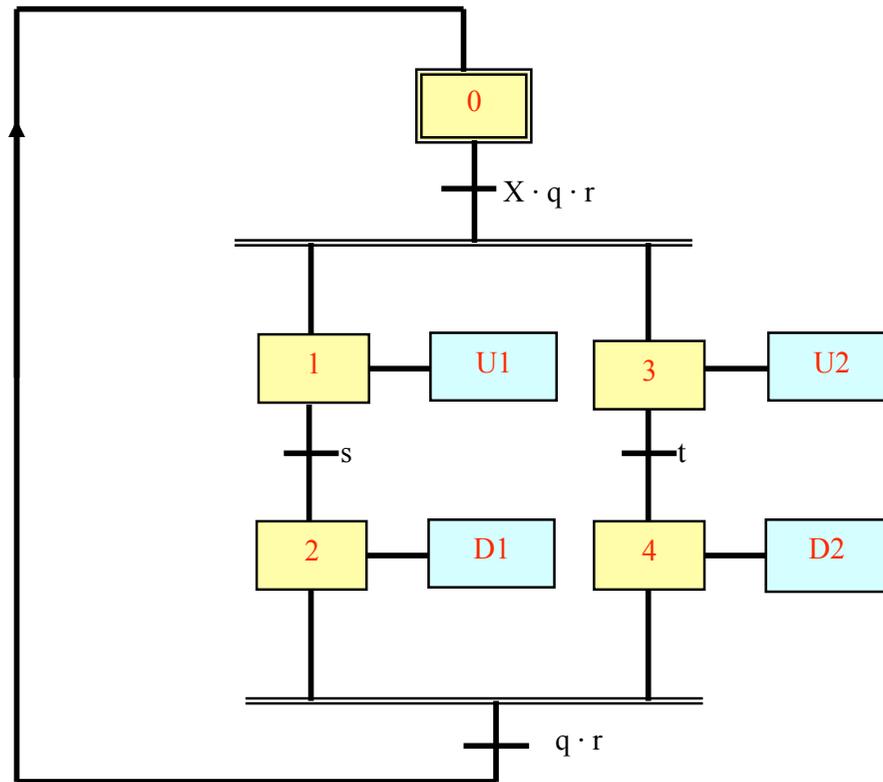


Grafcet Ejemplo



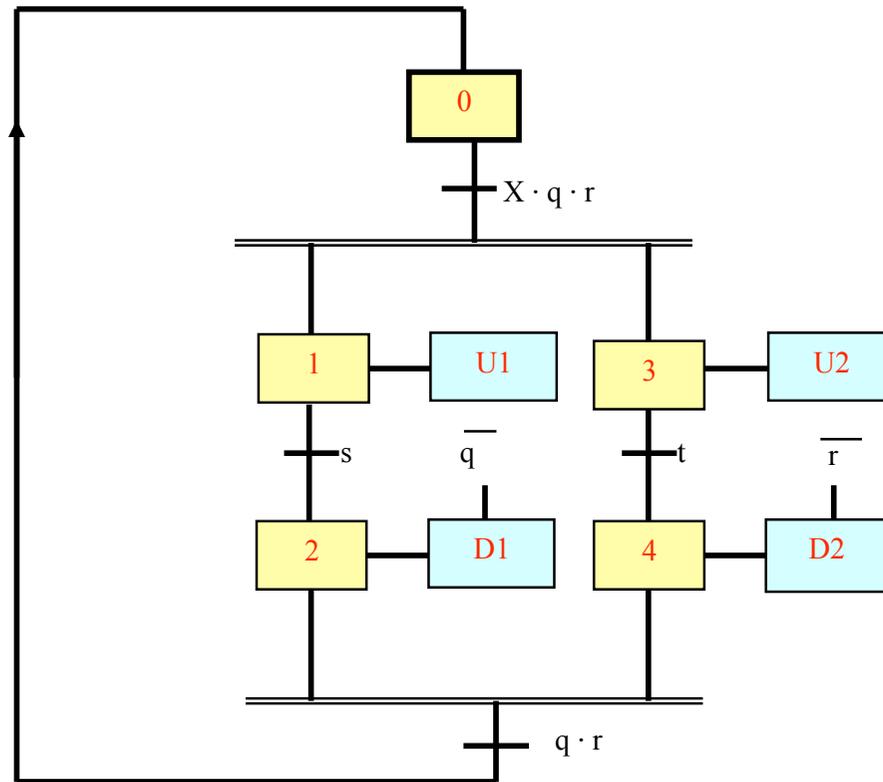
Grafcet Ejemplo

- ¿Correcto?



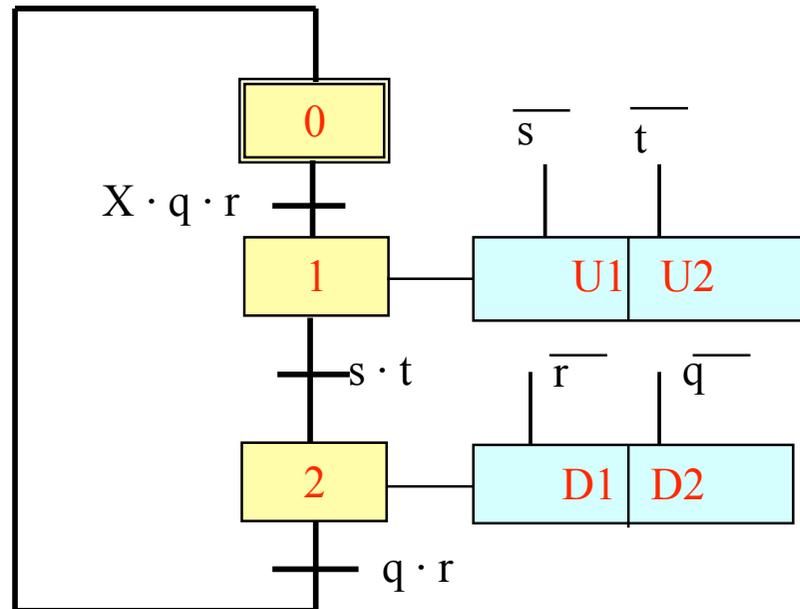
Grafcet Ejemplo

- Acciones condicionales



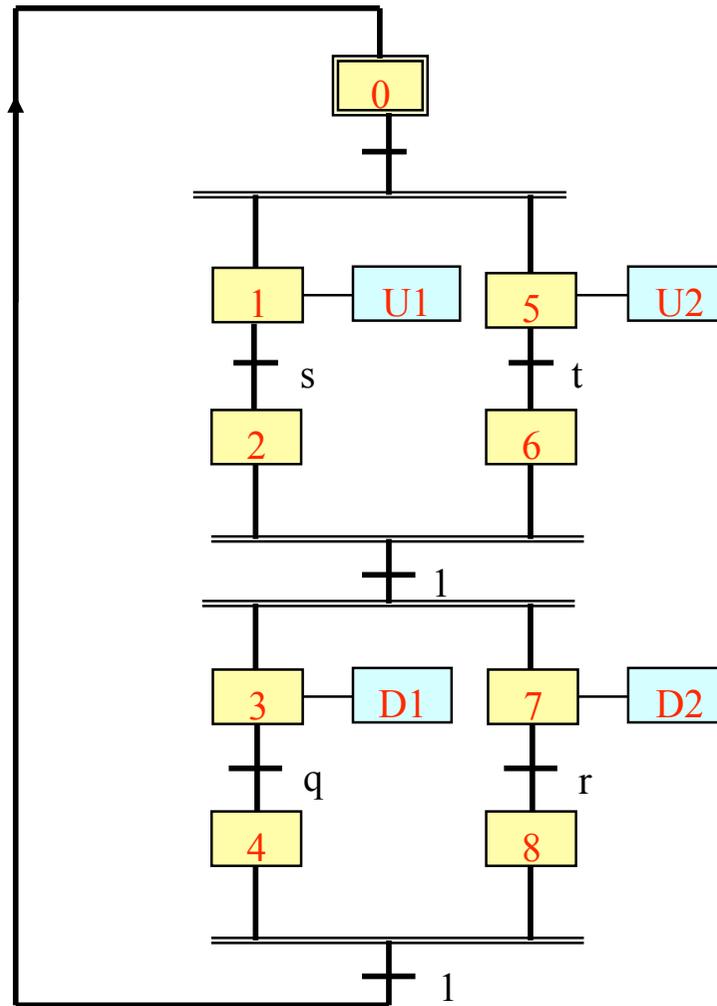
Grafcet Ejemplo

- **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).



Grafcet: Ejemplo

- Otra solución posible es:



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

Grafcet

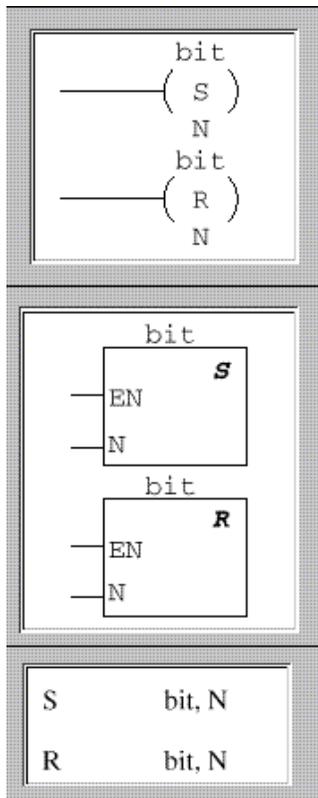
Implementación del Grafcet sobre PLC

- El Grafcet representa el funcionamiento del proceso
 - Establece de forma más clara cuáles son las salidas y entradas en cada etapa.
 - Pero no es un lenguaje de programación.
- Nos interesa ahora ver la manera de implementar el Diagrama Grafcet en un PLC.
- Para ello a cada una de las etapas en las que se divide el Grafcet se le asocia una variable interna.
- La condición de transición es la encargada de activar la etapa siguiente(s) y desactivar la anterior(es); para ello se utilizan las instrucciones Set y Reset que poseen todos los autómatas programables.

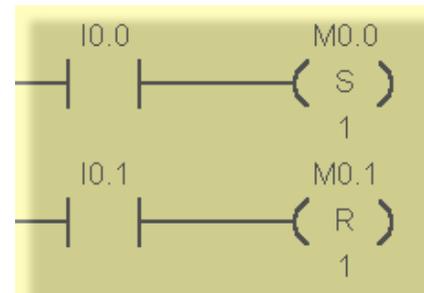
Grafcet

Implementación del Grafcet

- Recordemos: En el Siemens S7-200 las instrucciones SET y RESET son:



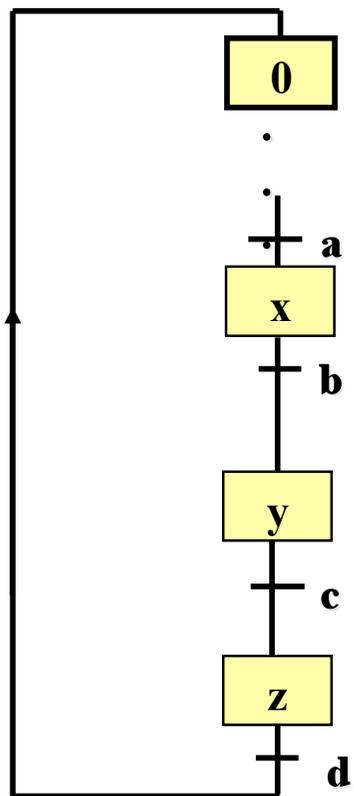
- Cuando se ejecutan las operaciones "Set" y "Reset", se activa (se pone a 1) o se desactiva (se pone a 0) un número N bits consecutivos a partir de la dirección especificada.
- Las instrucciones Set y Reset se utilizan para activar o desactivar las marcas internas (M0.0, M0.1,....., etc.).
- Típicamente asociaremos cada etapa a una marca:
 - Etapa 0: M0.0. Etapa 1: M0.1 ...
 - Cuando la etapa 0 esté activa, M0.0 valdrá 1... etc.



Grafcet

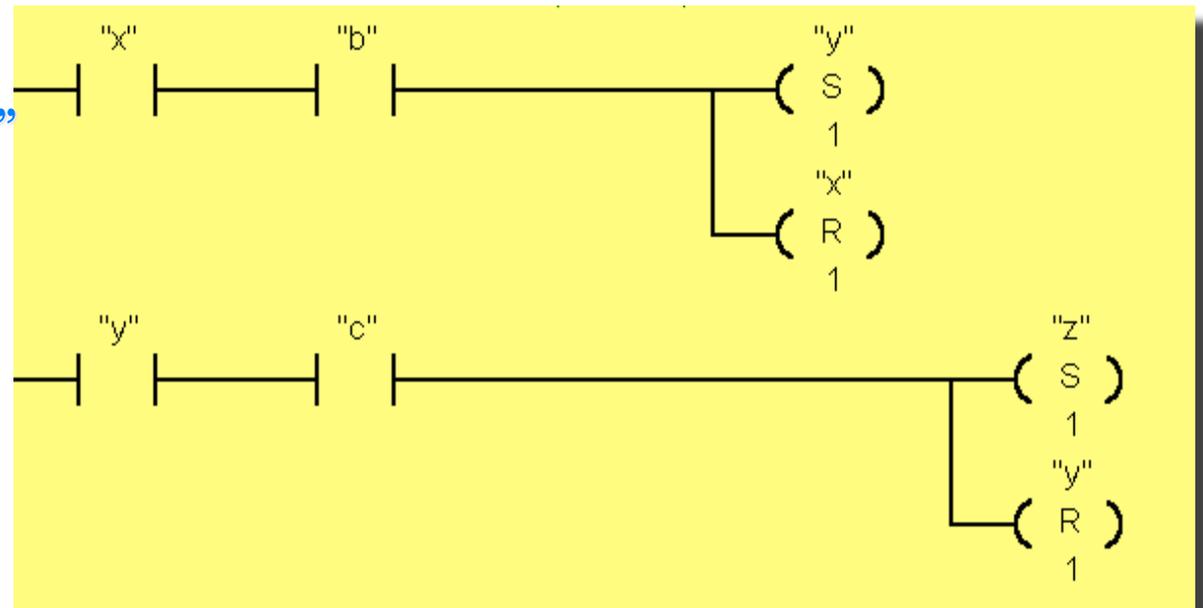
Implementación del Grafcet

- Implementación en KOP de transiciones sencillas:



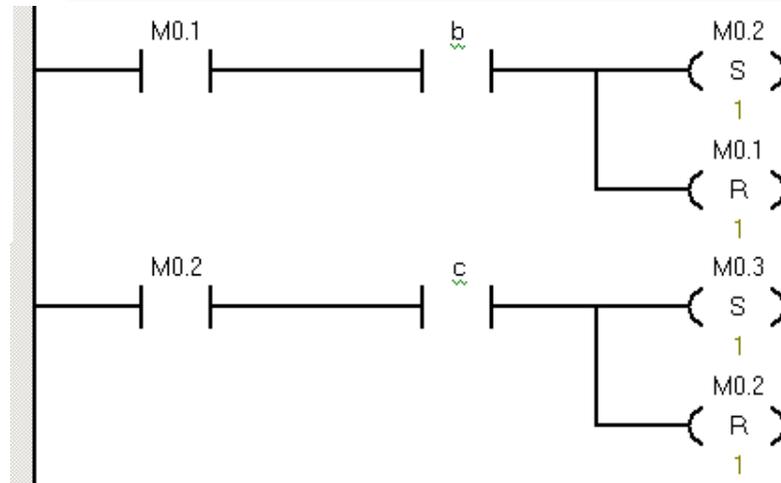
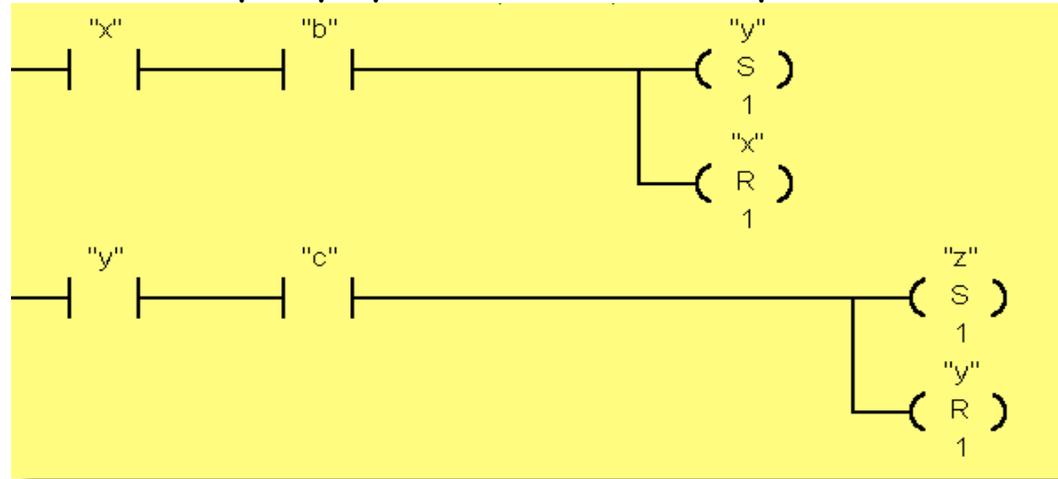
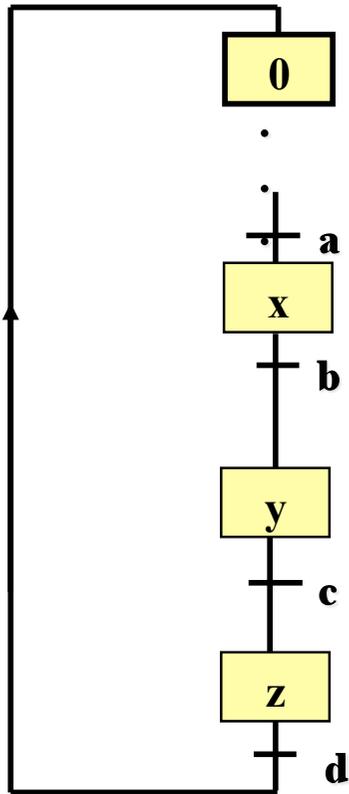
Activa la etapa "y" y desactivar la etapa "x"

Activa la etapa "z" y desactivar la etapa "y"



Símbolo	Dirección	Comentario
x	M0.1	Etapa x
y	M0.2	Etapa y

- Implementación en KOP de transiciones sencillas:
 - Que se puede leer:... si la etapa "x" está activada y se cumple la transición "b", entonces activar la etapa "y" y desactivar la etapa "x"

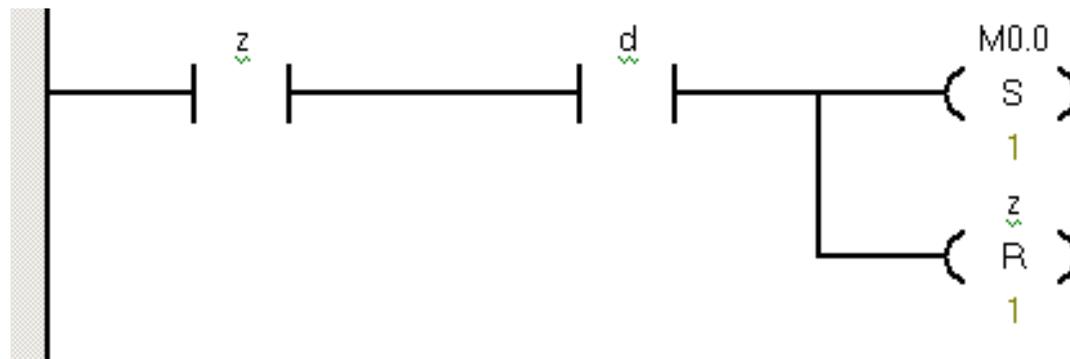


Símbolo	Dirección	
x	M0.1	Etapa x
y	M0.2	Etapa y

Grafcet

Implementación del Grafcet sobre A.P.I

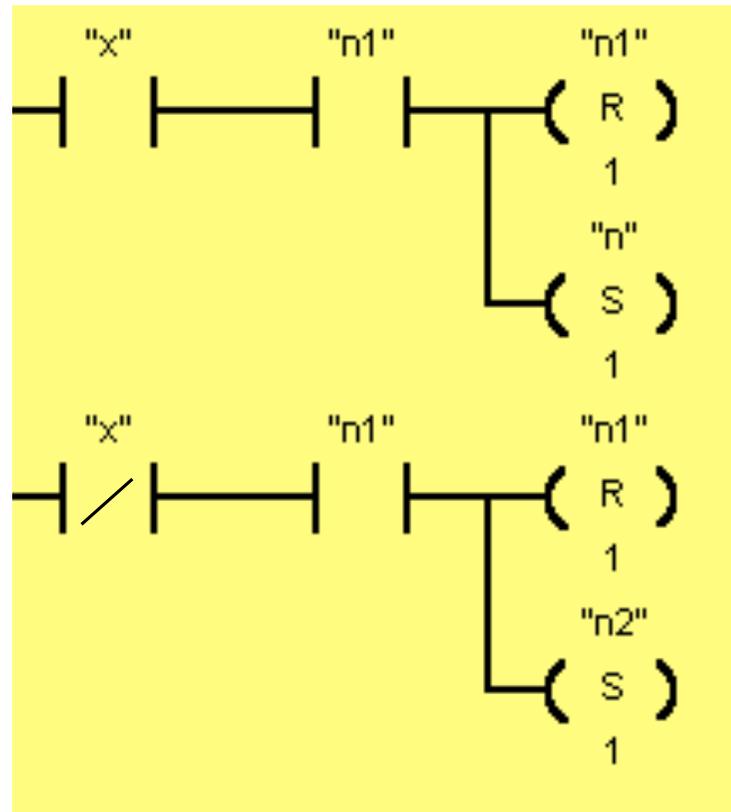
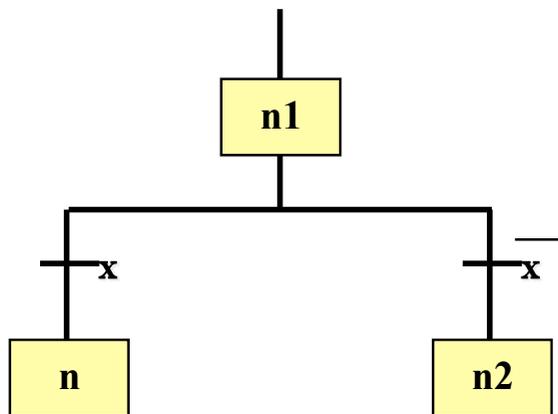
- Para activar la etapa inicial de nuevo: cuando se cumpla la última condición de transición se desactiva la última etapa activa y se active la etapa inicial.



Grafcet

Implementación del Grafcet sobre A.P.I

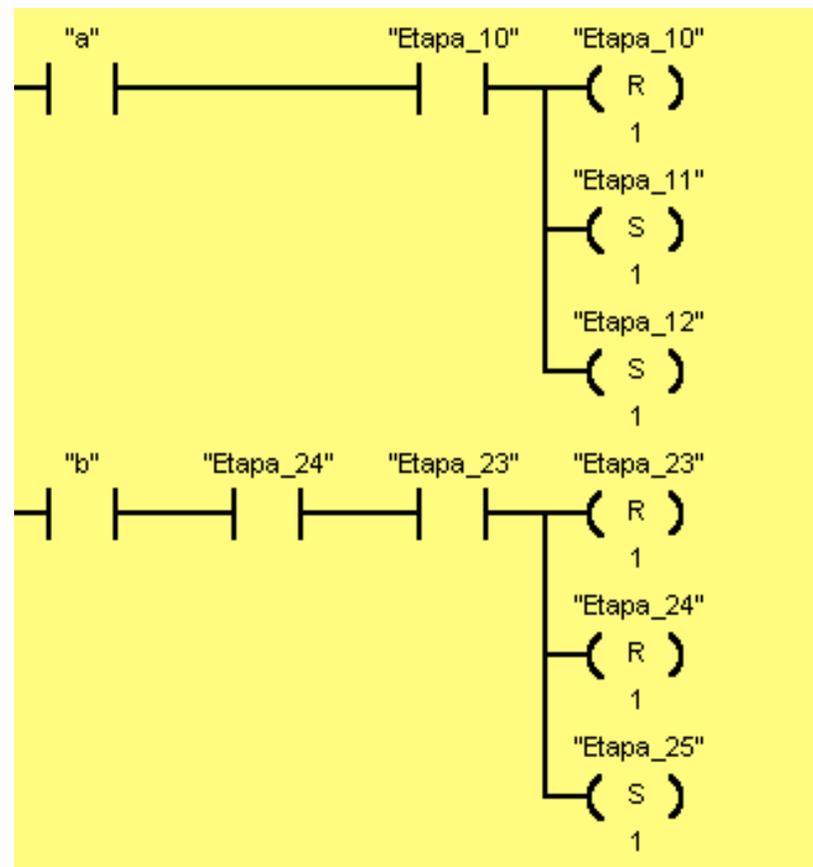
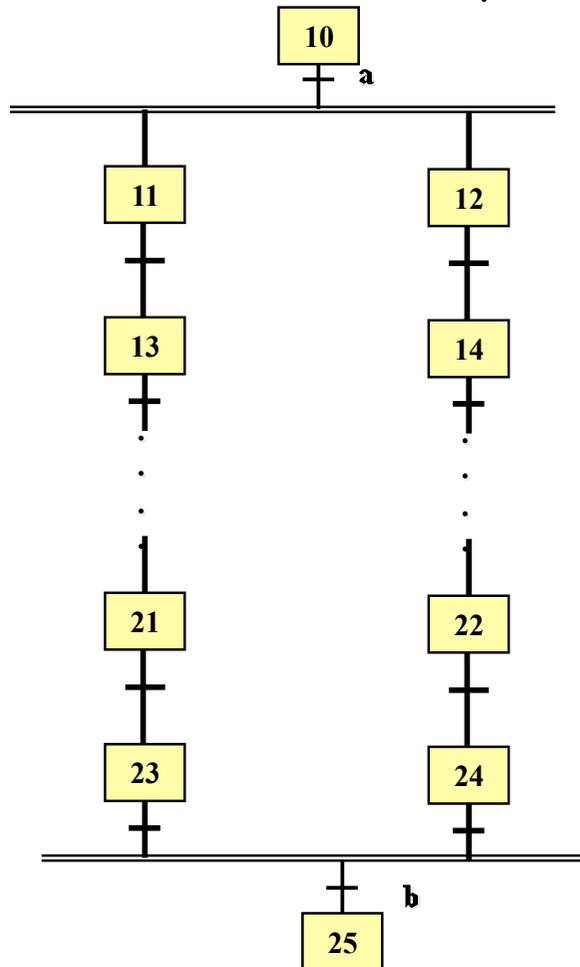
- Varios ejemplos de cómo codificar en lenguajes de contactos algunos casos que se pueden dar en diagramas Grafcet
 - Divergencia OR



Grafcet

Implementación del Grafcet

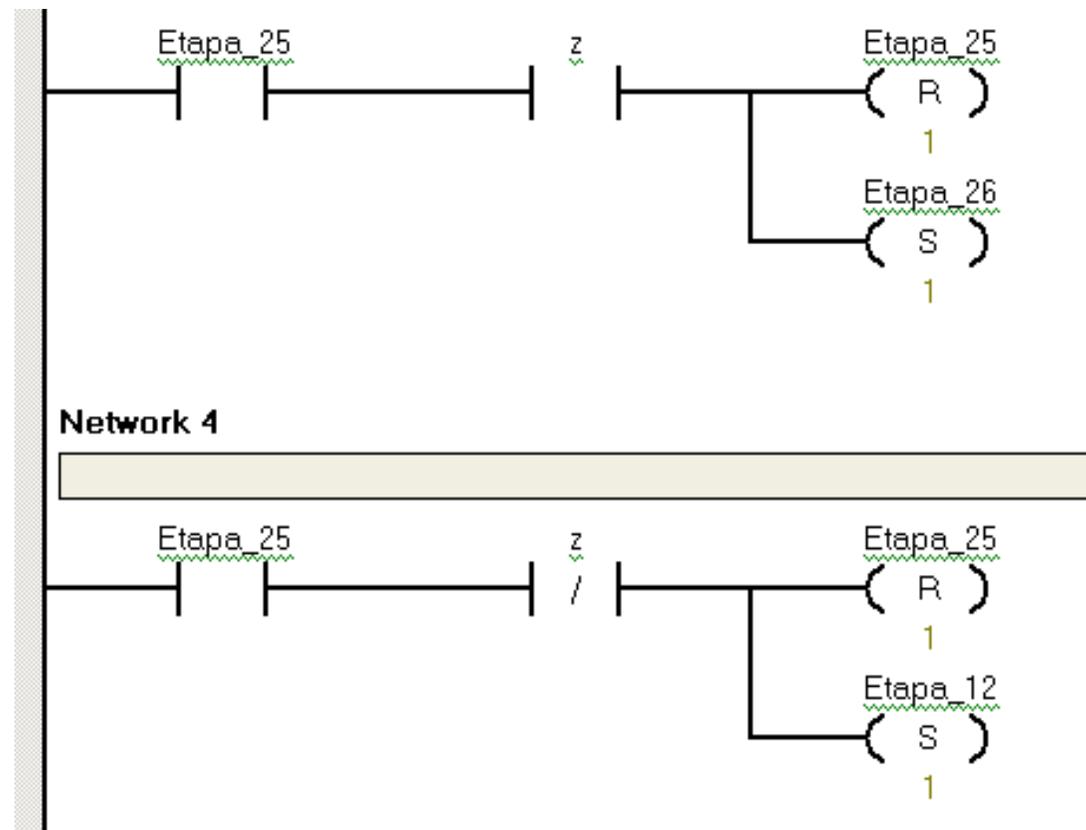
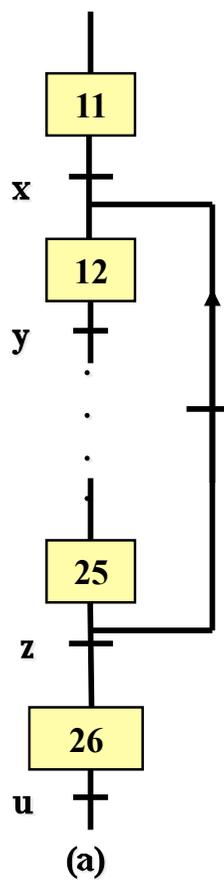
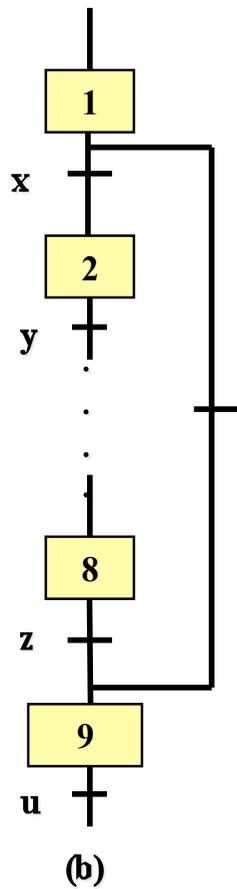
- caso de secuencias paralelas: divergencia y convergencia AND



Grafcet

Implementación del Grafcet sobre A.P.I

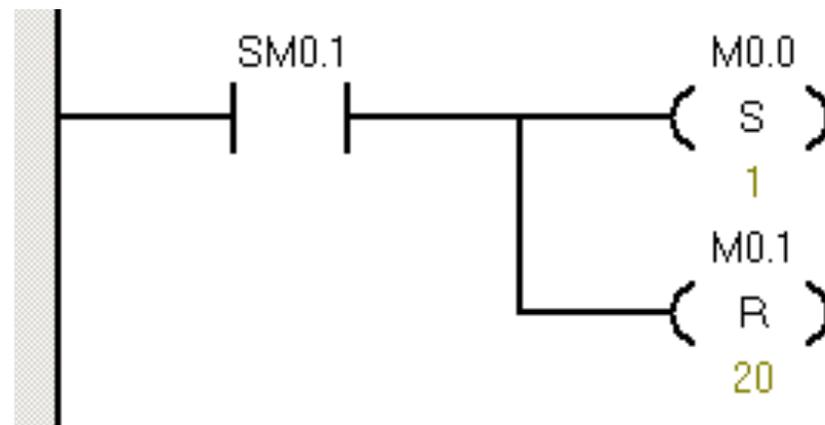
- Saltos condicionales a otras etapas



Grafcet

Implementación del Grafcet

- Es conveniente inicializar correctamente todas las marcas en el inicio del programa. Etapa_0=1, resto 0.
- En los autómatas, esto se puede realizar con el siguiente segmento:



Grafcet

Implementación del Grafcet sobre PLC

- Resumen: Método a seguir
 1. Realizar GRAFCET
 2. Traducir GRAFCET a lenguaje KOP
- Conseguimos realizar un programa de control de forma sistemática.
- En general, se evitan muchos errores de programación.
- Se facilita la documentación del programa.

Índice

- Grafcet
 - 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

Grafcet

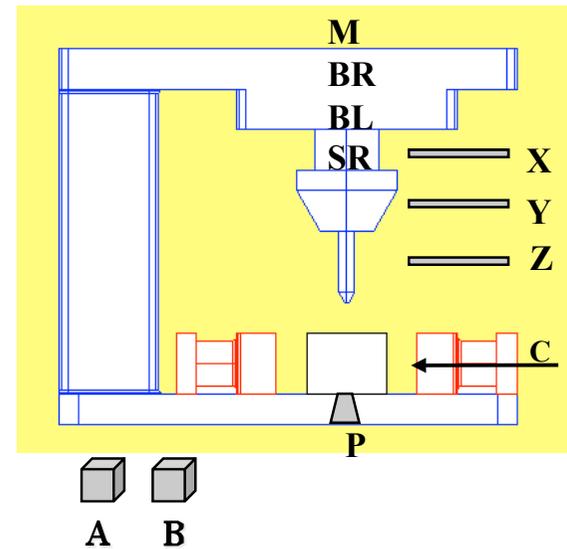
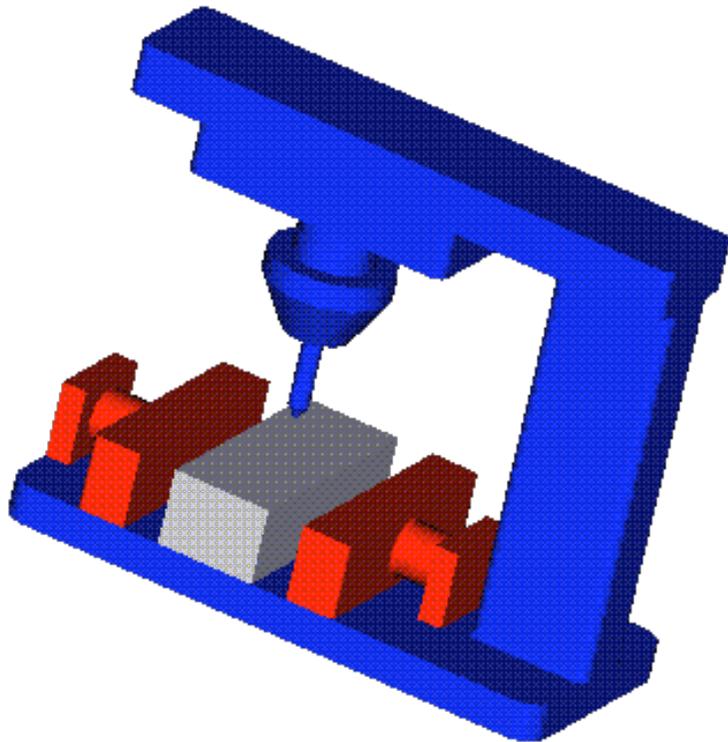
Niveles de Grafcet

- A la hora de representar mediante un grafcet el sistema de control es conveniente estructurarlo en 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

Grafcet

Niveles de Grafcet

- Ejemplo: Sistema de control de una máquina taladradora



Grafcet

Niveles de Grafcet

- Descripción del sistema:
 - existe un pulsador "B", de encendido del sistema. Una vez presionado, se acciona el motor (M) hasta que alcanza una velocidad de giro de régimen permanente.
 - Existe un botón A que inicia la operación de taladrado.
 - El taladro posee varias velocidades en el sentido longitudinal del eje,
 - bajada lenta del utensilio del taladro BL
 - bajada rápida BR y
 - subida rápida SR.
 - Existen detectores de presencia del husillo a diferentes alturas:
 - X
 - Y
 - Z
 - Existe un detector de presencia de pieza en la presa (detector inductivo P).
 - Existe un cilindro neumático que sujeta la pieza (accionado mediante C).

Grafcet

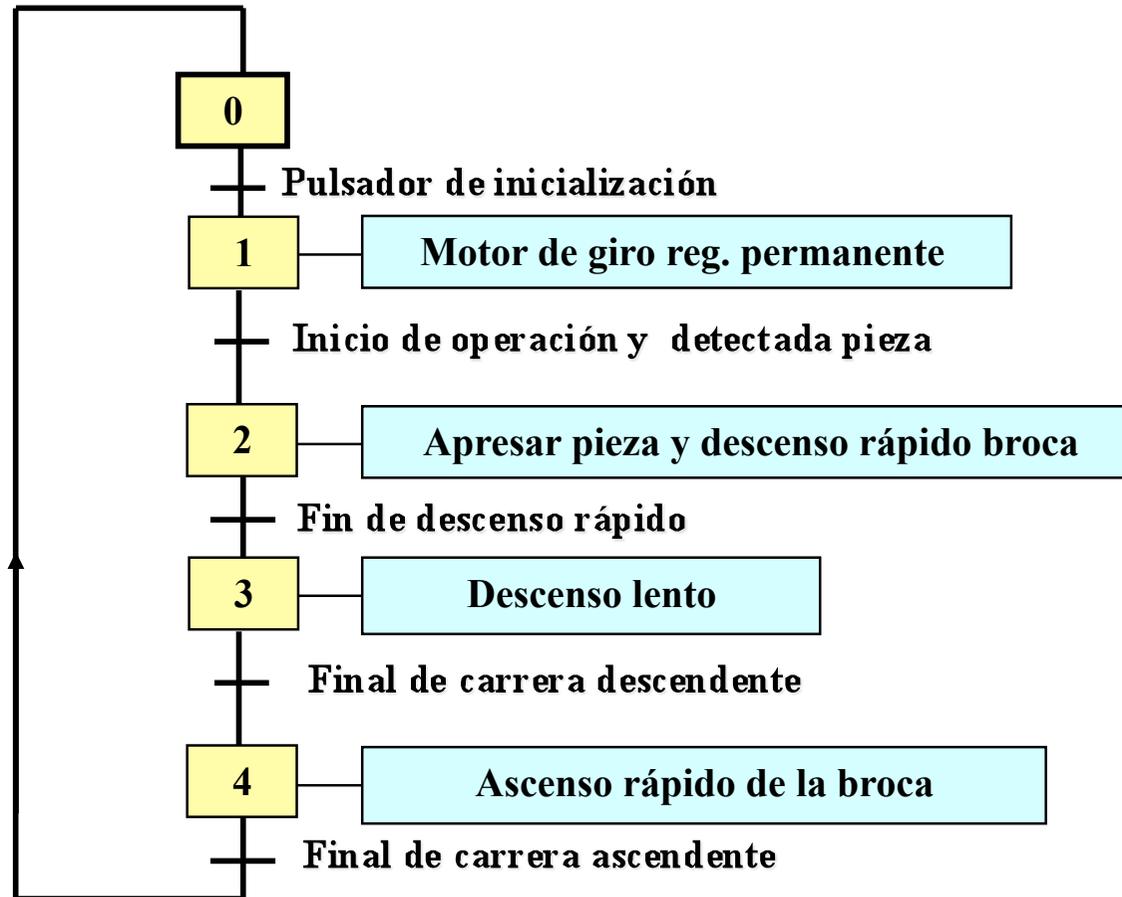
Niveles de Grafcet

- Funcionamiento de la taladradora:
 - 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"** y se libera la pieza.

Grafcet

Niveles de Grafcet

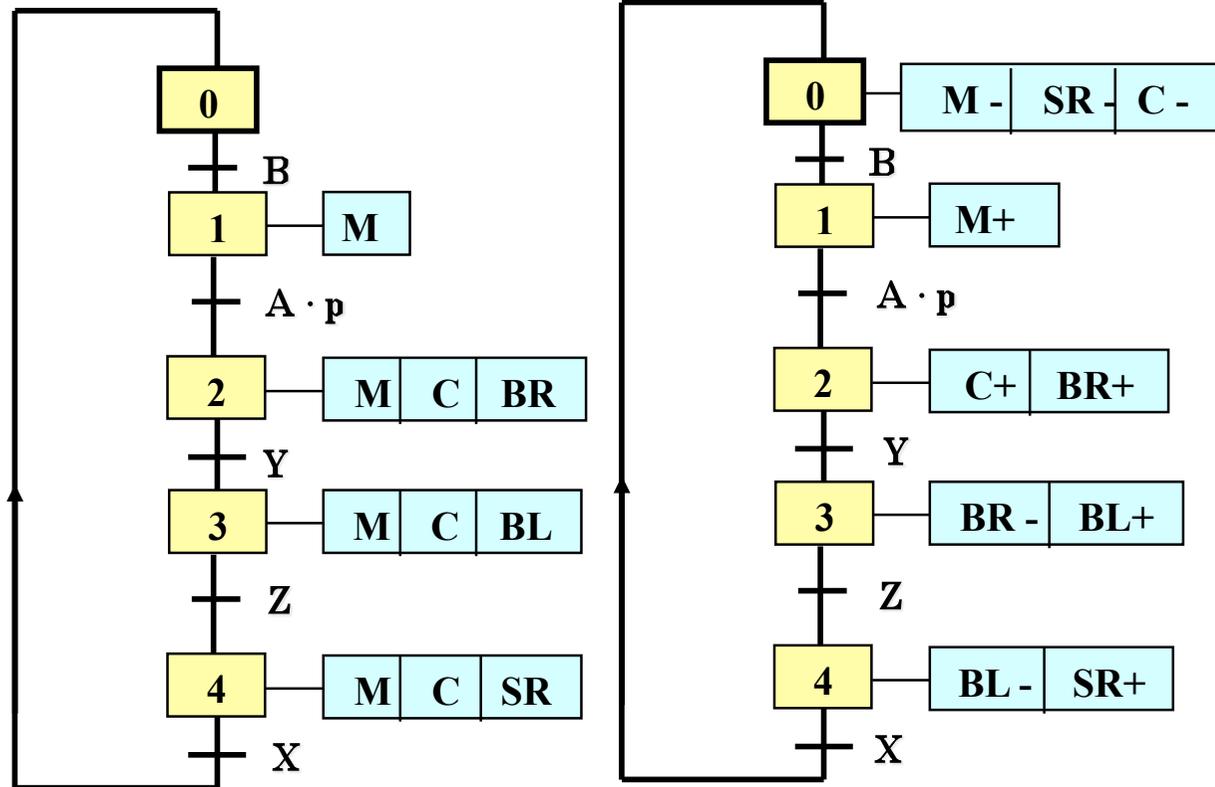
- Grafcet Nivel 1



Grafcet

Niveles de Grafcet

- Grafcet Nivel 2



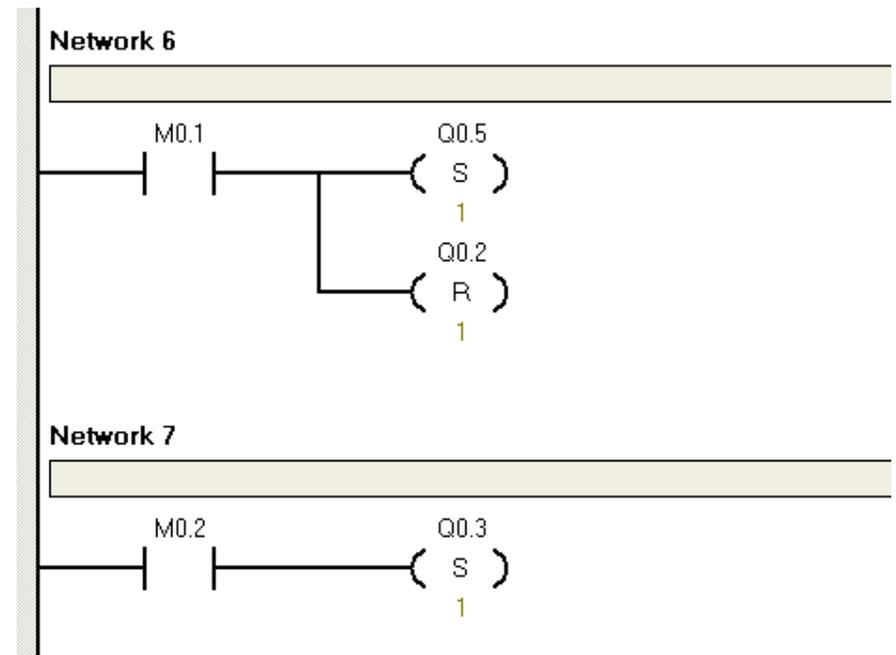
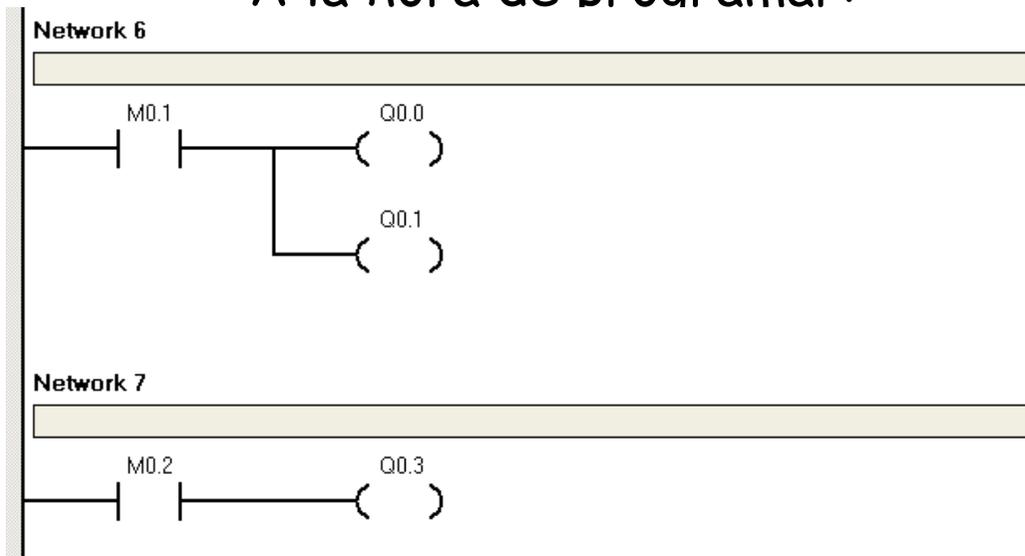
(a) Pr. monoestable

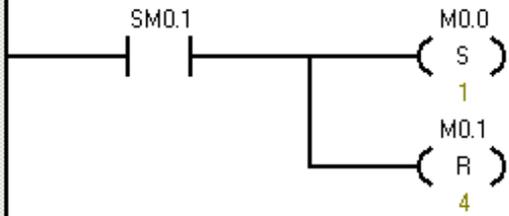
(b) Pr. biestable

Grafcet

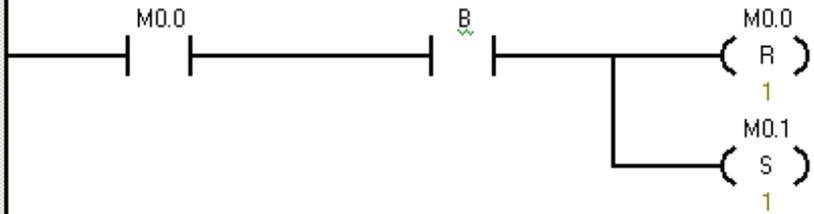
Niveles de Grafcet

- La representación es ligeramente diferente:
 - En el caso biestable, se representa la activación y desactivación de ciertas salidas. P.e. se puede realizar con funciones Set y Reset. Una etapa puede activar una salida, mientras que otra etapa diferente la desactiva.
 - En el caso monoestable, las salidas están directamente asociadas a las entradas.
- A la hora de programar:

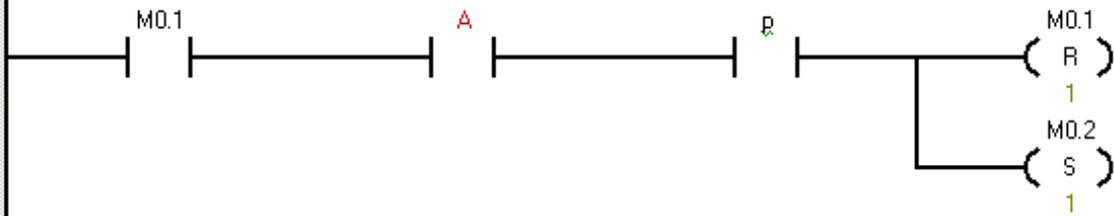




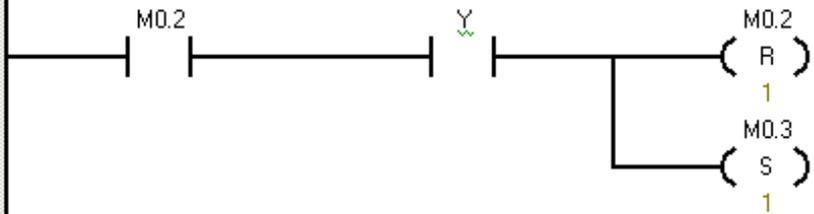
Network 2

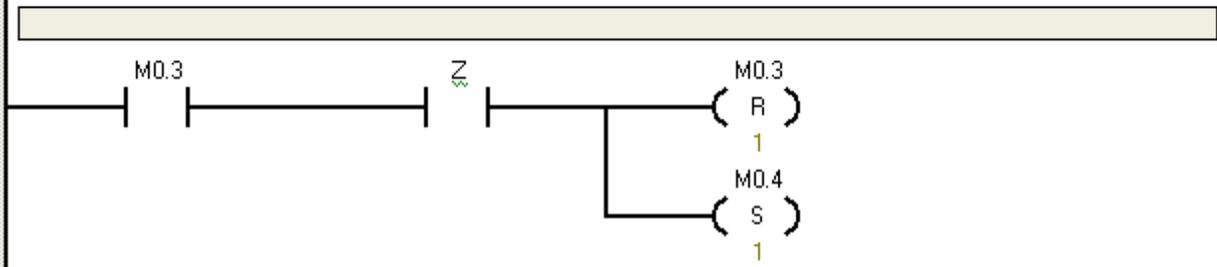


Network 3

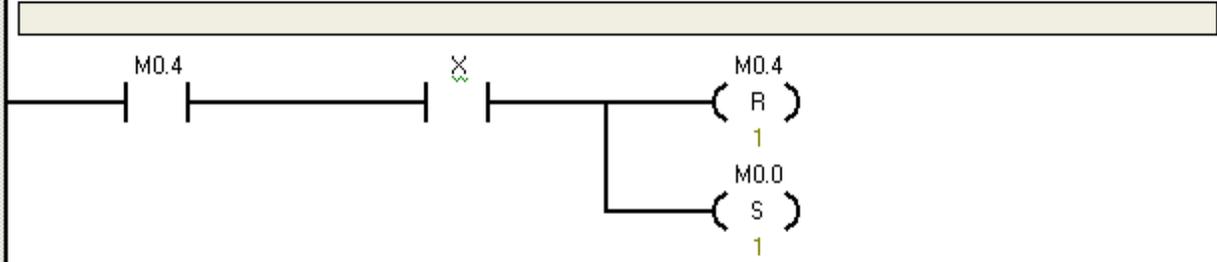


Network 4





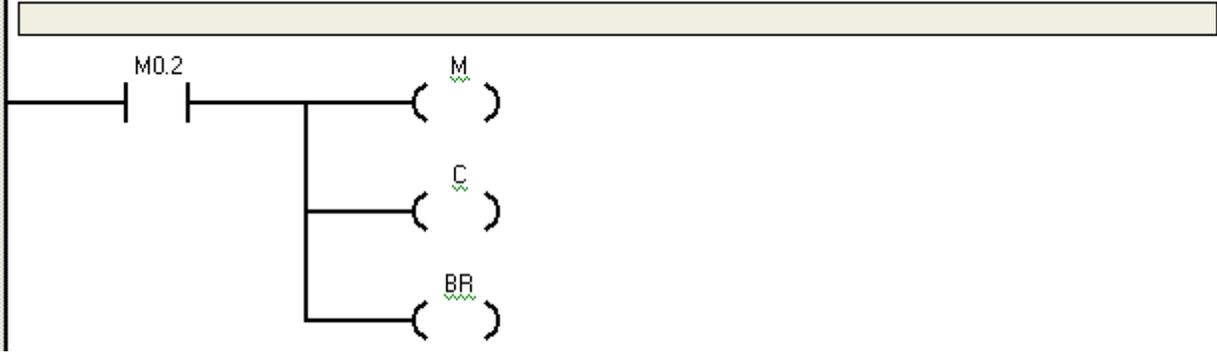
Network 6



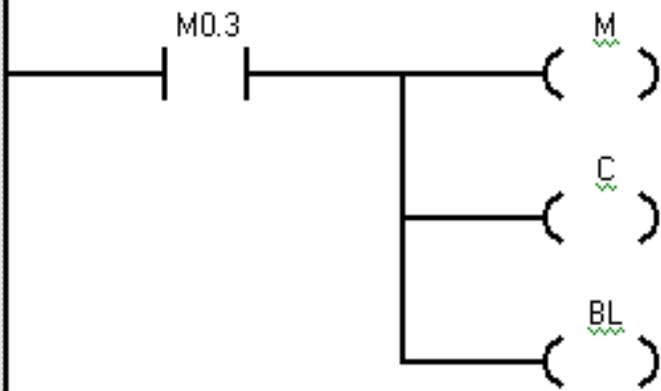
Network 7



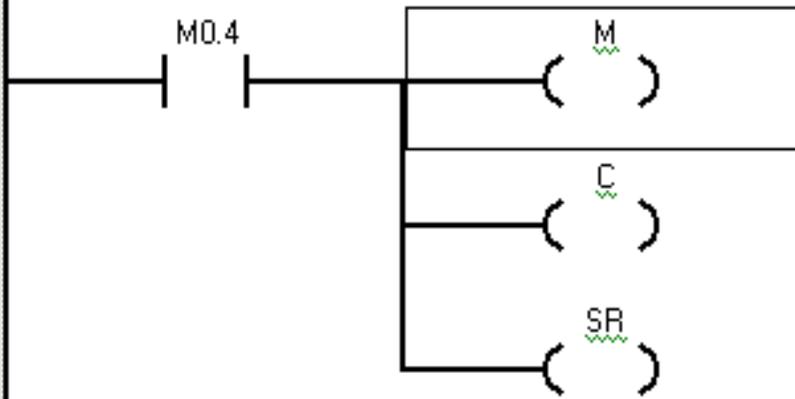
Network 8



Network 9



Network 10



Grafcet

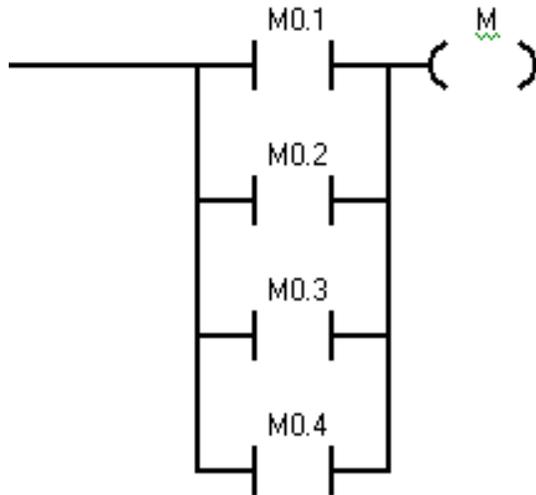
Niveles de Grafcet

- Versión monoestable...
- Los estados activos se asocian directamente con las salidas...
 - ¿Es correcto?

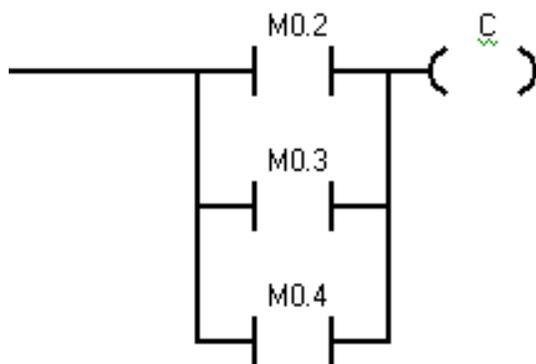
Confección

COMENTARIOS DEL PROGRAMA

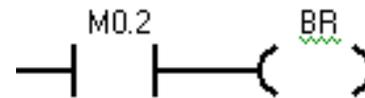
Network 1 MOTOR_TALADRO (SI ACTIVAS ETAPA 1, 2, 3 ó 4)



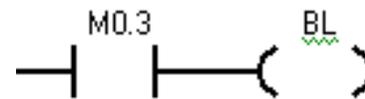
Network 2 PRESA (SI ACTIVAS ETAPAS 2, 3 ó 4)



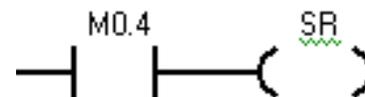
Network 3

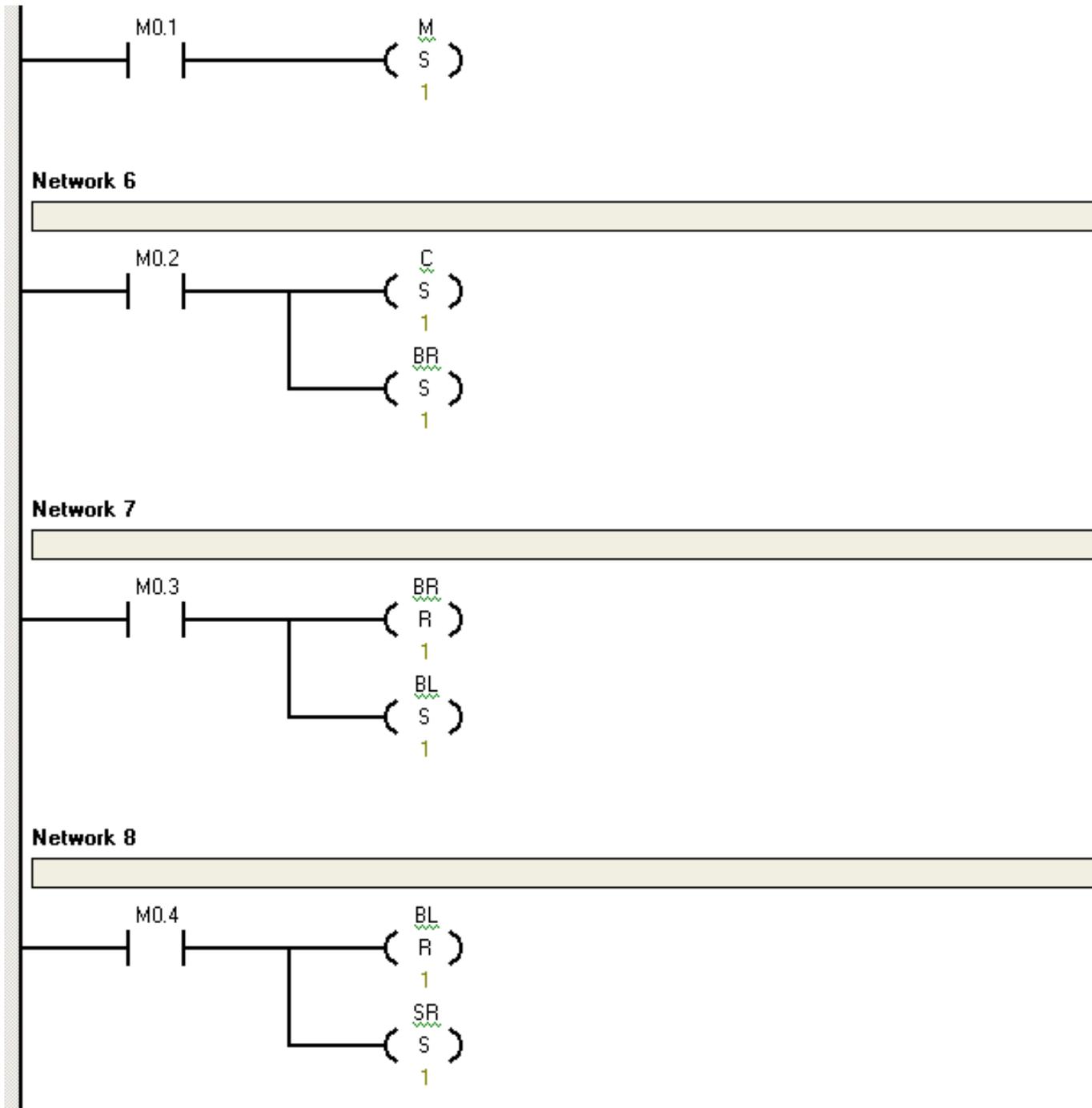


Network 4



Network 5





Índice

- Grafcet
 - 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**



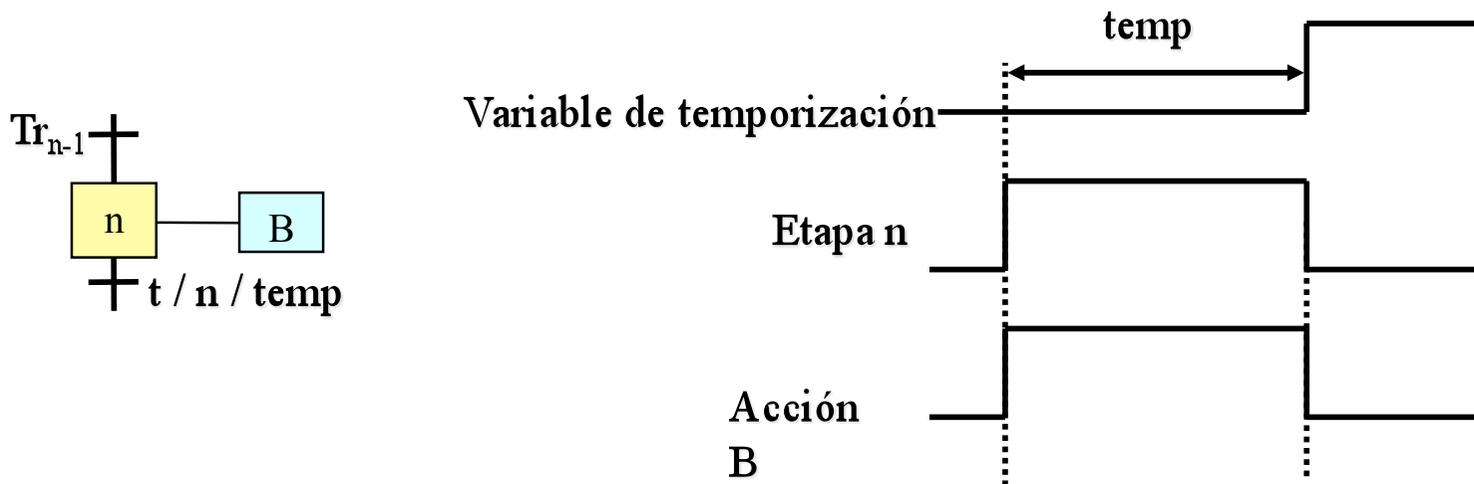
Representación de situaciones especiales en Grafcet

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



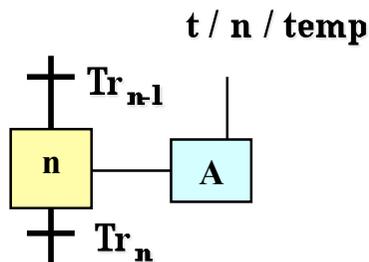
Representación de situaciones especiales en Grafcet

- **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.



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.

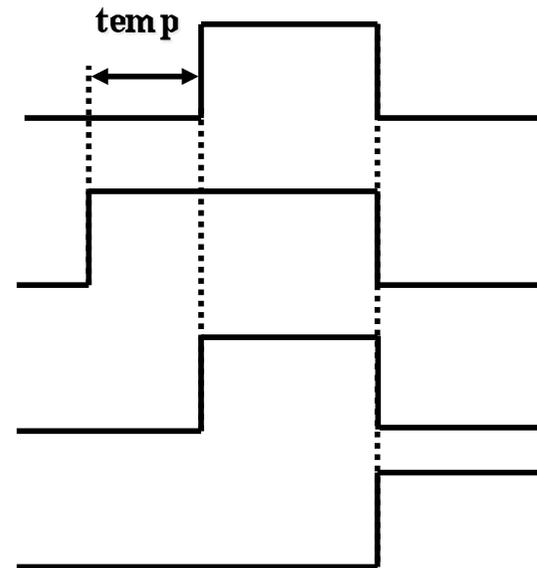


Variable de temporización

Etap a n

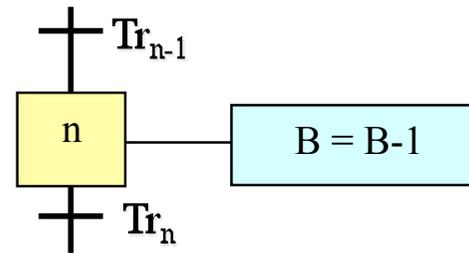
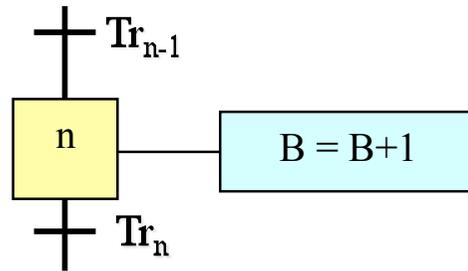
Acción A

Tr_n

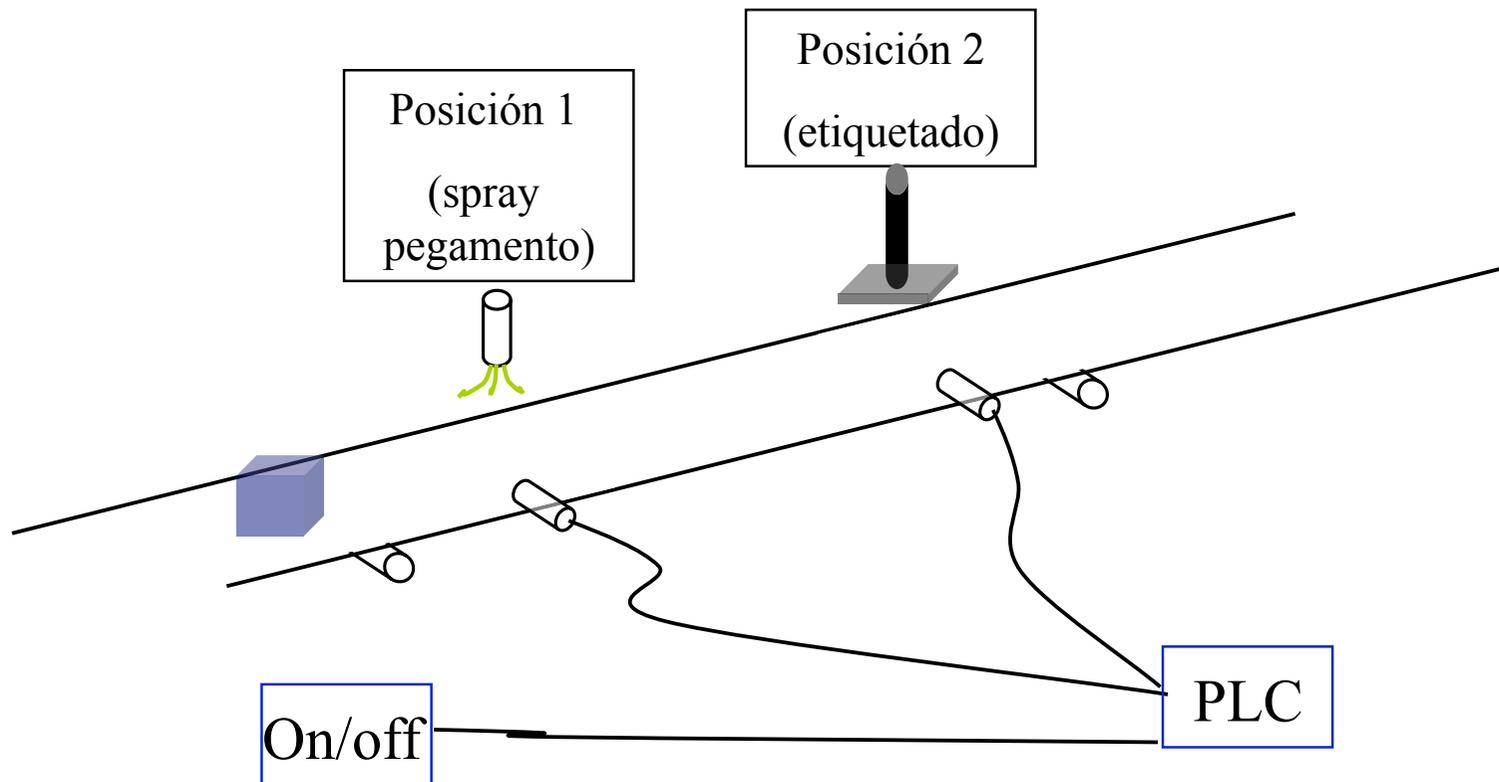


Representación de situaciones especiales en Grafcet

- Contadores



Ejercicio: Máquina de etiquetado

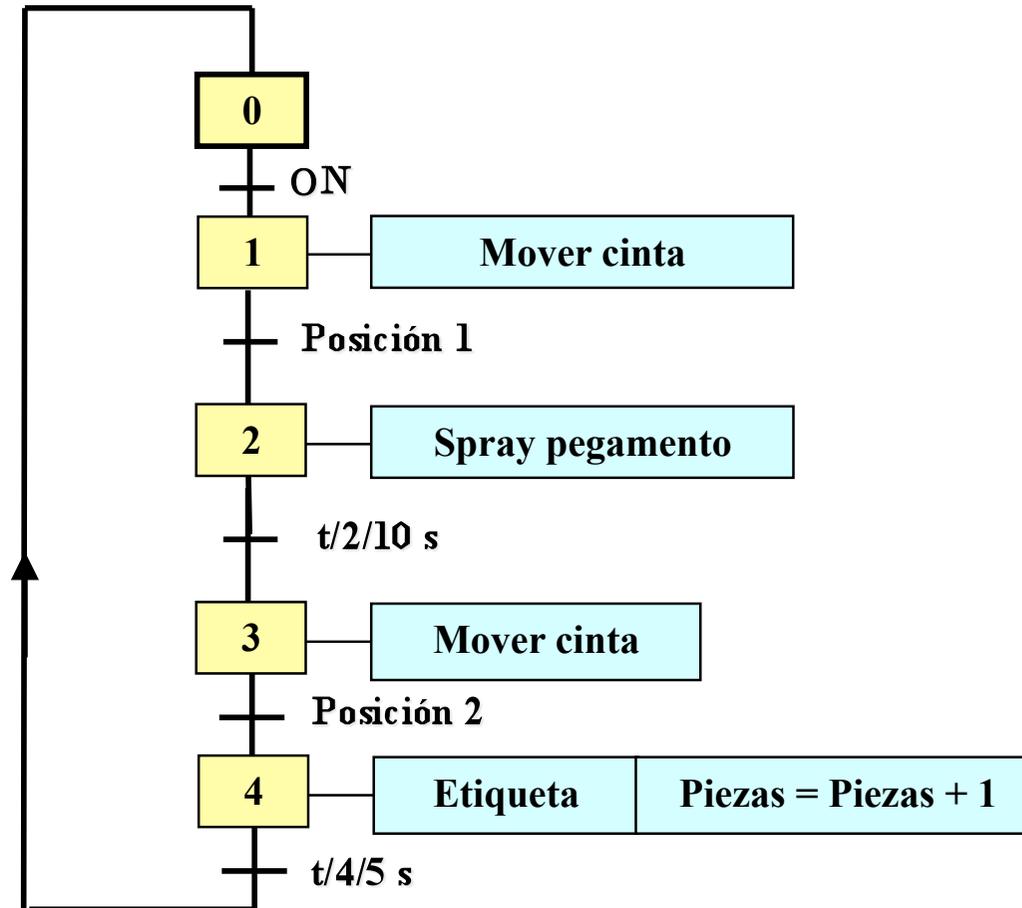


Ejercicio: Máquina de etiquetado

- Funcionamiento:
 - El botón on/off pone en marcha o para el sistema.
 - La cinta avanza hasta la posición 1.
 - Se esperan 10 segundos.
 - A continuación, la cinta avanza hasta la posición 2.
 - Se pega una etiqueta y se cuenta una pieza fabricada.
 - Se esperan cinco segundos (se mantiene la etiqueta presionada)
 - La cinta vuelve a avanzar hasta que la nueva pieza llegue a la posición 1.
 - Si On se encuentra activo, se continúa con el proceso.
 - Si Off, se termina la última pieza y se para

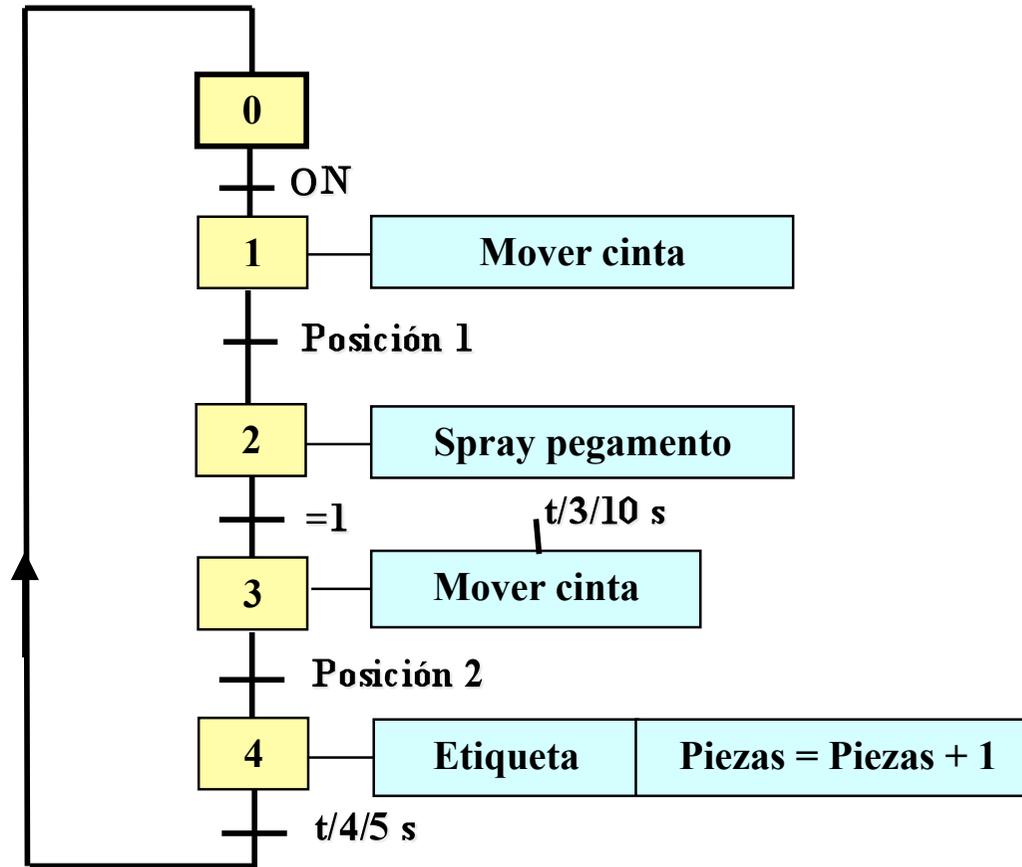
Grafcet Ejemplo

- Grafcet Nivel 1



Grafcet Ejemplo

- Grafcet Nivel 1

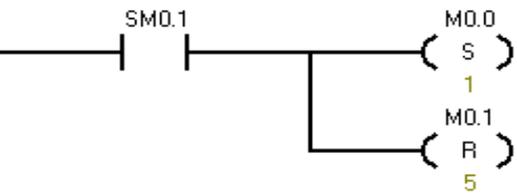


Grafcet Ejemplo

Símbolo	Dirección	Comentario
Cinta	Q0.0	Mover cinta
Spray	Q0.1	Activar spray pegamento
Etiqueta	Q0.2	Poner etiqueta
Pos_1	I0.1	Posición 1
Pos_2	I0.2	Posición 2
Piezas	C0	contador de piezas
Tiempo_1	T37	Temporizador 1
on_off	I0.3	Interruptor general
Tiempo_2	T38	Temporizador 2

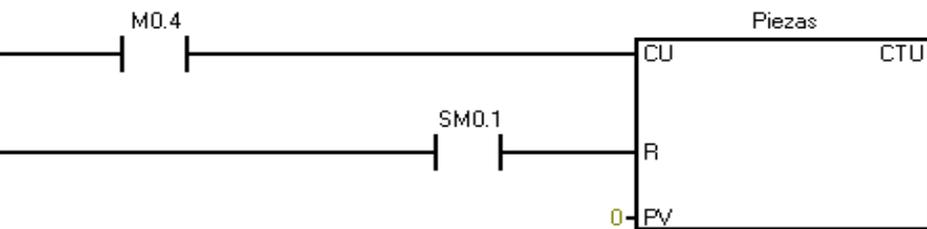
Network 1 Máquina etiquetadora

Inicialización de Marcas



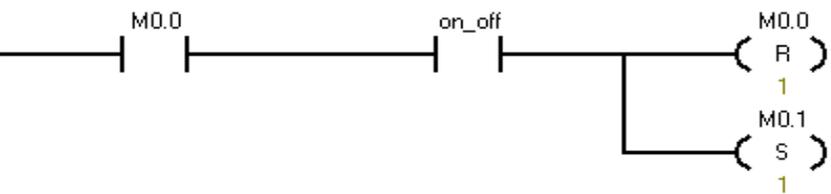
Network 2

Inicialización del contador. Contaje en la etapa 5



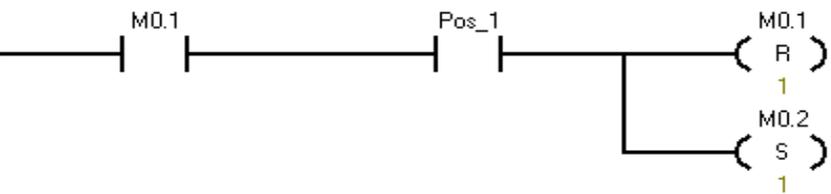
Network 3

ON



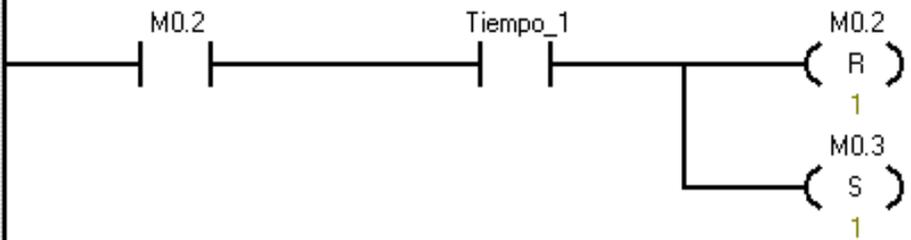
Network 4

Transión 1-> 2



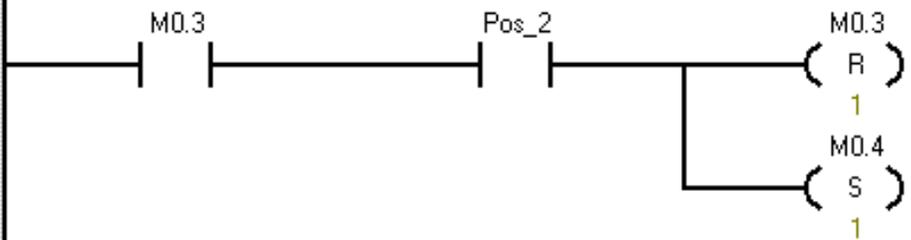
Network 5

Transición 2 ->3



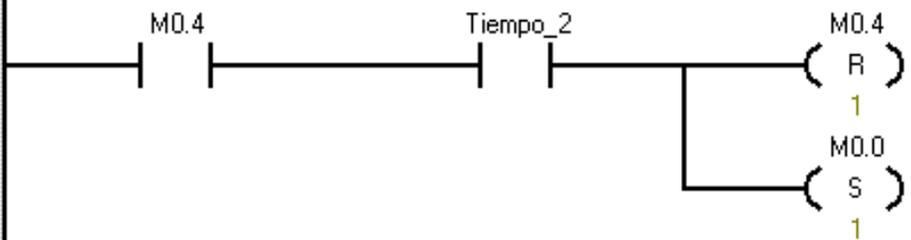
Network 6

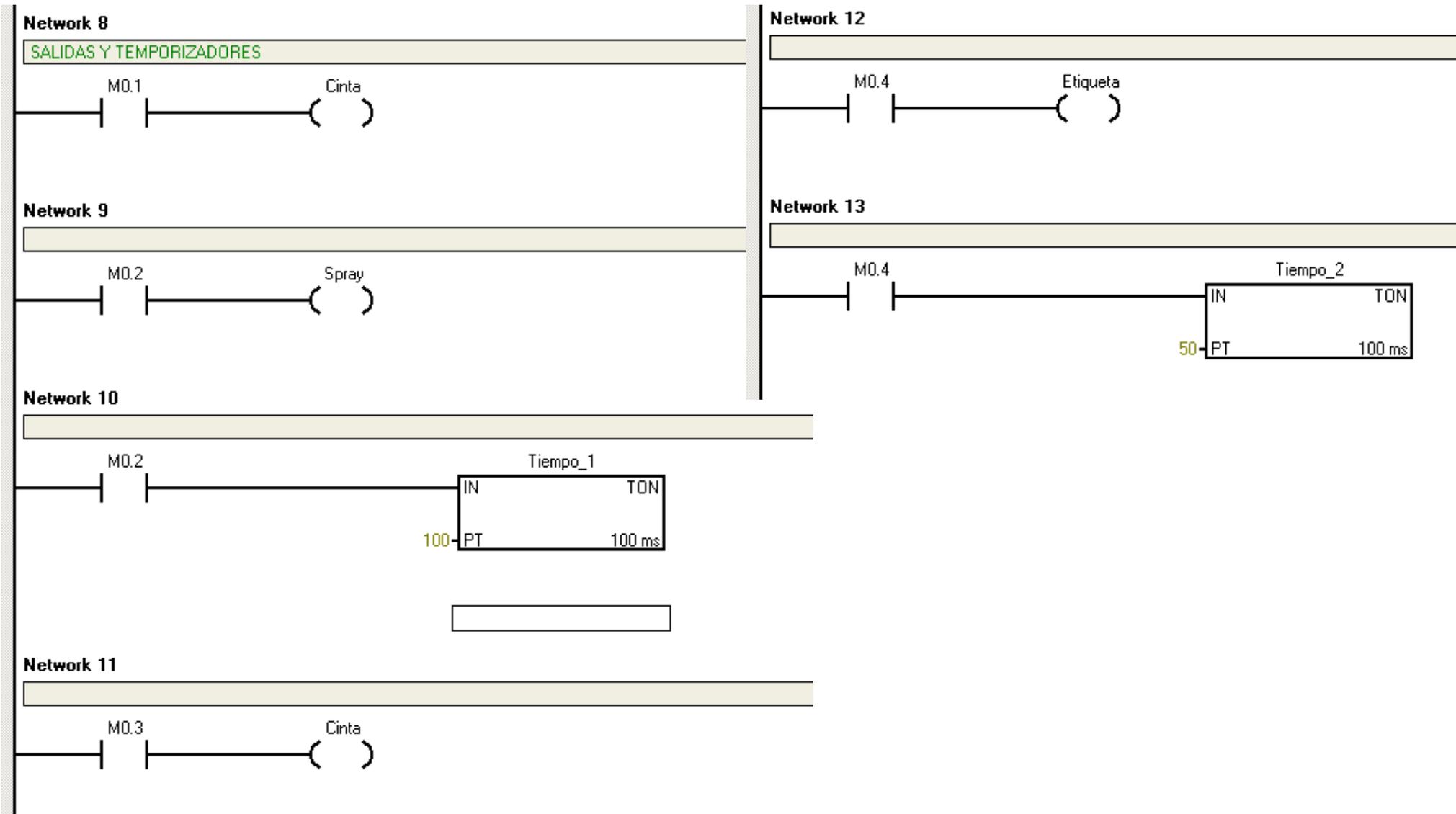
3->4



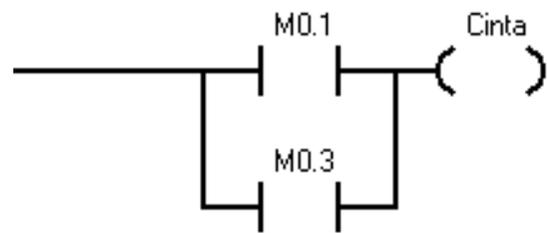
Network 7

4->1





Network 8



Network 9

