

Tema 4. Técnicas de programación de PLC: GRAFCET. Guía GEMMA

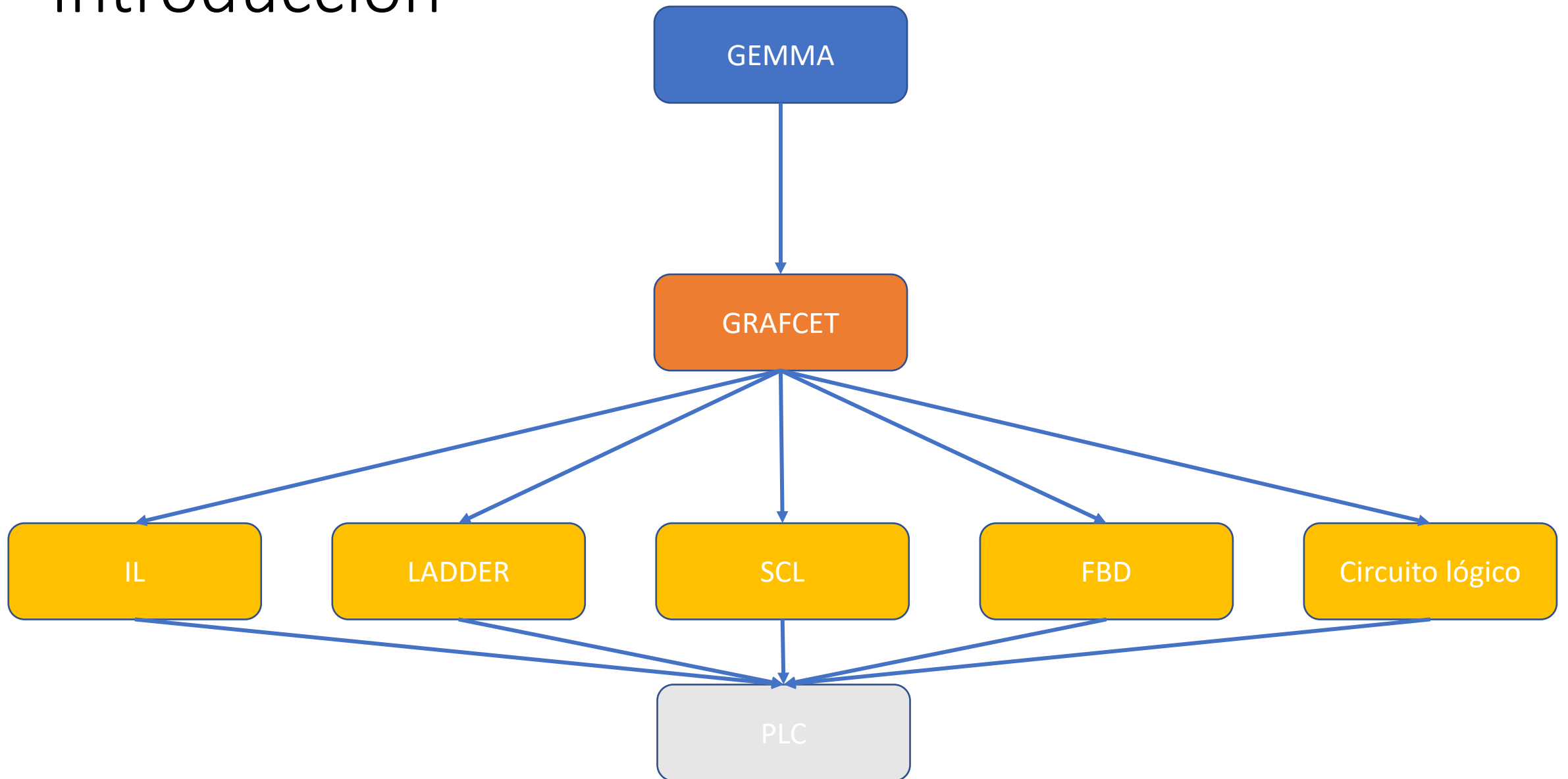
AUTOMATIZACIÓN. CURSO 2022-2023

Fernando R. Pardo Seco – fernando.pardo@usc.es

Introducción

- Diseño de automatismos:
 - Experiencia y conocimientos del programador
 - Técnicas y herramientas sistemáticas
- Métodos gráficos de representación de automatismos:
 - Diagrama de flujo
 - Función booleana
 - Esquema relés
 - Circuito lógico
 - Diagrama Ladder
 - Diagrama de Funciones
 - GRAFCET: Gráfico Funcional de Control de Etapas de Transición
 - GEMMA: Guía para el estudio de los modos de marcha y paro

Introducción



GRAFCET

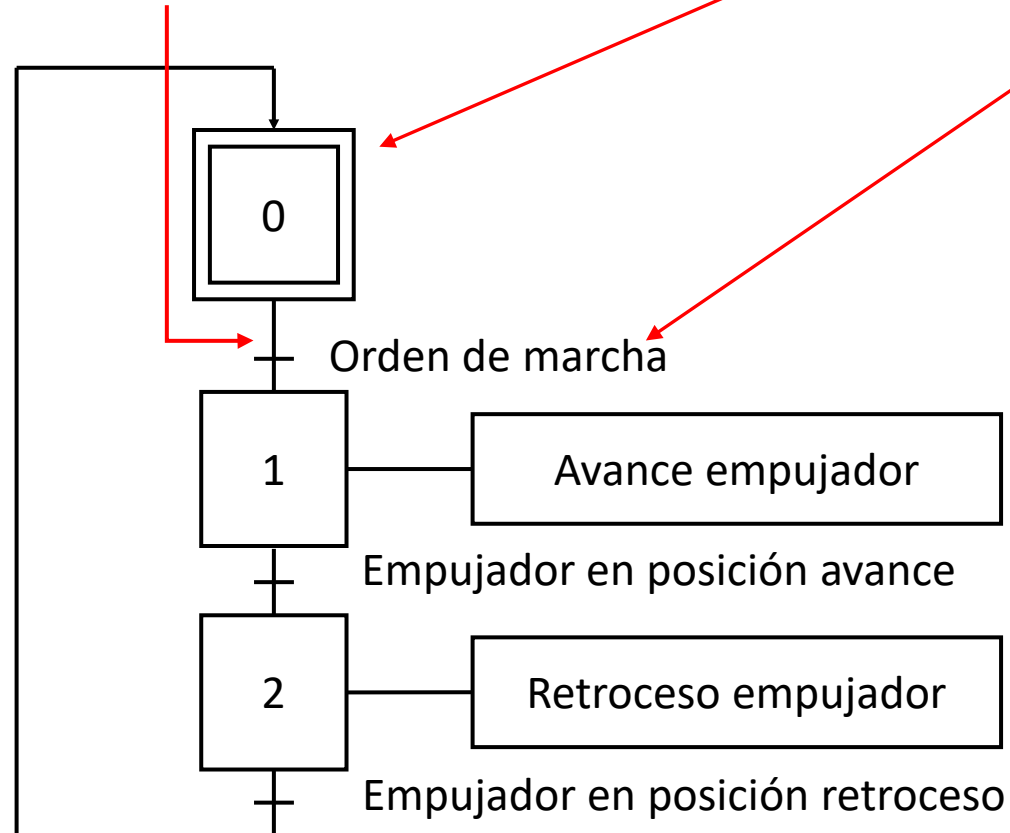
- GRAFCET: **G**ráfico **F**uncional de **C**ontrol de **E**tapas y **T**ransiciones es una herramienta de representación de automatismos que deban ejecutar una determinada secuencia.
- En general, todos los procesos de control implican la realización de una serie de tareas de forma secuencial o simultánea o una combinación de ambas.
- GRAFCET surge en Francia a mediados de los años 70, debido a la colaboración entre algunos fabricantes de autómatas, como Telemecanique y Aper, con dos organismos oficiales, AFCET (Asociación Francesa para la Cibernética, Economía y Técnica) y ADEPA (Agencia Nacional para el Desarrollo de la Producción Automatizada).
- Homologado en Francia (NFC), Alemania (DIN 40 719), y posteriormente por la Comisión Electrotécnica Internacional (norma IEC 848, AÑO 1988).
- GRAFCET es una herramienta muy útil y muy empleada a la hora de automatizar procesos secuenciales con autómatas programables.

GRAFCET

- El objetivo de GRAFCET es la descripción y definición funcional de sistema de control de forma global.
- Características:
 - Independiente de la tecnología
 - No hay ambigüedades
 - Permite detectar incoherencias
 - Análisis jerarquizado
 - Es fácil de leer
- Se establece de forma gráfica la secuencia de operaciones y las condiciones lógicas para pasar de una operación a otra.

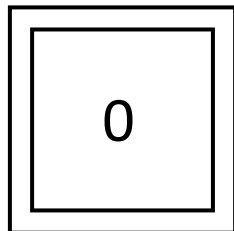
GRAFCET

- Un GRAFCET está formado por una sucesión de etapas y transiciones conectadas entre sí por arcos

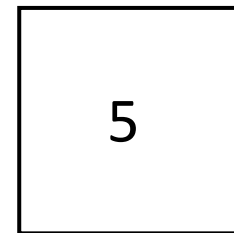


GRACET. Elementos

- **Etapas:** Las etapas representan estados estables del sistema de control y se representan con un cuadrado numerado que indica su posición y las **identifica** unívocamente en el diagrama. Una etapa puede llevar asociada una o varias acciones. Hay dos tipos de etapas:
 - **Etapa inicial:** Se inicia con la secuencia GRAFCET al entrar el PLC en modo RUN. Se representa con un cuadrado doble.
 - **Etapas intermedias:** Resto de etapas. Se representan con un cuadrado simple.



Etapa inicial



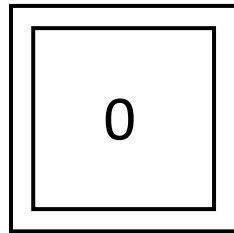
Etapa intermedia

GRACET. Elementos

REGLA GENERAL

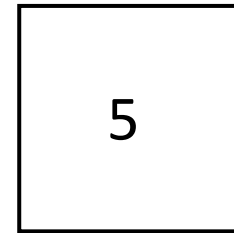
$X\langle N \rangle$ es la variable booleana que representa a la etapa que tiene como descriptor N

X0



Etapa inicial

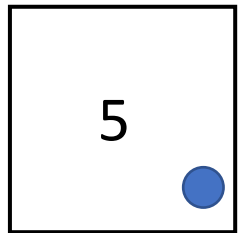
X5



Etapa intermedia

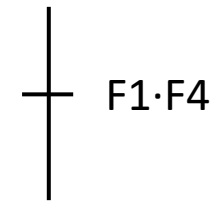
GRACET. Elementos

- Características de las etapas:
 - Todas las etapas tienen que estar numeradas (no necesariamente de forma correlativa). **No puede haber dos etapas con la misma numeración.**
 - Las etapas pueden estar activas o inactivas. Si se representa un GRAFCET en un instante de tiempo concreto se puede indicar que una etapa está activa incluyendo un punto.
 - Las etapas pueden llevar asociada o no una acción.
 - Se puede llegar a etapas activas desde distintos sitios.
 - Entre dos etapas debe existir una y sólo una condición de transición (todo lo complejo que sea necesario)



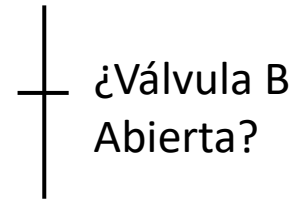
GRACET. Elementos

- **Transiciones:** Las transiciones están asociadas a una condición lógica que se debe cumplir para finalizar una etapa y comenzar la siguiente. Estas condiciones lógicas se obtienen por combinación de variables que se denominan **receptividades**. La condición de transición puede ser una ecuación booleana o comparación. Usualmente reflejan la acción o acciones de la etapa anterior que se han ejecutado de forma correcta.



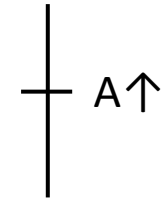
F1·F4

Condición
Booleana



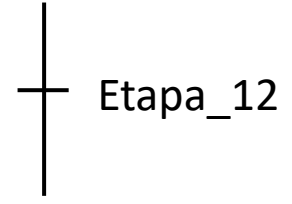
¿Válvula B
Abierta?

Lenguaje natural
condición
booleana



A↑

Condición
flanco



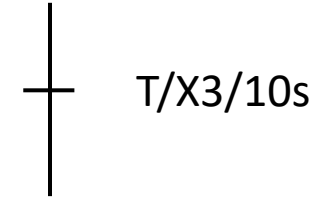
Etapla_12

Condición etapa
activa



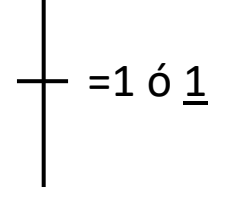
Contador=12

Condición de
comparación



T/X3/10s

Condición tiempo (se
cumple cuando
temporizador en etapa 3
llega a 10 s)

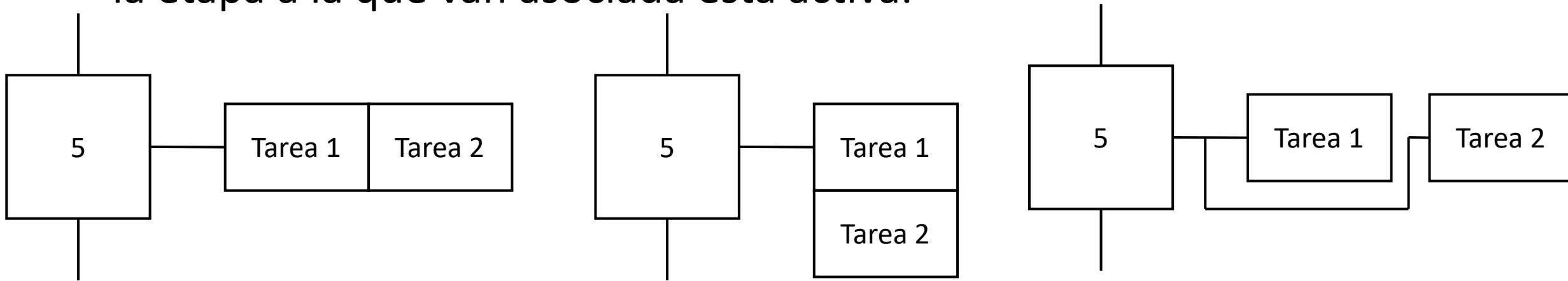


=1 ó 1

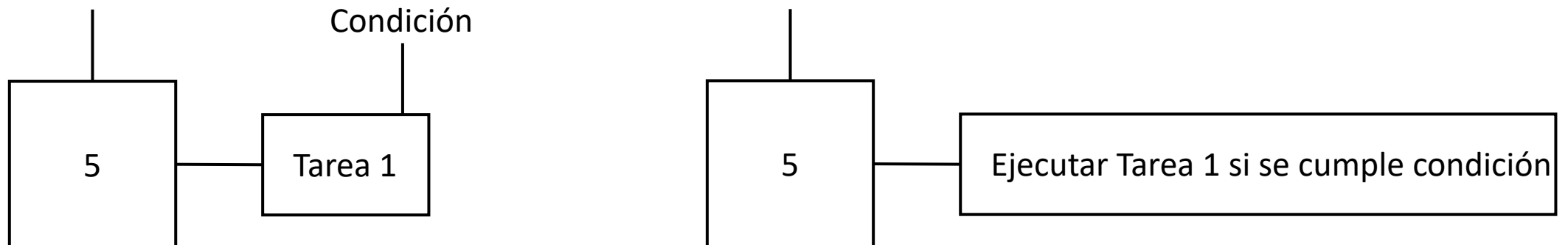
Siempre se
cumple condición

GRACET. Elementos

- **Acción asociada:** Las acciones son aquello que debe hacerse cada vez que la etapa a la que van asociada está activa.

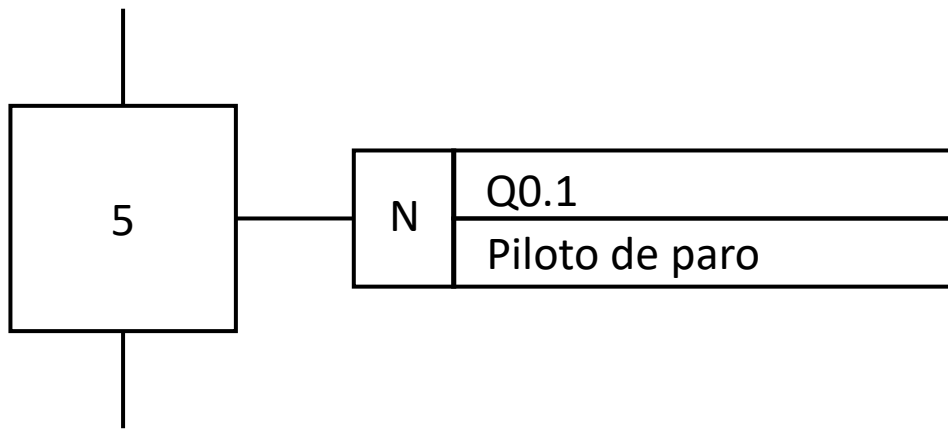


- Podemos tener acciones condicionadas al cumplimiento de una condición

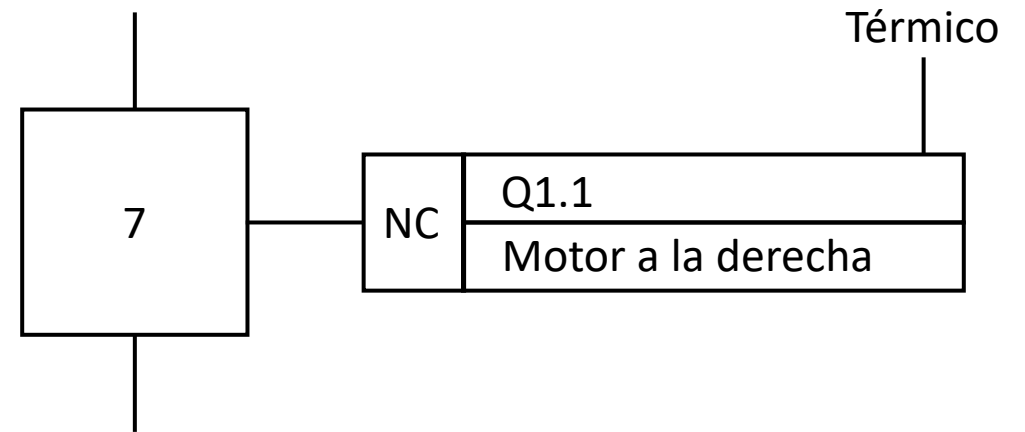


GRACET. Elementos

- Podemos tener acciones asociadas simples (N) o condicionadas (NC).



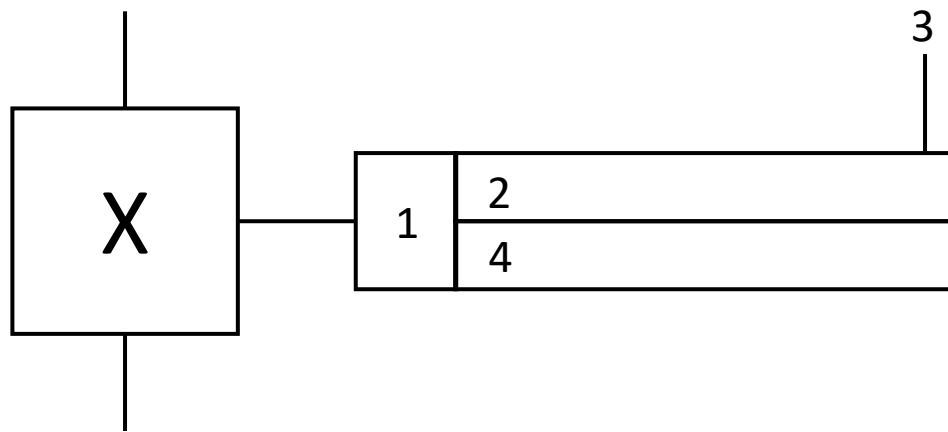
Acción simple: La acción se realiza en el momento en que esté activa la etapa



Acción condicionada: La acción se realiza en el momento en que esté activa la etapa y además se cumple la condición

GRACET. Elementos

- **Acción asociada:** Símbolo normalizado IEC 61131-3:



1: Calificador: Indica la relación entre la etapa y la acción

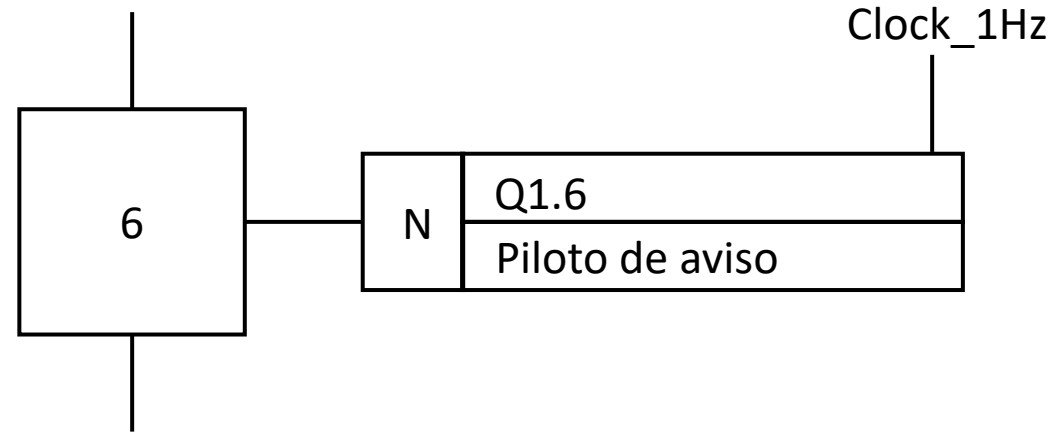
2: Campo de comportamiento de acción
(obligatorio)

3: Campo indicador (booleano): Condición a cumplir para ejecutar acción.

4: Describir acciones

GRACET. Elementos

- **Acción asociada:** Ejemplo

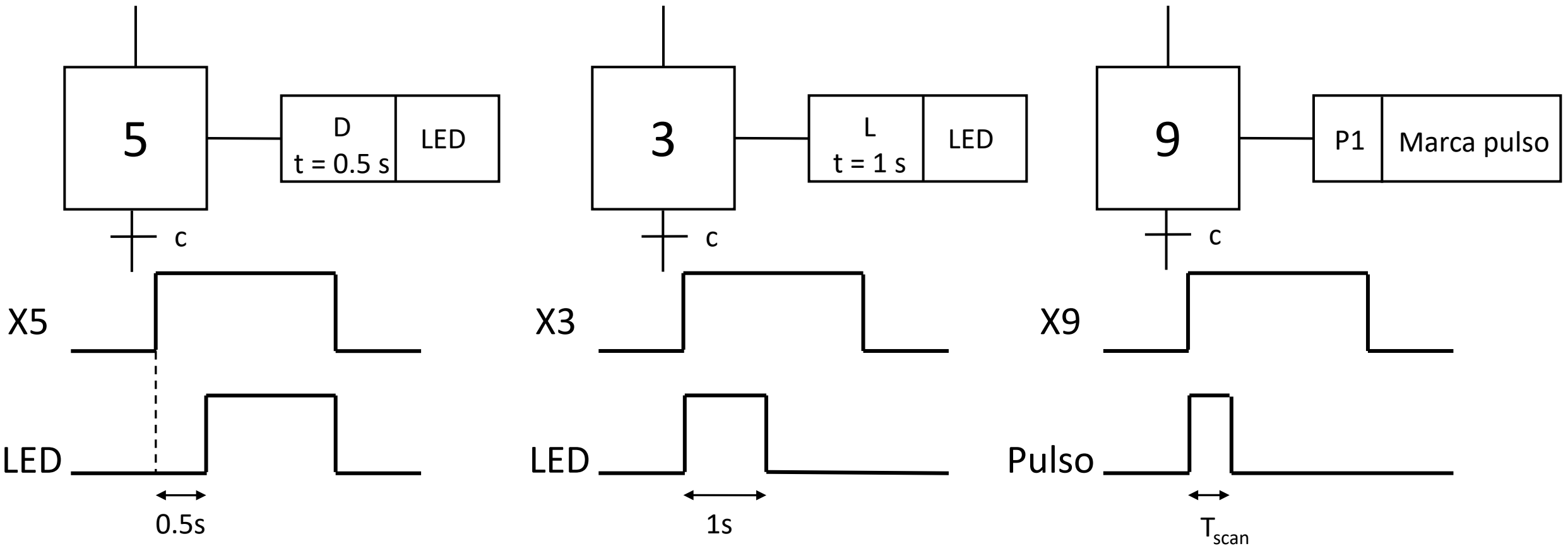


El piloto de aviso que está conectado a la salida Q1.6, se pone en funcionamiento cuando la etapa 6 está activa y si se cumple la condición Clock_1Hz (bit impulsos 1 Hz).

GRACET. Elementos

Símbolo calificador	Descripción
Ninguno	Acción continua mientras la etapa esté activa
N	Acción continua mientras la etapa esté activa
R	Desenclavamiento (Reset) de la acción a realizar en la etapa
S	Enclavamiento (Set) de la acción a realizar en la etapa
L	Acción limitada en el tiempo (Layed) tras activación de la etapa
D	Acción retardada en el tiempo (Delayed) tras activación de la etapa
P	Acción en funcionamiento durante el flanco de activación de la etapa
SD	Acción memorizada (Set) y retardada (Delayed) en el tiempo tras activación de la etapa
DS	Acción retardada en el tiempo y memorizada tras activación de etapa
SL	Acción memorizada y limitada en el tiempo tras activación de etapa
P1	Acción en funcionamiento durante el flanco de activación de la etapa
P0	Acción en funcionamiento durante el flanco de desactivación de la etapa

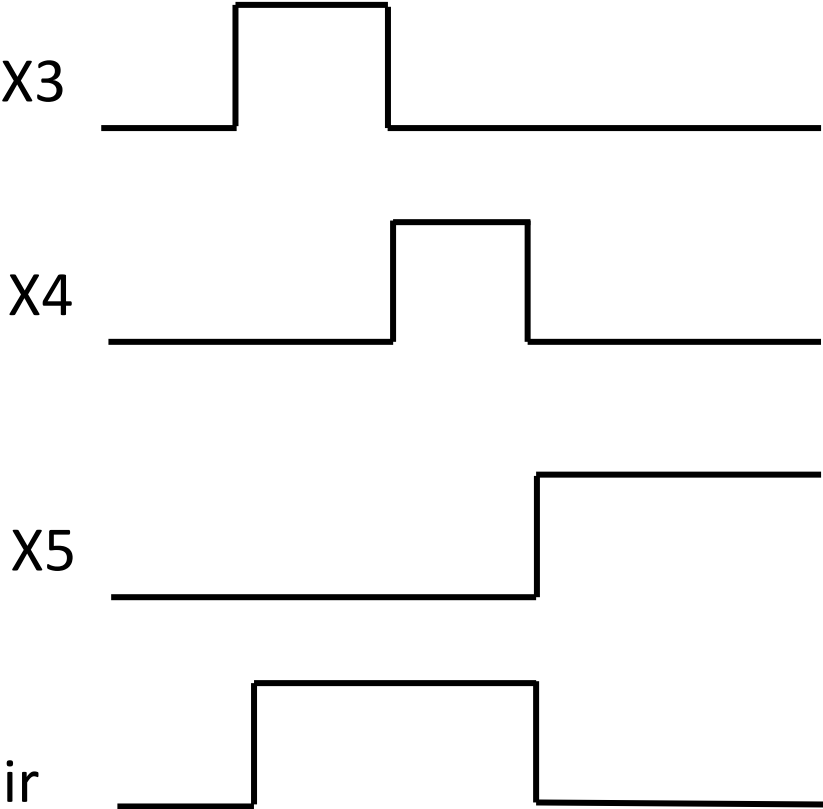
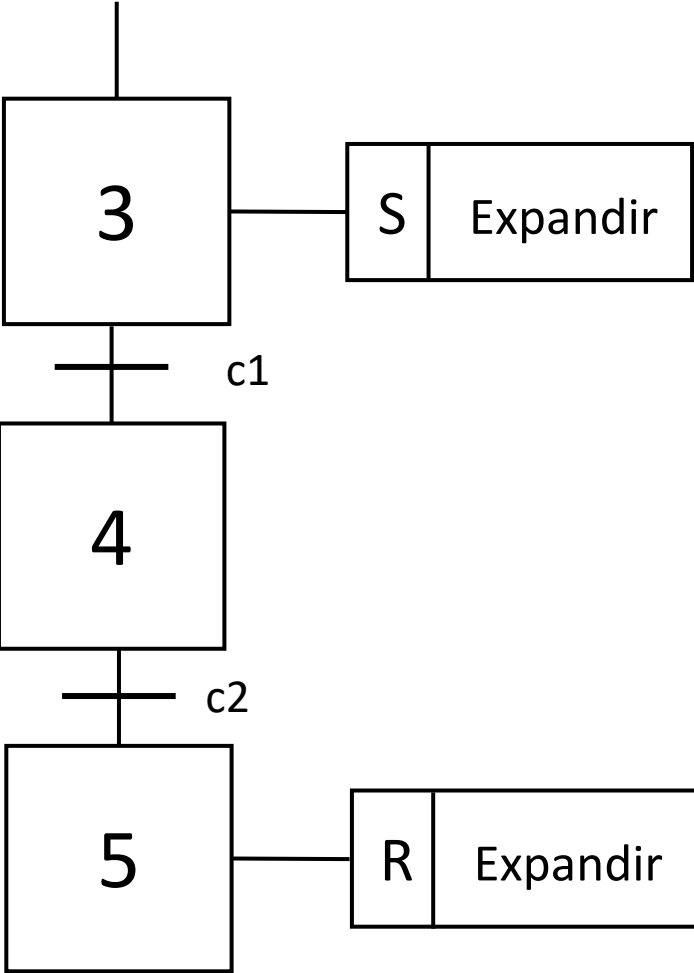
GRACET. Elementos



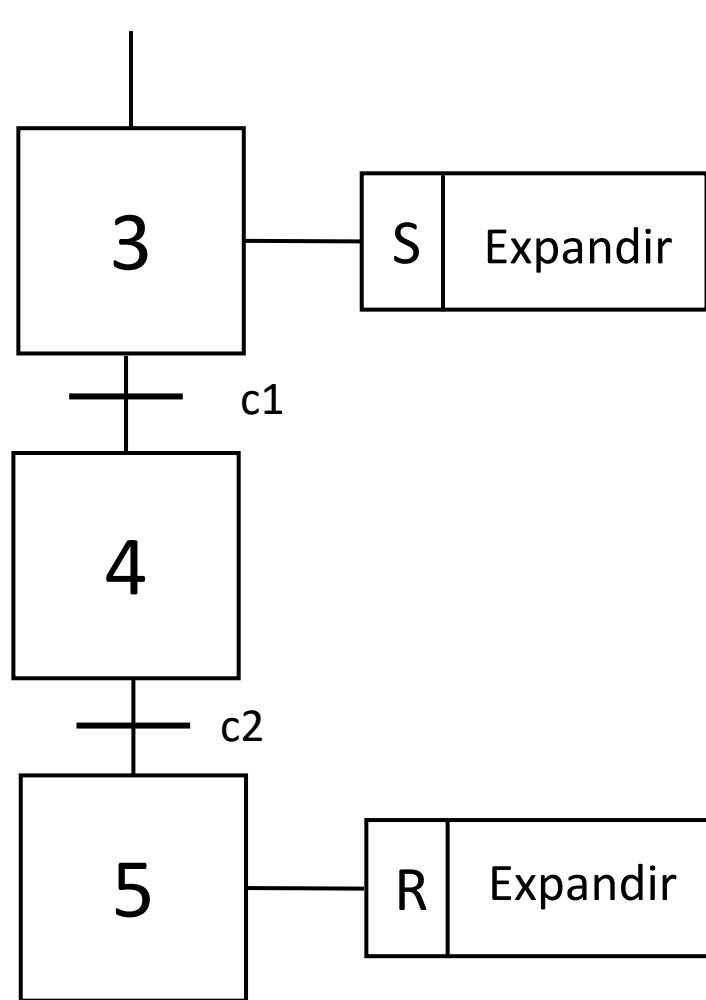
Si c se cumple antes de que transcurran 0.5 s desde la activación de X5 el LED no se enciende

Si c se cumple antes de que transcurran 1 s desde la activación de X5 el LED se apaga

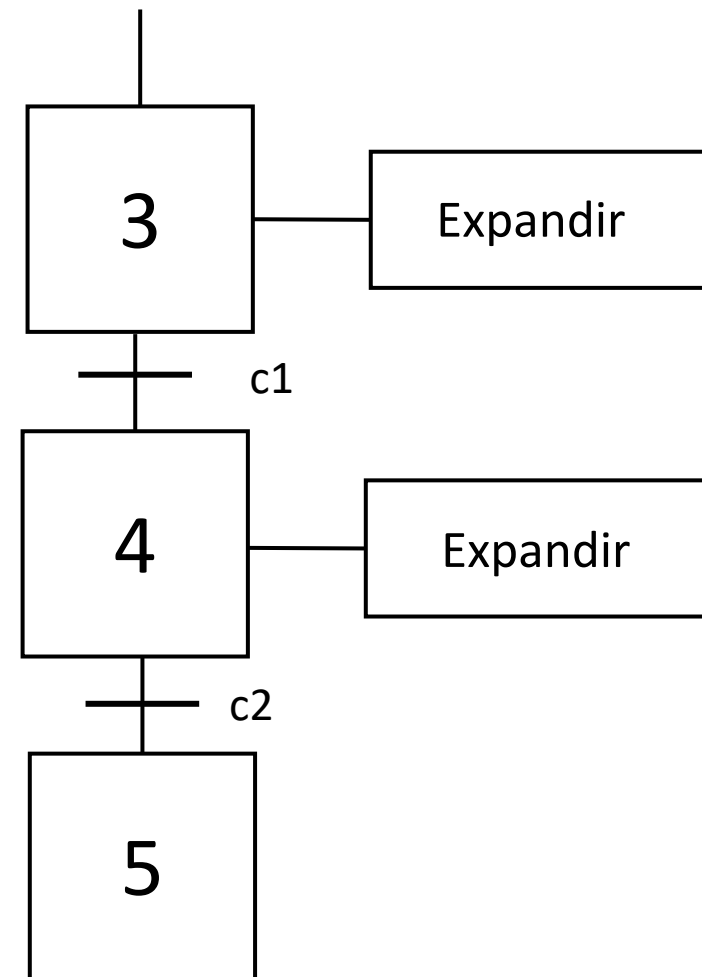
GRACET. Elementos



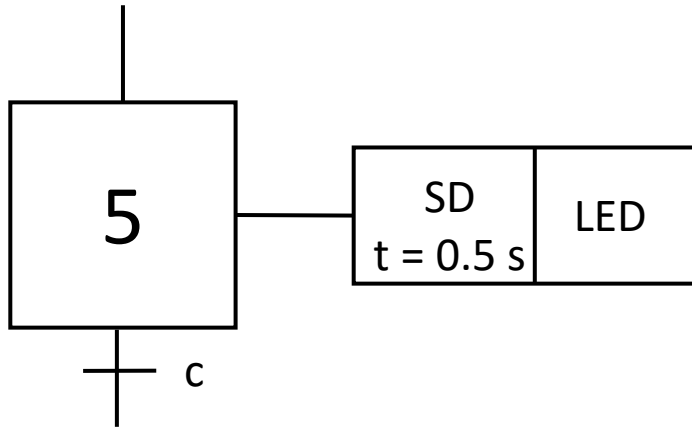
GRACET. Elementos



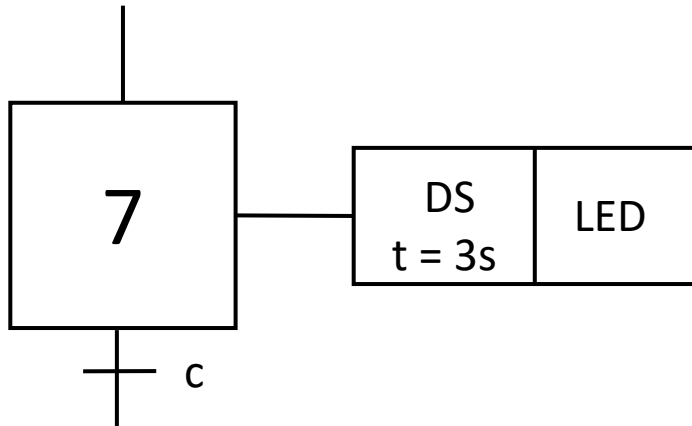
Equivalentes
↔



GRACET. Elementos

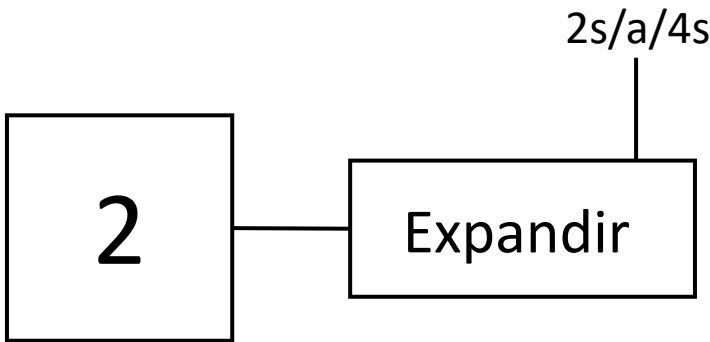
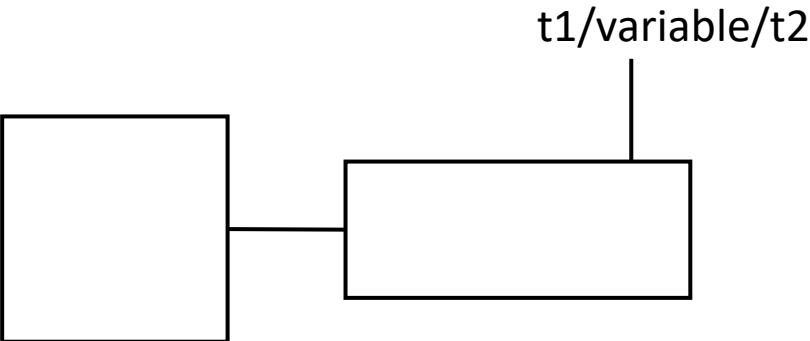


Al activarse la etapa 5 se hace un SET del encendido pero no se ejecuta hasta que pasen 0.5 s desde la activación de la etapa. El LED se enciende aunque la etapa 5 se desactive antes de que pasen 0.5 s desde su activación.

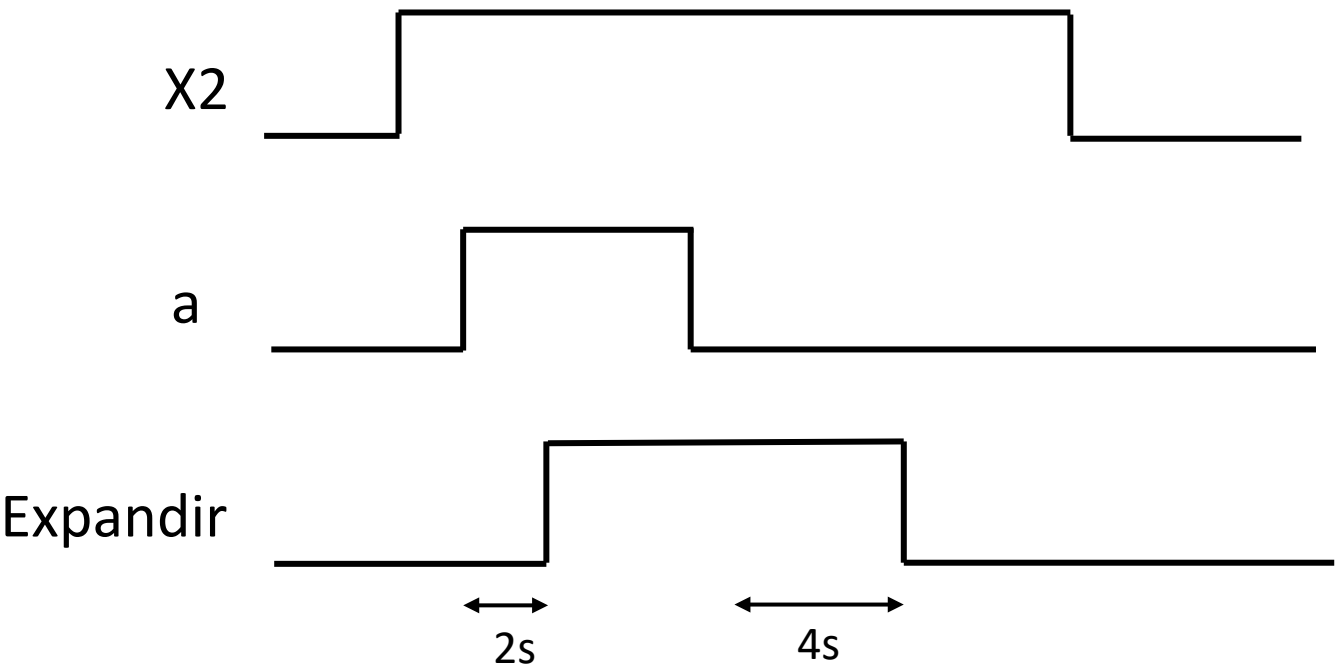


Al activarse la etapa 7 comienza un retardo de 3 s tras el cual se activa el SET que enciende el LED. Si la etapa 7 se desactiva antes de que pasen 3 s desde su activación no se producirá el SET y el LED no se encenderá.

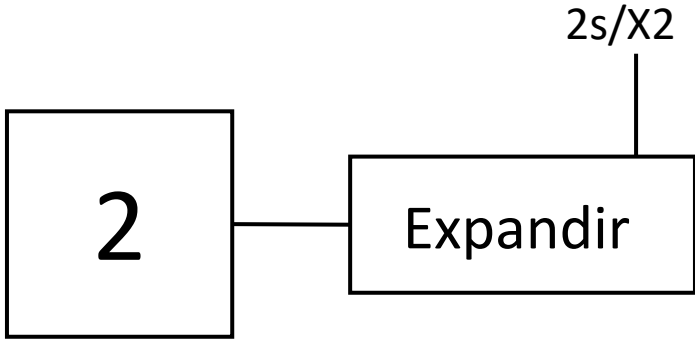
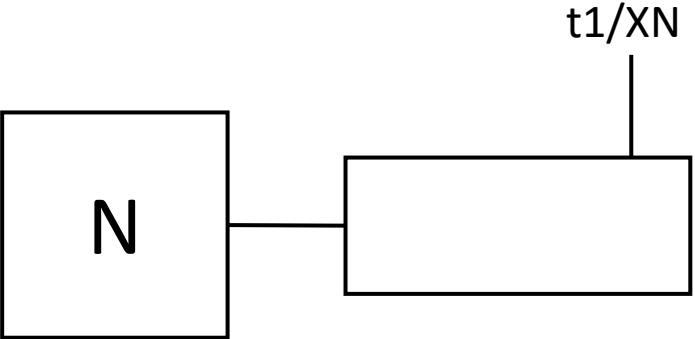
GRACET. Elementos



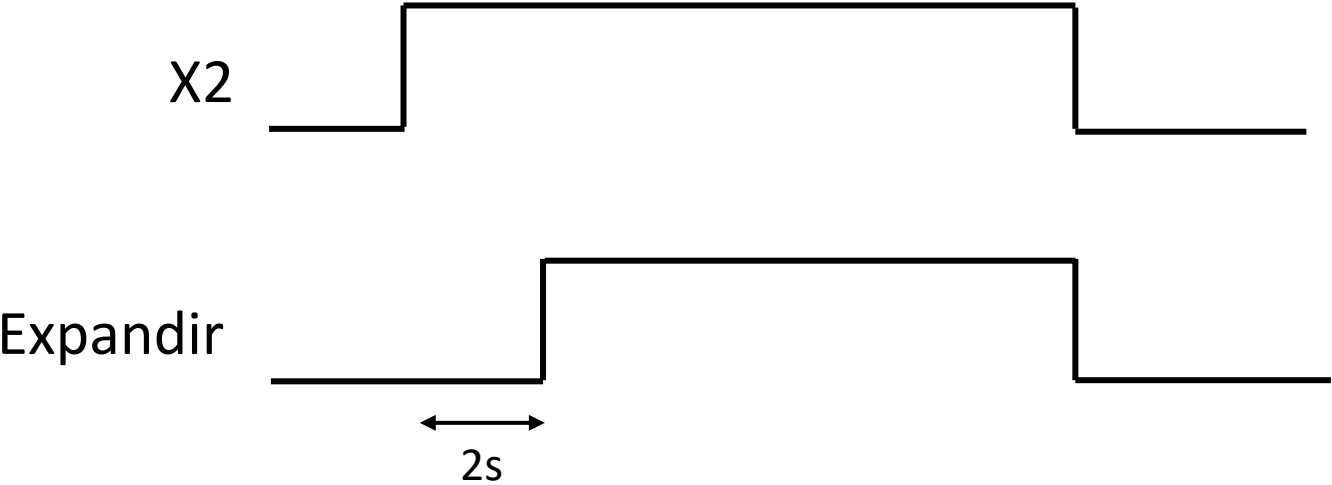
La acción se ejecuta si estando la etapa 2 activa pasa un tiempo $t1$ después de un flanco de subida de la variable. Se produce una desactivación porque la etapa se desactiva o porque transcurren 4 s desde un flanco de bajada de la variable



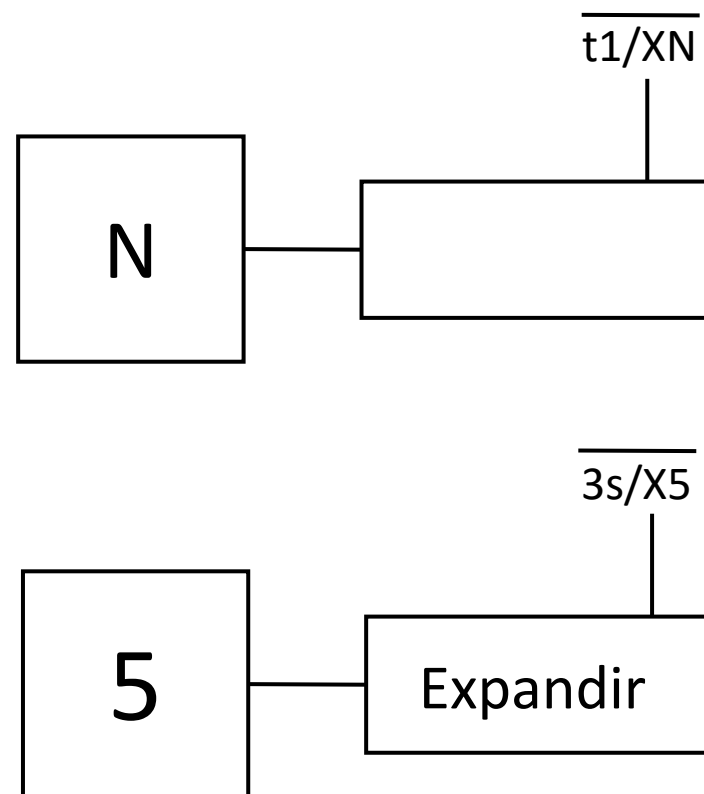
GRACET. Elementos



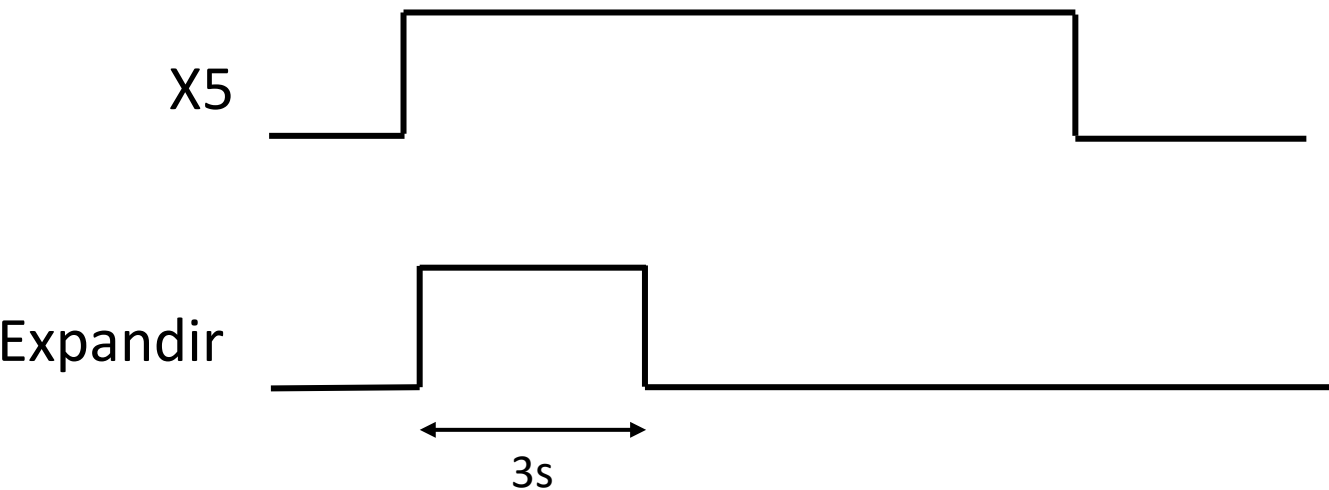
La acción se ejecuta retardada un tiempo $t1$ tras la activación de la etapa N



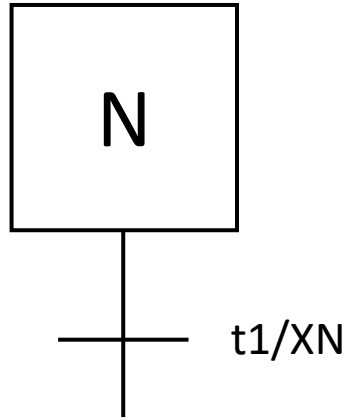
GRACET. Elementos



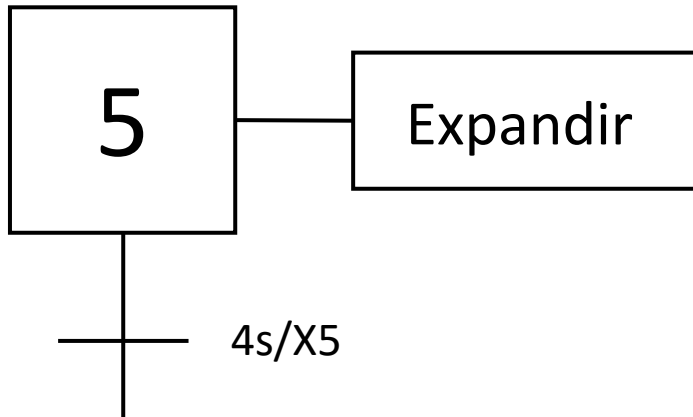
La acción se ejecuta cuando se activa la etapa N y se desactiva una vez transcurrido un tiempo t1 o si se desactiva la etapa N



GRACET. Elementos

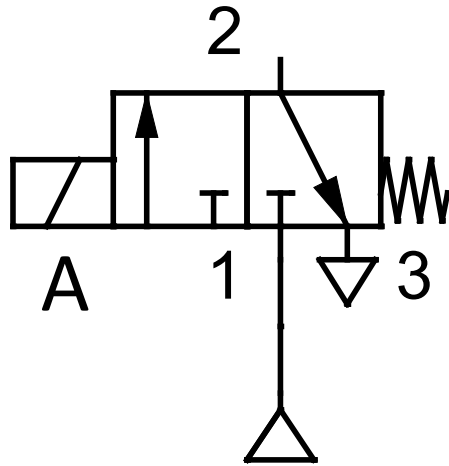


La receptividad se cumple transcurrido un tiempo $t1$ desde la activación de la etapa N



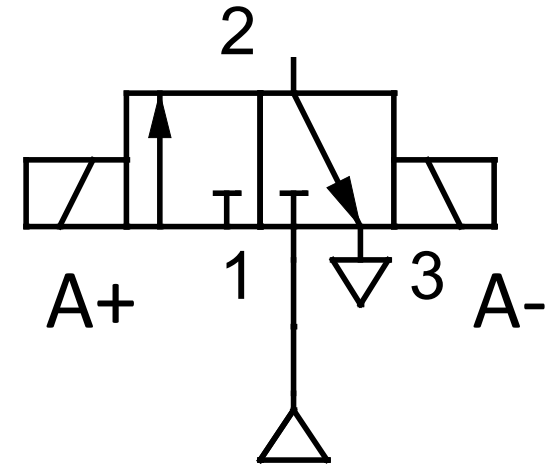
GRACET. Elementos

VÁLVULA MONOESTABLE



Es necesario activar la señal A para que la válvula mantenga la posición 2

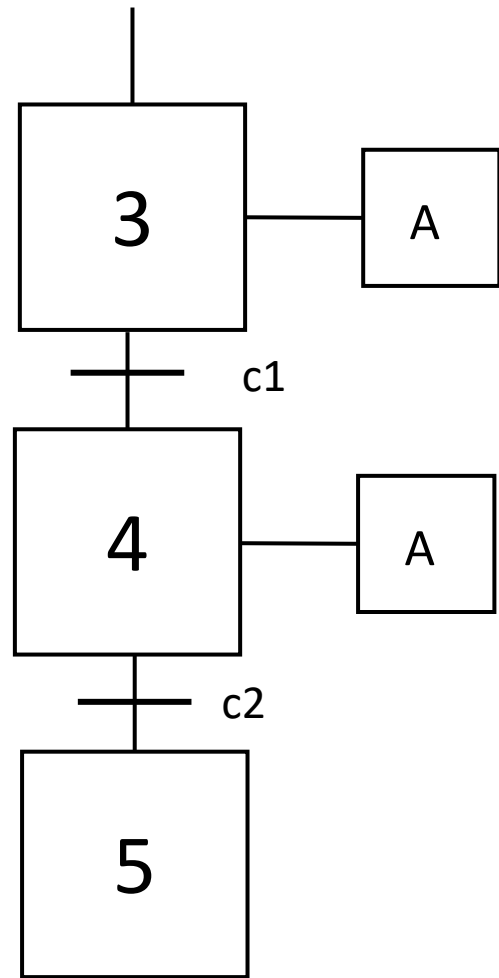
VÁLVULA BIESTABLE



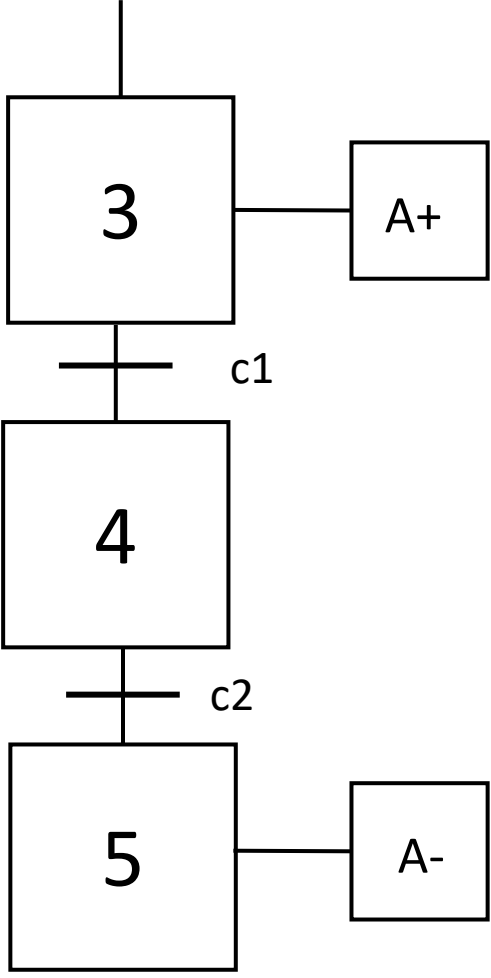
No es necesario mantener la señal A+ para que se mantenga la posición. Si se conecta A+ y luego se desconecta la válvula se queda en la posición 2 hasta que se active A-

GRACET. Elementos

VÁLVULA MONOESTABLE

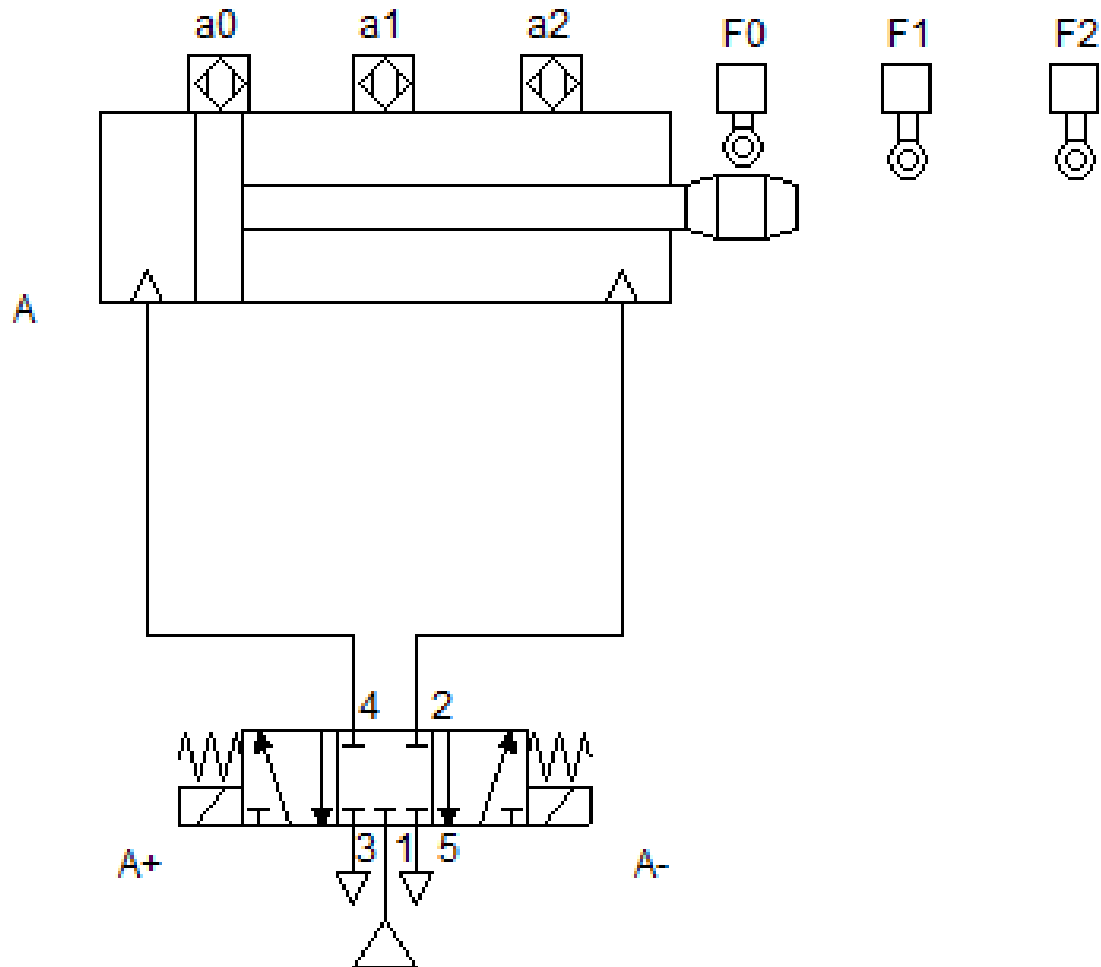


VÁLVULA BIESTABLE



GRACET. Elementos

VÁLVULA MONOESTABLE 5/3

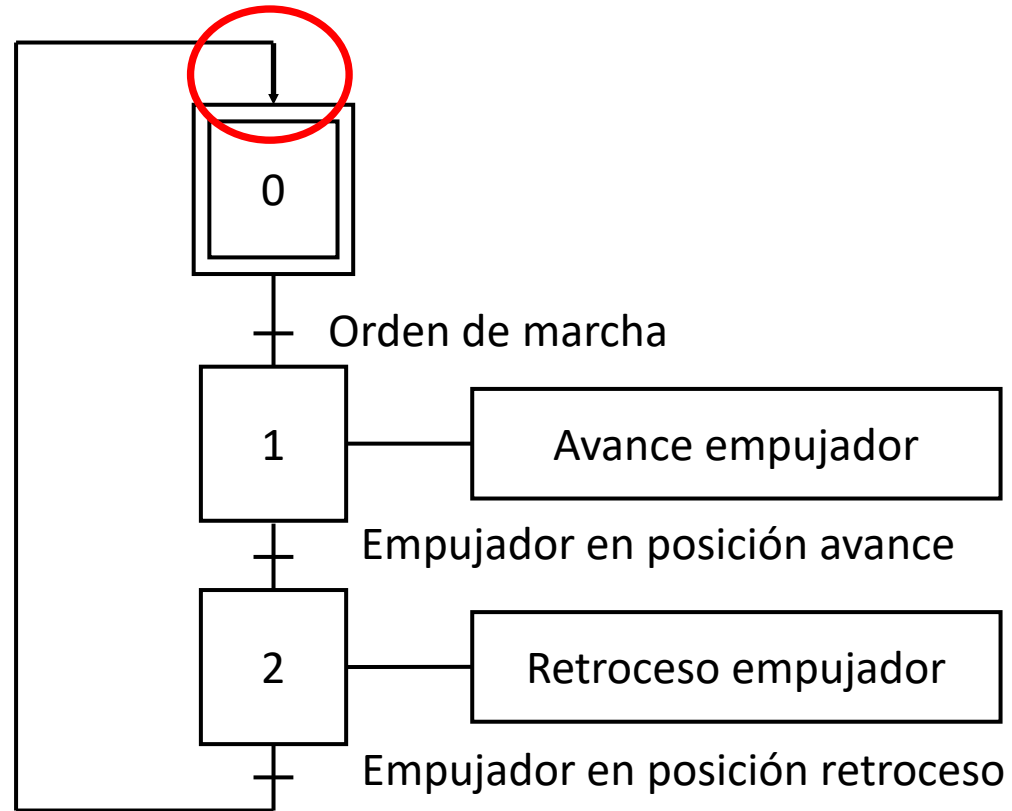


Si se activa la señal A+ el cilindro avanza. Si cuando se activa F1 ó a1 desactivamos A+ el cilindro mantiene su posición (la válvula vuelve a su posición de reposo (bloqueada la salida de aire del cilindro))

GRACET. Reglas de evolución

- Cada etapa lleva asociada un bit de estado (1: activa o 0:inactiva)
- Arranque en frío: Inicialización de un proceso automático sin guardar información del estado anterior. Después de un arranque en frío se activa la etapa inicial y las demás están inactivas.
- Arranque en caliente: Reinicialización del sistema teniendo en cuenta el estado en el que se encontraba el mismo (memorizadas variables de estado del proceso)
- El GRAFCET se lee de arriba abajo y los arcos tienen sentido **descendente**. Cuando el arco tiene sentido **ascendente** debe indicarse **obligatoriamente** con una flecha.

GRACET. Reglas de evolución



GRACET. Reglas de evolución

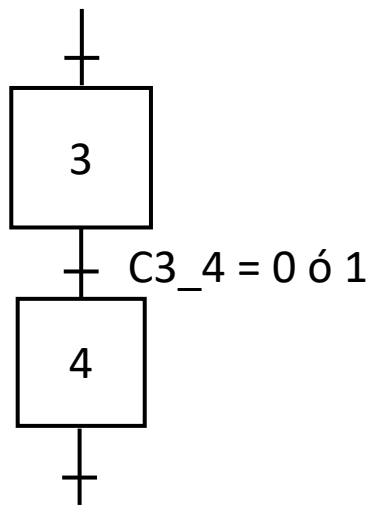
- 1. Inicialización:** El arranque del sistema implica la activación de todas las etapas iniciales. Normalmente se corresponde con el estado de reposo o parada segura (estado en que debe encontrarse la planta en el momento de puesta en marcha).
- 2. Evolución de una transición:** Una transición está **validada** cuando todas las etapas inmediatamente anteriores a ella están activas. Una transición es franqueable cuando esté validada y su receptividad asociada se cumpla. Una transición franqueable deber ser inmediatamente franqueada

GRACET. Reglas de evolución

3. **Evolución de las etapas activas:** Al flanquear una transición se activan todas las etapas inmediatamente posteriores y simultáneamente se desactivan todas las etapas inmediatamente anteriores.
4. **Franqueamiento simultáneo.** Todas las transiciones franqueables se franquearán inmediata y simultáneamente.
5. **Prioridad de etapa activa.** Si la evolución del GRAFCET implica la activación y desactivación simultánea de una etapa, esta deberá permanecer activa.

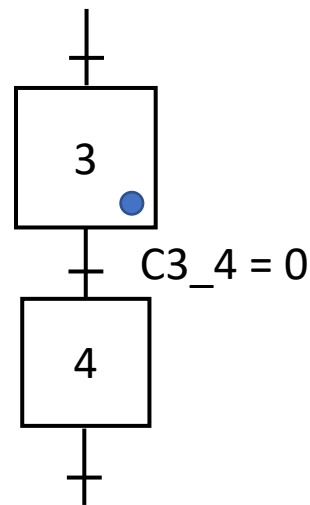
GRACET. Reglas de evolución

- Situaciones en las que se puede encontrar una transición:



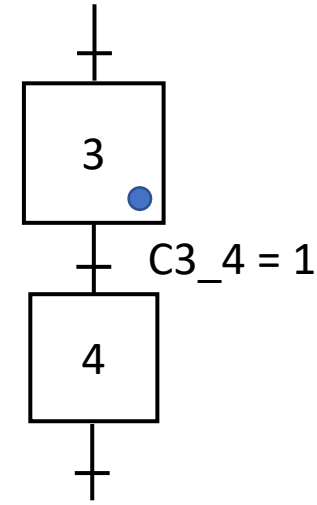
Transición no validada:

La etapa o etapas inmediatamente anteriores no están activas.



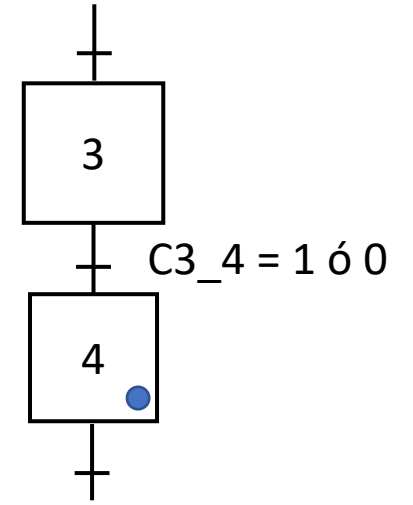
Transición validada:

La etapa o etapas inmediatamente anteriores están activas pero no se cumple la condición de transición.



Transición franqueable:

La etapa o etapas inmediatamente anteriores están activas y se cumple la condición de transición. Es una situación **transitoria**.

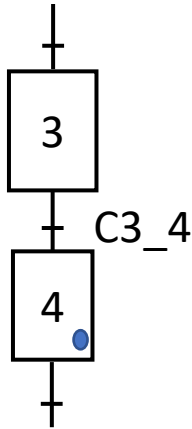


Transición franqueada:

Se ha activado la etapa o etapas inmediatamente siguientes y se ha desactivado la etapa o etapas inmediatamente anteriores.

GRACET. Reglas de evolución

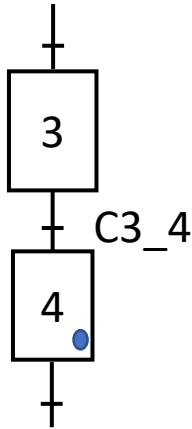
- Evento: Cambio en una variable (flanco subida o bajada)
- El GRAFCET debe ser siempre cerrado, no se debe dejar ningún camino abierto.
- GRACET impone la simultaneidad al franquearse una transición:



El flanco de subida de C3_4, el flanco de bajada de X3 (estado de activación de etapa 3) y el flanco de subida X4 (estado de activación de etapa 4) son simultáneos

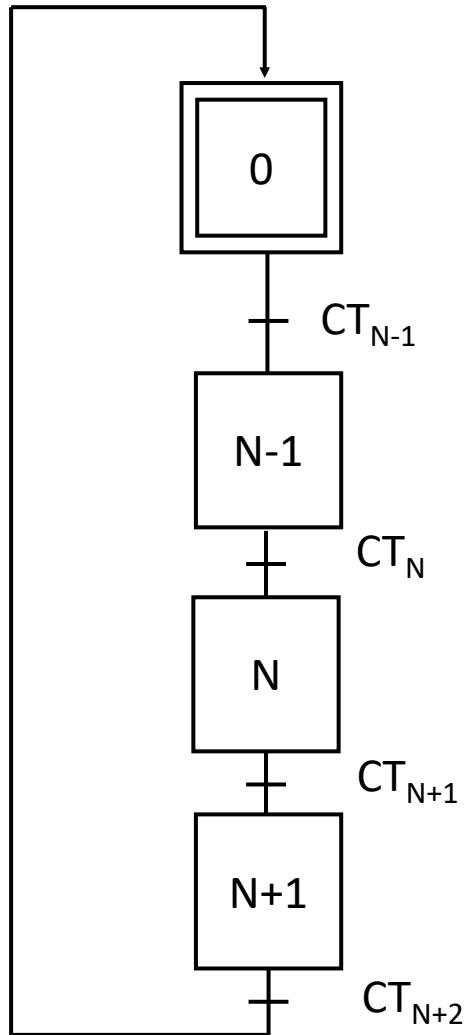
GRACET. Reglas de evolución

- Evento: Cambio en una variable (flanco subida o bajada)
- El GRAFCET debe ser siempre cerrado, no se debe dejar ningún camino abierto.
- GRACET impone la simultaneidad al franquearse una transición:

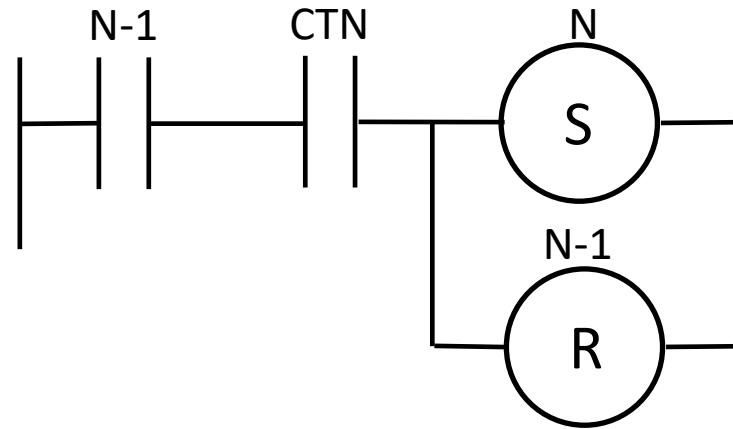


El flanco de subida de C3_4, el flanco de bajada de X3 (estado de activación de etapa 3) y el flanco de subida X4 (estado de activación de etapa 4) son simultáneos

GRACET. Reglas de evolución

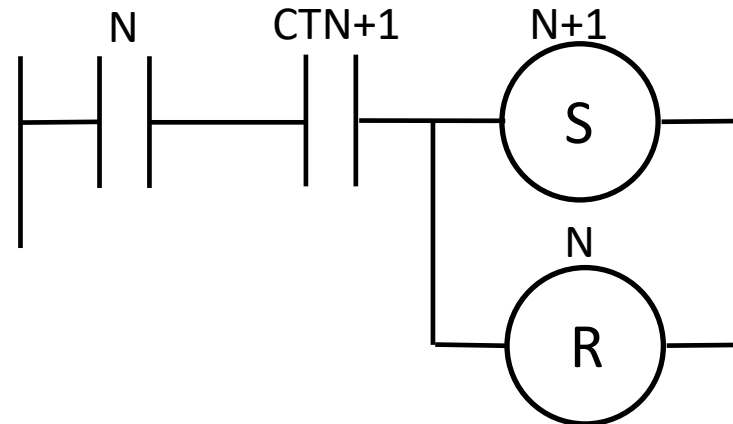


ACTIVACIÓN ETAPA N Y DESACTIVACIÓN ETAPA N-1



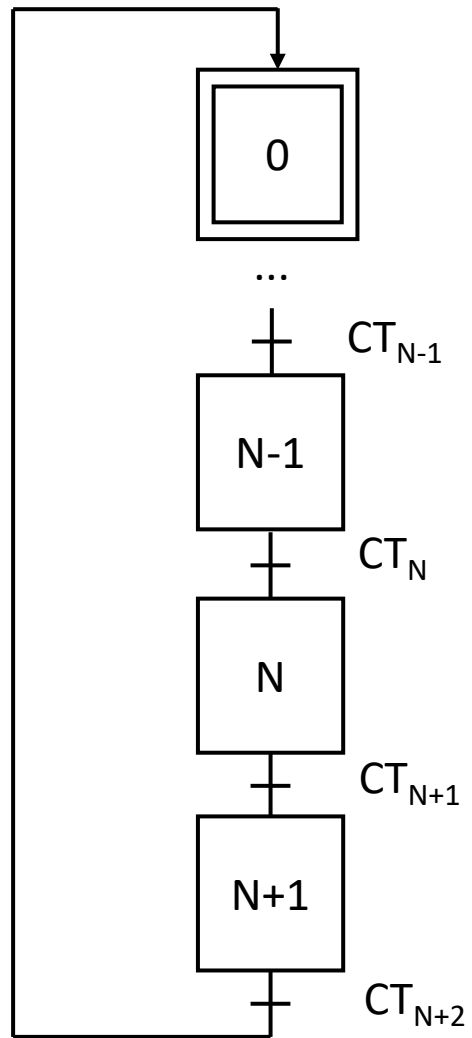
A N-1
A CT_N
S N
R N-1

ACTIVACIÓN ETAPA N+1 Y DESACTIVACIÓN ETAPA N

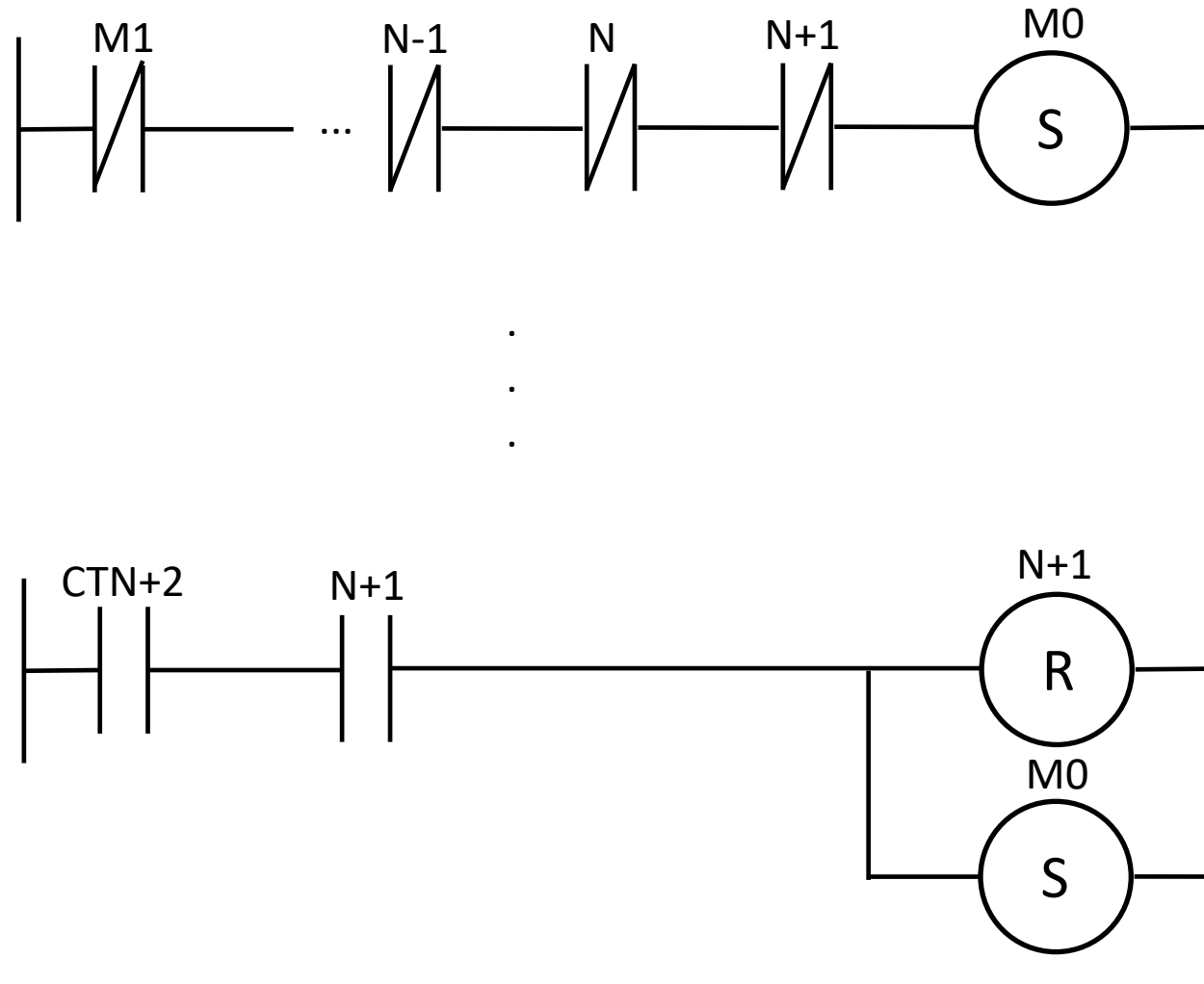


A N
A CT_{N+1}
S N+1
R N

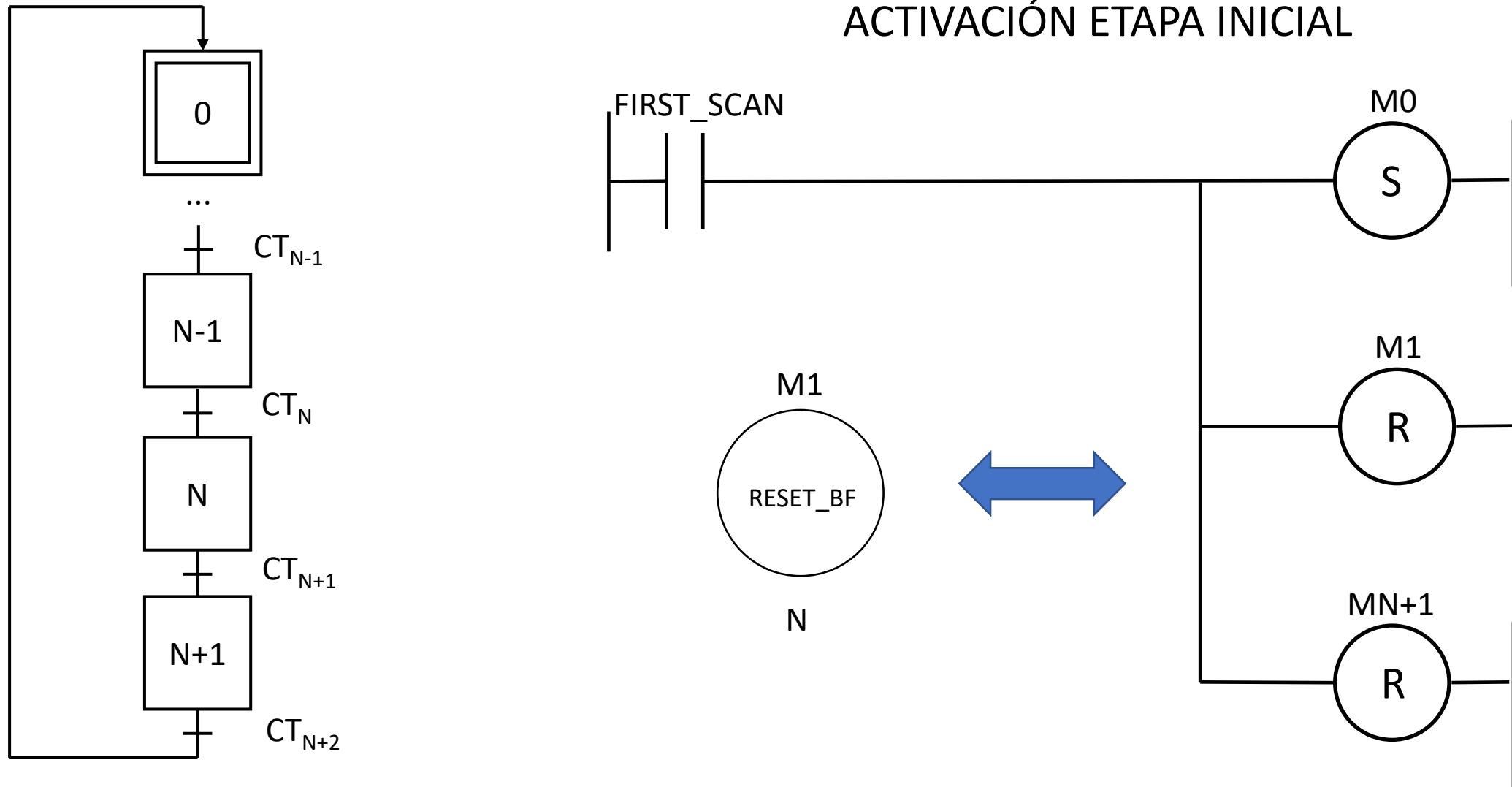
GRACET. Reglas de evolución



ACTIVACIÓN ETAPA INICIAL

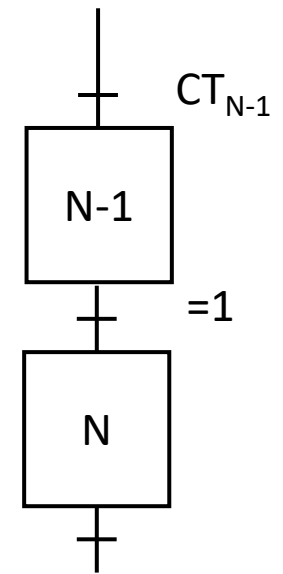


GRACET. Reglas de evolución



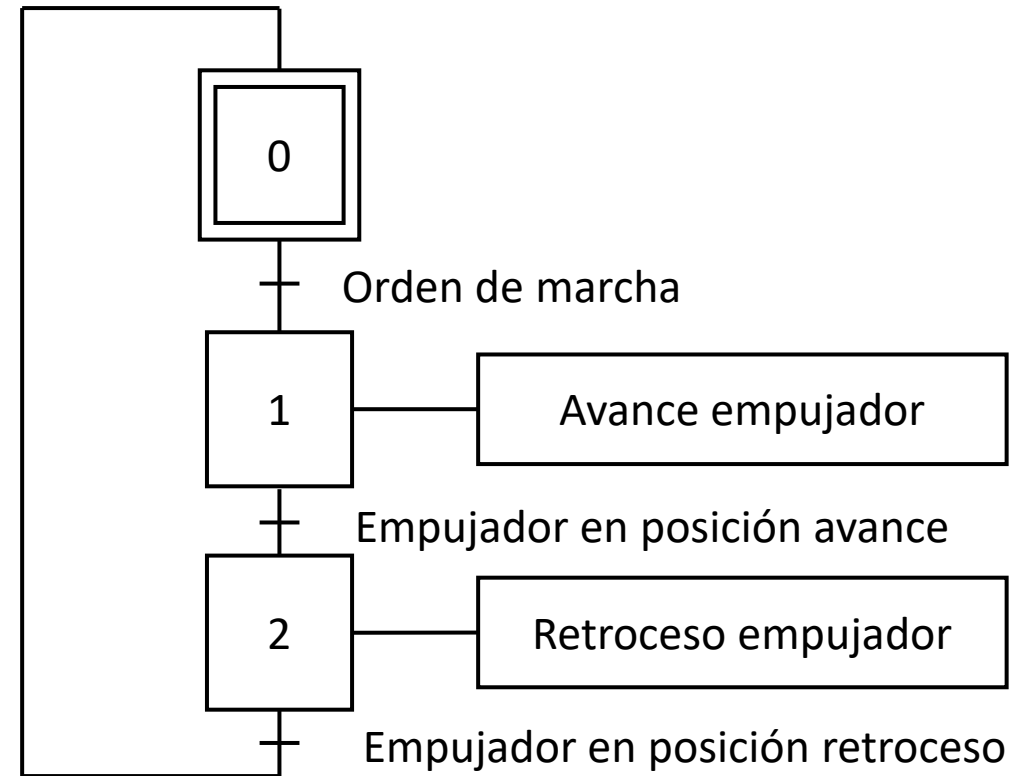
GRACET. Reglas de sintaxis

- No puede haber dos transiciones consecutivas sin que por el medio haya una etapa. Tampoco puede haber dos etapas consecutivas sin que por el medio haya una transición.
- Una etapa no tiene que tener asociada una acción. Una etapa puede tener asociada más de una acción.
- Puede darse el caso de una transición no debe cumplir ninguna condición para ser franqueada. Es equivalente a fijar una condición que siempre se cumpla.



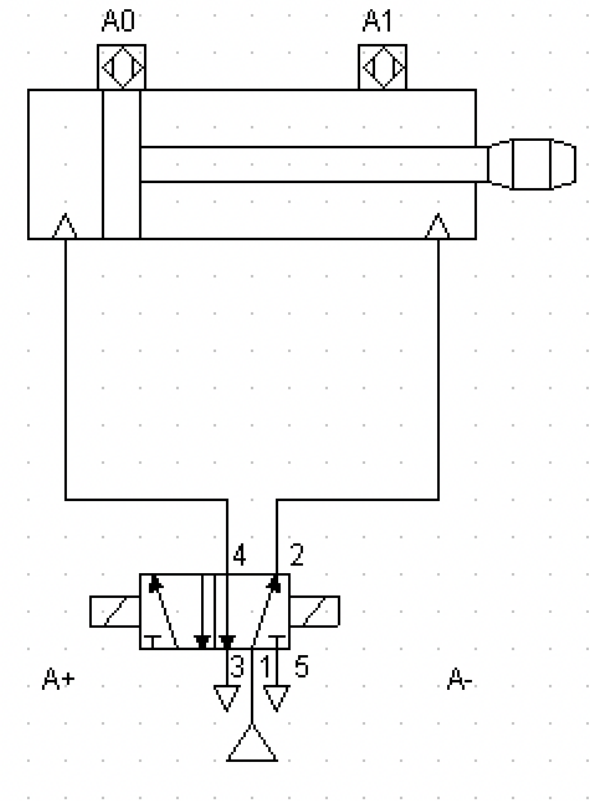
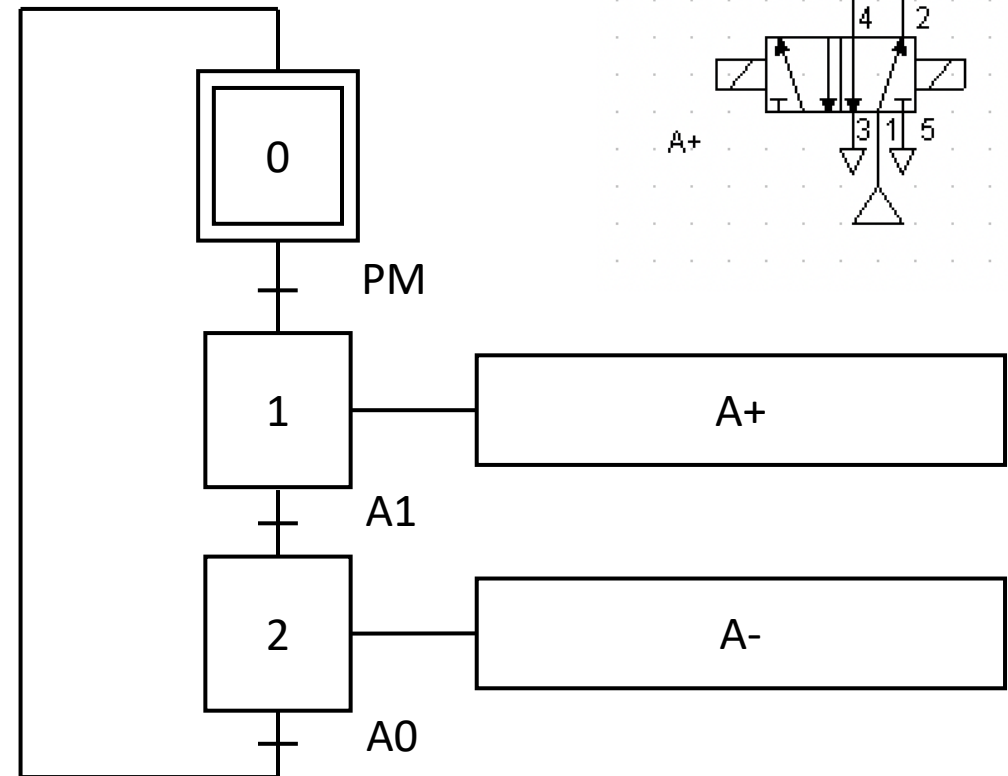
GRACET. Etapas de diseño

- **GRAFCET de Nivel 1:** Se hace una descripción del automatismo que permitan entender su funcionamiento. Se trabaja con especificaciones funcionales (independiente de tecnología). Se describen las acciones que deben realizarse en cada etapa y los elementos de control (sin indicar elementos concretos)



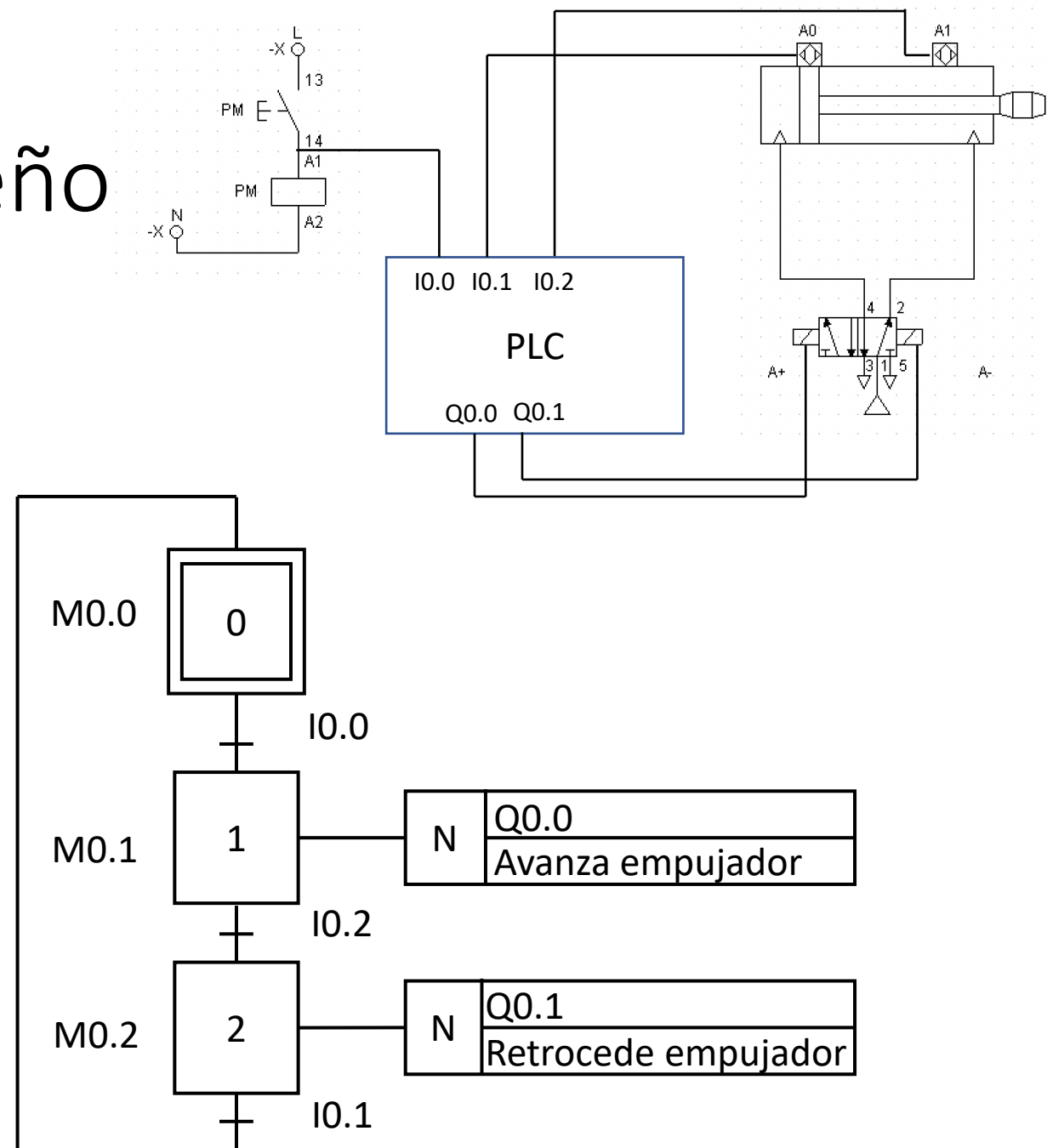
GRACET. Etapas de diseño

- **Grafcet de Nivel 2 (descripción tecnológica):** Se hace una descripción a nivel tecnológico y operativo del automatismo. Se indican los trabajos que deben realizar los elementos empleados en cada acción



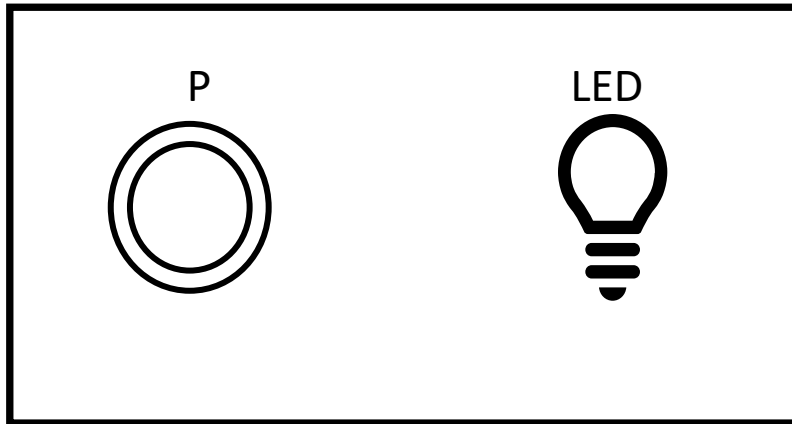
GRACET. Etapas de diseño

- **Grafcet de Nivel 3 (descripción operativa):** implementa la tecnología a utilizar en el automatismo. Si utilizamos un PLC se indican las direcciones de las E/S en cada acción y transición y las marcas o relés interno que se activen.

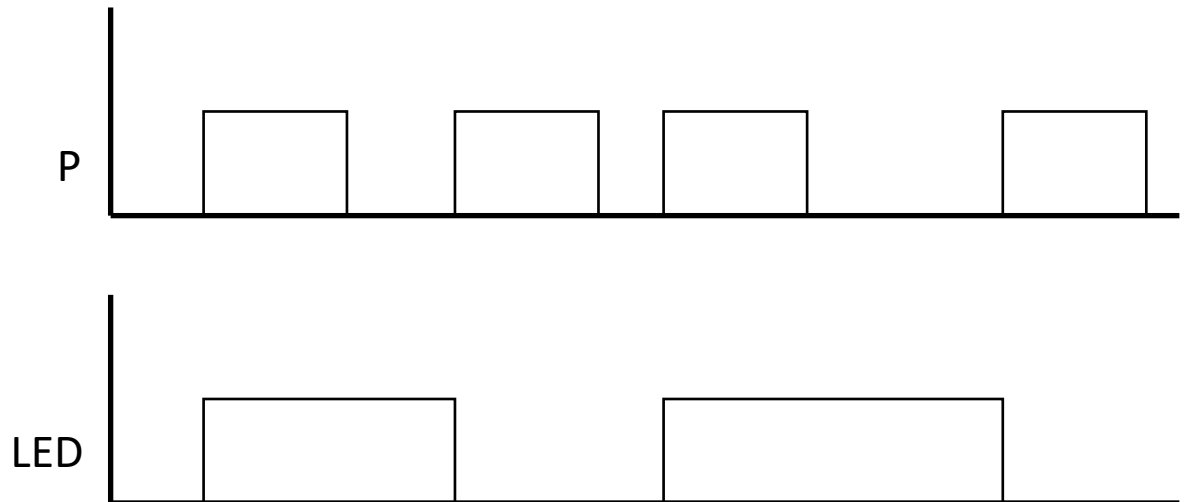


GRAFCET

- Desarrolla el GRAFCET de tal forma que cuando se pulse el pulsador P (NA) se encienda el LED si estaba apagado o se apague si estaba encendido. Resuelve el problema por niveles o por flancos de p.

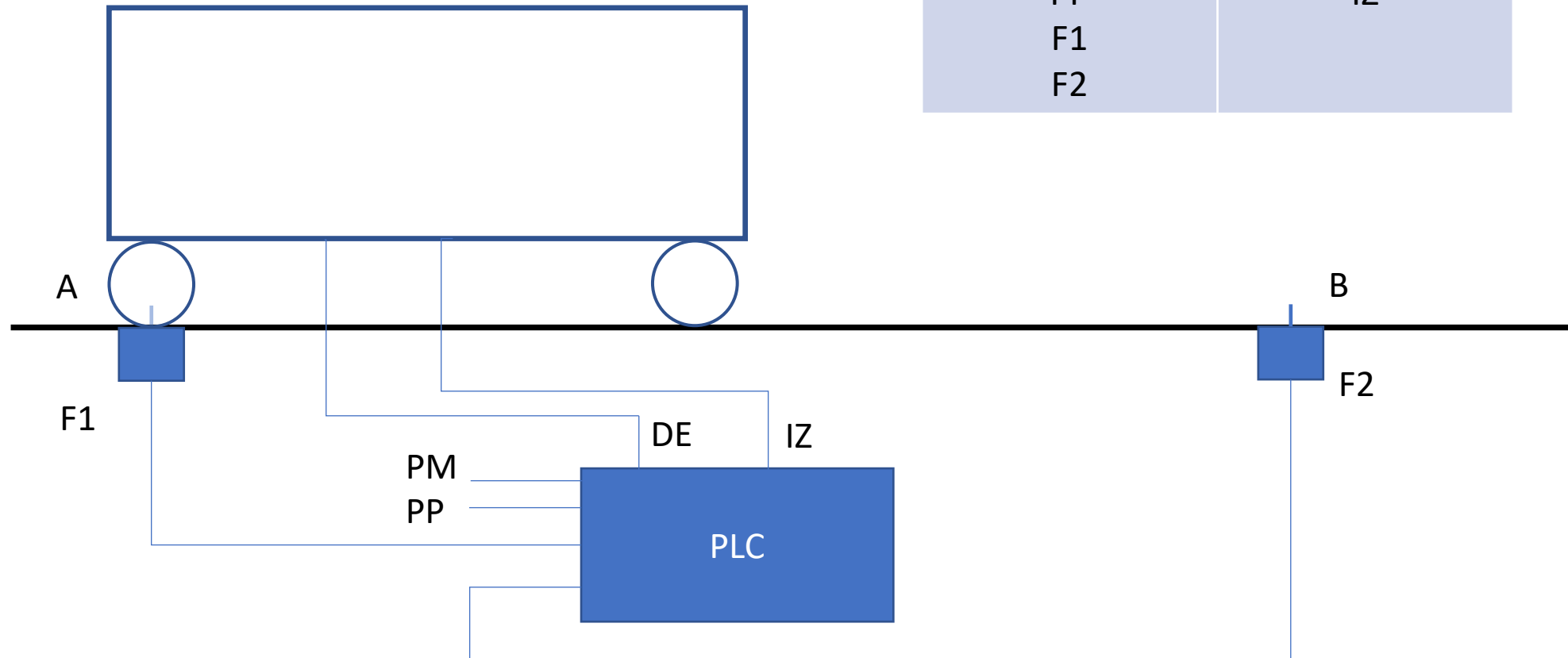


Entradas	Salidas
P (Pulsador ON-OFF (NA))	LED



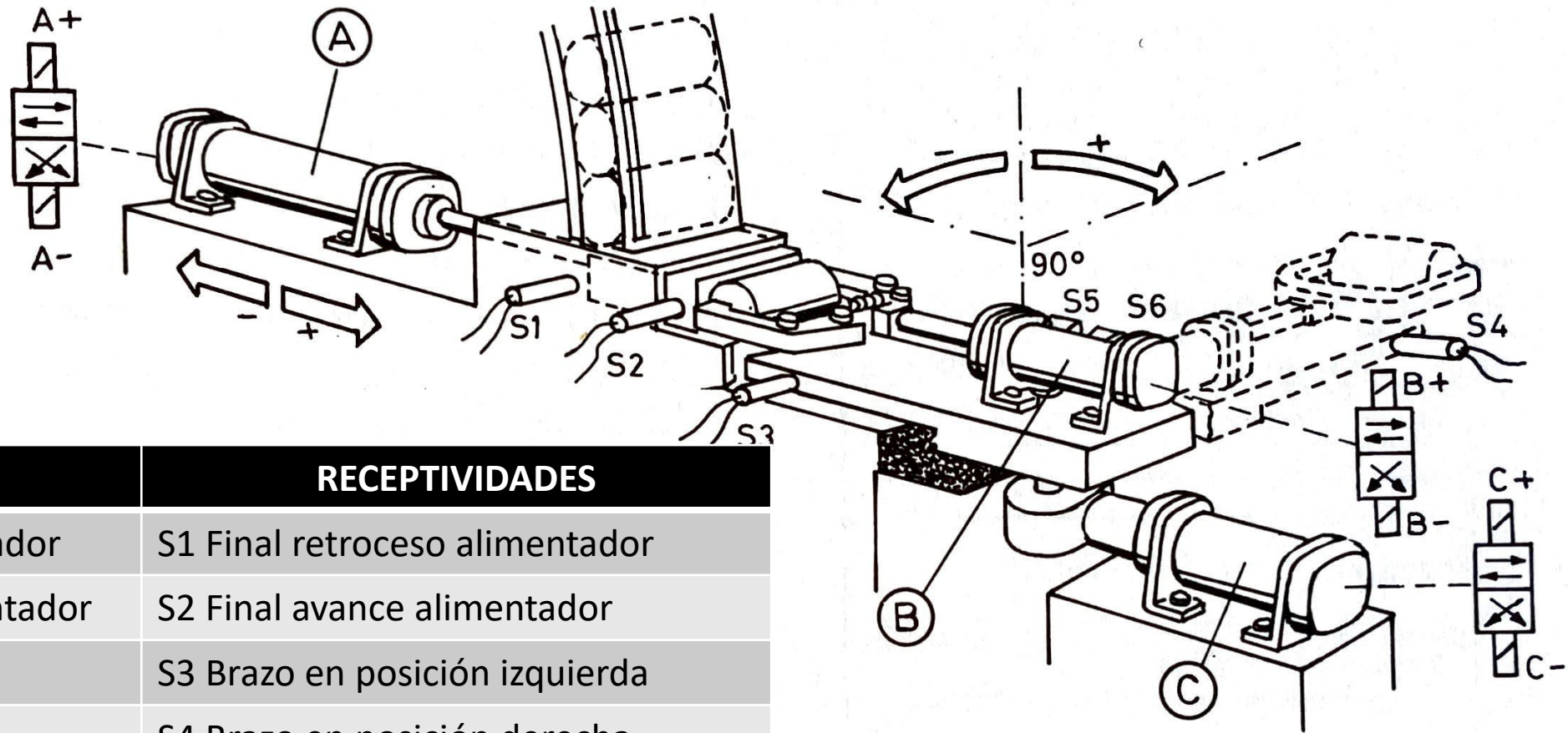
GRAFCET

$A \rightarrow B \rightarrow A$ (parar)



Entradas	Salidas
PM	DE
PP	IZ
F1	
F2	

GRAFSET. EJEMPLO DISEÑO



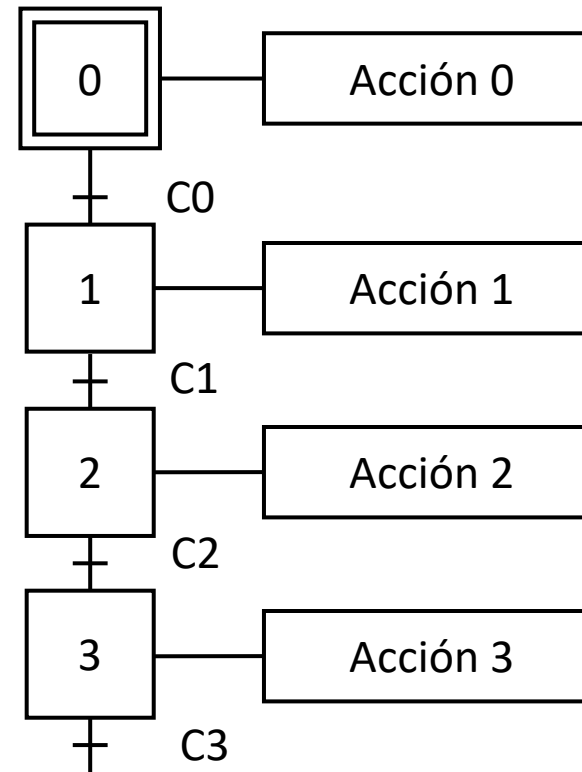
ACCIONES	RECEPTIVIDADES
A+ Empuje alimentador	S1 Final retroceso alimentador
A- Retroceso alimentador	S2 Final avance alimentador
B+ Cierre pinza	S3 Brazo en posición izquierda
B- Apertura pinza	S4 Brazo en posición derecha
C+ Giro brazo a derecha	S5 Pinza abierta
C- Giro brazo a izquierda	S6 Pinza cerrada

PM Pulsador de marcha: Inicia la secuencia y se repite continuamente.

GRACET. Estructuras

- **Secuencia lineal:** Consiste en la sucesión de etapas unidas por condiciones de transición

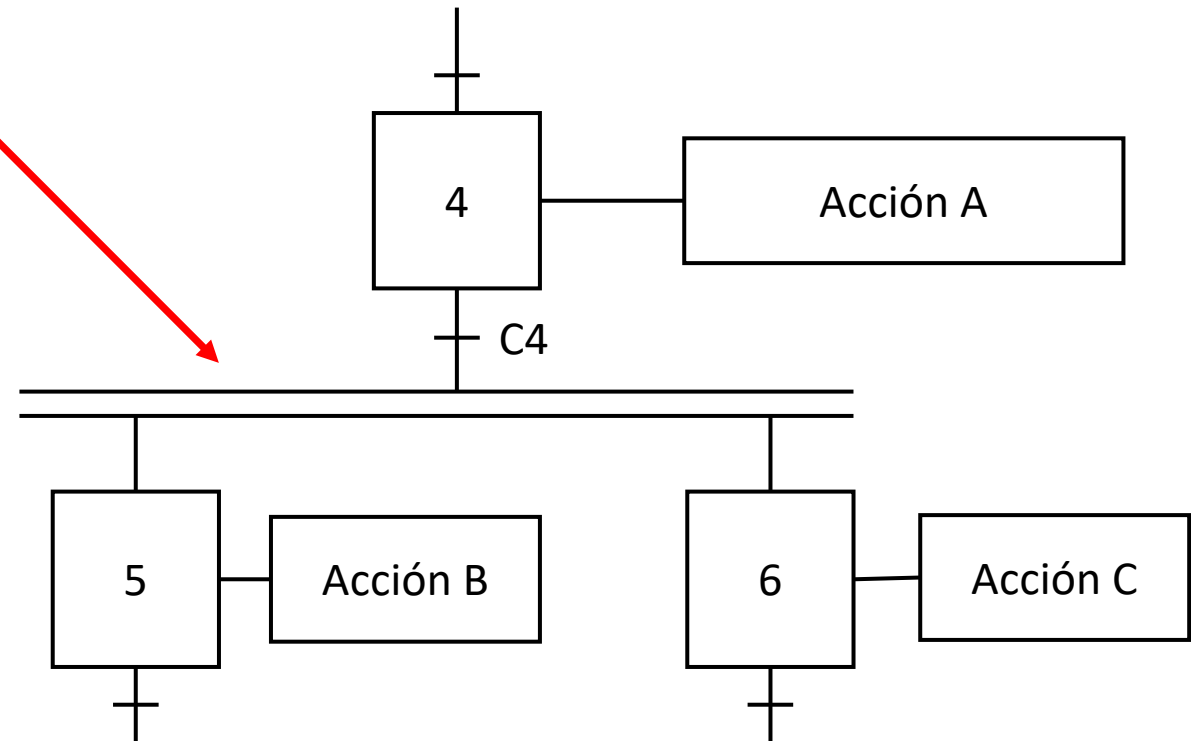
1. Sólo una etapa está activa a la vez
2. La condición de activación de una etapa es que se cumpla la receptividad y que la etapa anterior esté activa
3. Cuando una etapa se activa la que estaba activa anteriormente se desactiva



GRACET. Estructuras

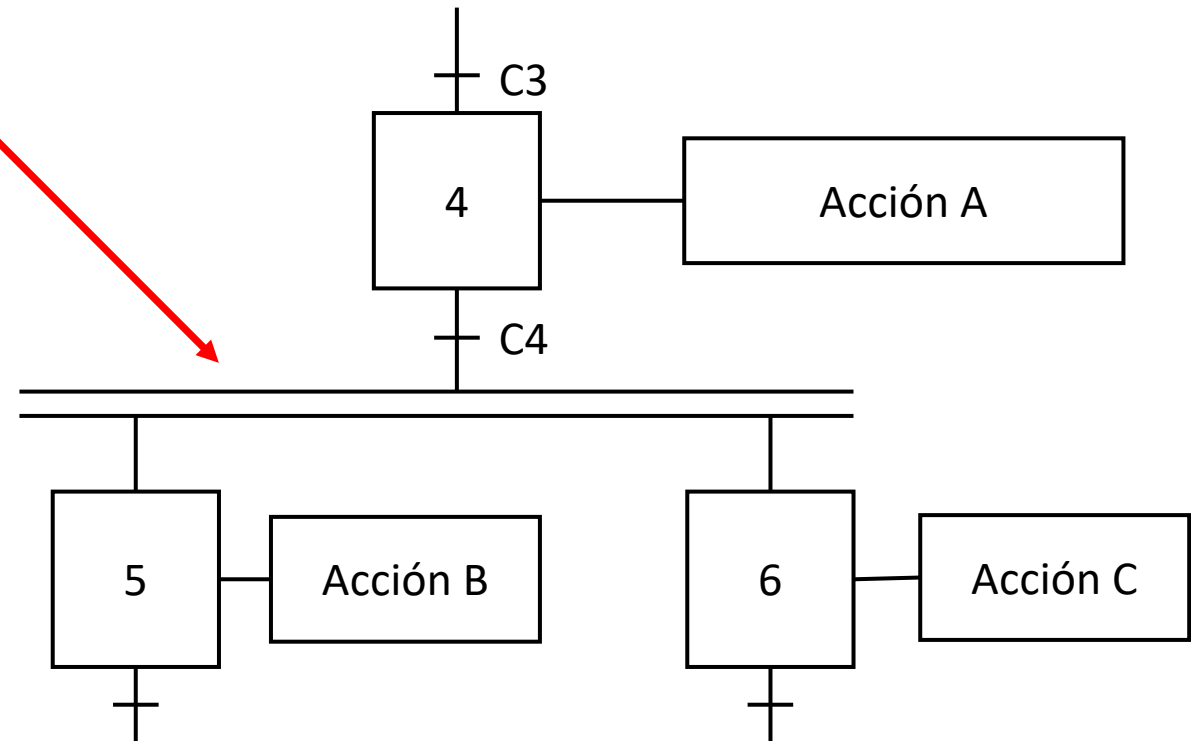
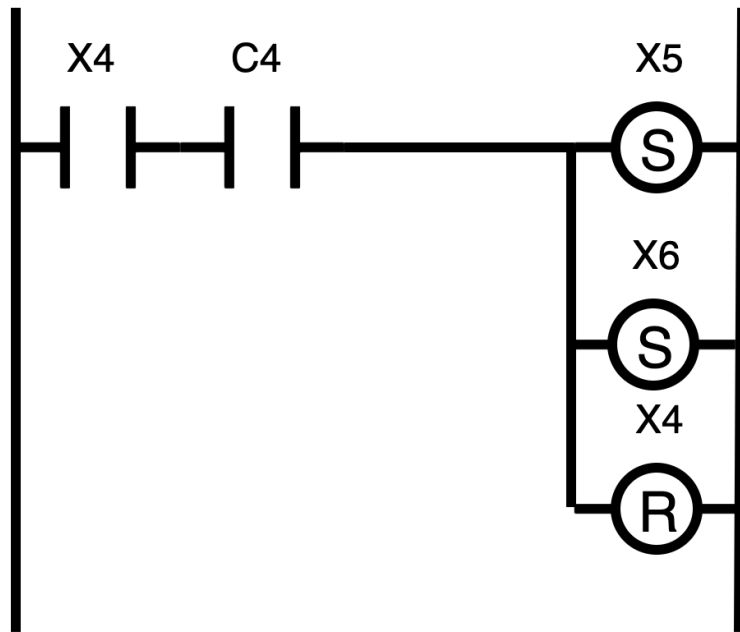
- **Divergencia concurrente ó en Y (activación simultánea):** Indica un punto de sincronismo y el inicio de un número de etapas en serie. Se representa con una doble barra.

Las etapas 5 y 6 se activan simultáneamente cuando se cumpla la transición C4 y esté activa la etapa 4



GRACET. Estructuras

- **Divergencia concurrente ó en Y (activación simultánea):** Indica un punto de sincronismo y el inicio de un número de etapas en serie. Se representa con una doble barra.

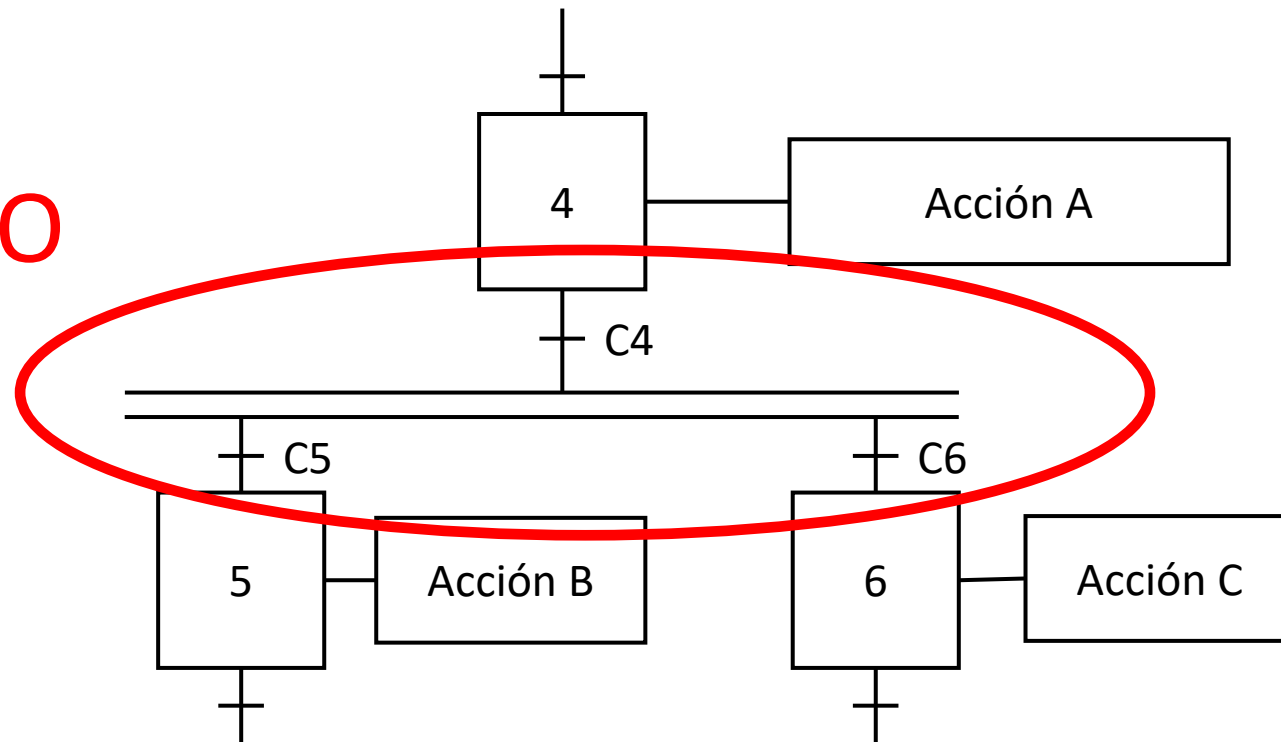


GRACET. Estructuras

No cumple principio:

transición-etapa-transición

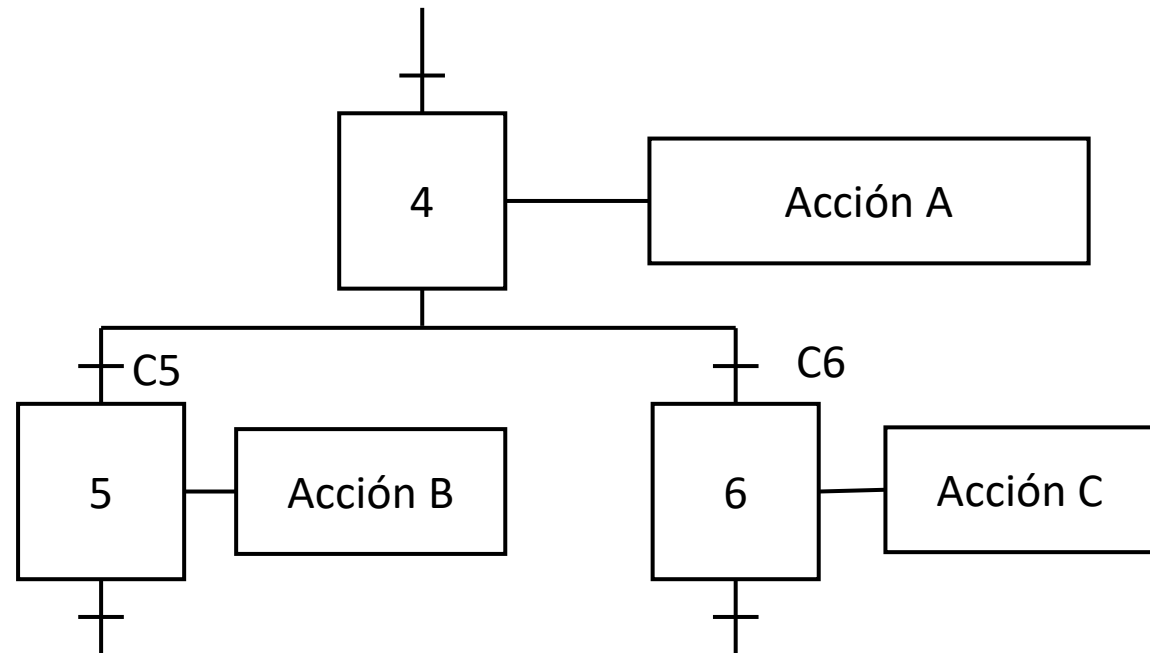
INCORRECTO



GRACET. Estructuras

- **Divergencia alternativa o en O (selección de secuencia):** Indica la selección de distintas etapas en función de las condiciones de activación.

1. Si después de la etapa 4 se cumple la condición C5 el GRAFCET continua por la etapa 5. En caso de que se cumpla la C6 el GRAFCET continuaría por la etapa 6.
2. Es una estructura **excluyente**, se cumple una u otra condición pero no ambas a la vez.
3. **Ejemplo:** barrera de peaje dependiendo de la forma de pago

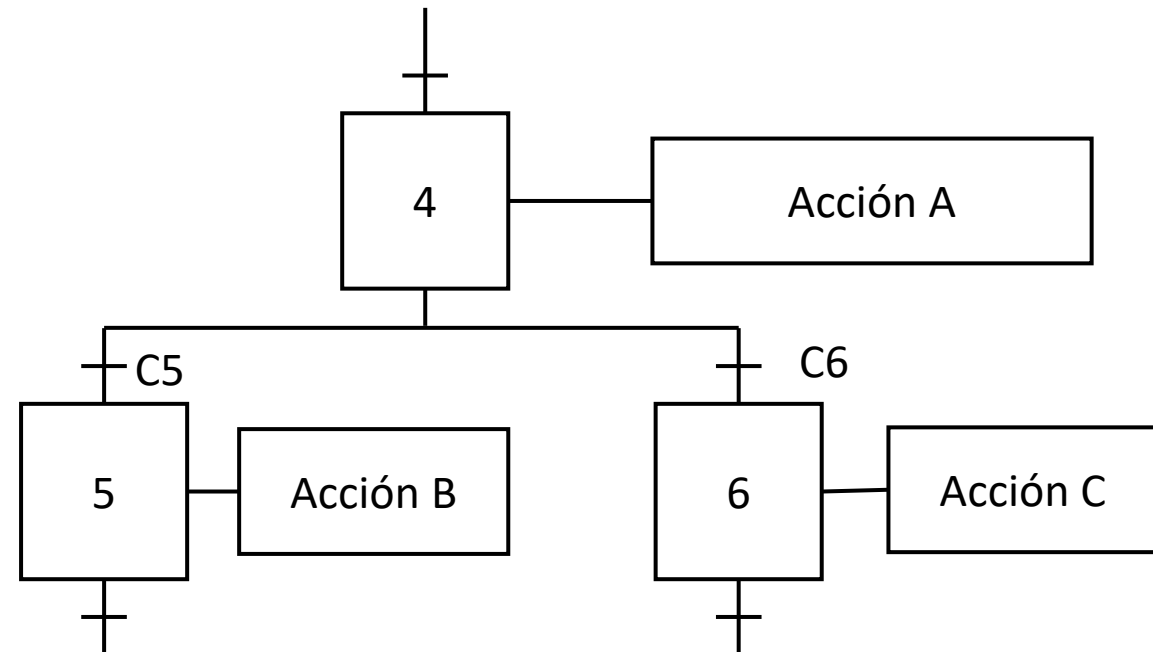
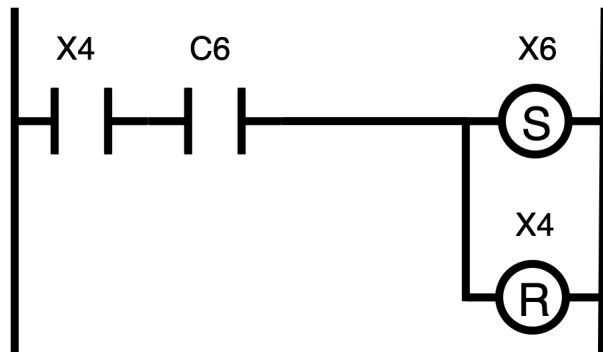
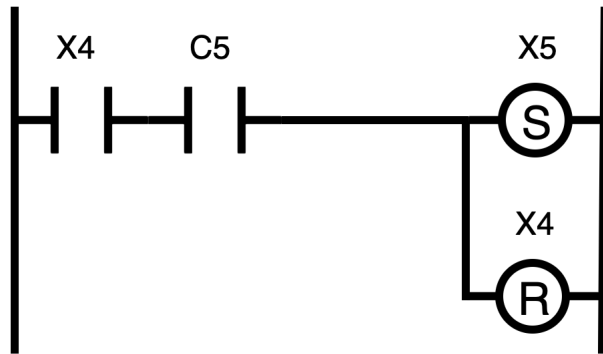


¡C5 y C6 deben ser excluyentes!

$$C5 = \overline{S3}$$
$$C6 = \overline{S3} \cdot S7$$

GRACET. Estructuras

- **Divergencia alternativa o en O (selección de secuencia):** Indica la selección de distintas etapas en función de las condiciones de activación.



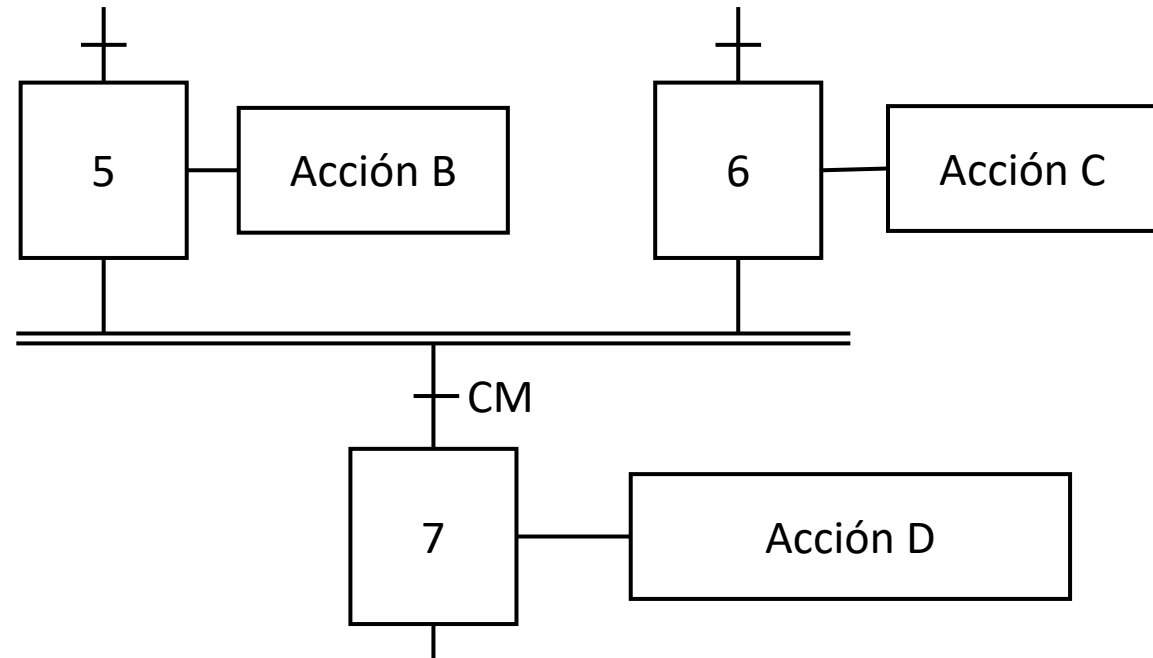
¡C5 y C6 deben ser excluyentes!

$$\begin{aligned} C5 &= \overline{S3} \\ C6 &= \overline{S3} \cdot S7 \end{aligned}$$

GRACET. Estructuras

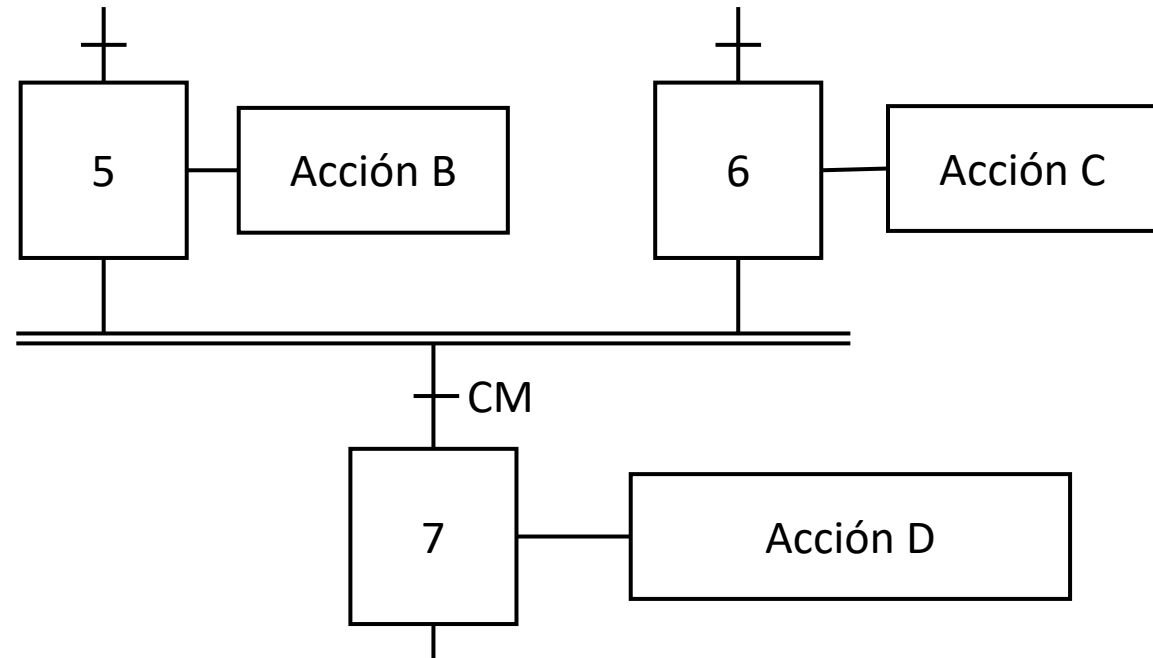
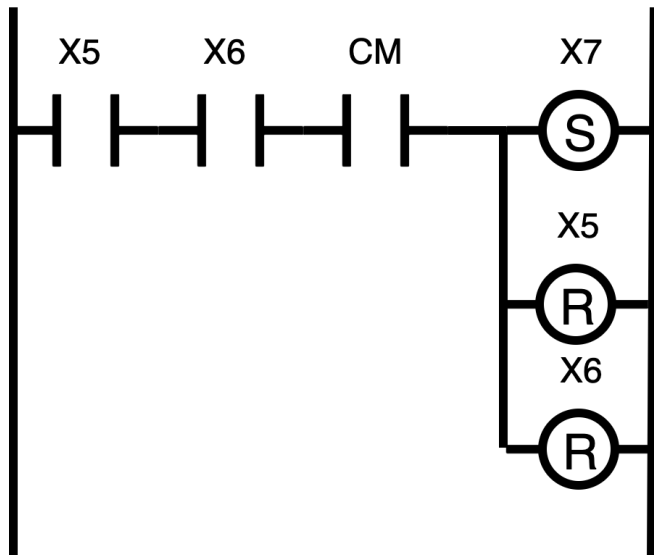
- **Convergencia concurrente o en Y (desactivación simultánea):** Indica un punto de sincronismo y la finalización de estructuras concurrentes que comenzaron en una Divergencia en Y. Se representa con una **doble barra**.

Se debe cumplir la transición CM y que las etapas para que la etapa 7 se active y se desactiven las etapas 5 y 6 que deben estar activas en el momento en el que se active la etapa 7.



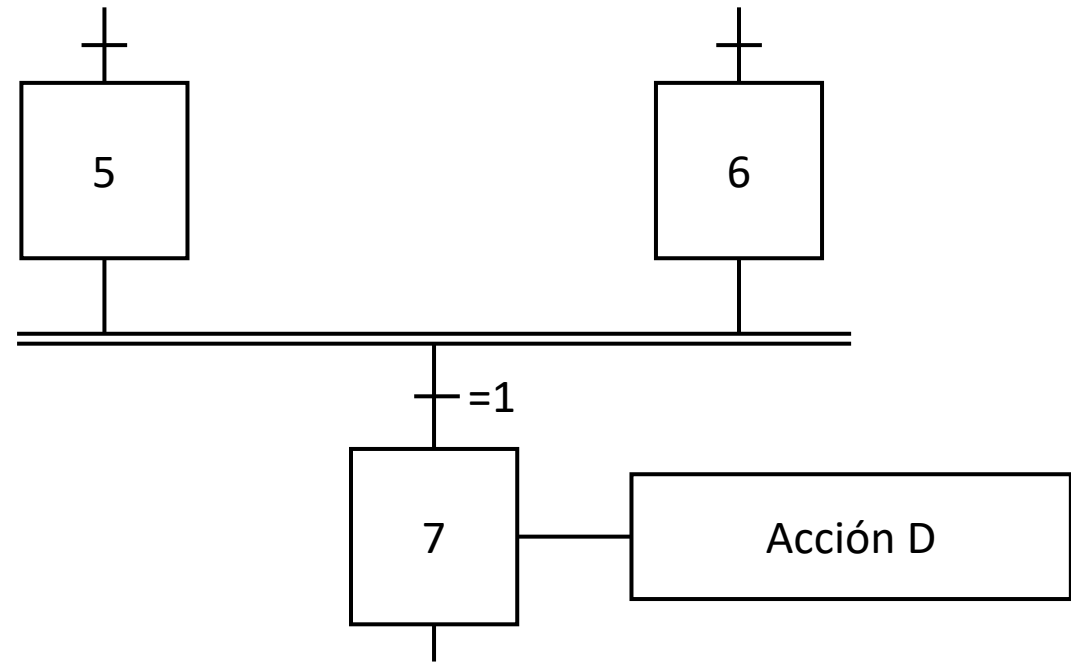
GRACET. Estructuras

- **Convergencia concurrente o en Y (desactivación simultánea):** Indica un punto de sincronismo y la finalización de estructuras concurrentes que comenzaron en una Divergencia en Y. Se representa con una doble barra.



GRACET. Estructuras

Las etapas 5 y 6 serían etapas de espera para sincronizar la tareas que se ejecutan en paralelo. Cuando las dos ramas llegan los estados de espera automáticamente se activa la etapa 7.

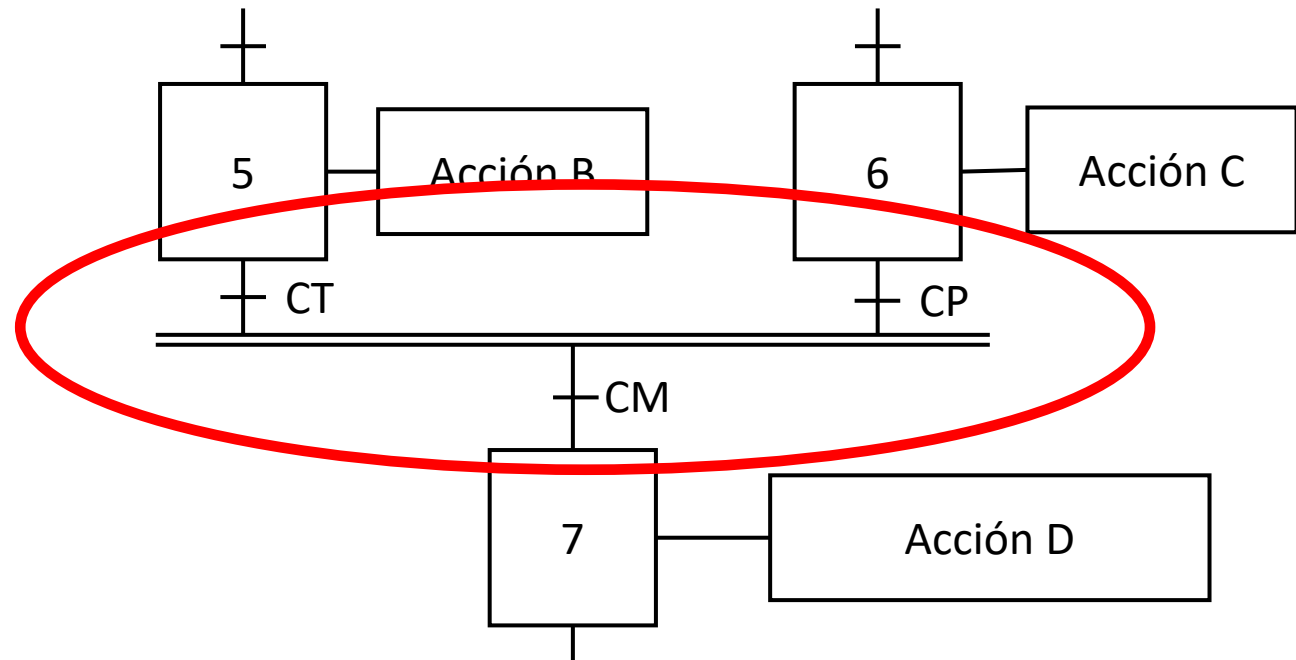


GRACET. Estructuras

No cumple principio:

transición-etapa-transición

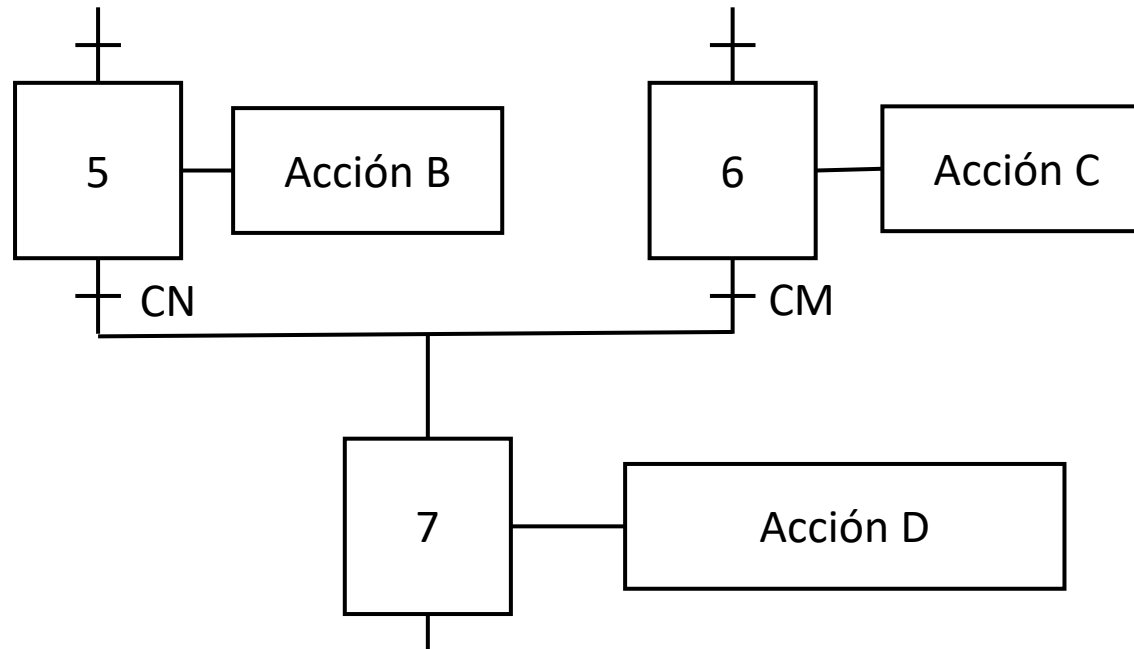
INCORRECTO



GRACET. Estructuras

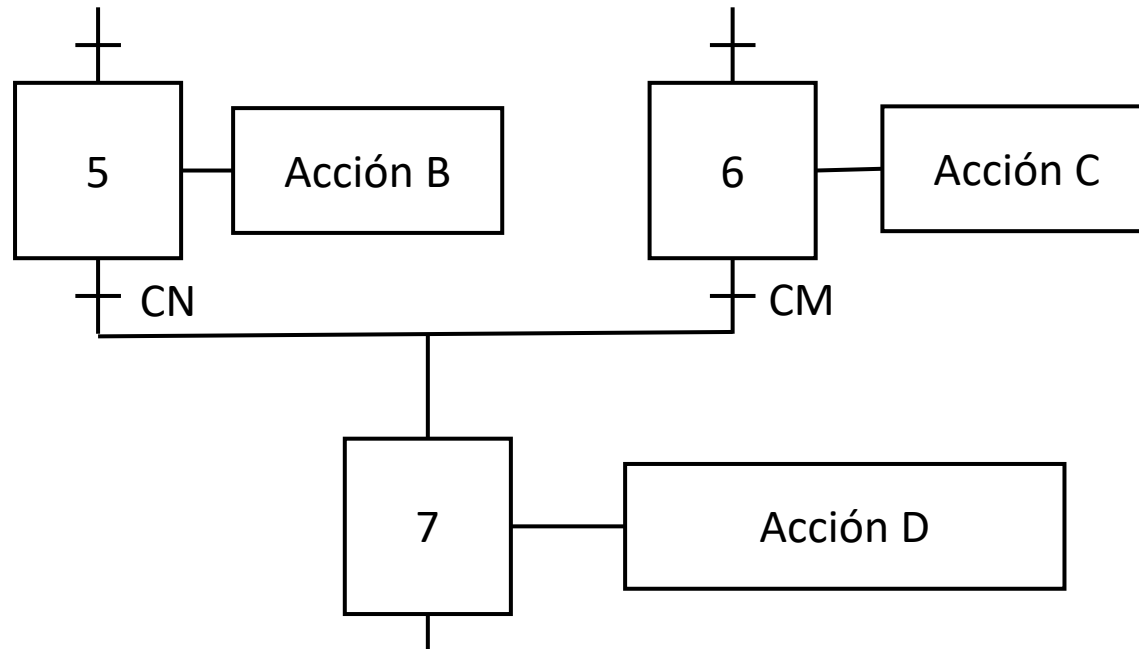
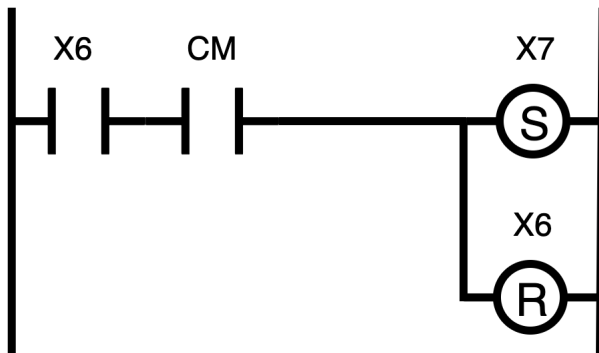
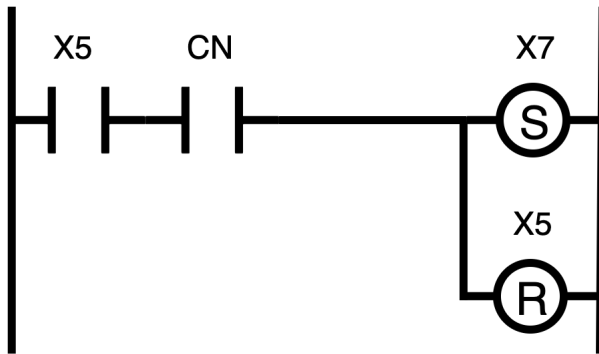
- **Convergencia alternativa o en O:** Indica el final de acciones de control alternativas comenzadas por una divergencia en O.

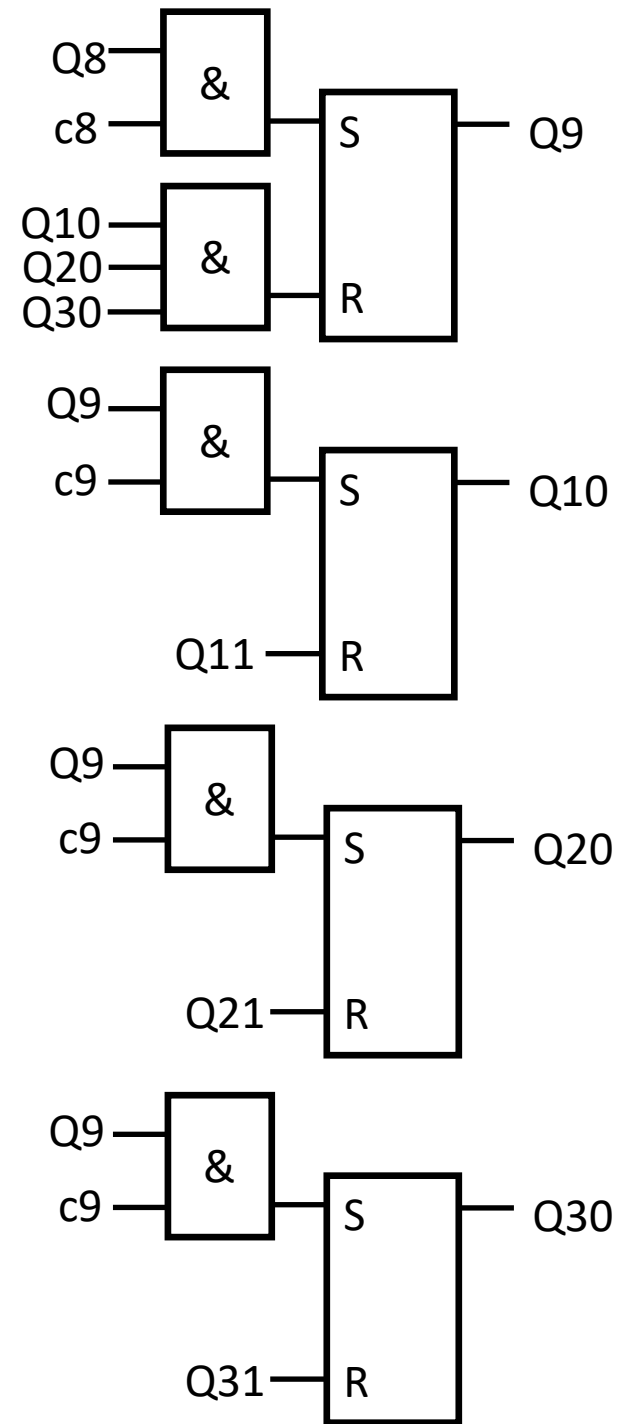
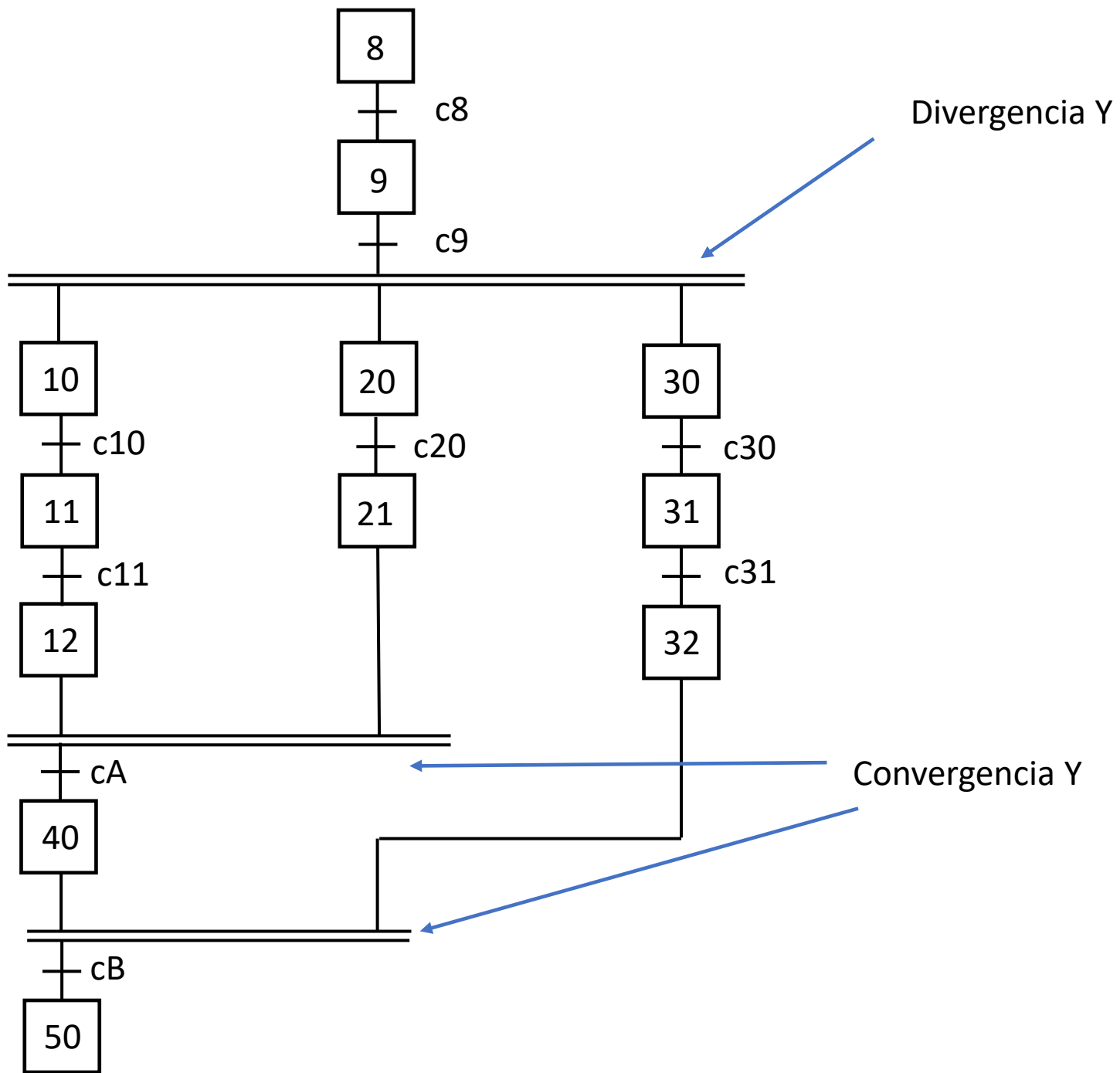
La etapa 7 se activa cuando se cumpla una de las dos condiciones CN o CM y esté activada la etapa correspondiente que se desactivará.

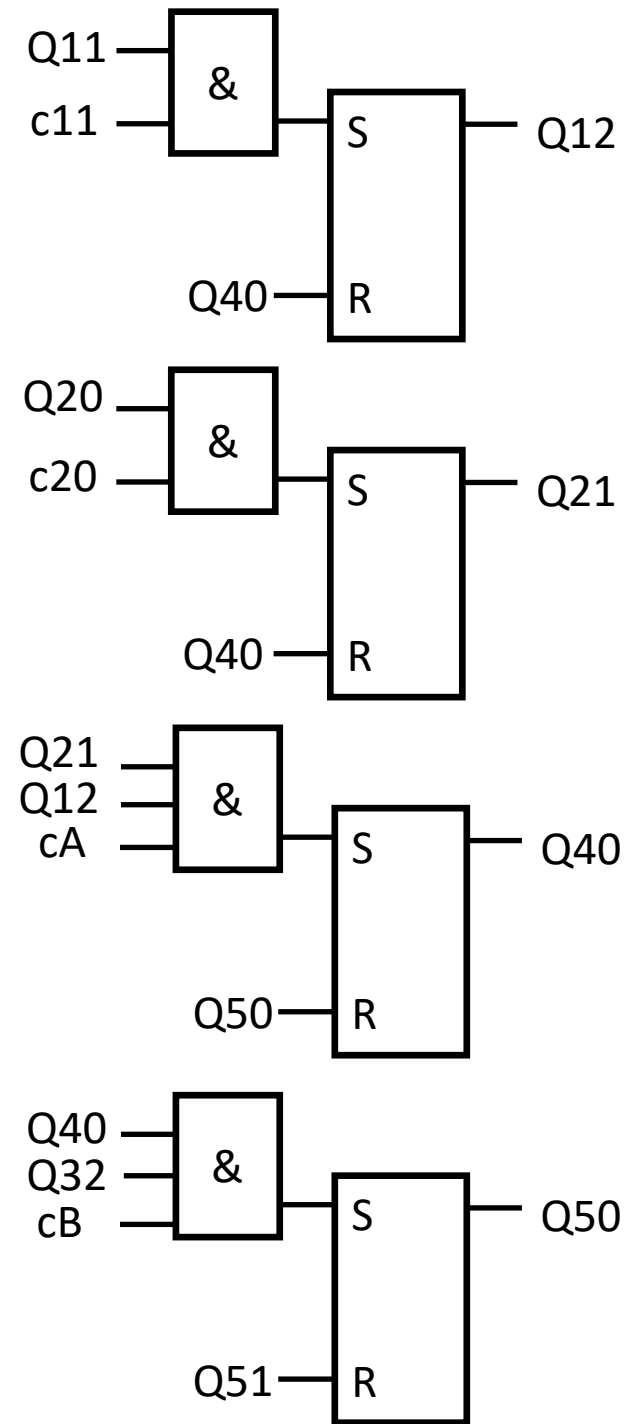
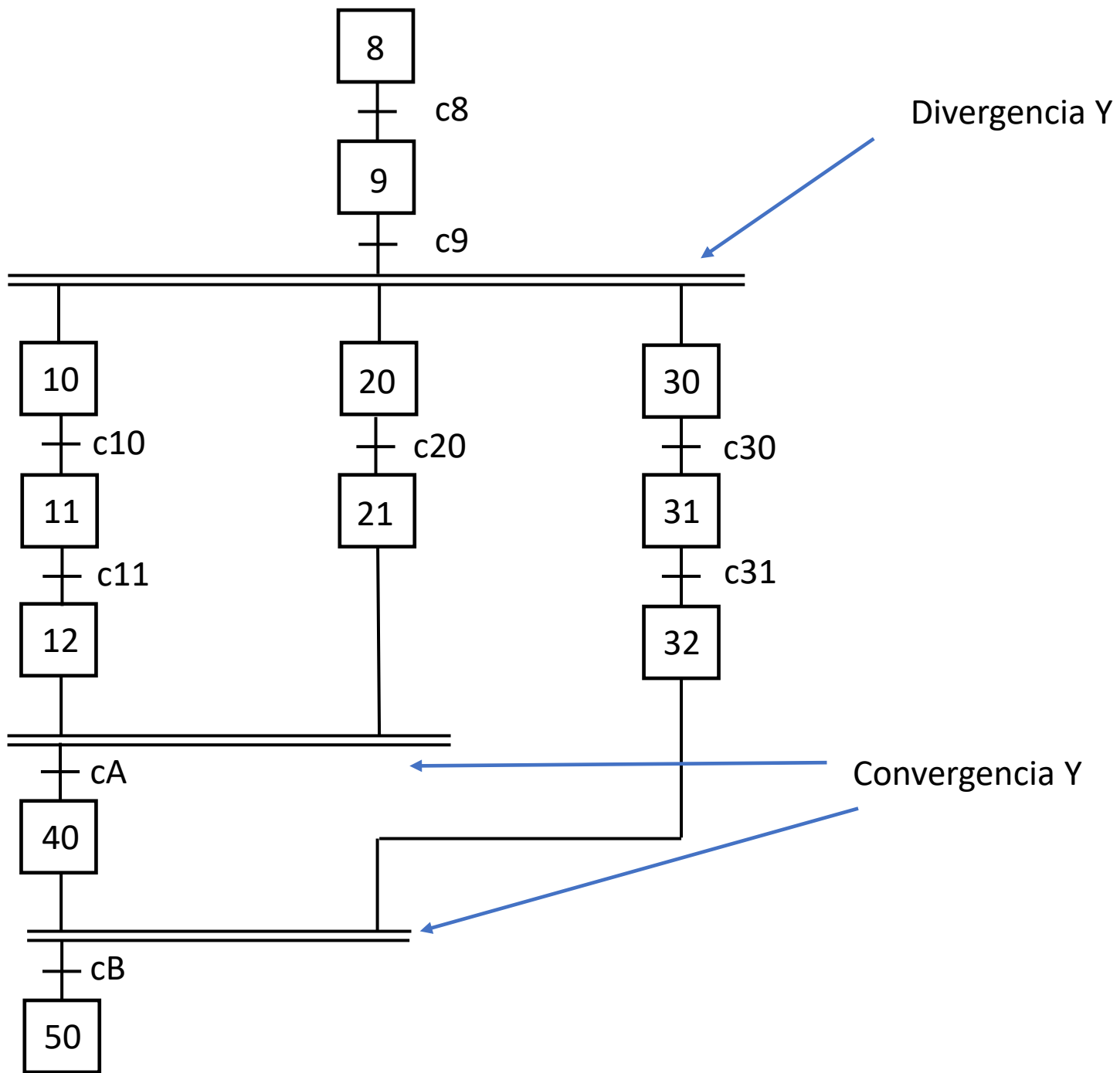


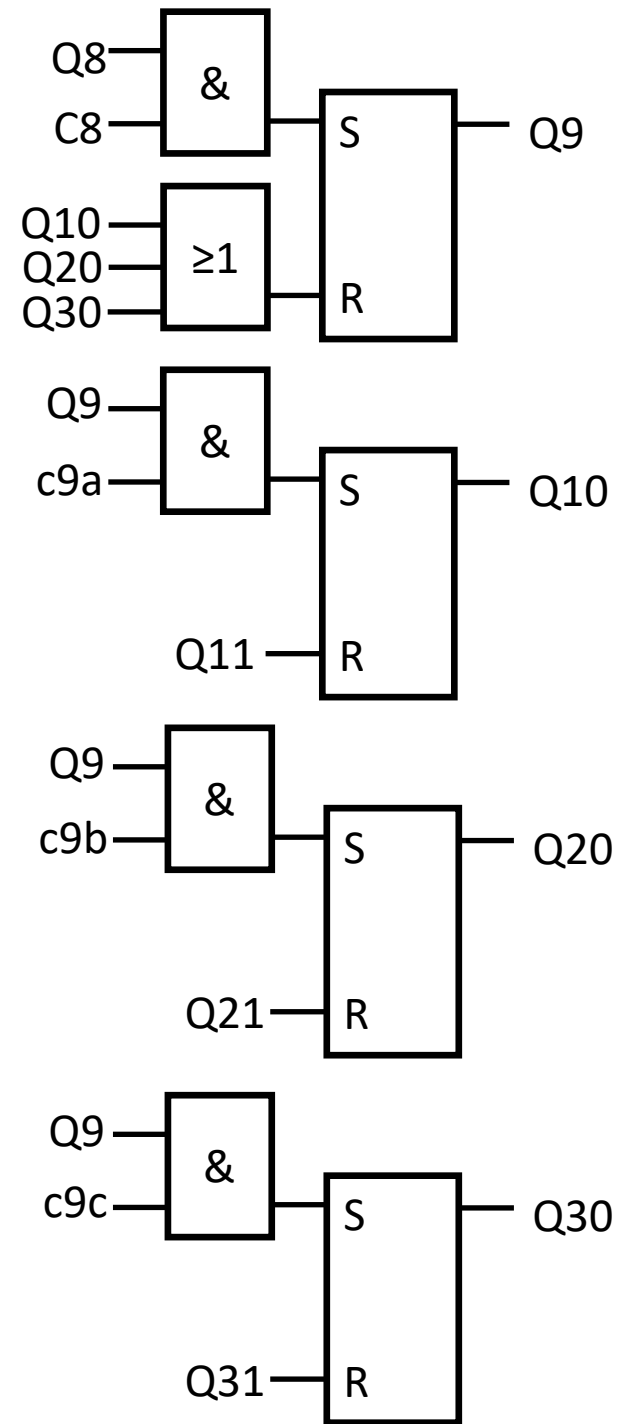
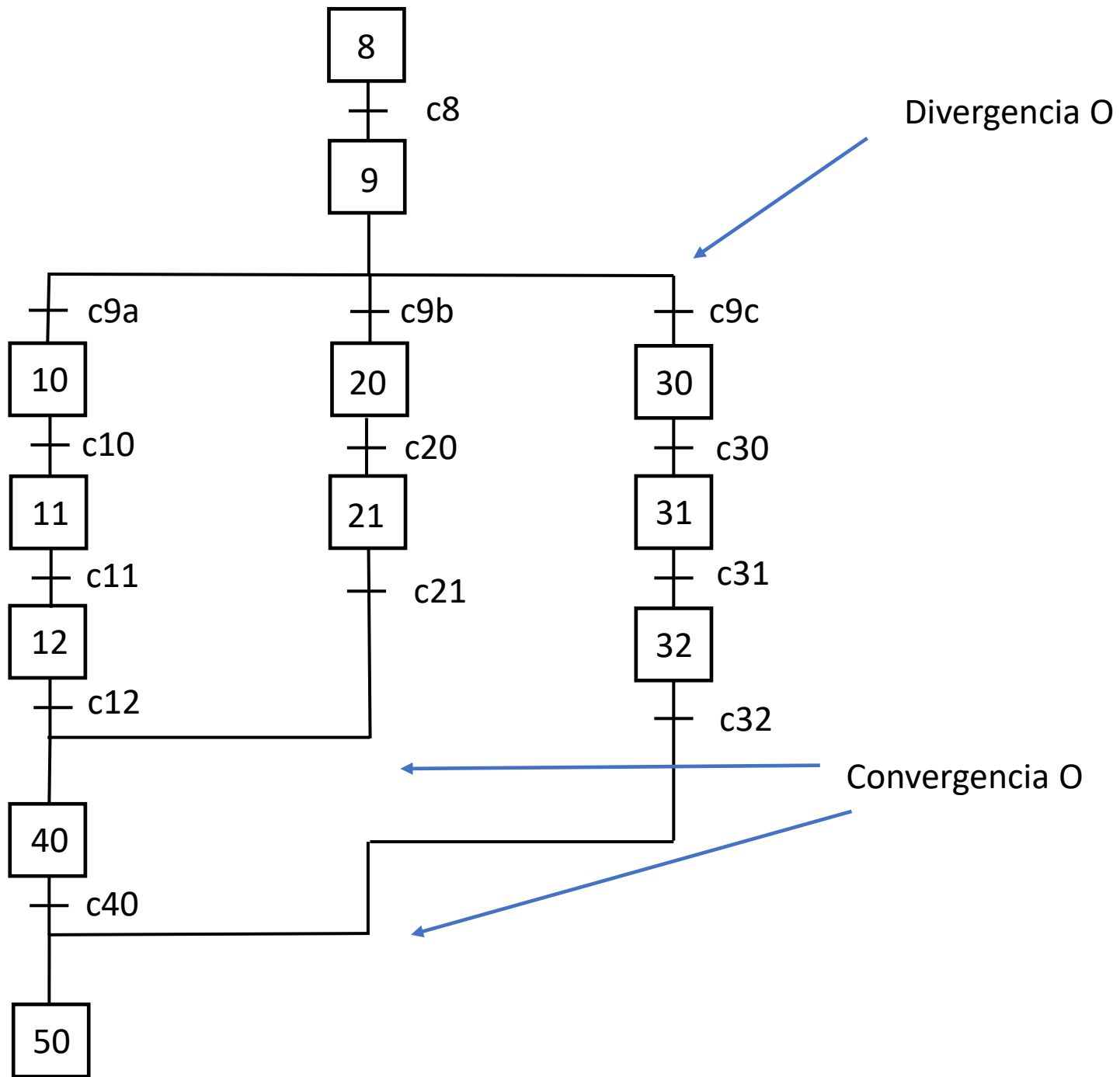
GRACET. Estructuras

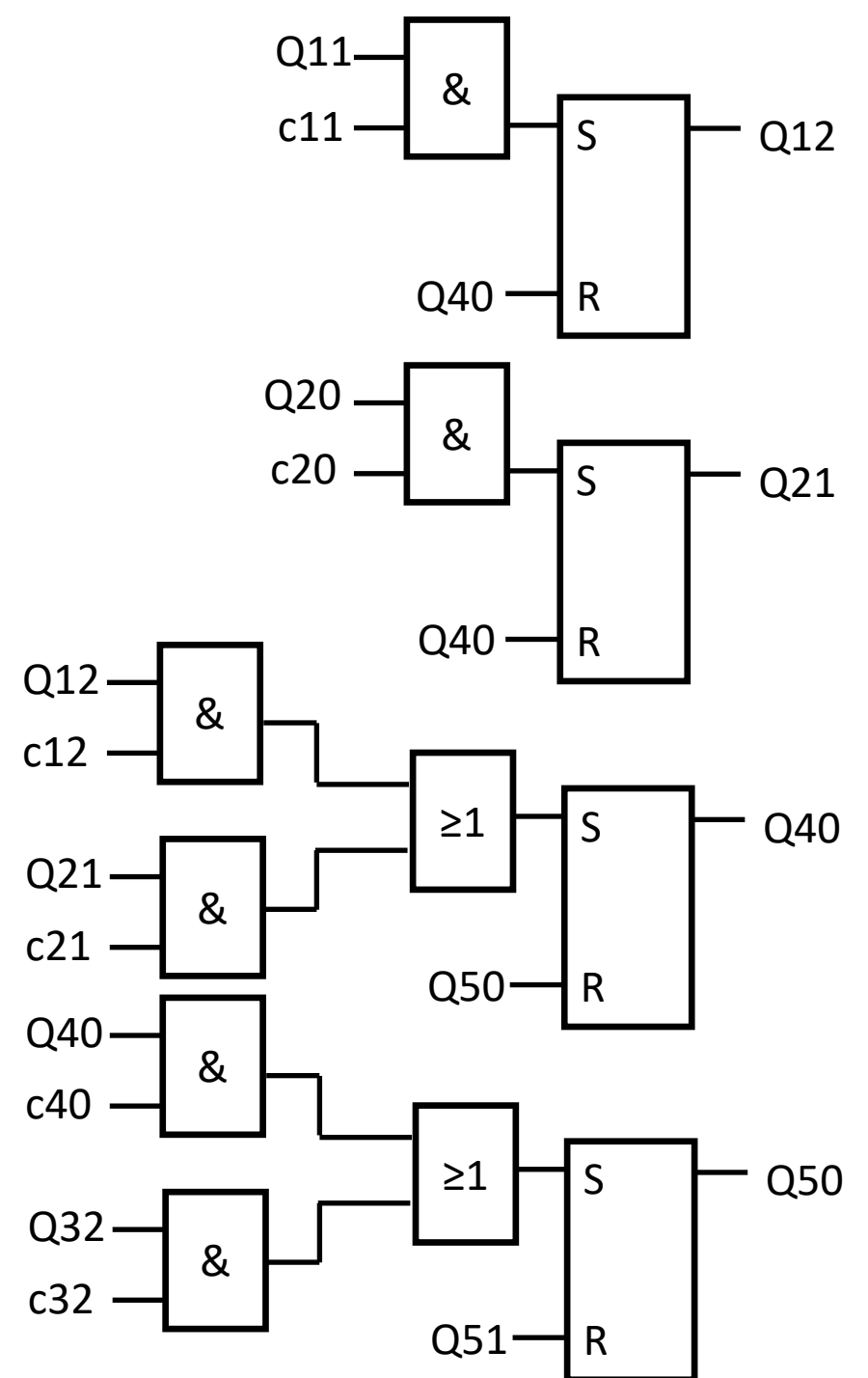
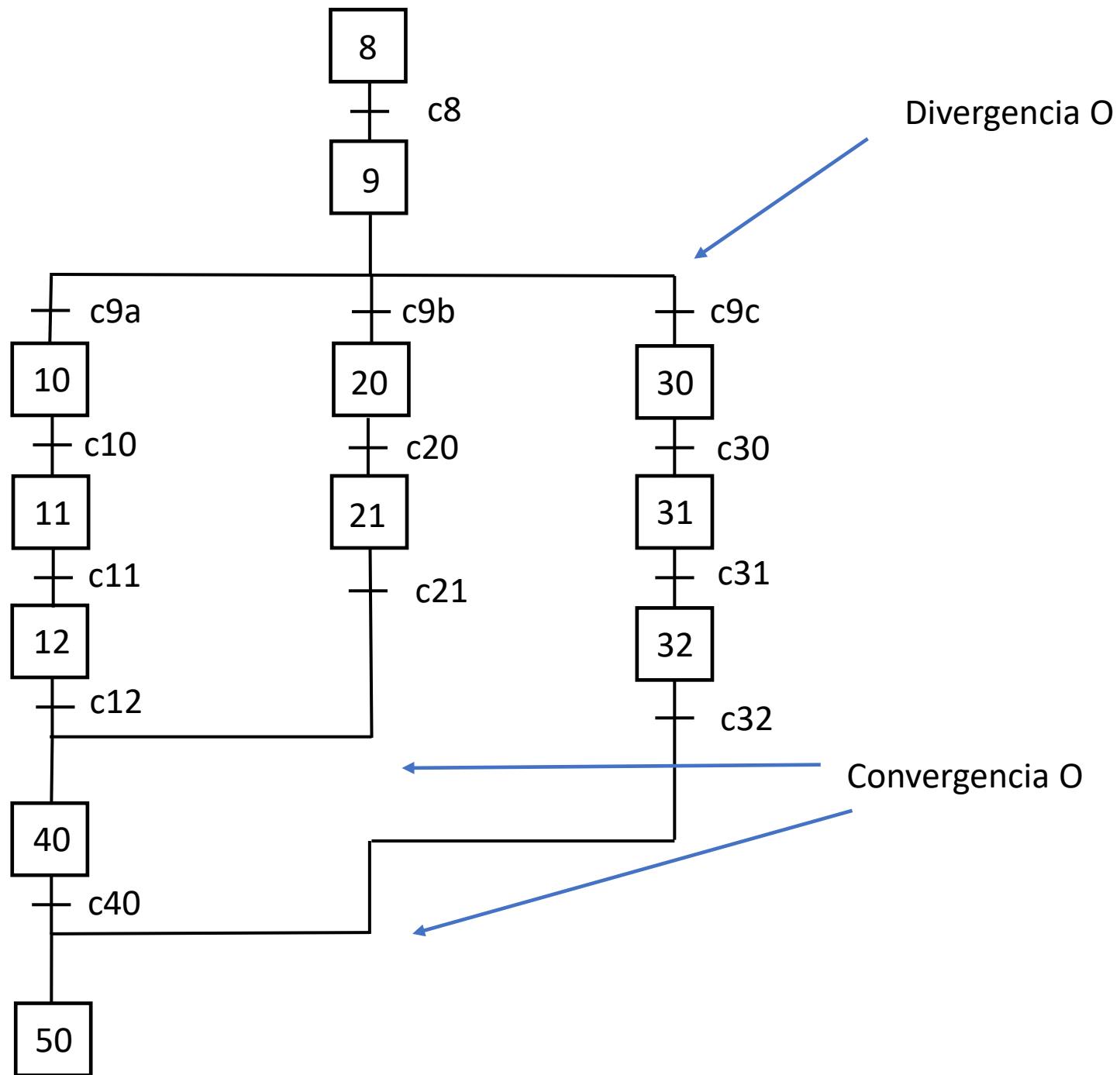
- **Convergencia alternativa o en O:** Indica el final de acciones de control alternativas comenzadas por una divergencia en O.







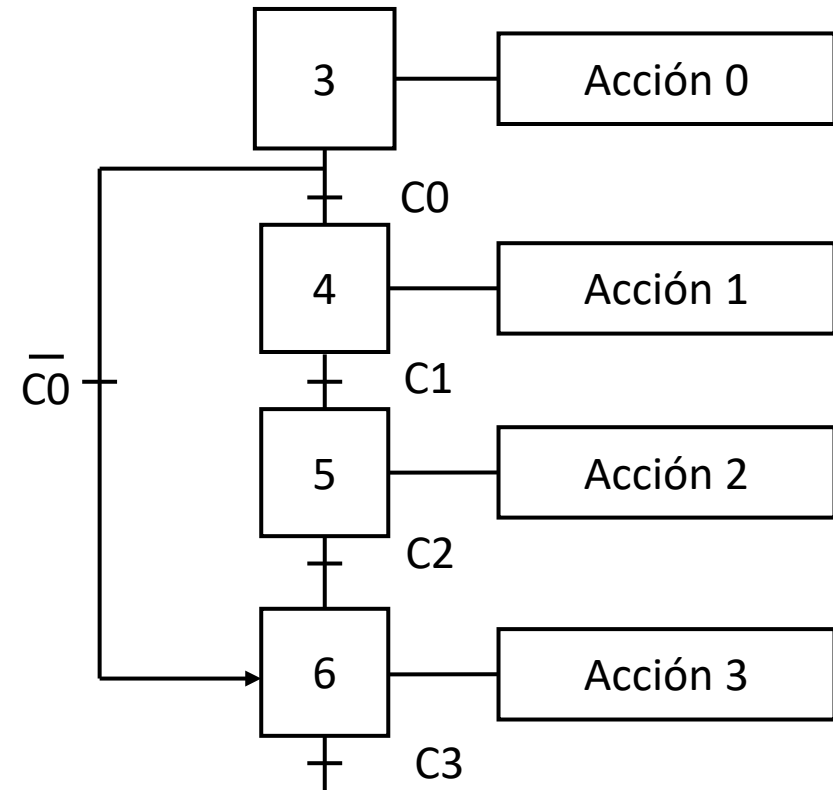




GRACET. Estructuras

- **Salto condicional:** Es un caso particular de la divergencia en O donde se saltan una serie de etapas si se cumple una condición. No tiene etapas explícitamente asociadas

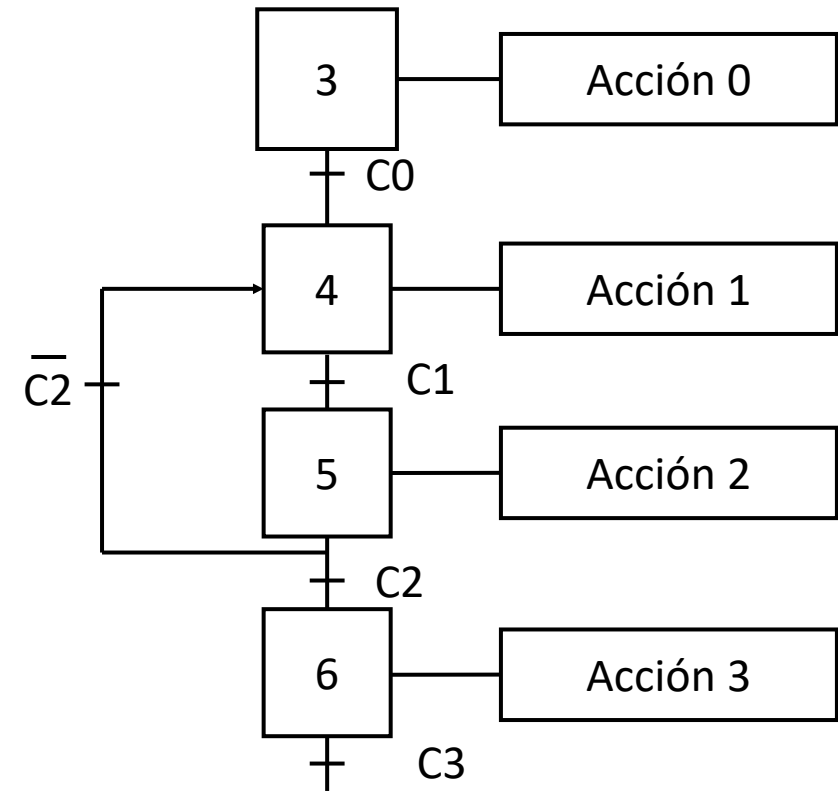
Se produce un salto en la secuencia desde la etapa 3 a la etapa 6 si la transición C0 es falsa. En caso de que C0 fuese verdadera la secuencia pasaría por las etapas 4 y 5. El salto sólo depende de la condición C0 durante la ejecución de la etapa 3.



GRACET. Estructuras

- **Repeticiones:** Es un caso particular de una divergencia en O donde un camino conecta una etapa con otra que le precede en la estructura. **Se debe señalar explícitamente con una flecha.**

Se produce un salto hacia atrás en la secuencia si la transición C2 es falsa cuando la etapa 5 está activa



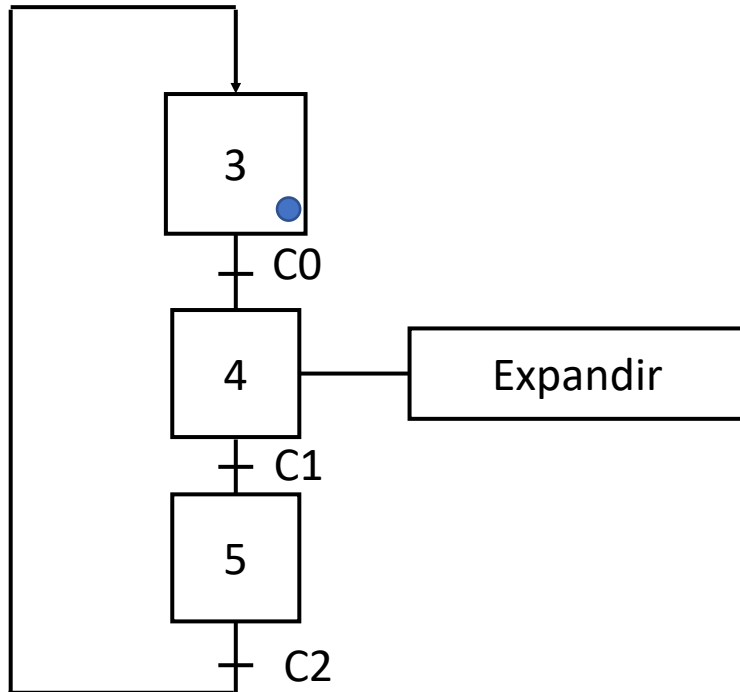
GRACET. Estructuras

- **Evolución fugaz:** Puede haber etapas inestables. En caso de que se cumplan simultáneamente $C0$ y $C1$ y esté activada la etapa 3. La etapa 4 es inestable.

$C0 = 1$
 $C1 = 1$
 $X3 = 1$



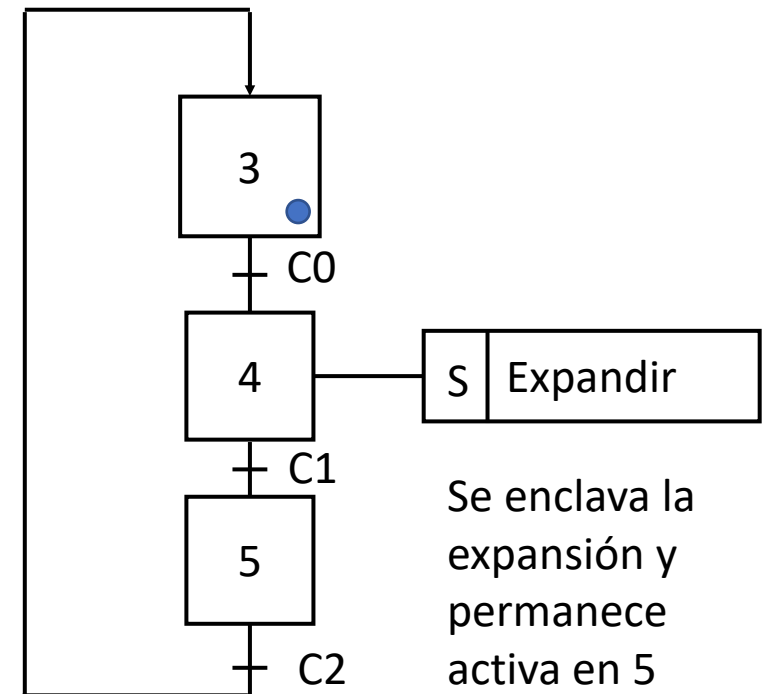
Evolución
a 5 y no se
produce la
expansión



$C0 = 1$
 $C1 = 1$
 $X3 = 1$

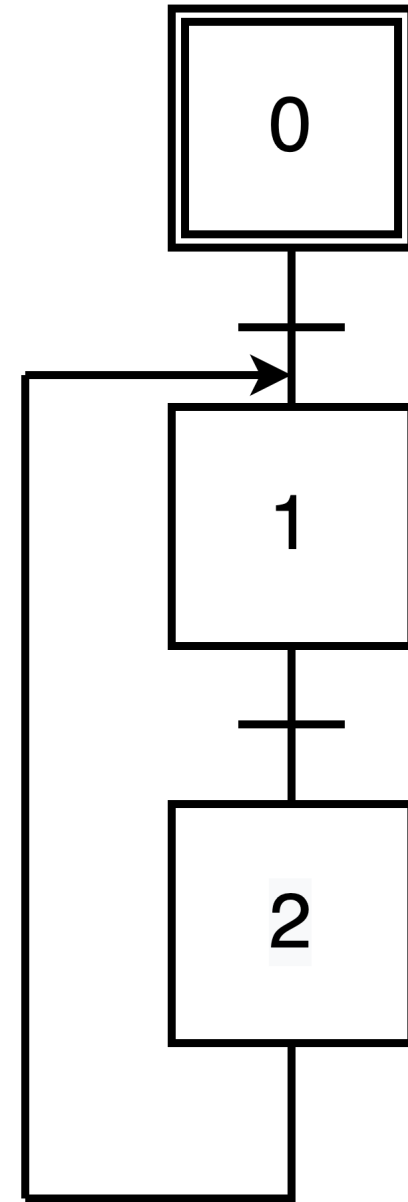


Evolución
a 5 se
activa la
expansión



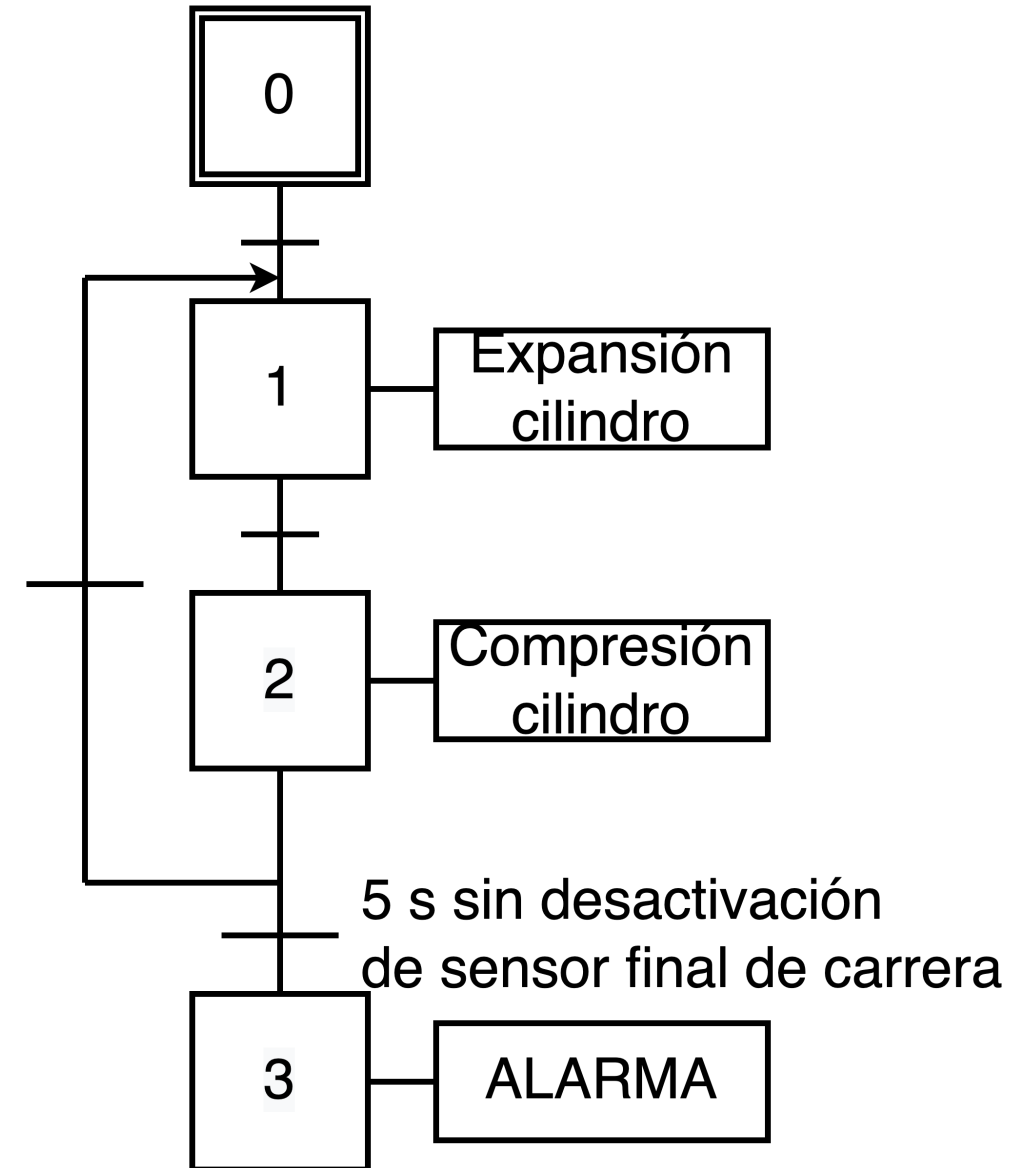
GRACET. Etapa fuente

- Una **etapa fuente** es una etapa que no tiene ninguna transición que la preceda. Normalmente será la etapa de inicio, que se activa con la puesta en marcha del sistema. También puede ser debida a un forzado dentro de otro GRAFCET.



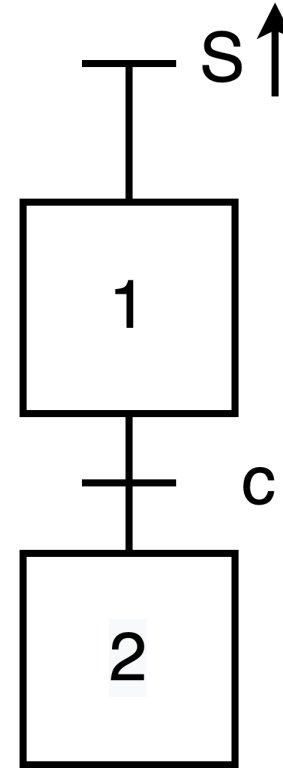
GRACET. Etapa sumidero

- Una **etapa sumidero** es una etapa que no está conectada posteriormente a ninguna transición. La desactivación sólo es posible si existe una orden de forzado o forma parte de un encapsulamiento que se desactiva. Normalmente se usa para estados de defecto.

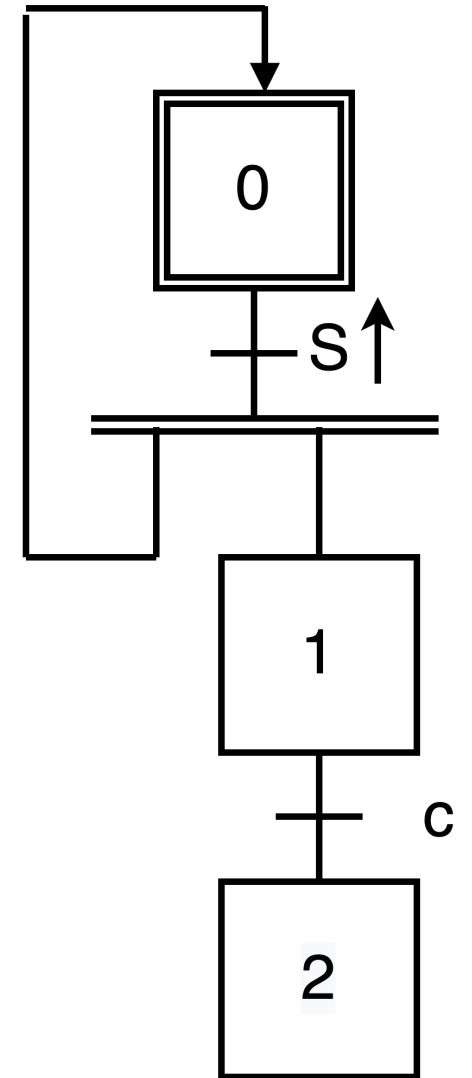


GRACET. Transición fuente

- Una **transición fuente** es una transición que no tiene ninguna etapa que la preceda. Está siempre validada y se franquea tras la verificación de su receptividad. Se representa con una barra horizontal e el extremo del arco. Es recomendable usar flancos en las receptividades para evitar que se active permanentemente.



Transición fuente



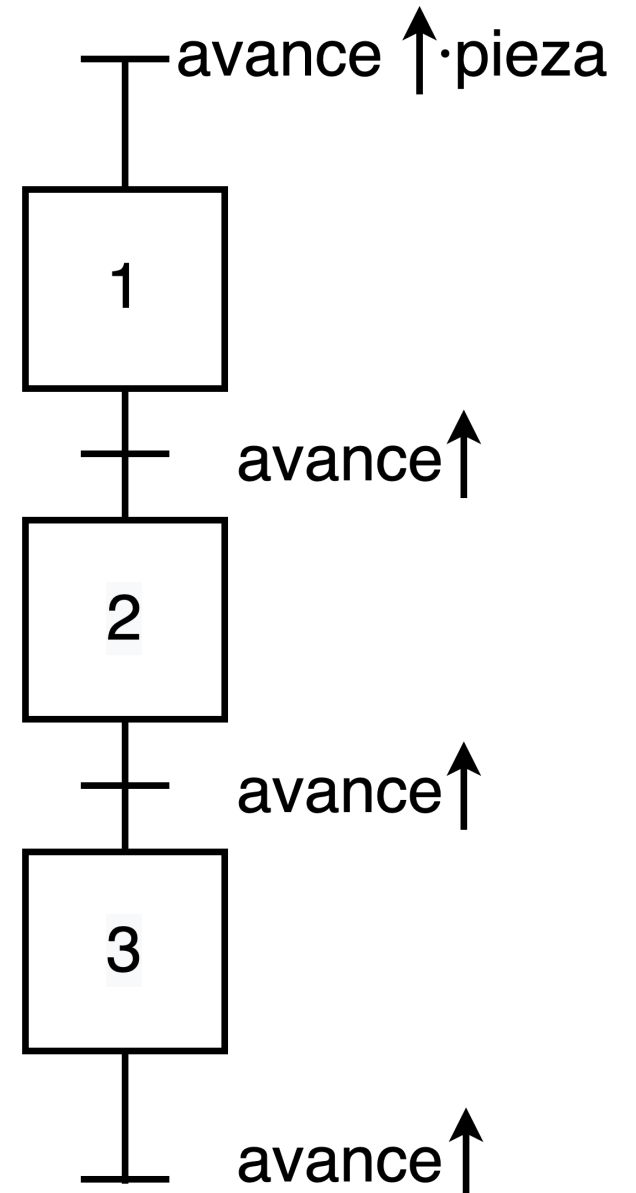
GRAFCET equivalente

GRACET. Transición sumidero

- Una **transición sumidero** es una transición que no tiene ninguna etapa que la suceda. Se usa para desactivar etapas.

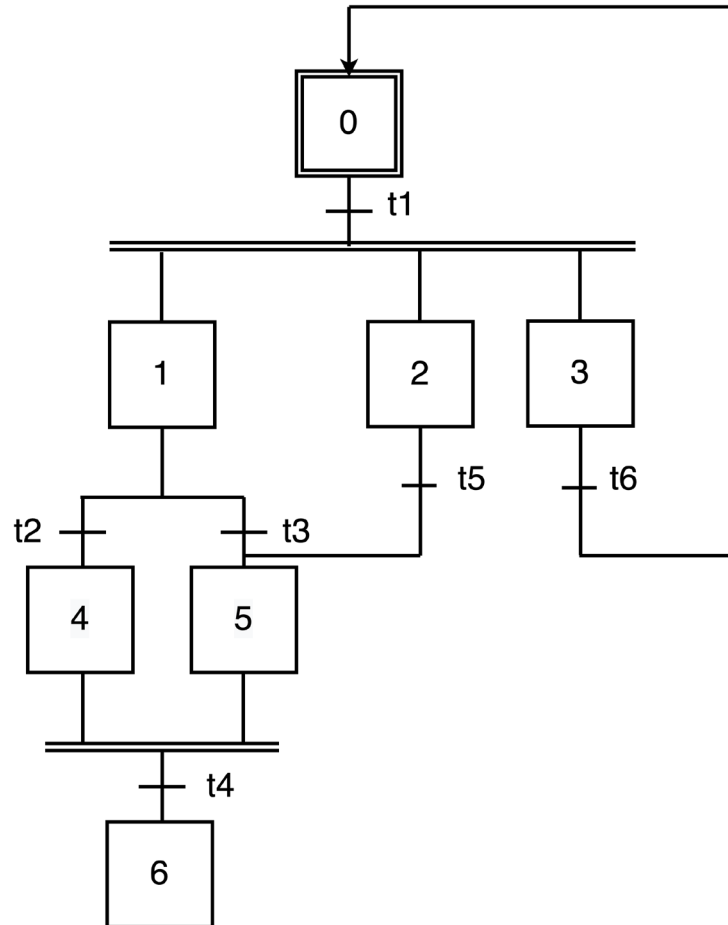
Máquina de tres puestos:

- Inicialmente 1, 2 y 3 están desactivadas.
- Si se detecta una pieza (pieza =1) y se pulsa el accionador la pieza entra en la máquina (activada transición fuente).
- Cada nueva pulsación hace que la pieza vaya avanzando hasta llegar a la etapa 3.
- Pueden estar activas todas las etapas si llegan nuevas piezas cuando las que está dentro del proceso no han acabado.

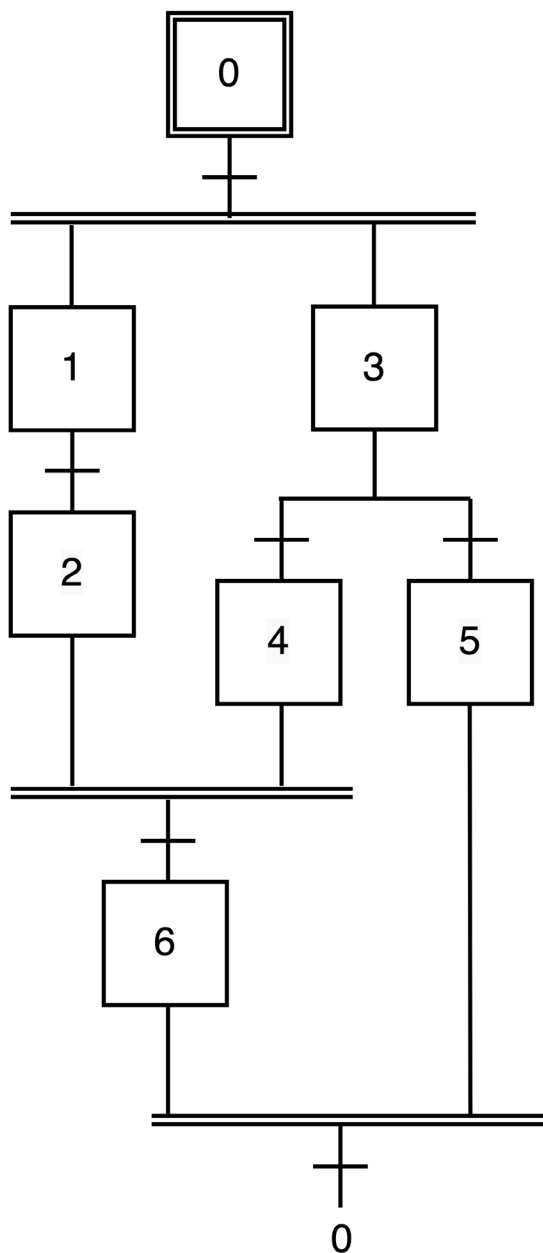


GRACET

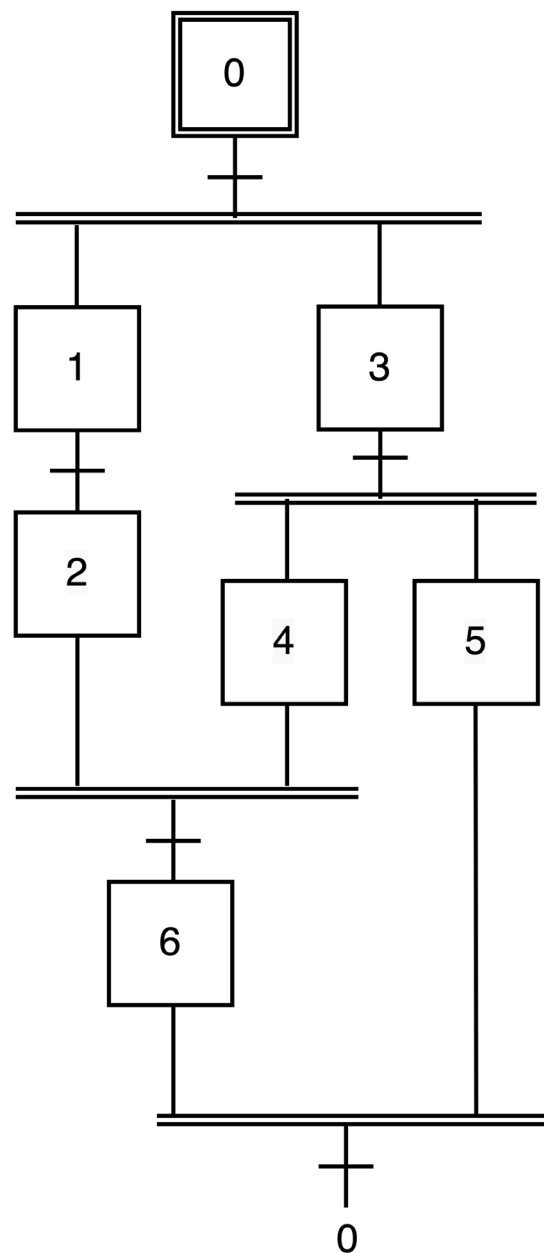
- **GRAFCET inseguros:** GRAFCET inconsistentes o sin sentido físico.



GRAFNET INSEGURO



GRAFNET SEGURO



GRACET

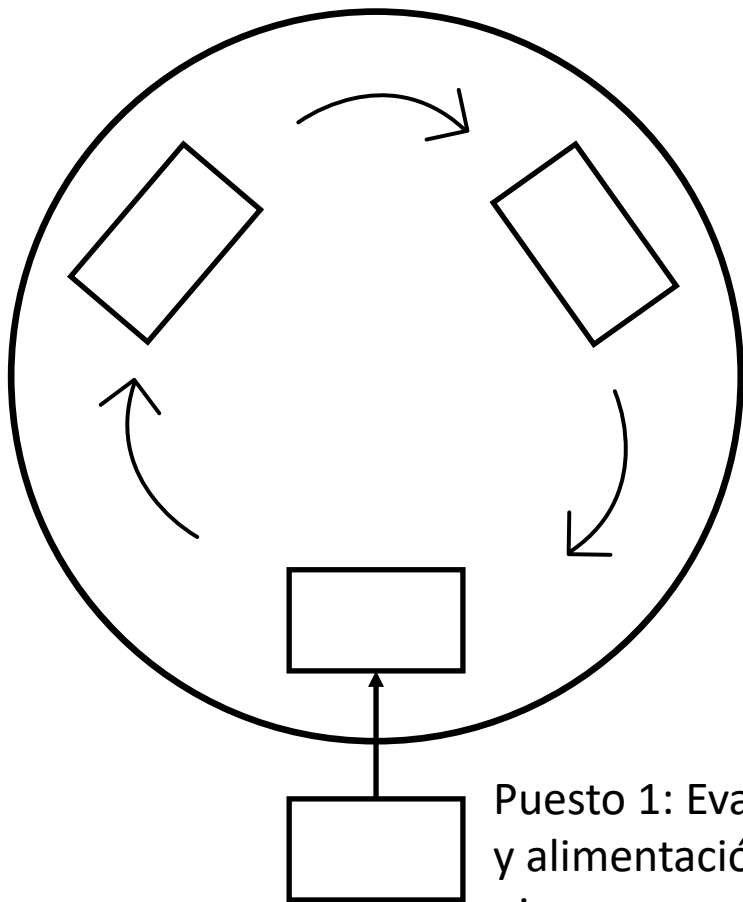
- **Recomendaciones:**

- Si se emplean estructuras de divergencia utilizar correspondiente estructura de convergencia para recoger las secuencias abiertas (en Y o en O).
- Sincronizar etapas de secuencias concurrentes.
- Sincronizar, si es posible el paso a un estado de reposo de todas las secuencias concurrentes.

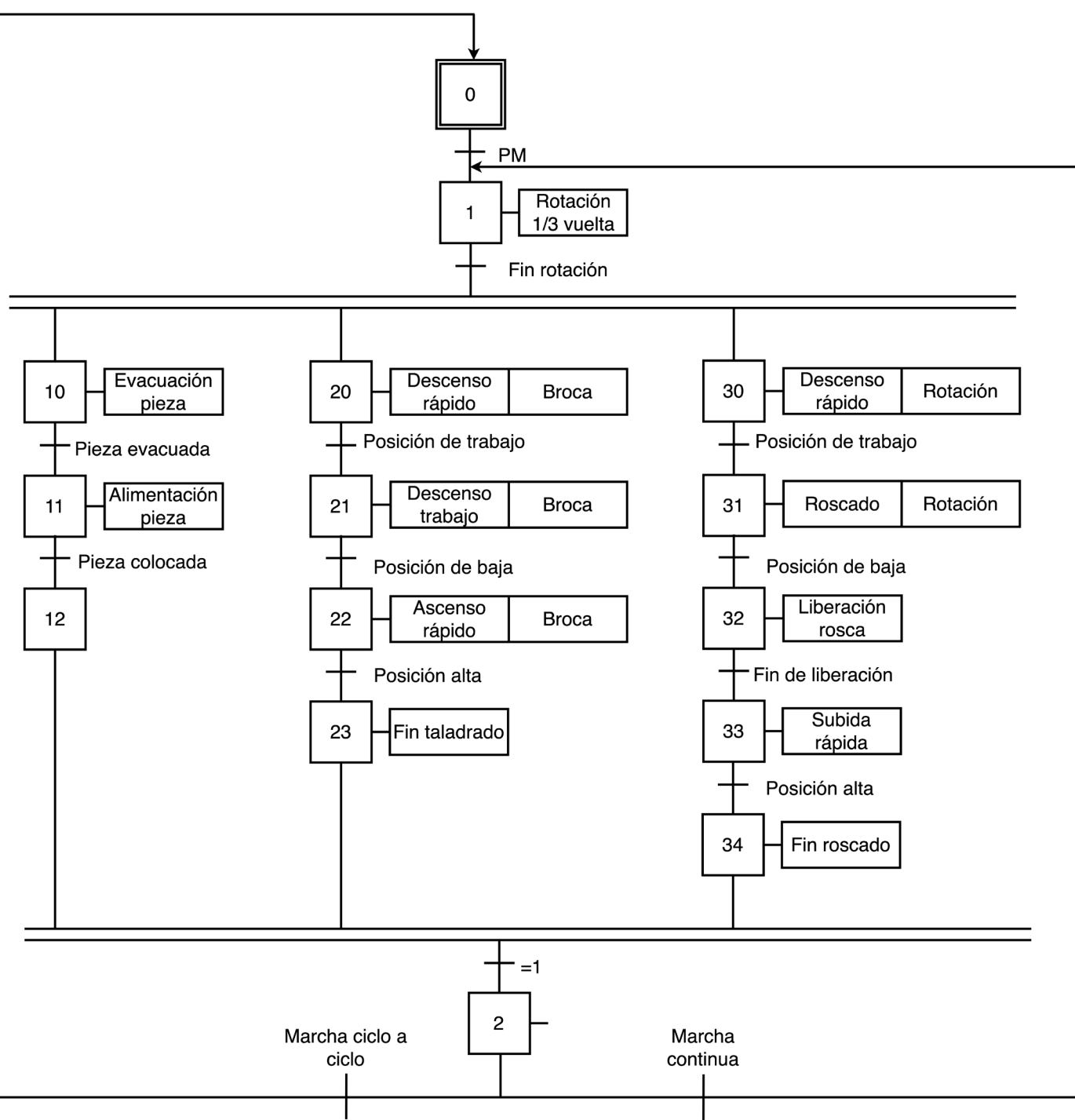
GRACET

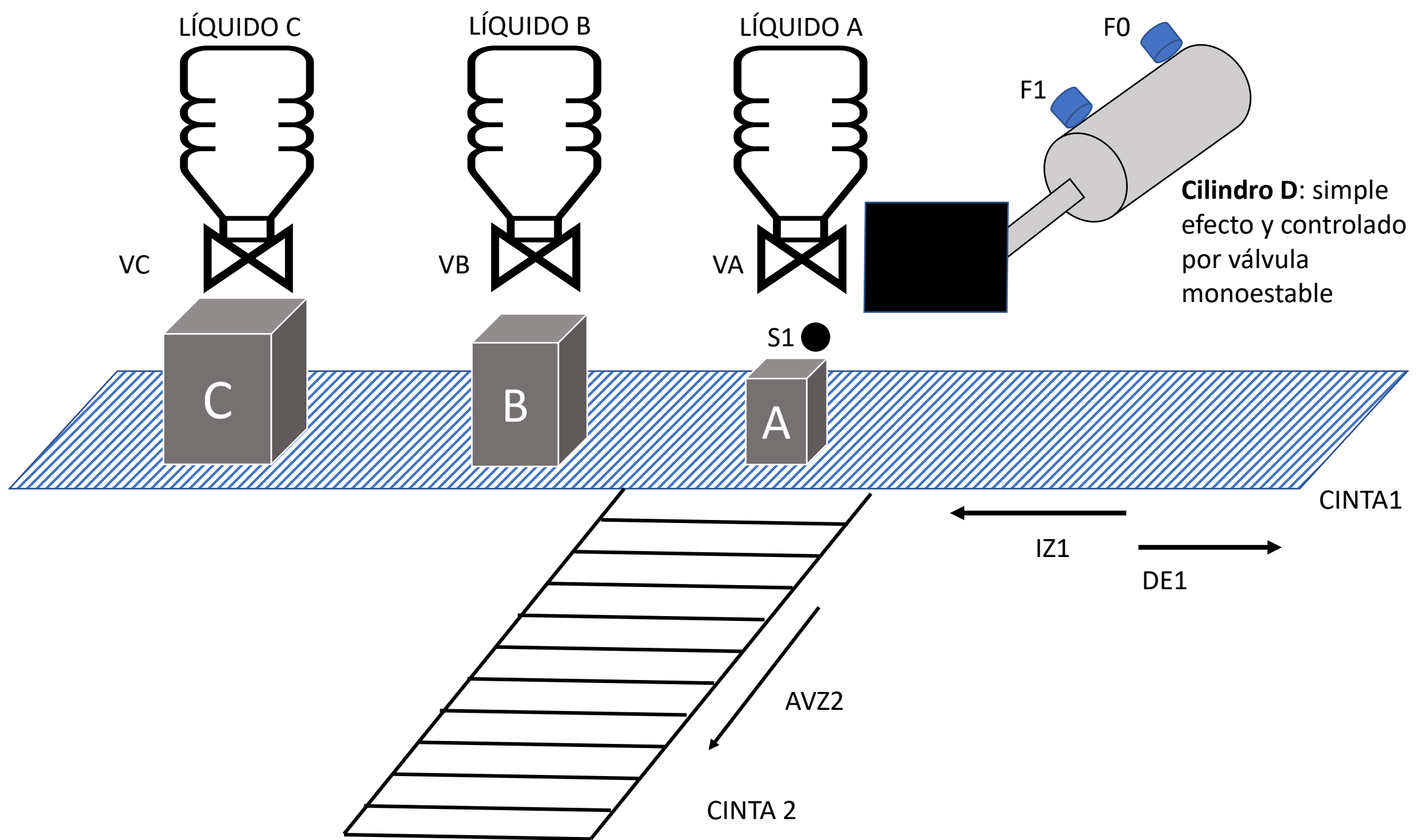
Puesto 2: Taladrado

Puesto 3: Roscado



Puesto 1: Evacuación y alimentación de piezas





Llenado contenedor líquidos

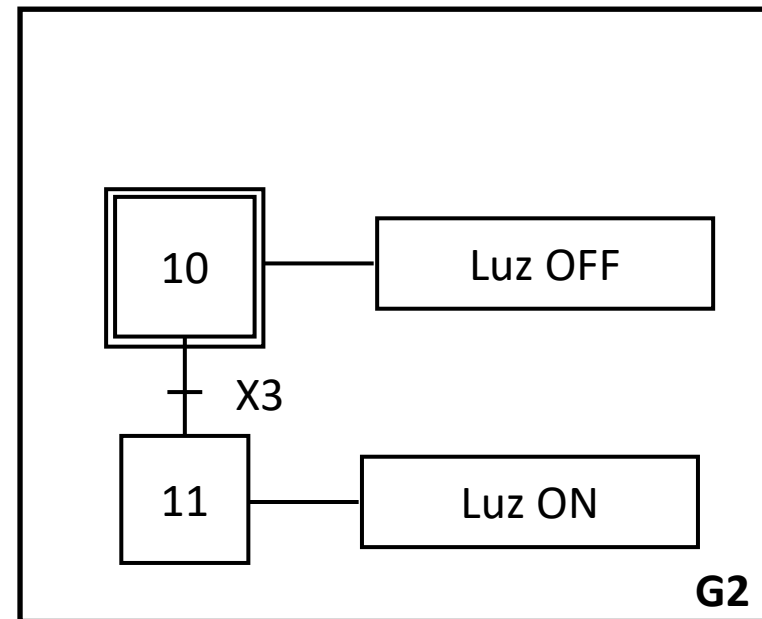
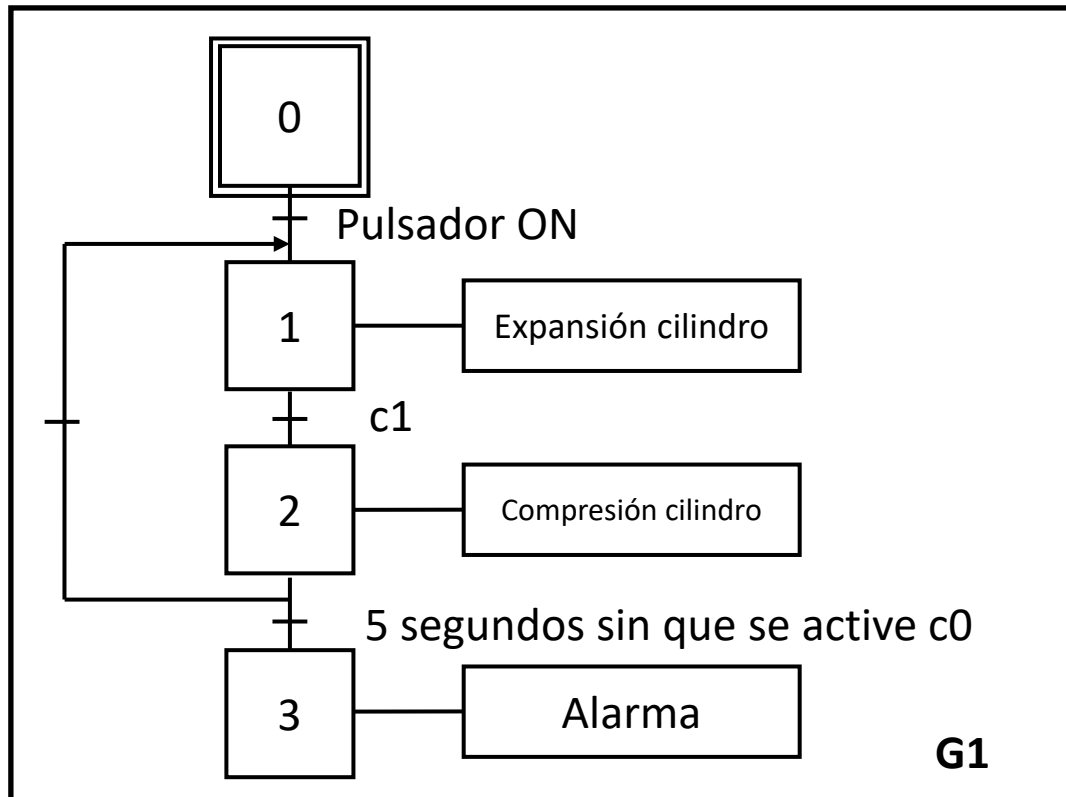
Se quieren llenar 3 contenedores A, B y C de distinto tamaño:

- Contenedor A: 15s de líquido A
- Contenedor B: 15s de líquido B y 10s de líquido A
- Contenedor C: 15s de líquido C, 10s de líquido B y 5 s de líquido A.

Hay una cinta transportadora CINTA1 en la que se introducen en serie los 3 contenedores. La CINTA1 se activa si $F0=1$ e inicialmente arranca moviendo las cajas hacia la izquierda al pulsar el pulsador de marcha M (NA). El primer contenedor en llegar al sensor S1 es el C, luego el B y finalmente el A. Una vez que todos los contenedores están llenos el cilindro los evacúa hacia la CINTA2. La CINTA 2 sólo está activa durante el movimiento de retroceso del cilindro. La distancia entre los contenedores es la misma que la distancia entre los depósitos de líquidos. Si se pulsa m el sistema hace un ciclo completo y luego queda en espera.

GRACET. Estructuración

- La norma permite descomponer un diagrama en tantas partes cerradas como se quiera, cada parte sería un GRAFCET parcial.



GRAFCET GLOBAL

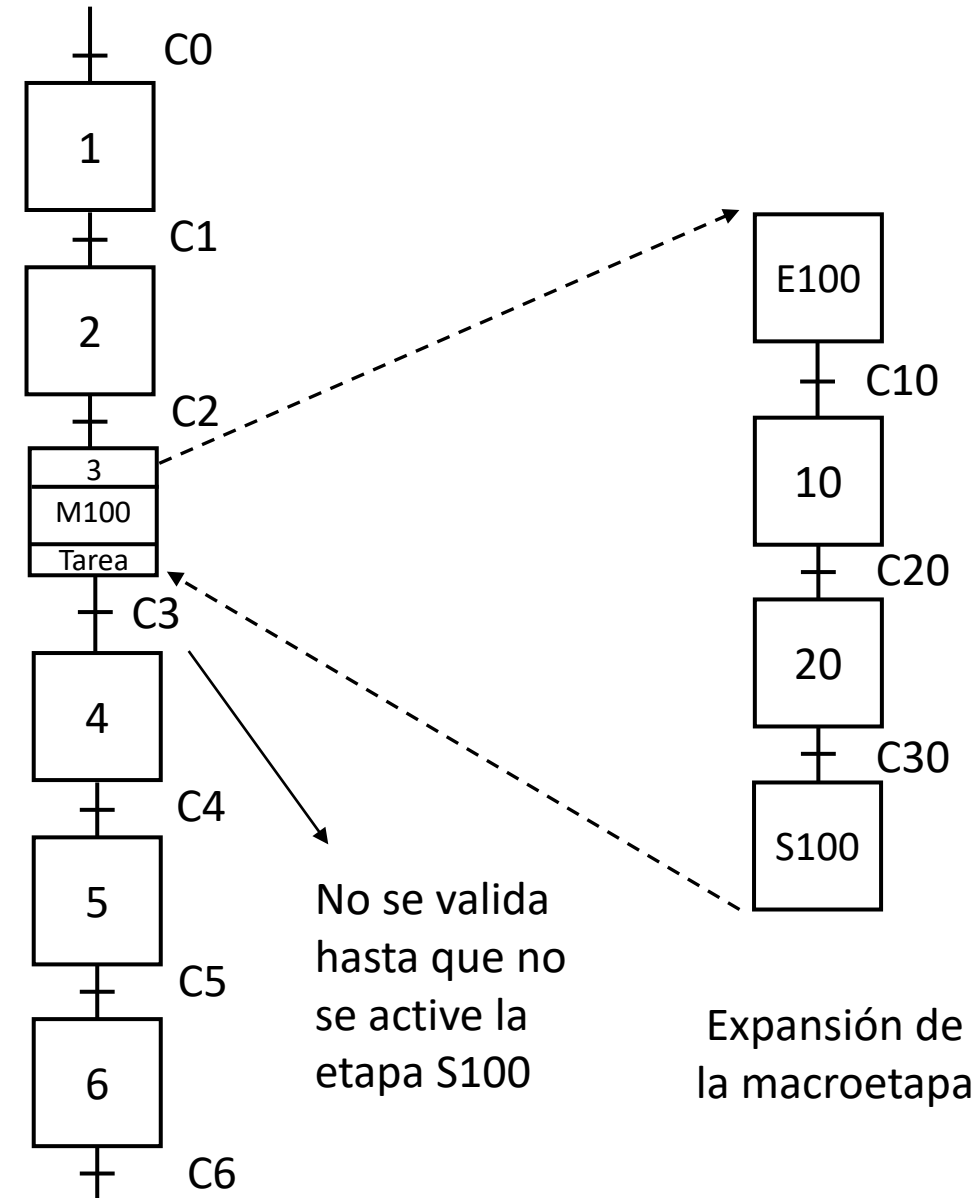
COORDINACIÓN
HORIZONTAL

GRACET. Estructuración

- Para referenciar GRAFCET parciales la norma establece los siguientes símbolos:
 - $G\langle N \rangle$: referencia el GRAFCET parcial N.
 - $G\langle N \rangle\{\text{listado etapas activas}\}$: indica el número de etapas activas del GRAFCET parcial N en el instante actual.
 - $G\langle N \rangle\{*\}$: indica la situación actual el GRAFCET N en el instante indicado.
 - $G\langle N \rangle\{\}$: indica que todas las etapas del GRAFCET N están desactivadas.
 - $G\langle N \rangle\{\text{INIT}\}$: indica que el GRAFCET N se encuentra inicializado y sólo están activas las etapas iniciales.

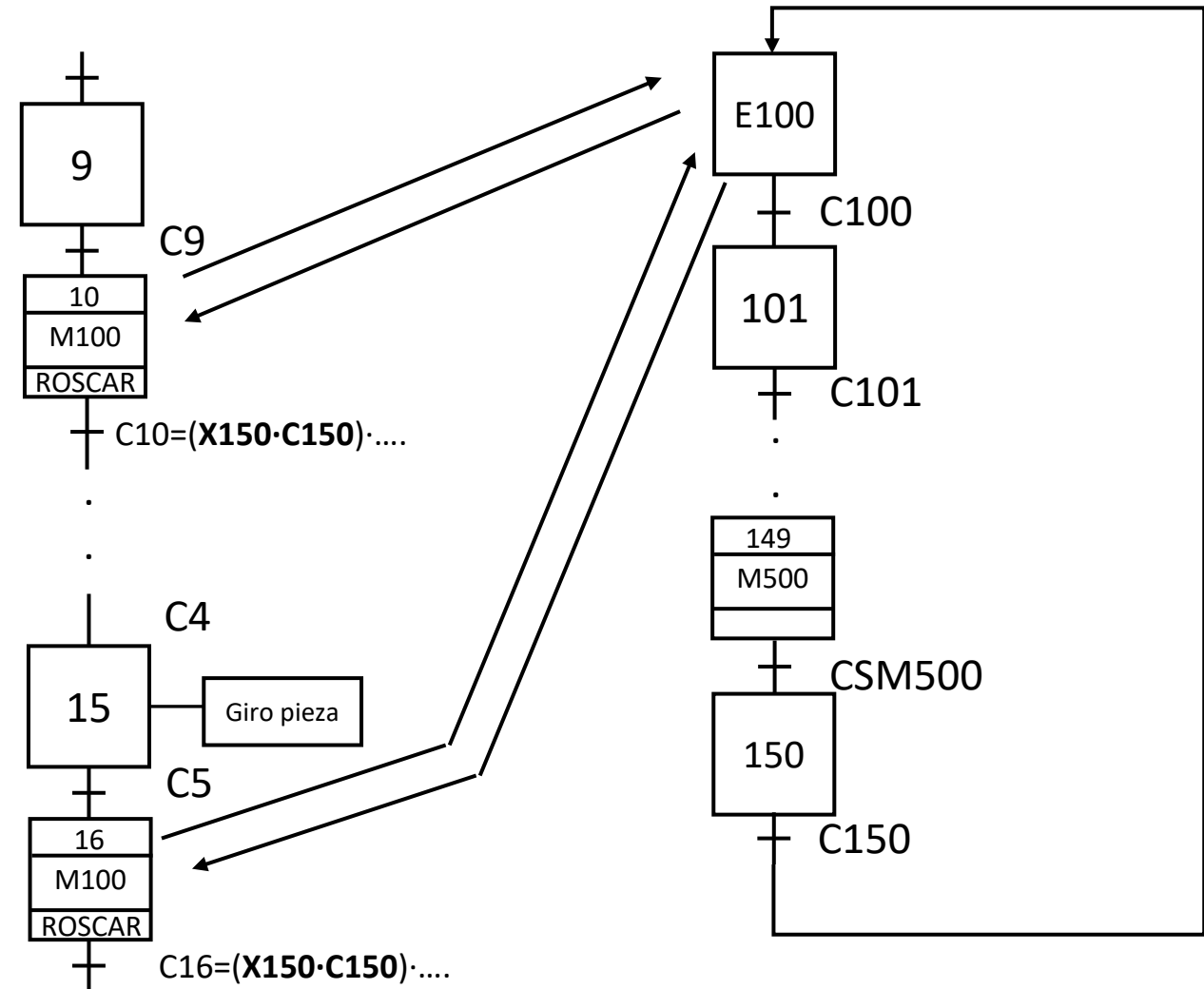
GRACET. Estructuración.

- **Macroetapas:** En GRAFCET complejos se pueden agrupar múltiples etapas en una Macroetapa para facilitar la comprensión del GRAFCET. Las macroetapas se indican con la letra M.
 - Una macroetapa debe tener una única etapa inicial y final.
 - El franqueo de la transición inmediatamente anterior a la macro etapa activa la etapa inicial de la macro etapa.
 - La activación de la etapa de salida de la macro etapa valida la transición inmediatamente posterior a la misma.
 - Pueden usarse macroetapas anidadas



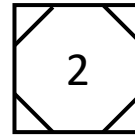
GRACET. Estructuración

- Se pueden usar una macroetapa como subrutina si no se activa la macroetapa en dos puntos distintos del GRAFCET de forma **simultánea**.

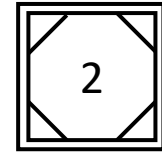


GRACET. Estructuración

- **Encapsulación:** Un conjunto de etapas están encapsuladas dentro de otra (encapsulante) si al activarse esta última al menos una de las etapas encapsuladas tiene que estar activa.



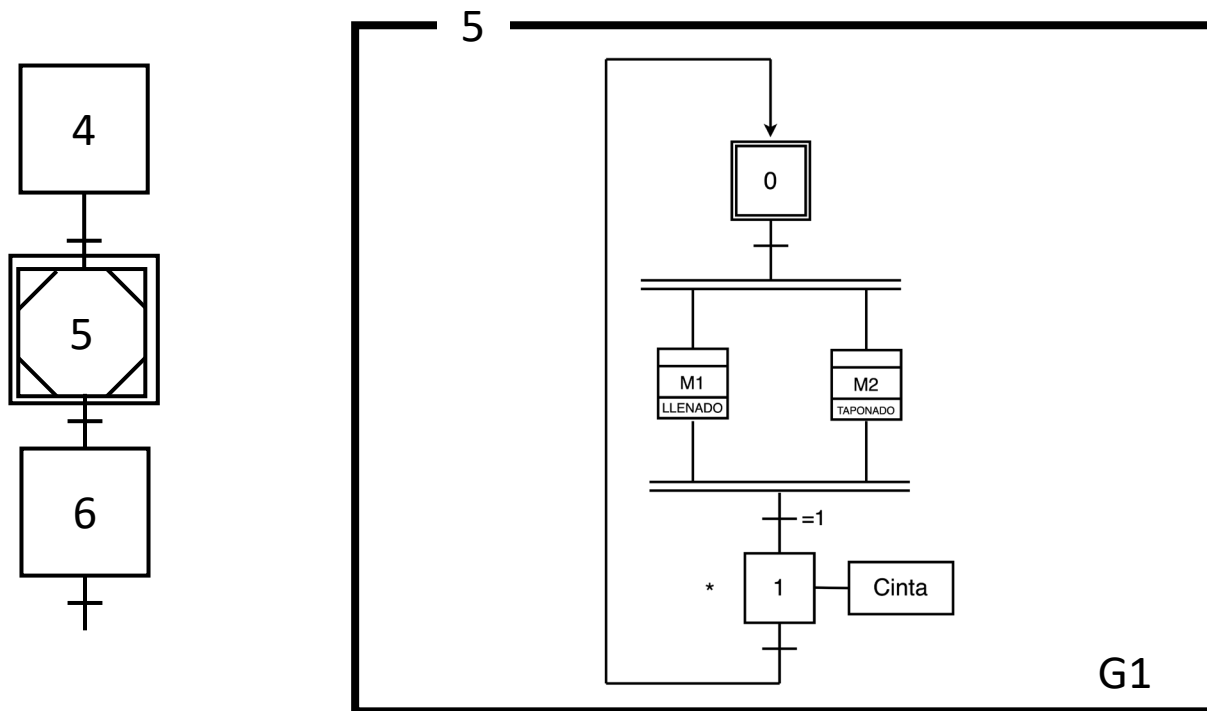
ETAPA
ENCAPSULANTE



ETAPA
ENCAPSULANTE
CON ETAPAS DE
INICIO

GRACET. Estructuración

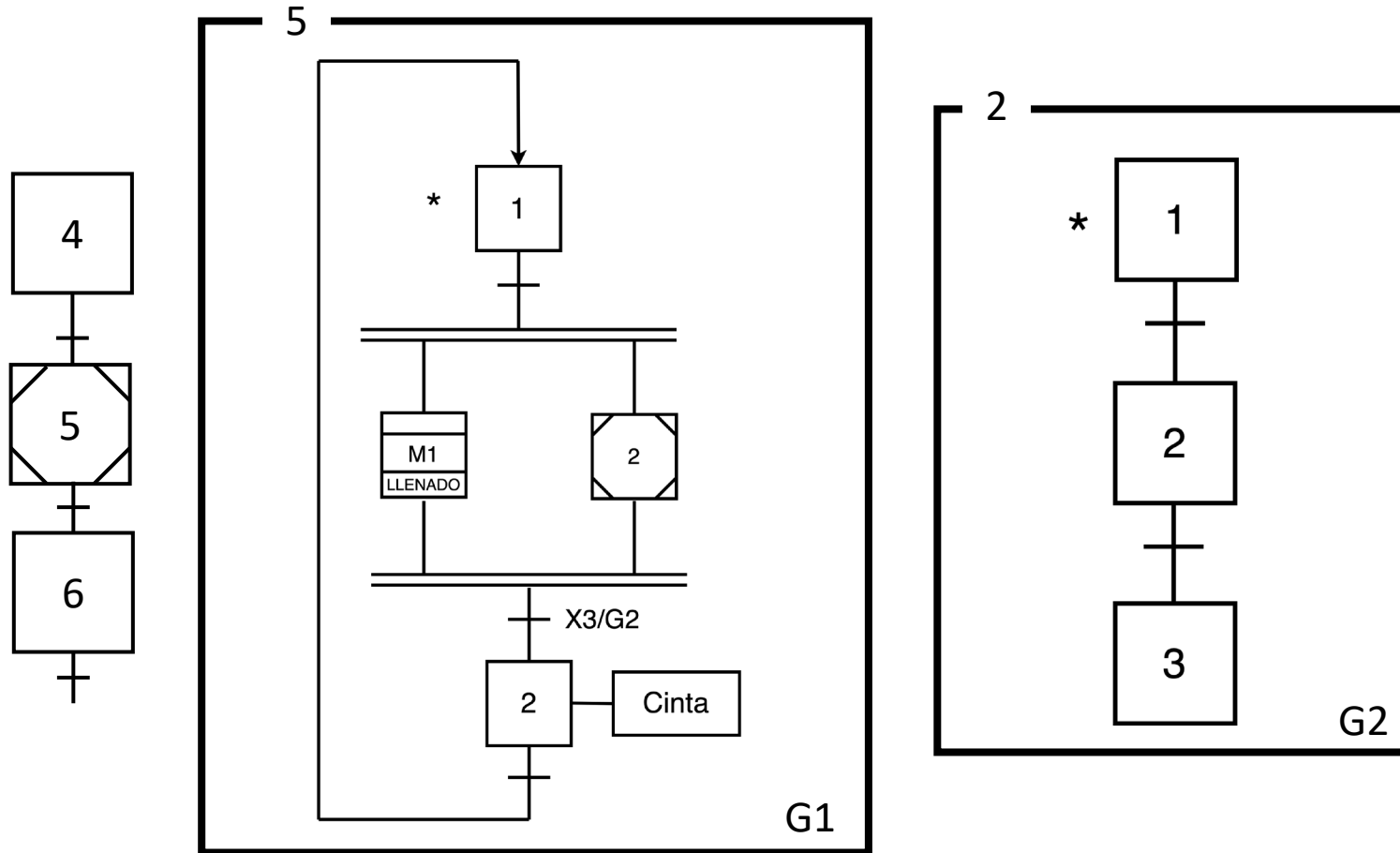
- **Encapsulación:** Un conjunto de etapas están encapsuladas dentro de otra (encapsulante) si al activarse esta última al menos una de las etapas encapsuladas tiene que estar activa.



* Nexo de activación

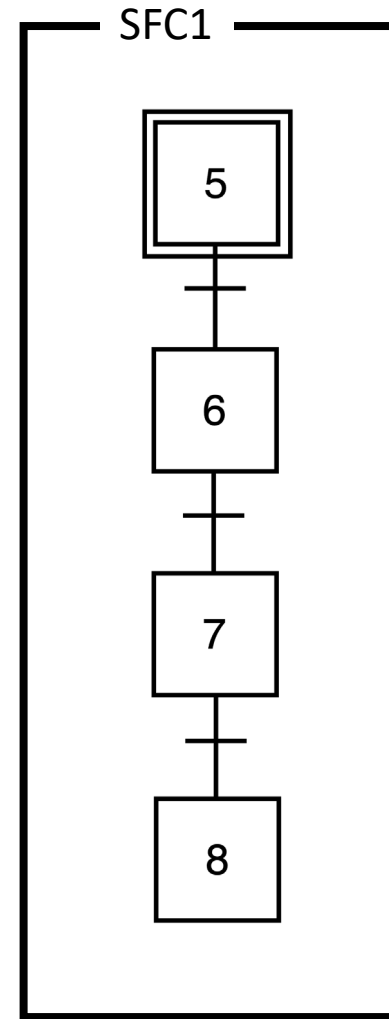
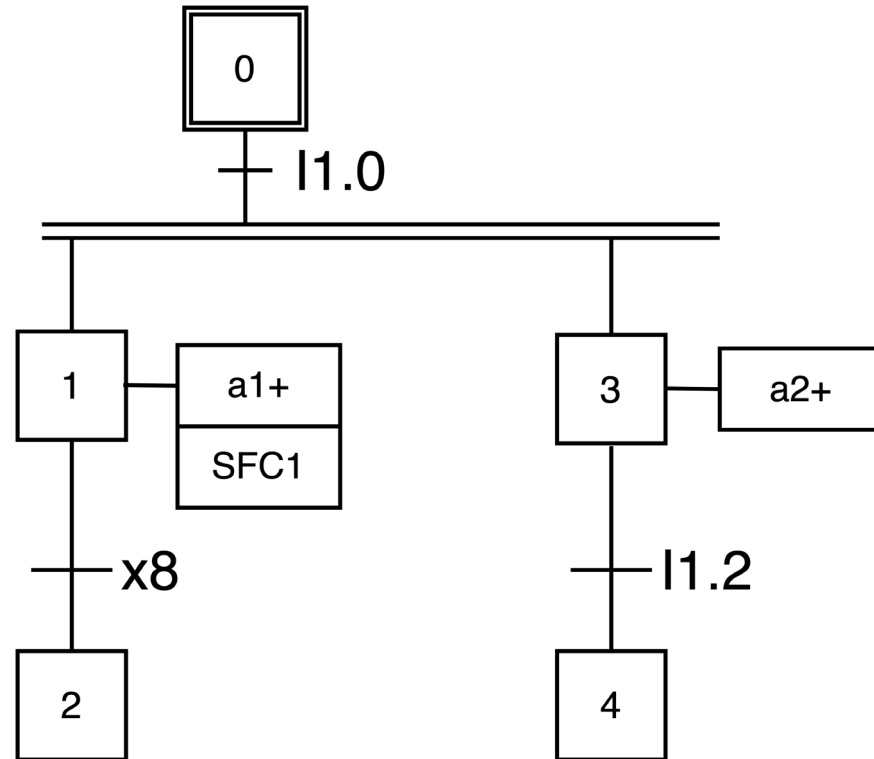
1. Cuando se inicia la etapa encapsulante se activan las etapas que tienen un nexo de activación. Se activa la cinta cuando se activa la etapa 5.
2. La desactivación de la etapa encapsulante implica la desactivación de las etapas encapsuladas: $F:G1\{\}$. La desactivación de 5 implica la desactivación de 0, 1 y las macroetapas E1 y E2.
3. Si la etapa encapsulante es de inicio, el arranque del GRAFCET global activa simultáneamente las etapas de inicio del GRAFCET encapsulado.

GRACET. Estructuración



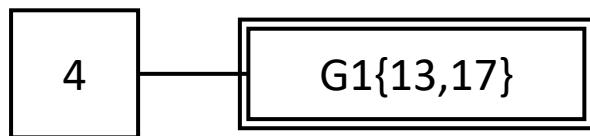
1. La activación de la etapa 5 activa la etapa 1 de G1 (X1/G1).
2. La evolución de G1 (mientras 5 siga activa) lleva a la activación de la etapa encapsulante 2.
3. La activación de la etapa encapsulante 2 activaría la etapa 1 de G2 (X1/G2)

GRACET. Estructuración

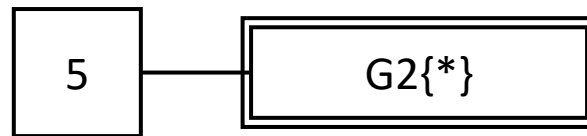


GRACET. Estructuración

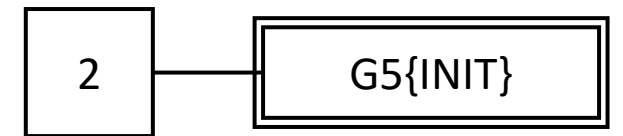
- **Forzado:** El forzado de un GRAFCET parcial sobre otro establece una relación de mando del primero sobre el segundo. Se permite imponer el estado de actividad del GRAFCET que recibe la orden (MAESTRO – ESCLAVO).
- Se representa con una acción con doble recuadro.
- Mientras la etapa forzante en el maestro esté desactivada el GRAFCET esclavo no puede evolucionar aunque las transiciones sean franqueables.



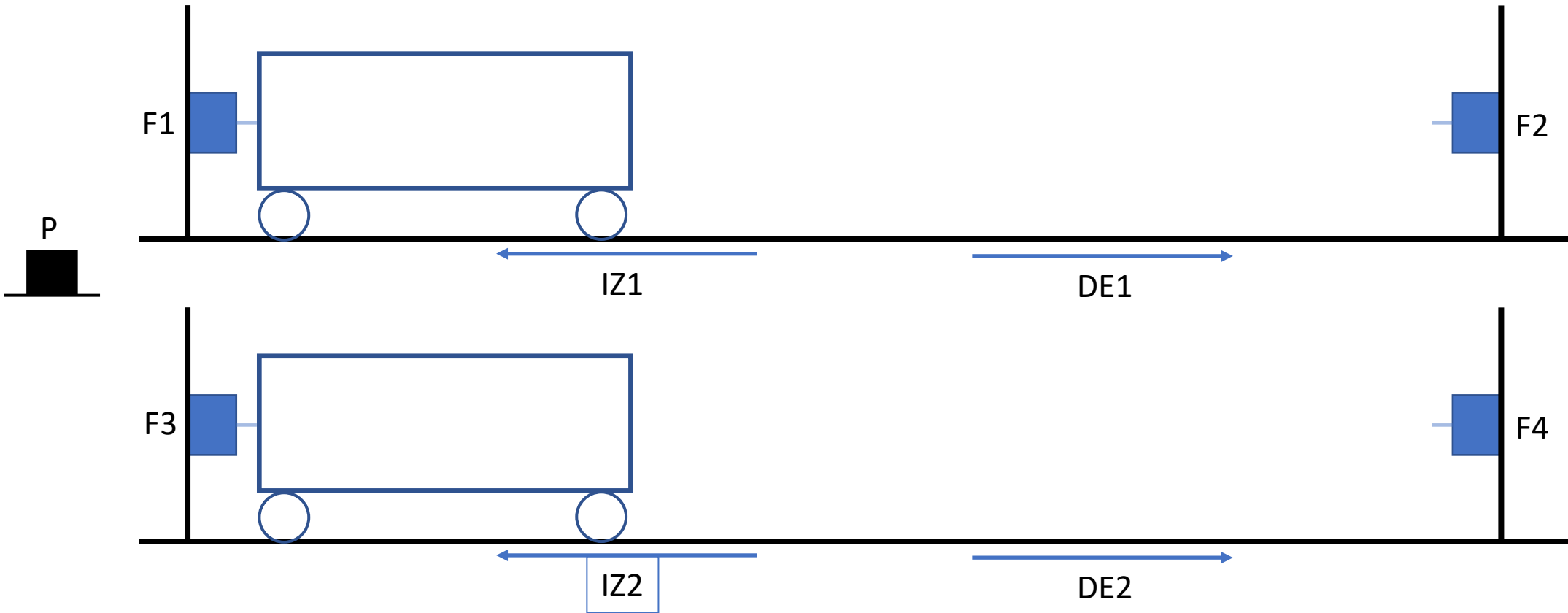
La activación de 4 fuerza a G1 a activar las etapas 13 y 17



La activación de 5 fuerza a G2 a mantener el estado hasta que 5 se desactive



La activación de 2 fuerza a G5 a activar todas las etapas iniciales y desactivar el resto.



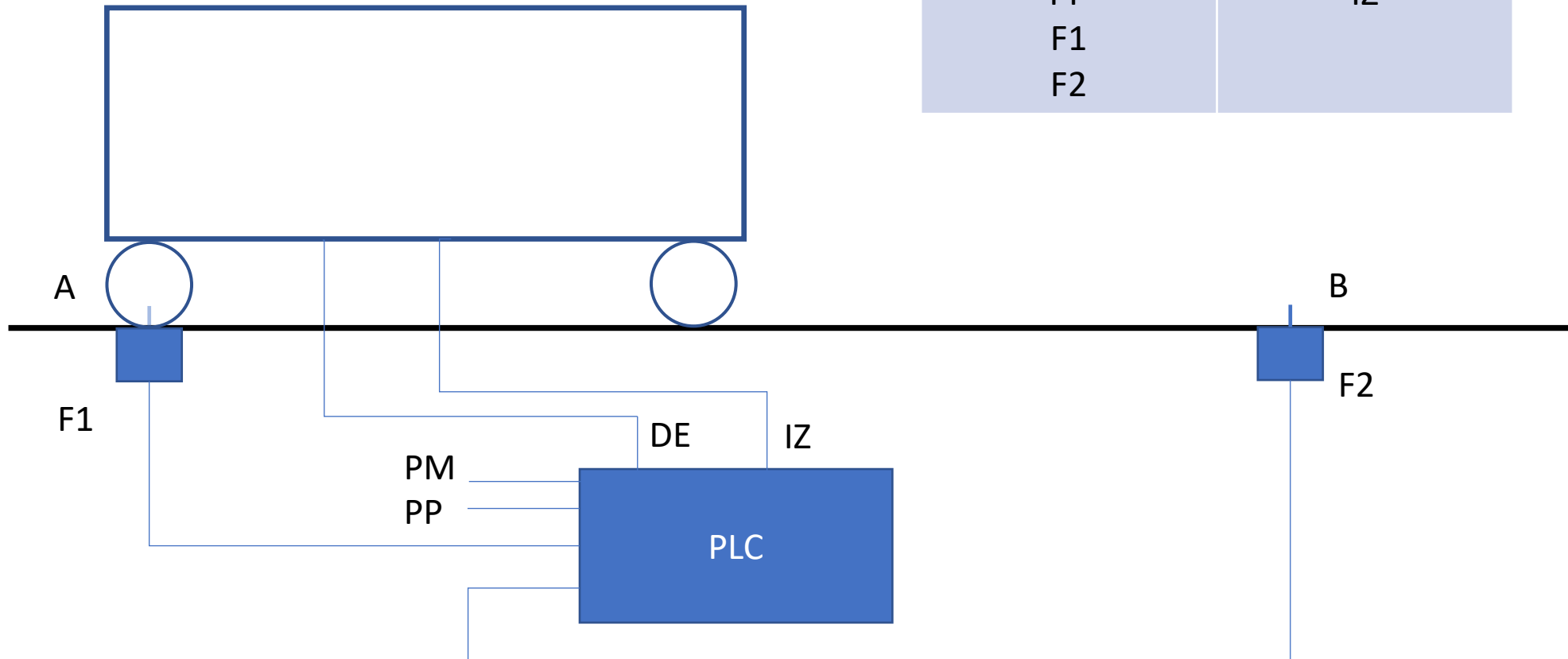
Diseña el automatismo que cumpla las siguientes condiciones:

- Al pulsar P (NA), si $F1 = F3 = 1$, los dos carros realizan un ciclo indefinido entre sus finales de carrera.
- Una nueva pulsación de P detiene los dos carros al llegar a F1 y F3.
- Con pulsaciones pares de P se detienen los carros al llegar a F1 y F3 y con pulsaciones impares realizan un ciclo indefinido.
- Los dos carros tienen velocidades distintas.
- El primer carro que llegue a un final de carrera debe esperar al otro para que arranquen de forma simultánea.

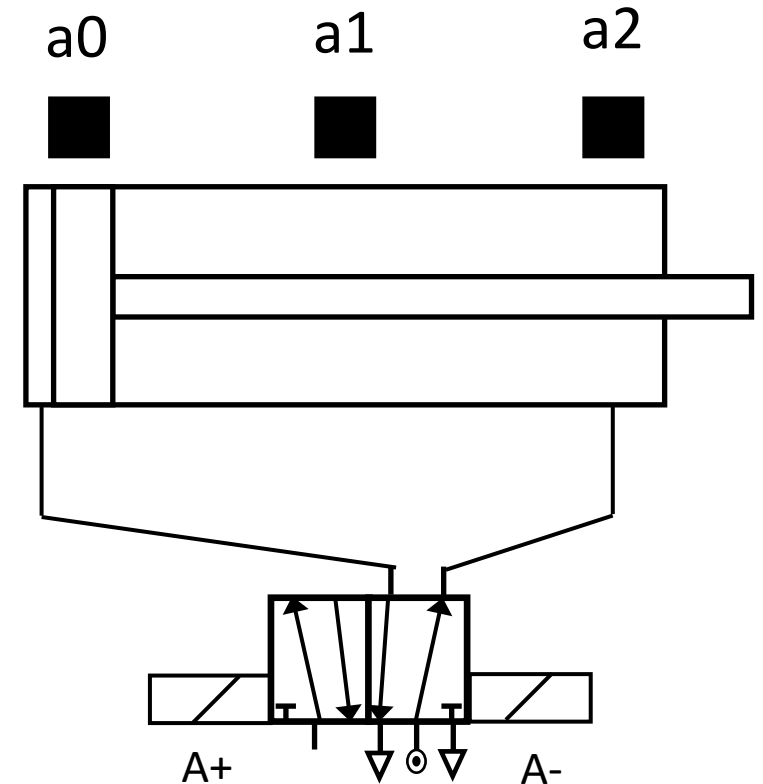
GRAFSET

$A \rightarrow B \rightarrow A$ (4 veces)

Entradas	Salidas
PM	DE
PP	IZ
F1	
F2	



- **Ejercicio:** Diseña el GRAFCET del control del cilindro de tal forma que si se pulsa el botón P1 el cilindro avanza hasta que se activa el sensor a1 y después vuelve a la izquierda. Si se pulsa el pulsador P2 se deben esperar 3 segundos tras los cuales el cilindro se debe mover hasta que se active el sensor a2 donde se permanece 2 s y luego retrocede hasta que se active el sensor a0.



Guía GEMMA

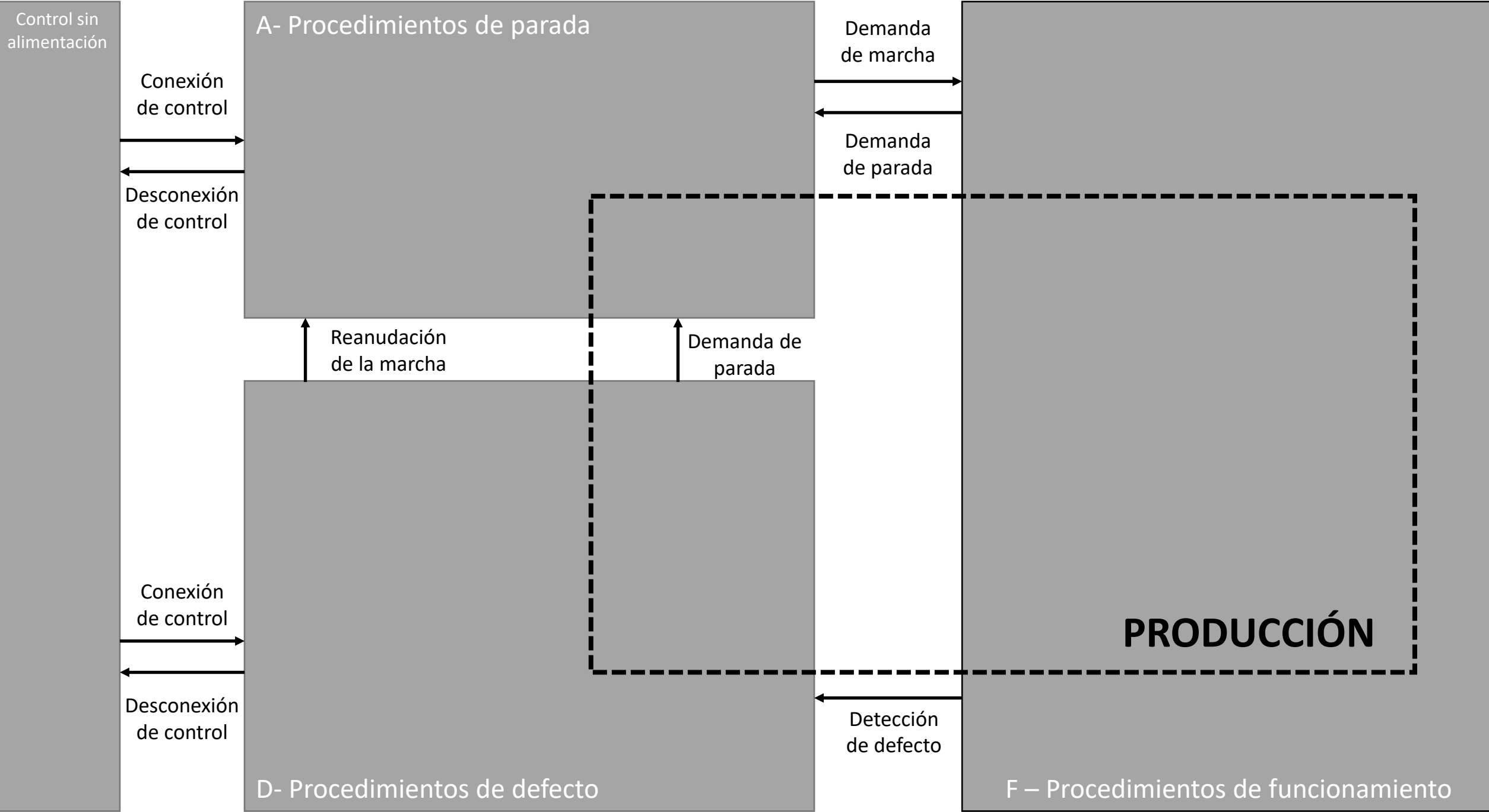
- Un proceso productivo no está siempre funcionando en modo automático, pueden aparecer fallos que hagan necesario parar el proceso.
- A la hora de diseñar el programa de control es necesario prever todos los estados posibles: modo manual/semiautomático, puesta en marcha, parada emergencia,...
- La agencia ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Appliquée à l'industrie) desarrolló la **Guía Gemma** para dar respuesta a esta problemática.
- El GRAFCET por si sólo no es suficiente para representar todos los estados.

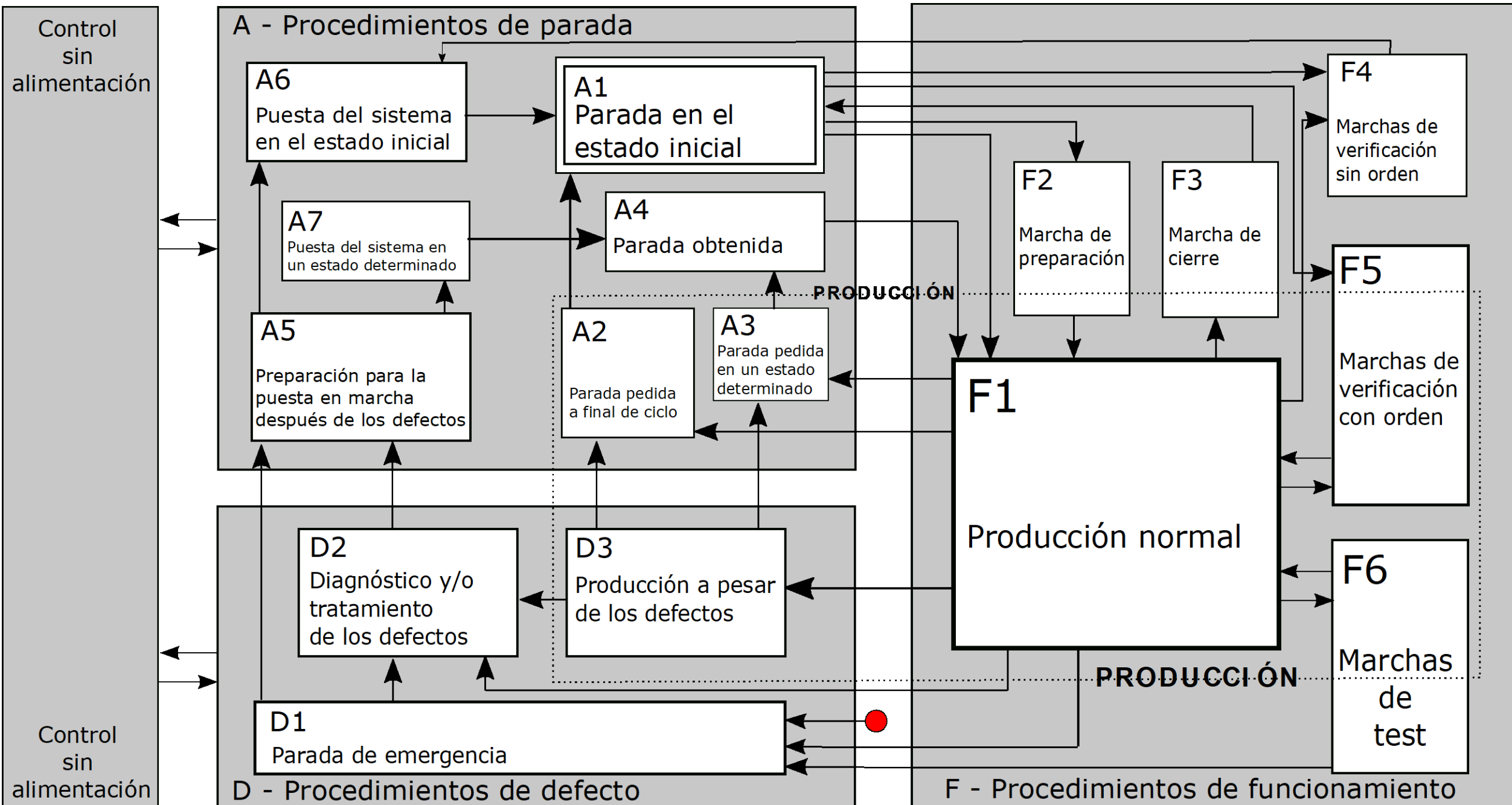
Guía GEMMA

- La guía para el Estudio de los Modos de Marchas y Paradas, o guía GEMMA es una representación organizada de todos los modos o estados de marcha y parada en los que se pueden encontrar un sistema de producción industrial.
- El sistema de producción puede estar en alguno de estos modos o familias de estados:
 - Funcionamiento (en producción)
 - Parado (proceso parada)
 - En defecto (p. ej. producto defectuoso)

Guía GEMMA

- A la hora de diseñar el control de un proceso se deben contemplar todos los posibles estados del proceso, no sólo aquellos de funcionamiento normal.
- Todo programa de un autómatas programable debe incluir
 - Producción normal automática
 - Control manual del sistema
 - Marchas de test
 - Posicionamiento de la máquina en el estado inicial
 - Gestión de parada de emergencia
 - Gestión de rearme de la máquina





Guía GEMMA. Procedimientos de funcionamiento (F)

- Los procedimientos de funcionamiento (F) son aquellos necesarios para la obtención de la producción del producto.
- Hay 6 estados diferentes de funcionamiento F1-F6:
 - Funcionamiento normal: F1 a F3
 - Prueba y verificación: F4 a F6

Guía GEMMA. Procedimientos de funcionamiento

- **F1 Producción normal:** El sistema produce normalmente, realiza la tarea para la que fue diseñado: GRAFCET de producción. Se indica con un trazo más grueso.
- **F2 Macha de preparación:** Acciones necesarias para que el sistema pueda entrar en producción (precalentamiento, calibración,...).
- **F3 Marcha de cierre:** Fase de vaciado y/o limpieza que tienen que realizar algunos sistemas.

Guía GEMMA. Procedimientos de funcionamiento

- **F4 Marchas de verificación sin orden:** Realización de acciones individuales del ciclo sin respetar el orden (equivalente a control manual). Se usa para tareas de mantenimiento y verificación.
- **F5 Marchas de verificación con orden:** Verificación paso a paso de ciertos movimientos o ciclos del proceso (equivalente a control semiautomático). Se suele utilizar para supervisar y validar los pasos del sistema. El sistema puede estar en producción.
- **F6 Marchas de test:** Realización de operaciones de ajuste o mantenimiento (comprobación funcionamiento sensores, desgaste elementos,...).

Guía GEMMA. Procedimientos de parada

- Los procedimientos de **parada (A)** corresponden a las paradas por causas externas al proceso.
- Los modos de parada del sistema son:
 - Parado: A1 y A4.
 - Aquellos que llevan a la parada del sistema: A2 y A3.
 - Aquellos que permiten pasar de un estado de fallo a un estado de parada: A5 y A7.

parada(es) : arrêter (fr)

Guía GEMMA. Procedimientos de parada

- **A1 Parada en el estado inicial:** Estado inicial de reposo (estado inicial del GRAFCET de producción). Se dibuja con un doble recuadro.
- **A2 Parada pedida a final de ciclo:** Estado transitorio en el que el sistema sigue produciendo hasta acabar el ciclo actual y pasa a estar en parada en estado inicial (A1).
- **A3 Parada pedida en un estado determinado:** Es un estado transitorio en el que el sistema sigue en producción hasta llegar a un estado diferente del inicial (A4).
- **A4 Parada obtenida en estado determinado:** Estado de reposo del sistema distinto del estado inicial y final.

Guía GEMMA. Procedimientos de parada

- **A5 Preparación para la puesta en marcha después de fallo:**
Corresponde a una fase de vaciado, limpieza, que en algunos casos se debe hacer después de un fallo. Preparación para nueva puesta en marcha.
- **A6 Puesta del sistema en el estado inicial:** El sistema es llevado a la situación inicial (A1) desde estados de no producción (accionamiento manual o semiautomático).
- **A7 Puesta del sistema en un estado determinado:** El sistema se lleva a un estado distinto del inicial y una vez alcanzado la máquina pasa a paro. A7 evoluciona a A4.

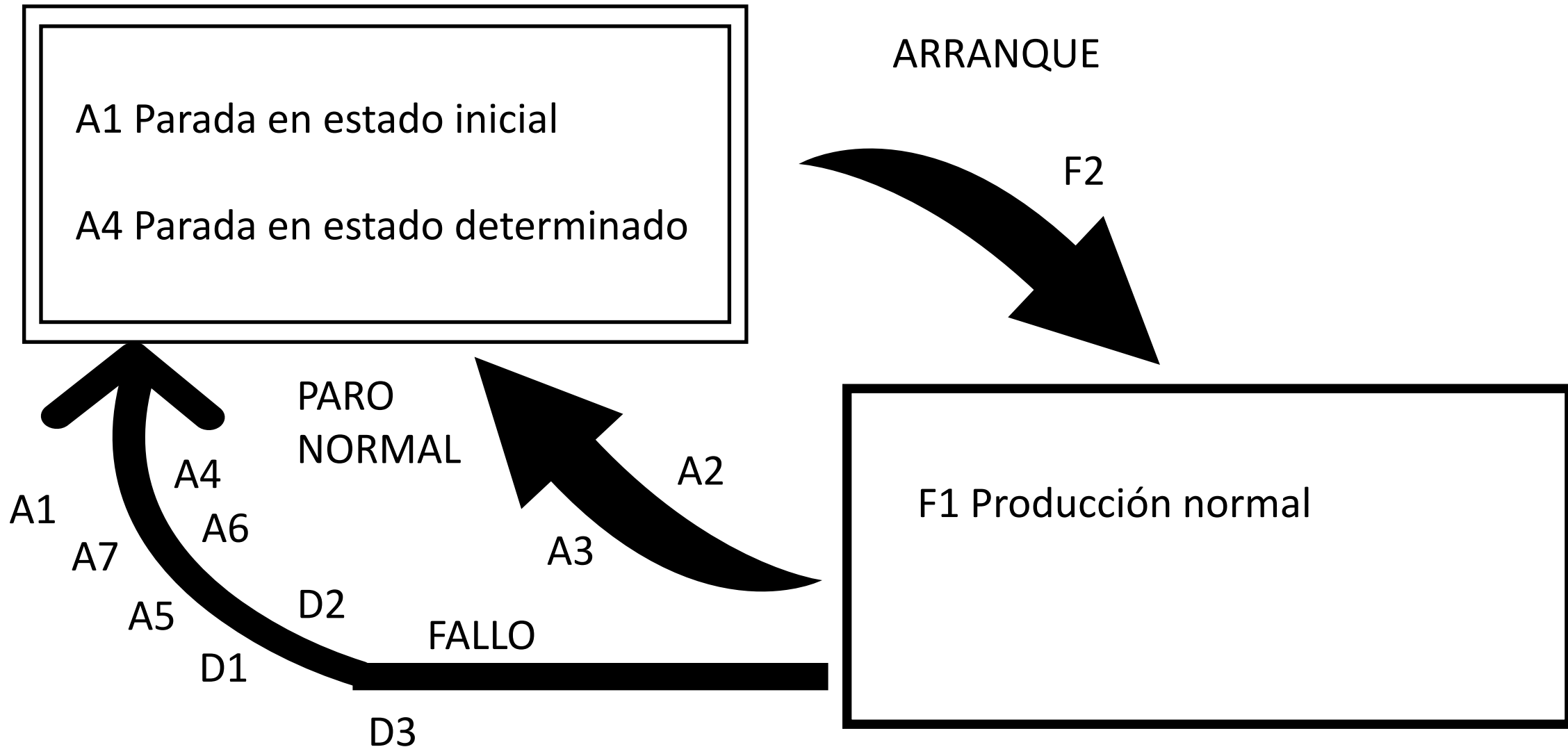
Guía GEMMA. Procedimientos de defecto

- Los procedimientos de **defecto (D)** corresponden a las paradas por causas internas del proceso.
- Los modos de defecto del sistema son:
 - Si está en producción: D3.
 - Si está parado: D1.
 - Si está en fase de diagnóstico o tratamiento del defecto: D2.

Guía GEMMA. Procedimientos de defecto

- **D1 Parada de emergencia:** Comprende las acciones necesarias para llevar el sistema a una situación de parada segura. Puede ser necesario guardar el estado para retomar la producción desde el punto en el que se produjo el defecto.
- **D2 Diagnóstico y/o tratamiento de los defectos:** Permite, con intervención o no de una persona, determinar las causas del defecto y eliminarlas.
- **D3 Producción a pesar de los defectos:** El sistema debe continuar produciendo a pesar de que no trabaje correctamente. Por ejemplo si se termina un reactivo en una zona de la cadena de producción.
- Se puede pasar de cualquier estado al estado D1 de parada de emergencia, pero por simplicidad no se muestra en el diagrama.

Guía GEMMA.



Guía GEMMA

- Estudiar los estados necesarios del sistema a automatizar y tachar aquellos estados de la guía GEMMA que no se vayan a utilizar.
- Estudiar entre qué estados se podrá producir una transición.
- Establecer las condiciones de transición para seguir un determinado camino. Puede haber casos en los que un camino no lleve asociadas condiciones, por ejemplo que el camino se active cuando acaba la etapa anterior.

Guía GEMMA. Implementación

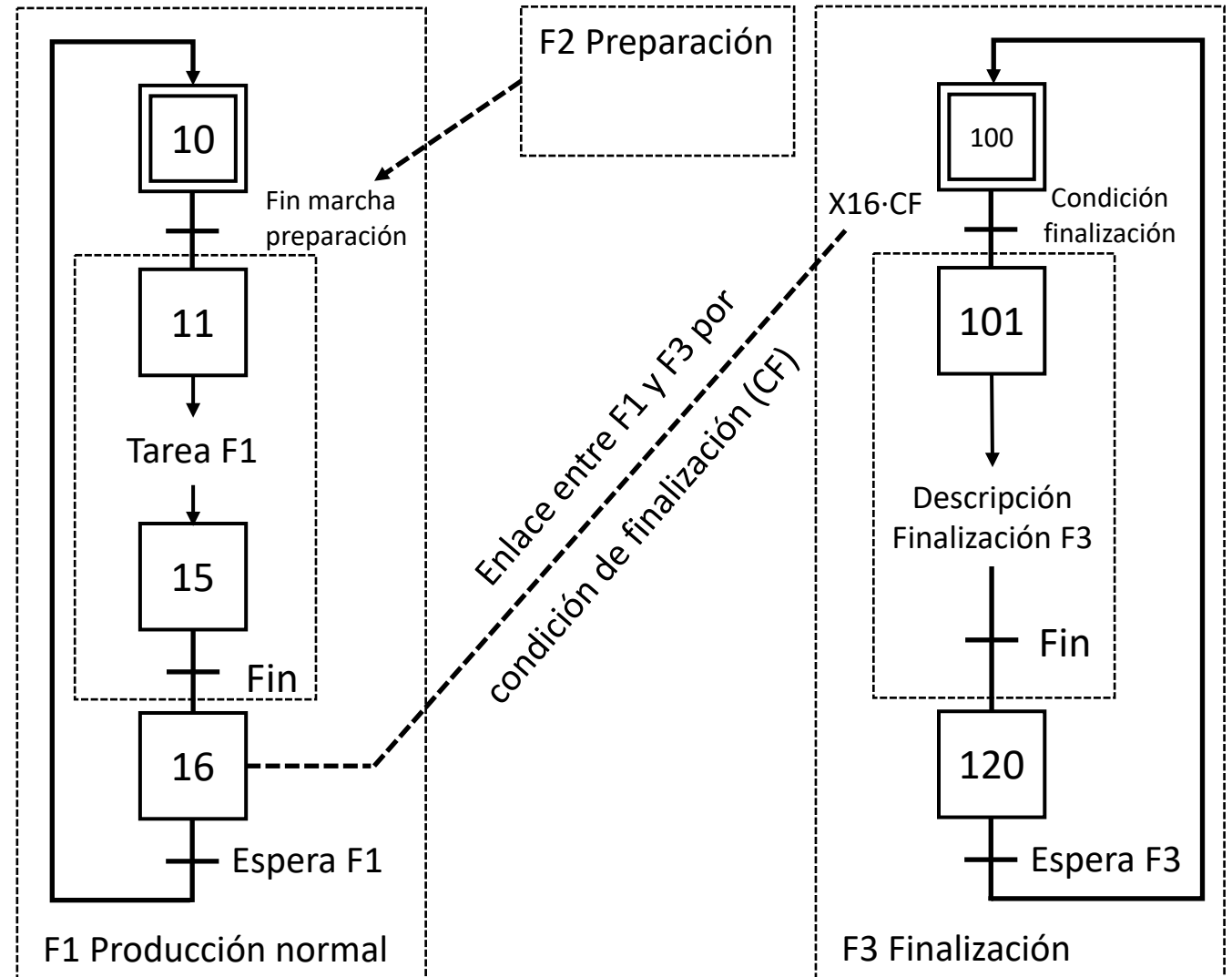
1. Analizar el automatismo y generar el GRAFCET de producción de primer nivel (Modo F1).
2. Determinar qué elementos serán necesarios en el proceso (detectores, actuadores, indicadores,...)
3. Representar el GRAFCET de producción segundo nivel.
4. Analizar qué estados de la Guía GEMMA son necesarios para el automatismo y generar una descripción.
5. Definir sobre la guía GEMMA los caminos de evolución entre estados.
6. Definir las condiciones de transición entre los estados.

Guía GEMMA. Implementación

7. Diseñar los elementos del panel de control o HMI (pulsadores, interruptores, modos de funcionamiento)
8. Preparar el GRAFCET a partir del GRAFCET de producción y de la guía GEMMA.
9. Seleccionar el sistema de control: número de autómatas programables, E/S, comunicaciones,...
10. Representar el GRAFCET de tercer nivel.
11. Instalación, puesta a punto y pruebas.

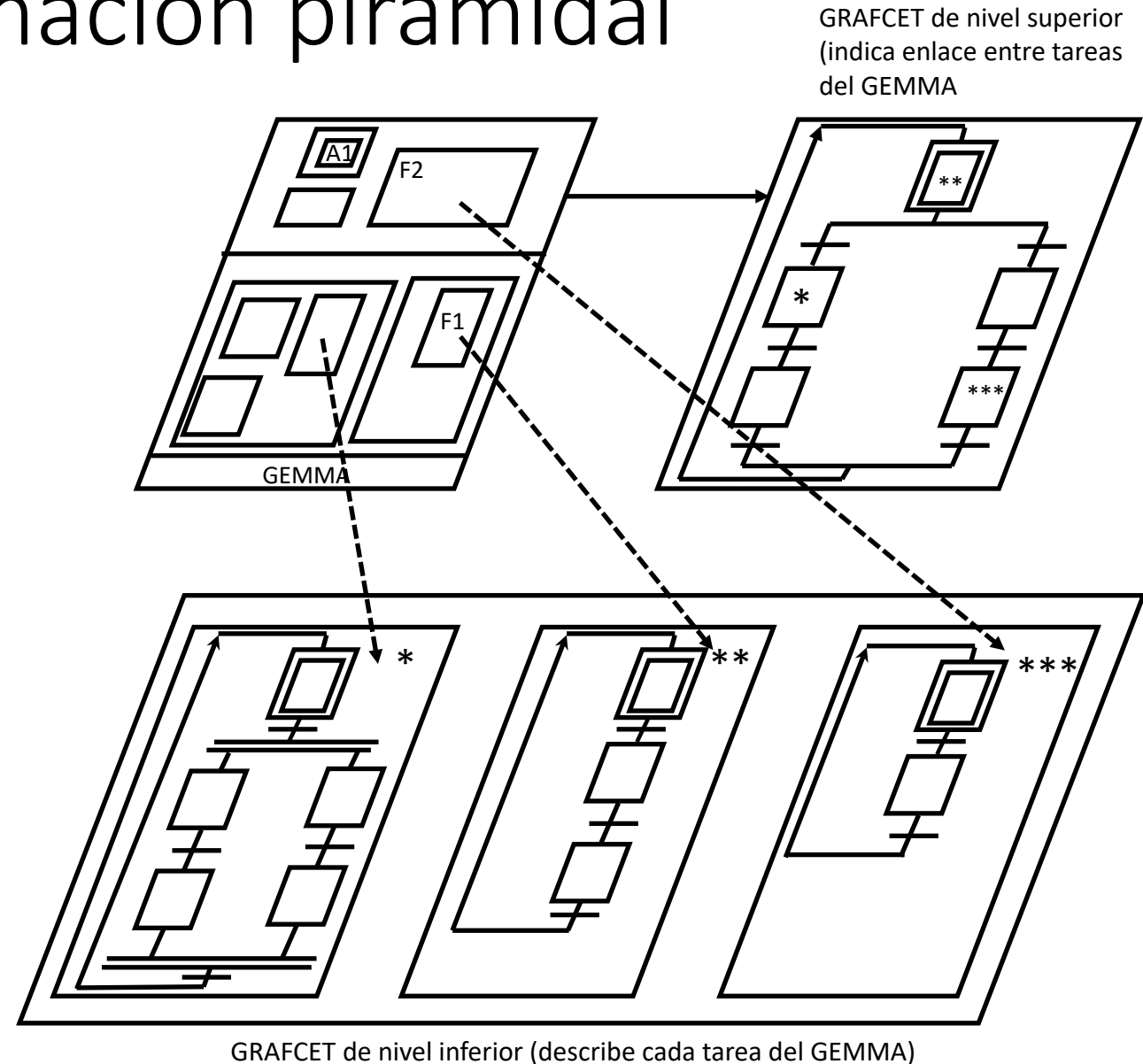
Guía GEMMA. Coordinación horizontal

- Se desarrolla un GRAFCET independiente para cada familia del GEMMA y se enlazan mediante transiciones

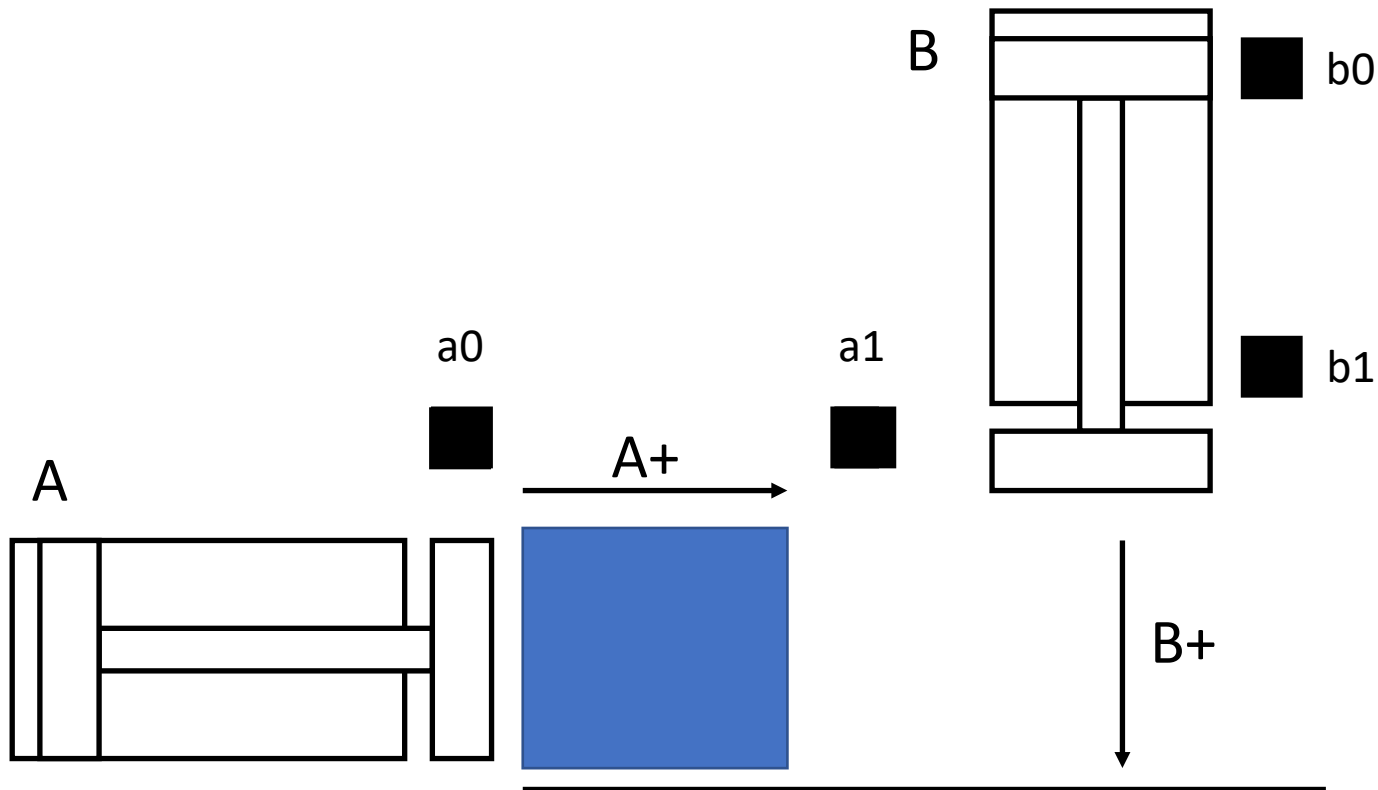


Guía GEMMA. Coordinación piramidal

- Piramidal o jerarquizada: Se crea un GRAFCET jerárquico
- En el nivel superior se asigna una etapa a cada estado de GEMMA y se crea un GRAFCET inferior para cada uno de estos estados.



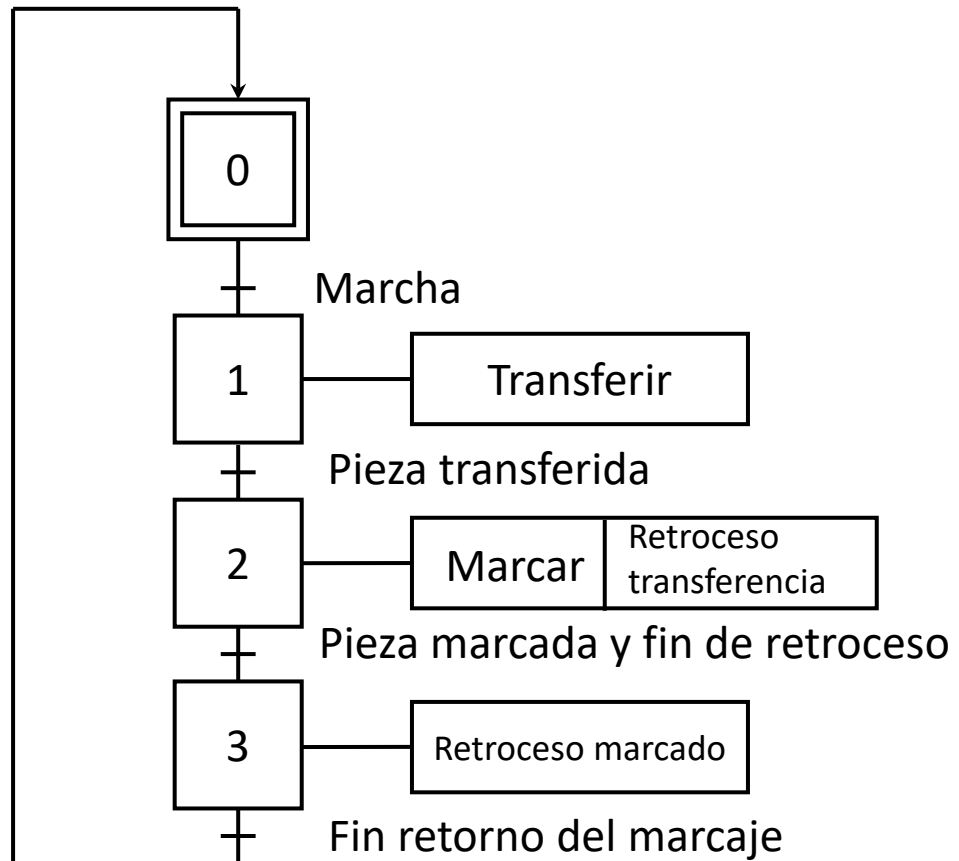
Guía GEMMA. Ejemplo 1



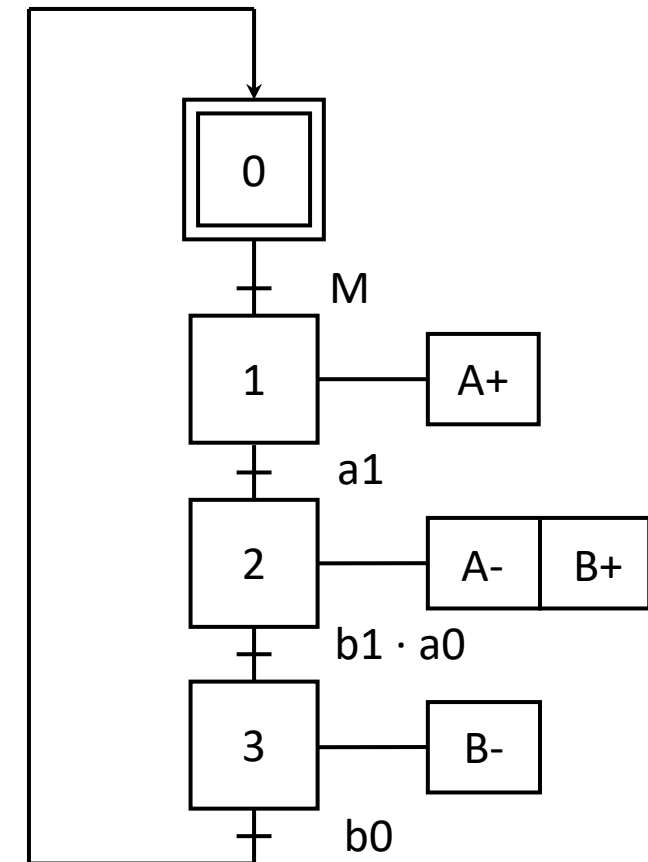
El cilindro A transporta la pieza hasta el cilindro B que marca la pieza. Consideramos que ambos son cilindros de doble efecto y que en condiciones iniciales A y B están en su posición de retroceso (a1 y a0 posiciones de avance y retroceso de A y b1 y b0 posiciones de avance y retroceso de B). Se dispone de un pulsador M biestable de puesta en marcha.

Guía GEMMA. Ejemplo 1

GRAFNET DE NIVEL 1

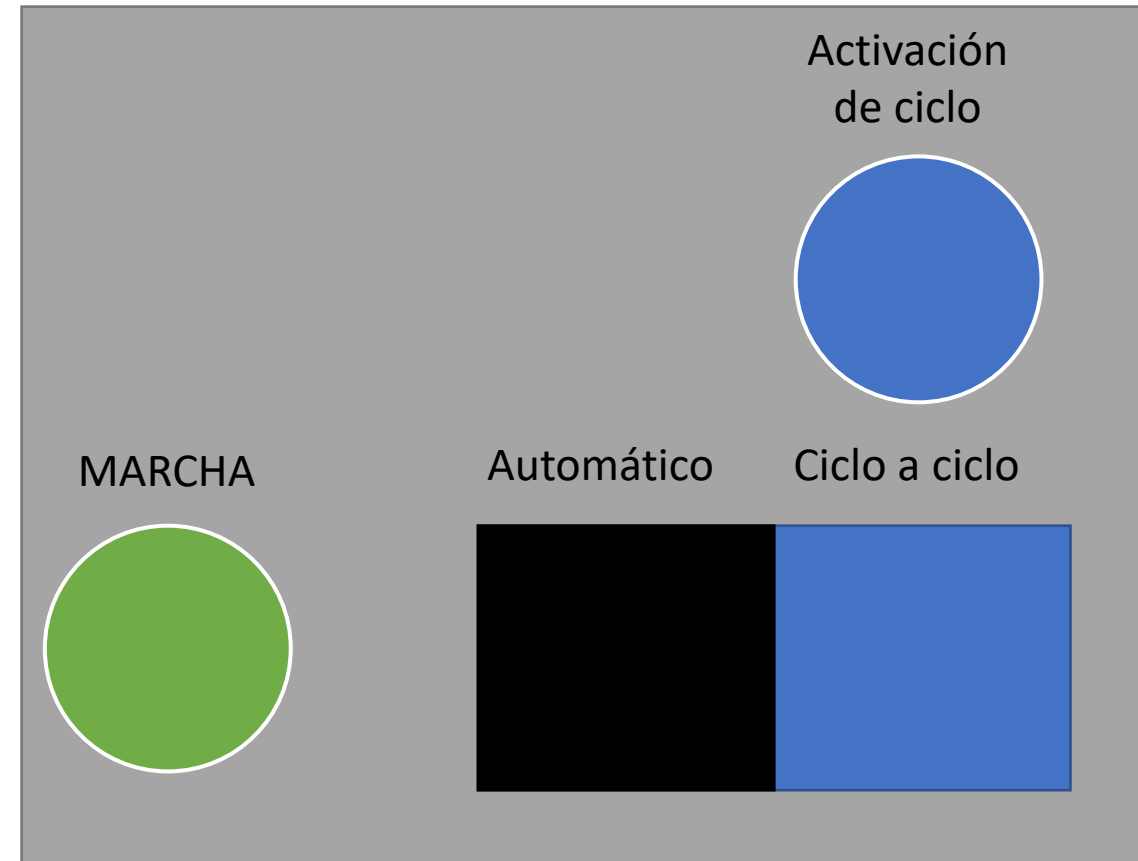


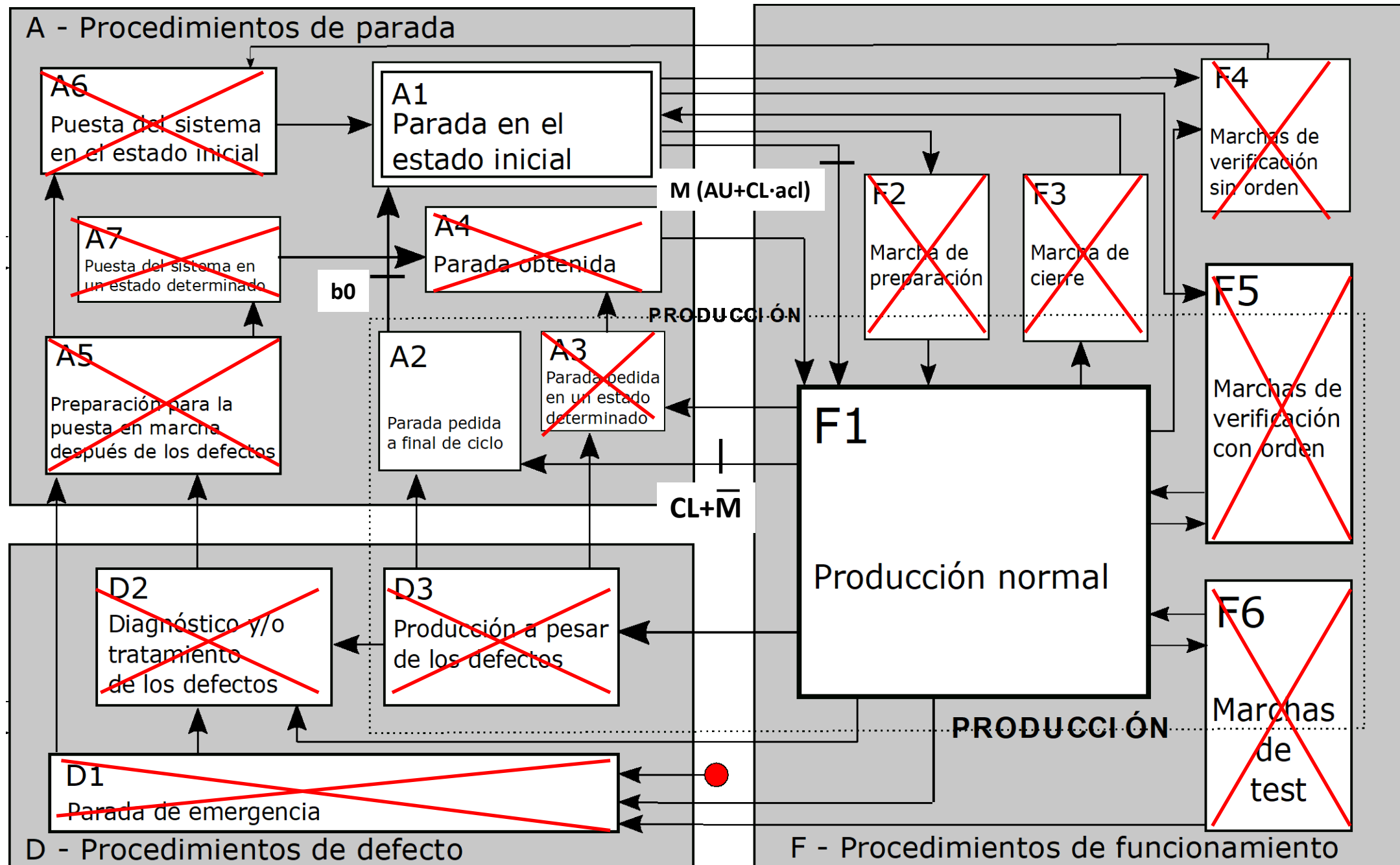
GRAFNET DE NIVEL 2



Guía GEMMA. Ejemplo 1

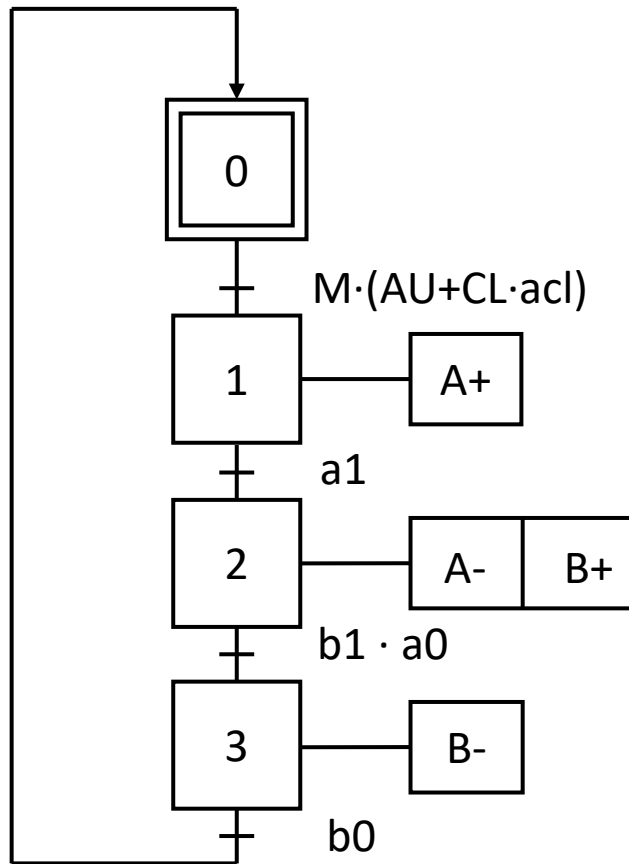
- Mejora del GRAFCET añadiendo funcionamiento ciclo a ciclo (CL) o de forma automática (AU) (Procedimiento A2)
- Dos opciones:
 - a) Pulsador monoestable de activación de ciclo *acl*.
 - b) Igual que a) pero evitar repetición de ciclo.



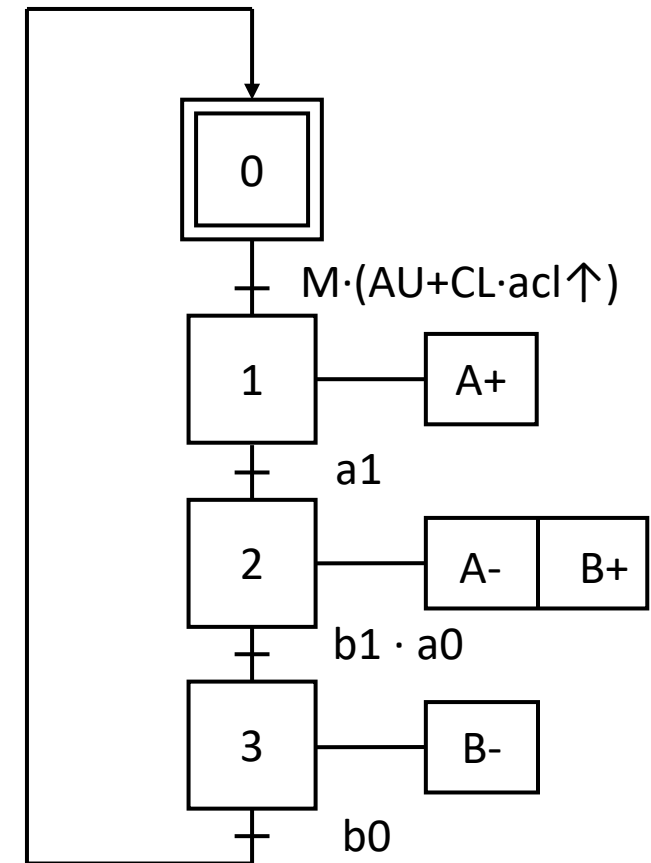


Guía GEMMA. Ejemplo 1

(a)

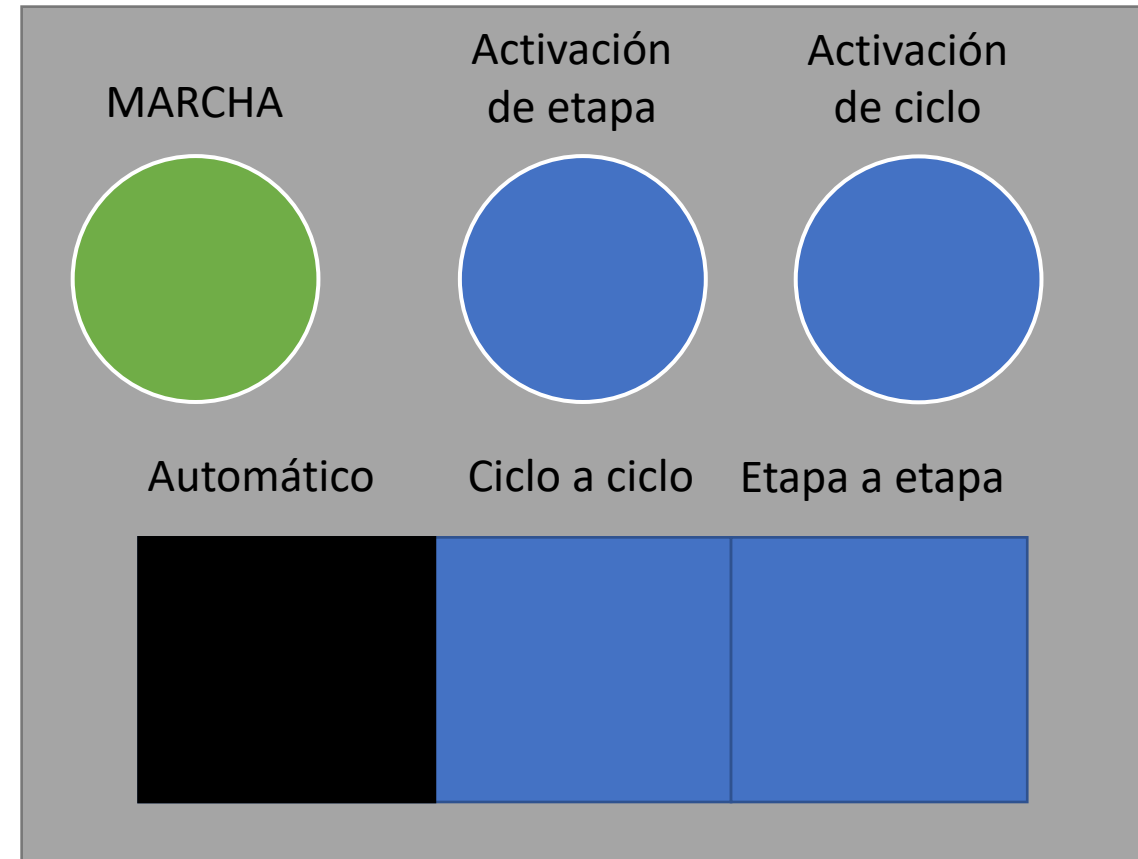


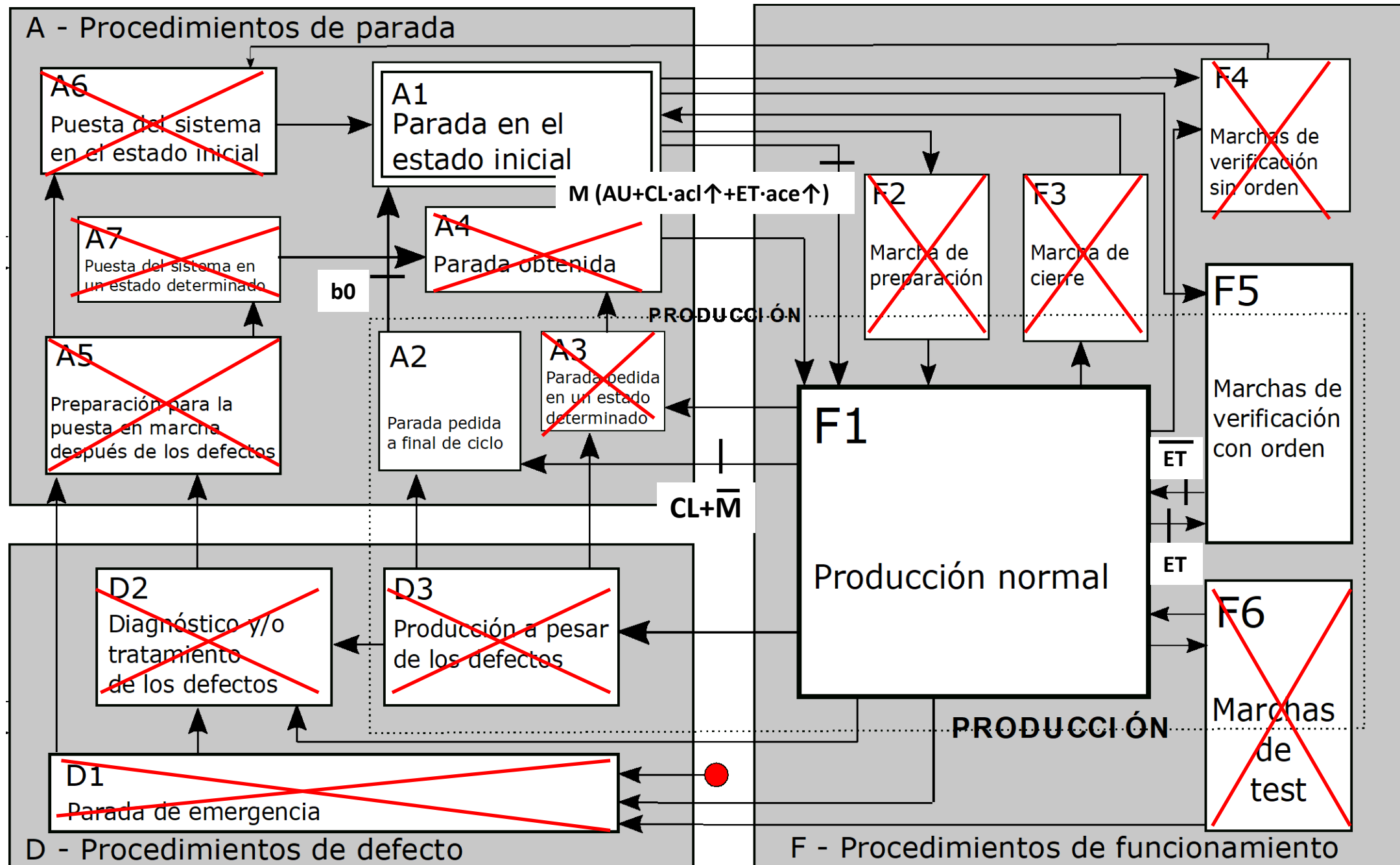
(b)



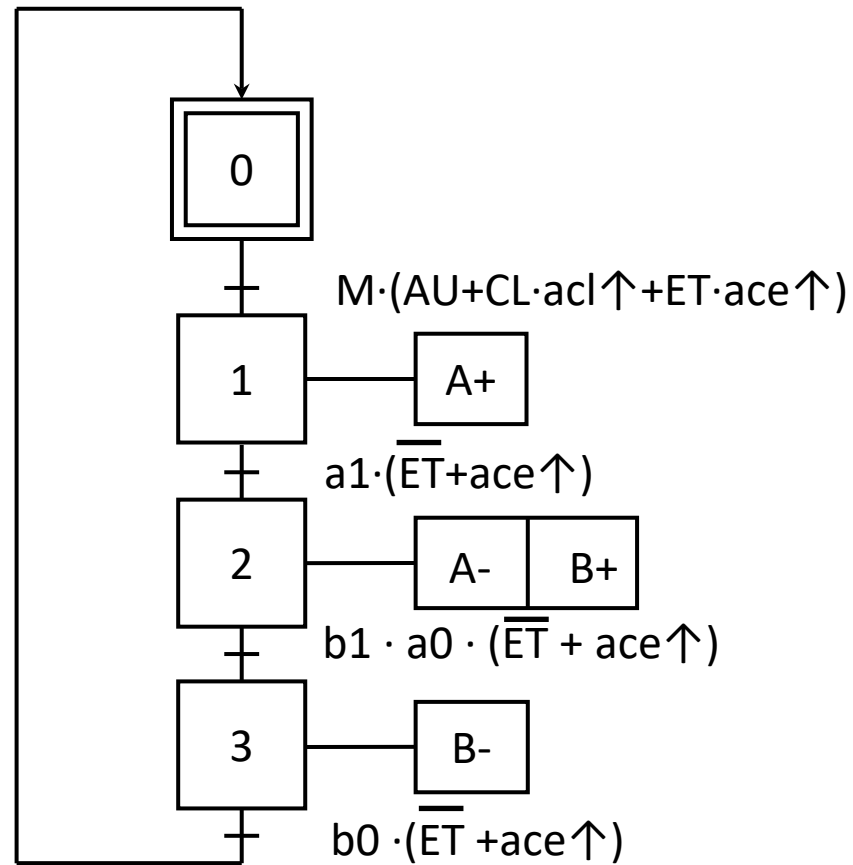
Guía GEMMA. Ejemplo 1

- Se quiere añadir la posibilidad de que el sistema trabaje etapa a etapa.
- Selector de 3 modos de trabajo
 - Automático (AU)
 - Ciclo a ciclo (CL)
 - Etapa a Etapa (ET)
- 2 pulsadores:
 - Activación de ciclo (acl)
 - Activación de etapa (ace)



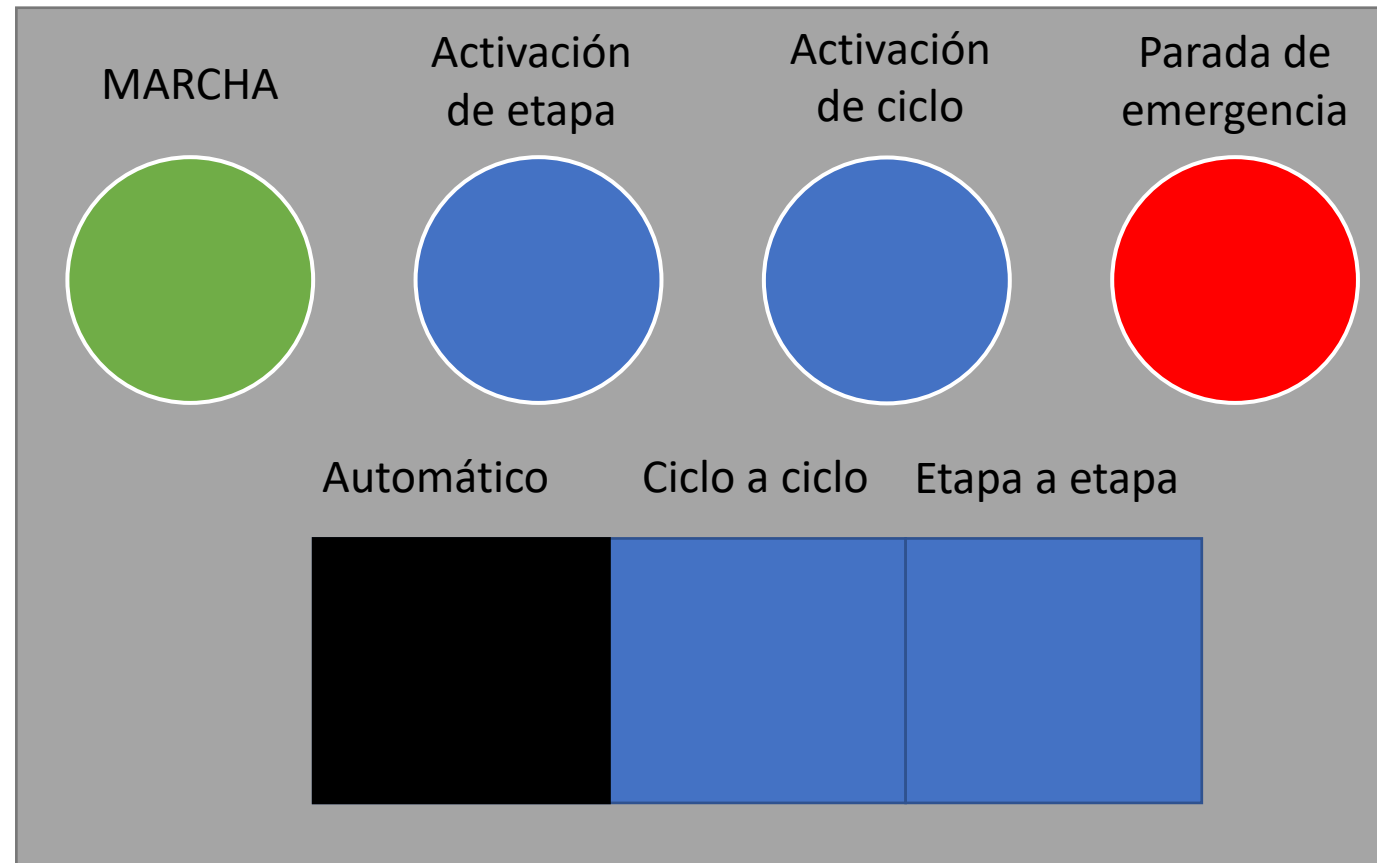


Guía GEMMA. Ejemplo 1



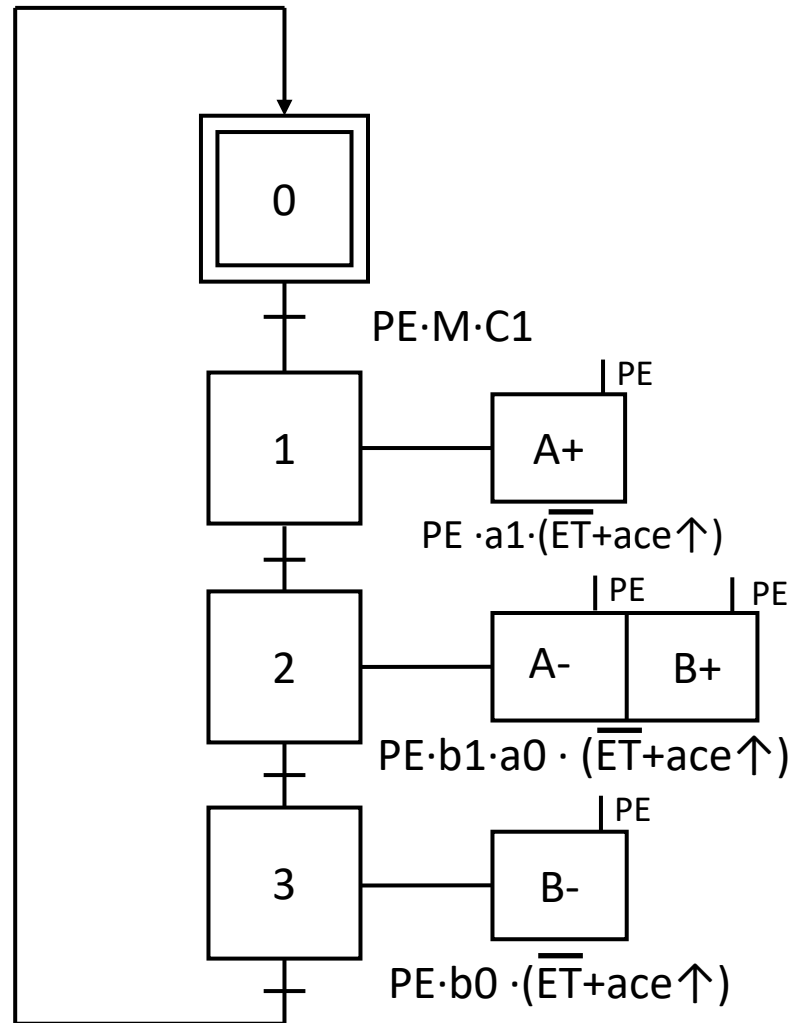
Guía GEMMA. Ejemplo 1

- Se quiere añadir la parada de emergencia. Alternativas:
 - Inhibiendo las acciones asociadas a las etapas mediante una condición.
 - Inmovilizando la transición del GRAFCET bloqueando las transiciones entre etapas.
- Se añade un pulsador normalmente cerrado (NC).



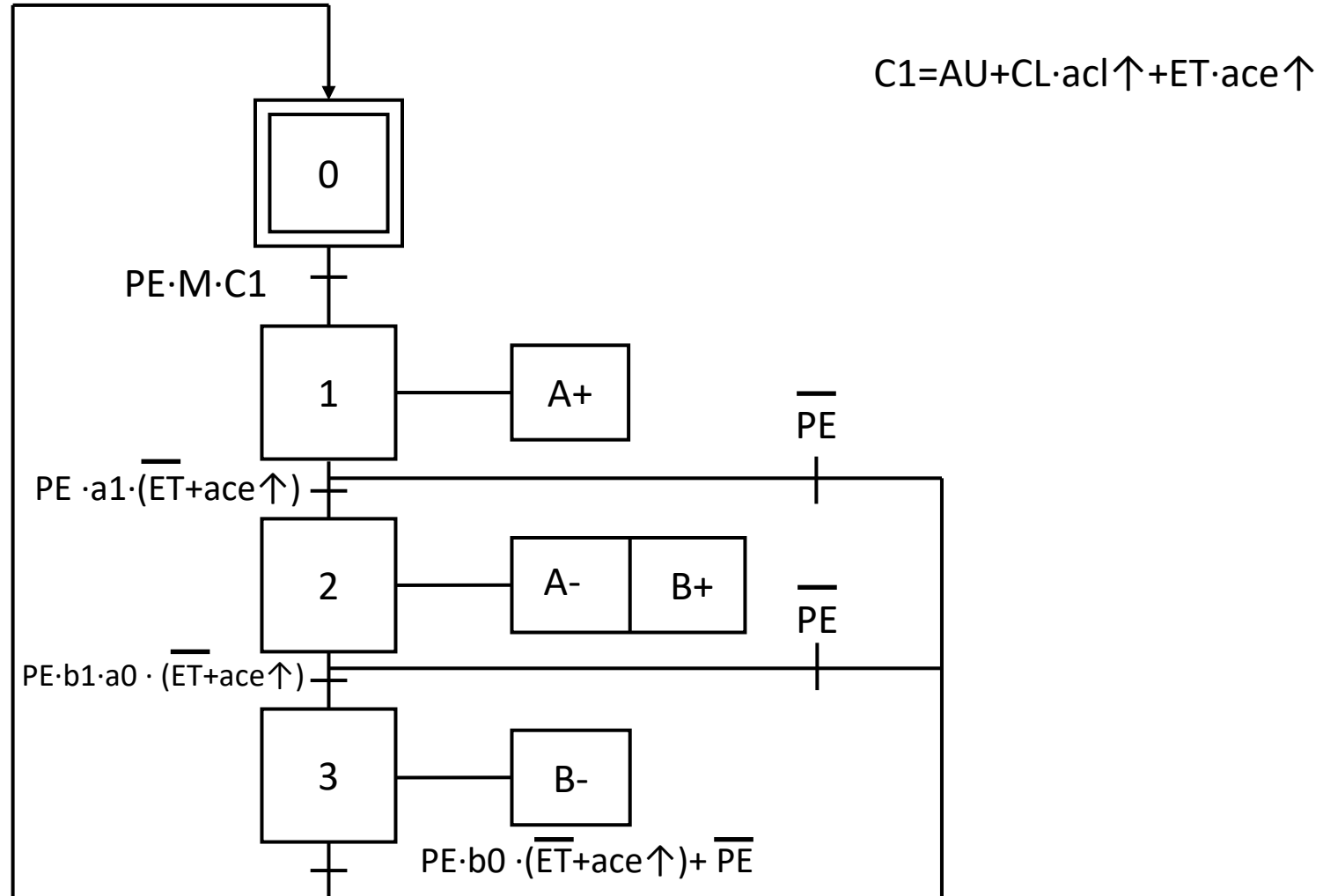
Guía GEMMA. Ejemplo 1

Inhibición de
acciones e
inmovilización



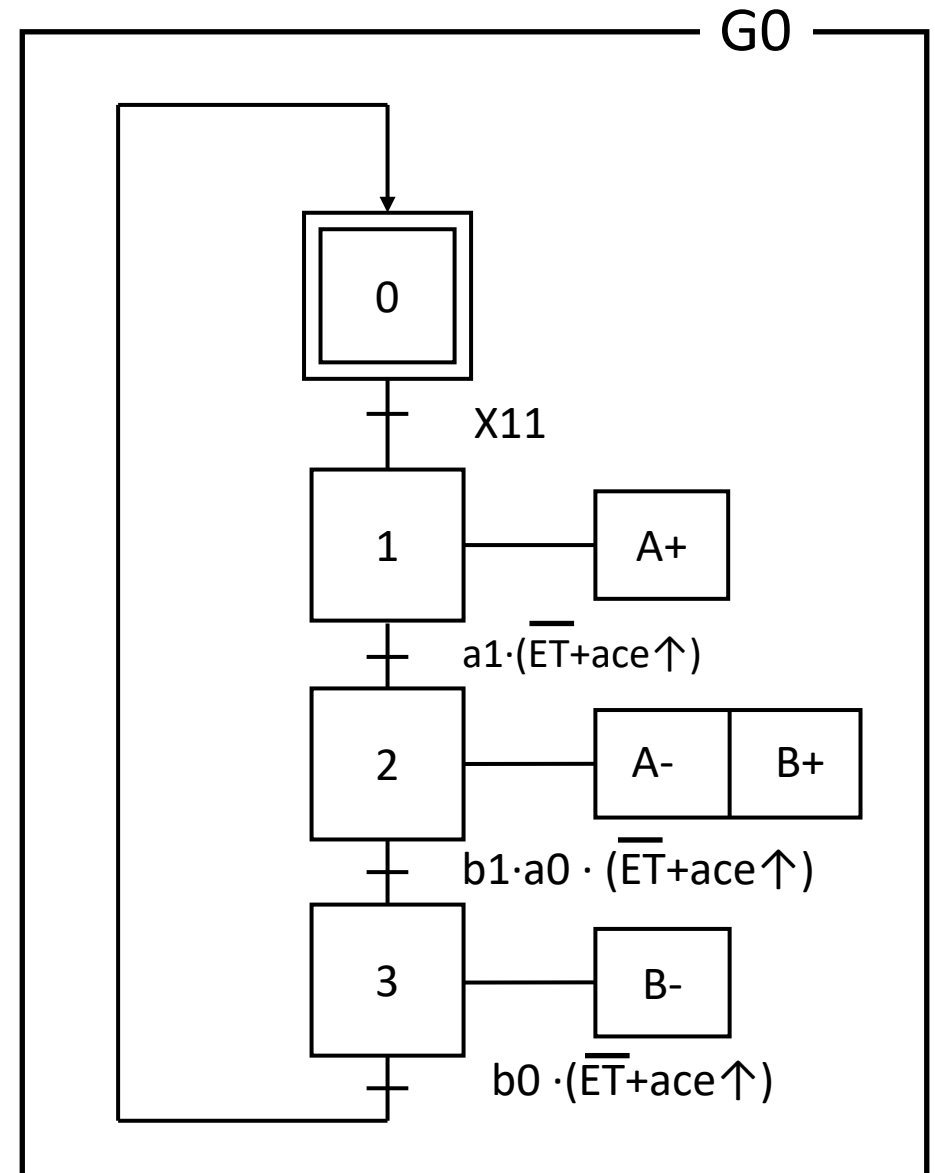
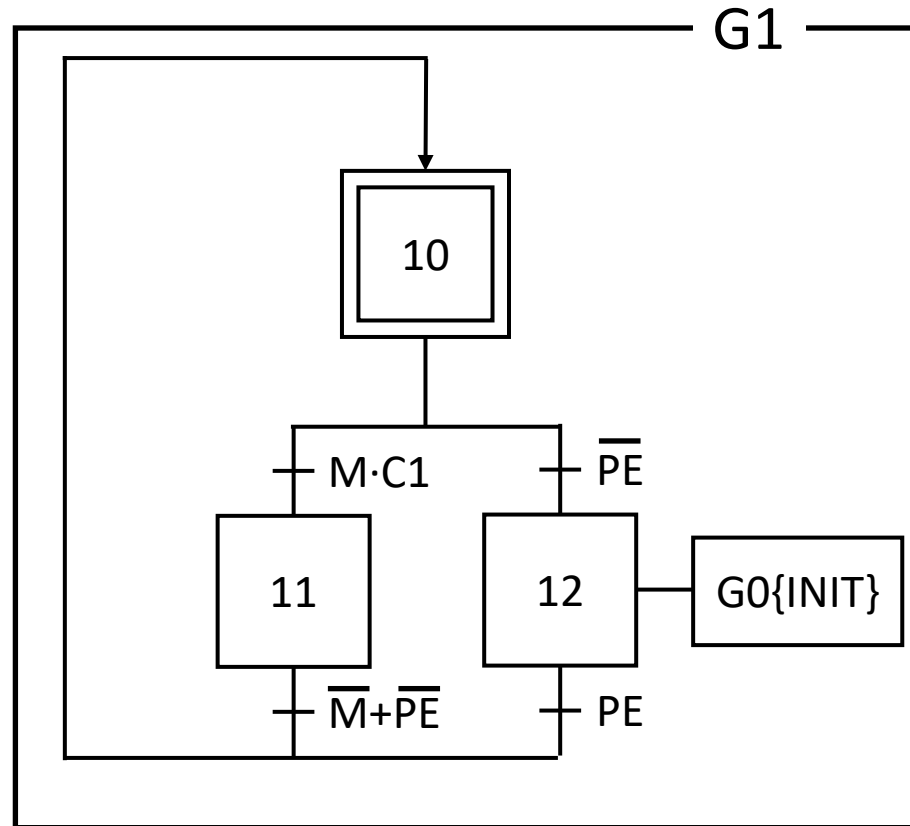
Guía GEMMA. Ejemplo 1

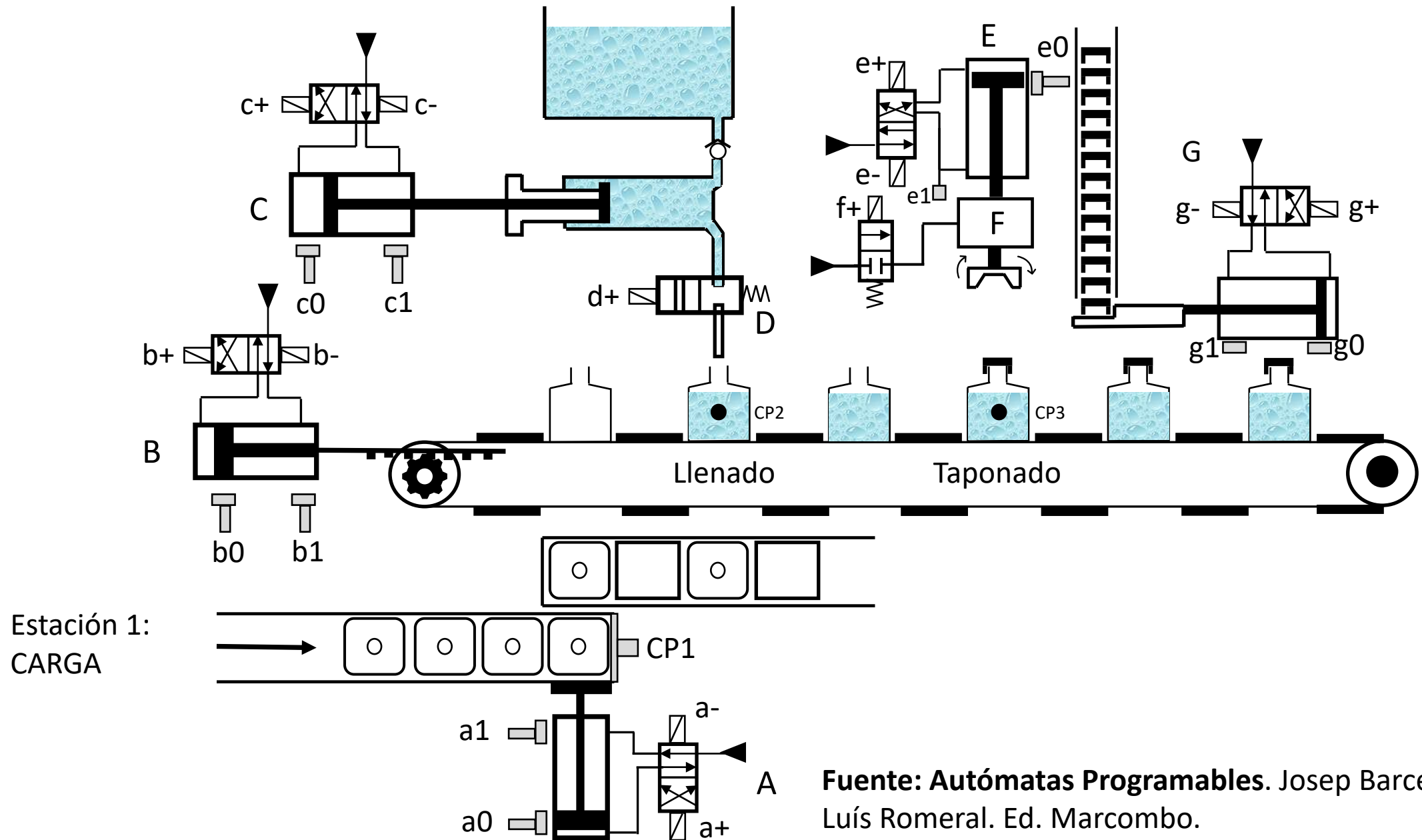
Retorno a la
etapa inicial
mediante
maniobra



Guía GEMMA. Ejemplo 1

Retorno a la
etapa inicial
mediante
forzado





Fuente: Autómatas Programables. Josep Barcells y José Luís Romeral. Ed. Marcombo.

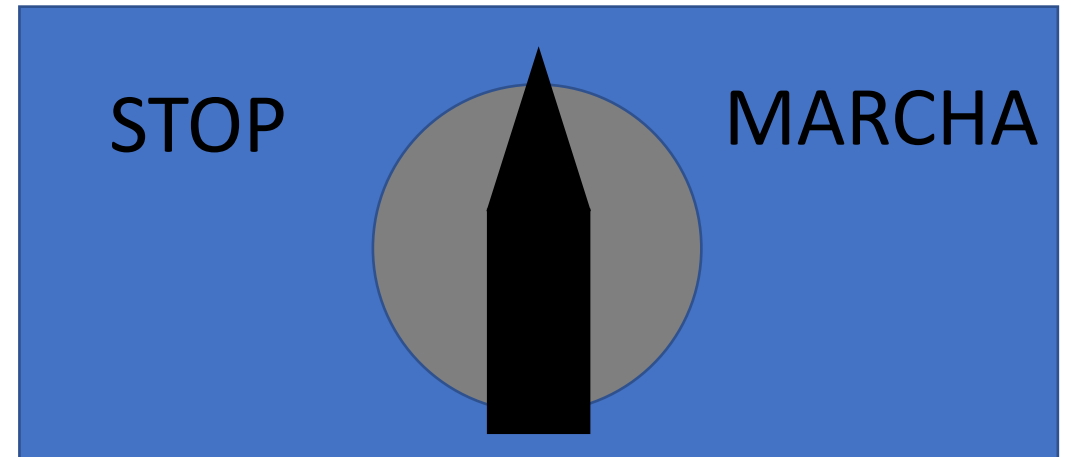
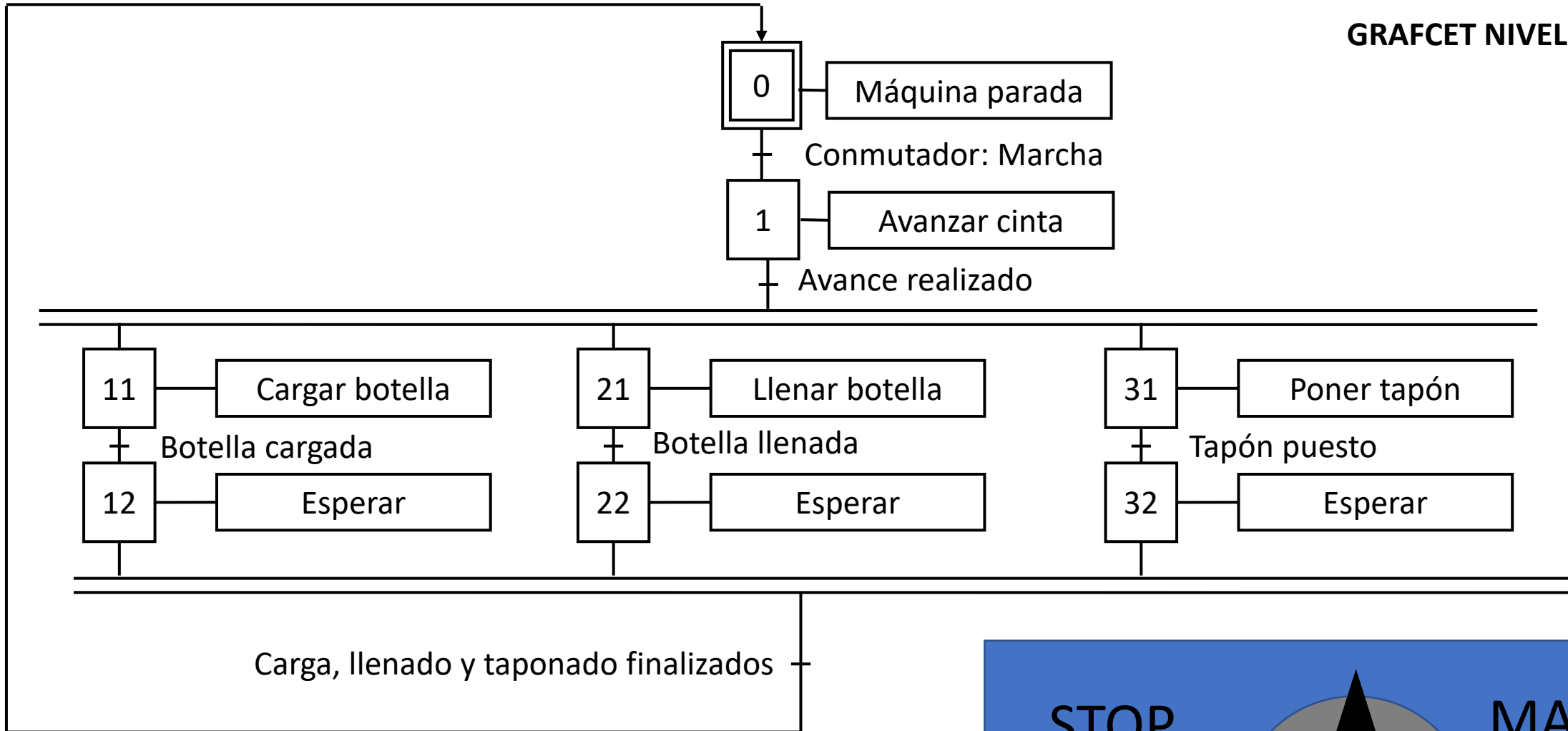
Guía GEMMA. Ejemplo 2

- Planta embotelladora: Carga, llenado y taponado.
- Estación de carga: Los objetos llegan por una cinta y se transfieren a la máquina a través de un cilindro neumático A. a0 y a1 son sensores que controlan el avance y retroceso del cilindro.
- Avance de cinta: La cinta de la máquina avanza un paso mediante el cilindro B. Cuando el acoplamiento piñón-cremallera avanza hacia la izquierda no arrastra la cinta hacia atrás.
- Estación de llenado: El cilindro C carga la dosis en el depósito intermedio y a través de la válvula controlada por D se descarga sobre la botella (si hay botella). c0 y c1 controlan el recorrido de C.

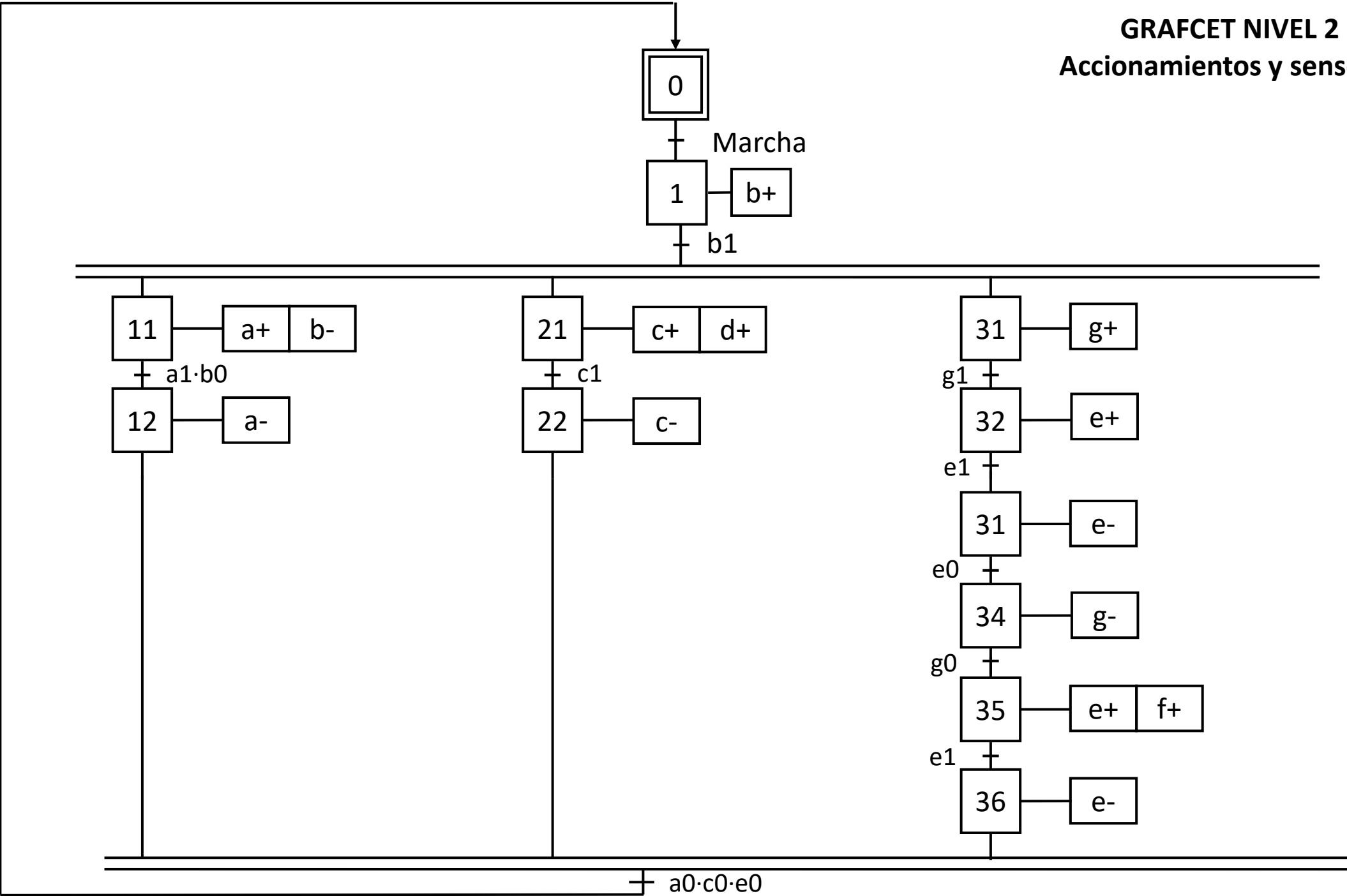
Guía GEMMA. Ejemplo 2

- Estación de taponado: El cilindro G presenta un tapón al receptáculo del cilindro E. El cilindro E coloca el tapón sobre la botella, roscándolo a través del motor neumático F. El sensor e0 controla el retroceso de E y la válvula de sobrepresión e1 controla el avance de E. Al avanzar el cilindro E y chocar con un obstáculo aumenta la presión interna del cilindro y esto es detectado por e1.

GRAFCET NIVEL 1



GRAFCET NIVEL 2
Accionamientos y sensores



Guía GEMMA. Ejemplo 2

- **¿Y si no hay botellas?**

- Se derrama el líquido.
- Falta una secuencia de arranque-
- Añadir secuencia de parada para que la cinta quede vacía.
- Modo normal de Funcionamiento cuando CP1, CP2 y CP3 están activos (F1).

- **¿Parada de emergencia?**

- Si hay una parada de emergencia (rotura botella, avería) se debería ir a un estado seguro (p.ej. cerrar válvula D).
- Se debería permitir solucionar el defecto y reiniciar la producción o permitir el trabajo con defecto, por ejemplo una persona pone los tapones de forma manual si no funciona el taponador.

Guía GEMMA. Ejemplo 2.

- **A tener en cuenta:**

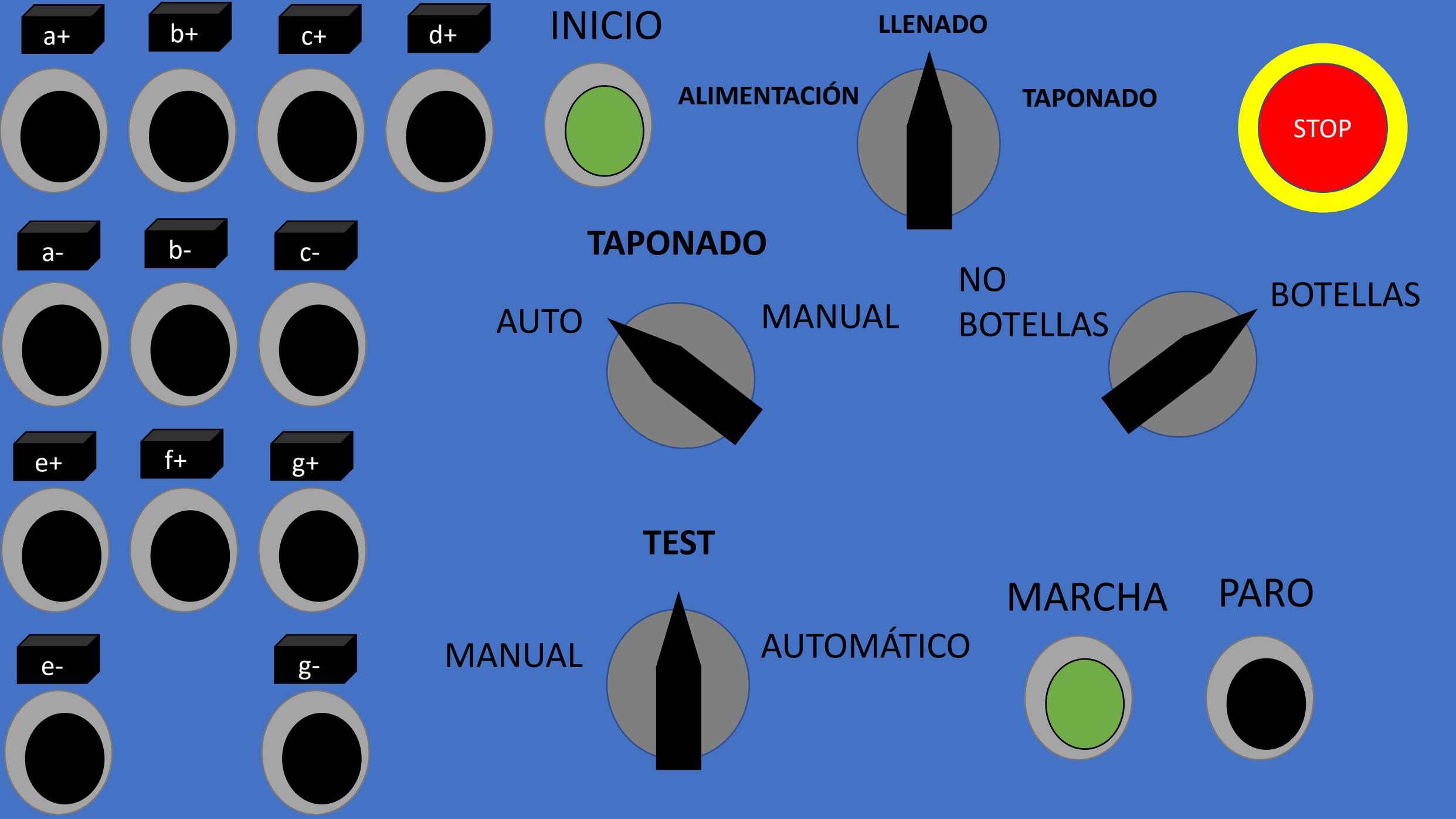
- Modo Manual: Se permite controlar el funcionamiento de cada elemento de la plana por separado: 1 pulsador para cada elemento con señalización.
- Modo Test: Comprobar que la maquina realiza un ciclo completo o que cada estación realiza un ciclo completo
- Comprobar dosificador: Cada cierto tiempo colocamos una botella de referencia para comprobar que la cantidad de líquida es la correcta.

Guía GEMMA. Ejemplo 2

- **A1:** Condiciones iniciales: Botella sobre la cinta de embotellado
- **F2:** Poner la planta en condiciones de trabajar a pleno rendimiento: En cada estación hay una botella.
- **F1:** Producción a pleno rendimiento: Una botella por ciclo
- **F3:** Parada de la producción: No se introducen nuevas botellas en la cinta y se consumen las que ya están en la cinta.
- **F4:** Modo manual: Mover cada cilindro por separado, con un pulsador e indicador por cada movimiento
- **F5:** Modo test: Realizar un ciclo completo de una estación, un selector indica qué estación realiza el ciclo.

Guía GEMMA. Ejemplo 2

- **F6:** Calibrar dosificador: Solo debe funcionar la estación dosificadora.
- **D1:** Parada de emergencia: Se cierra la válvula D y se para el sistema.
- **D2:** Diagnóstico de la avería: Se realiza comprobación manual.
- **A5:** Retirada y limpieza. Reparación: Se realiza de forma manual.
- **A7:** Poner manualmente los accionadores en sus posiciones iniciales: Se puede usar el modo manual.
- **A6:** Alimentación con una botella si es necesario.

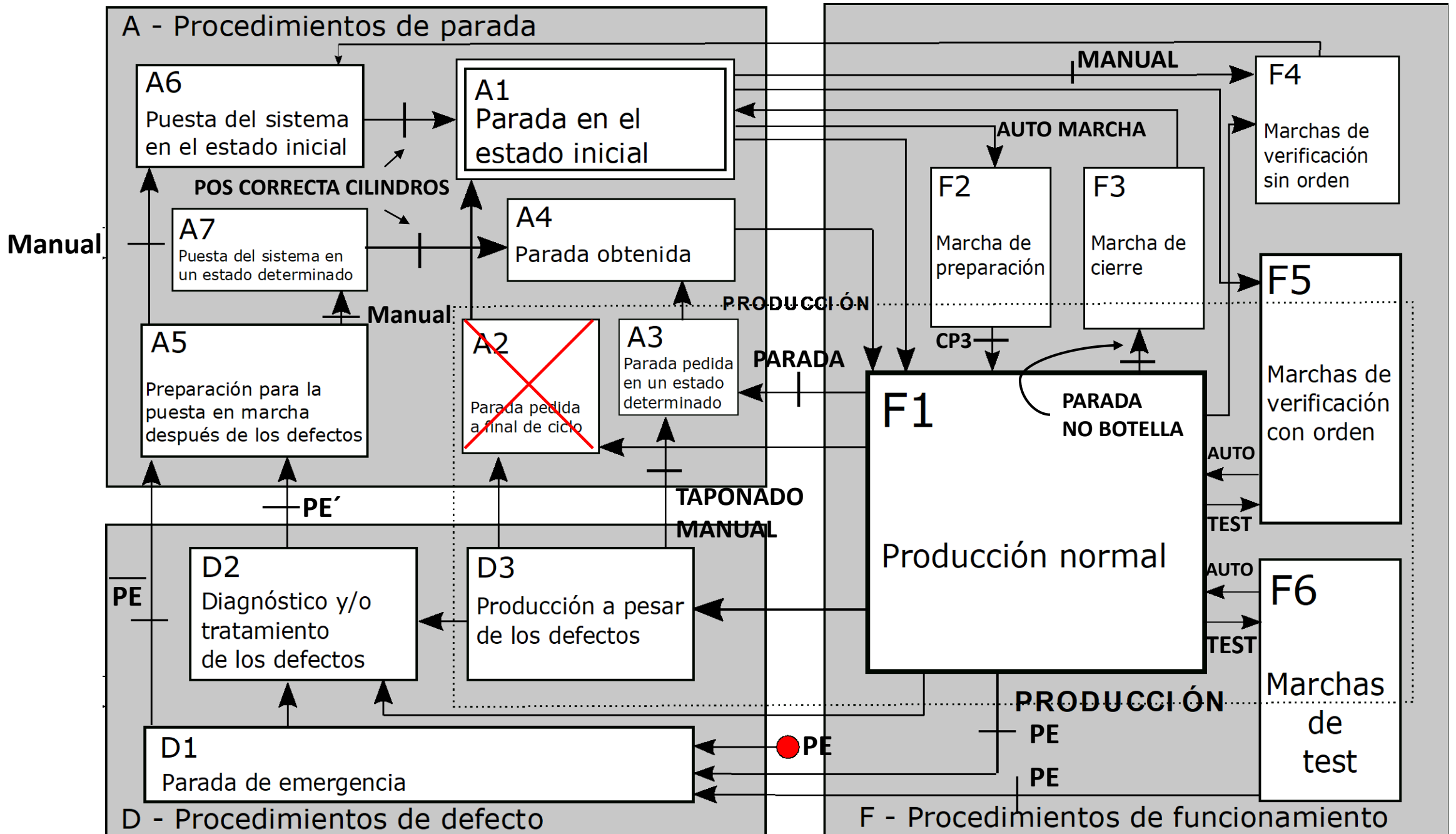


Guía GEMMA. Ejemplo 2. Panel de control

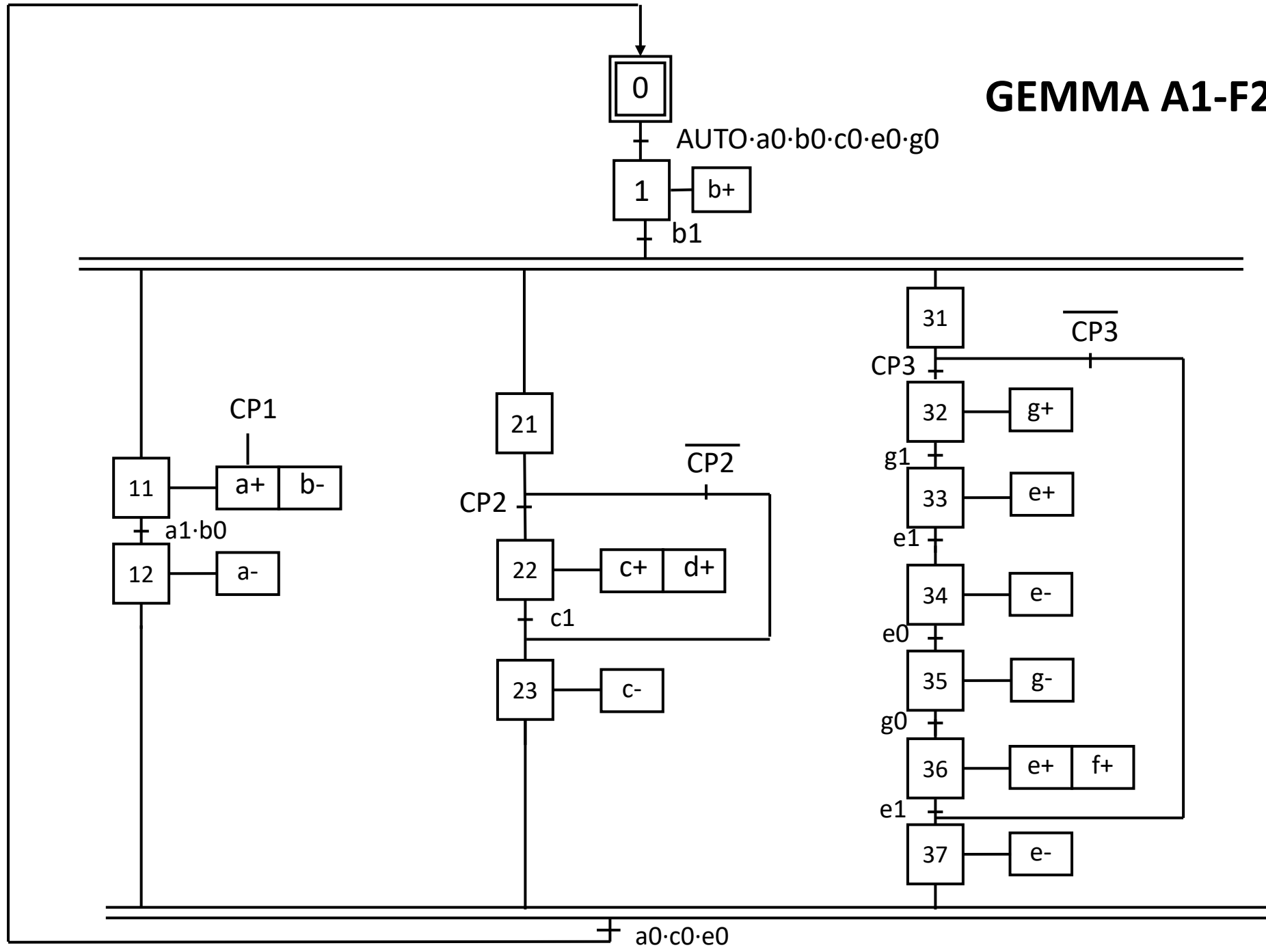
- Selector modo **Manual, Test y Automático**
- Pulsador de **Marcha** para activar el modo automático: Pone el sistema a funcionar aunque no tengan botella todas las estaciones.
- Pulsador de **Paro** del modo automático: para el sistema
- Conmutador **Botellas o No Botellas**: Cierra el alimentador de botellas para poder parar la máquina sin botellas (pulsador de Paro) en modo automático.
- Conmutador **Manual o Auto** en Taponado: Sustituir la etapa de taponado automático por una manual.

Guía GEMMA. Ejemplo 2. Panel de Control.

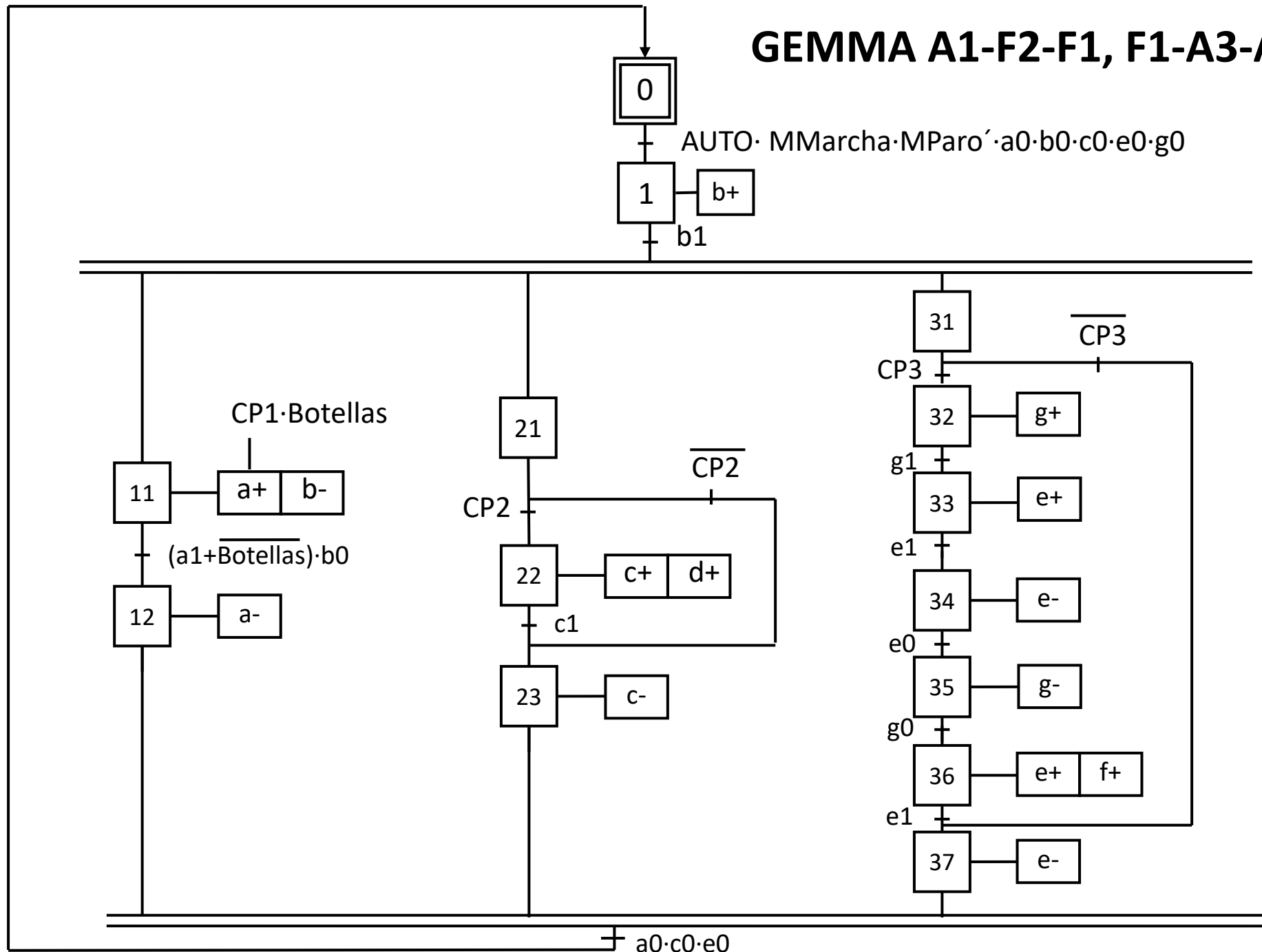
- Conmutador de **Alimentación, Llenado y Taponado**: Permite verificar cada estación en modo Test.
- Pulsadores con Led para el control de los cilindros en modo manual: Cada pulsador lleva asociado un led que se enciende cuando se activa el correspondiente final de carrera.



GEMMA A1-F2-F1

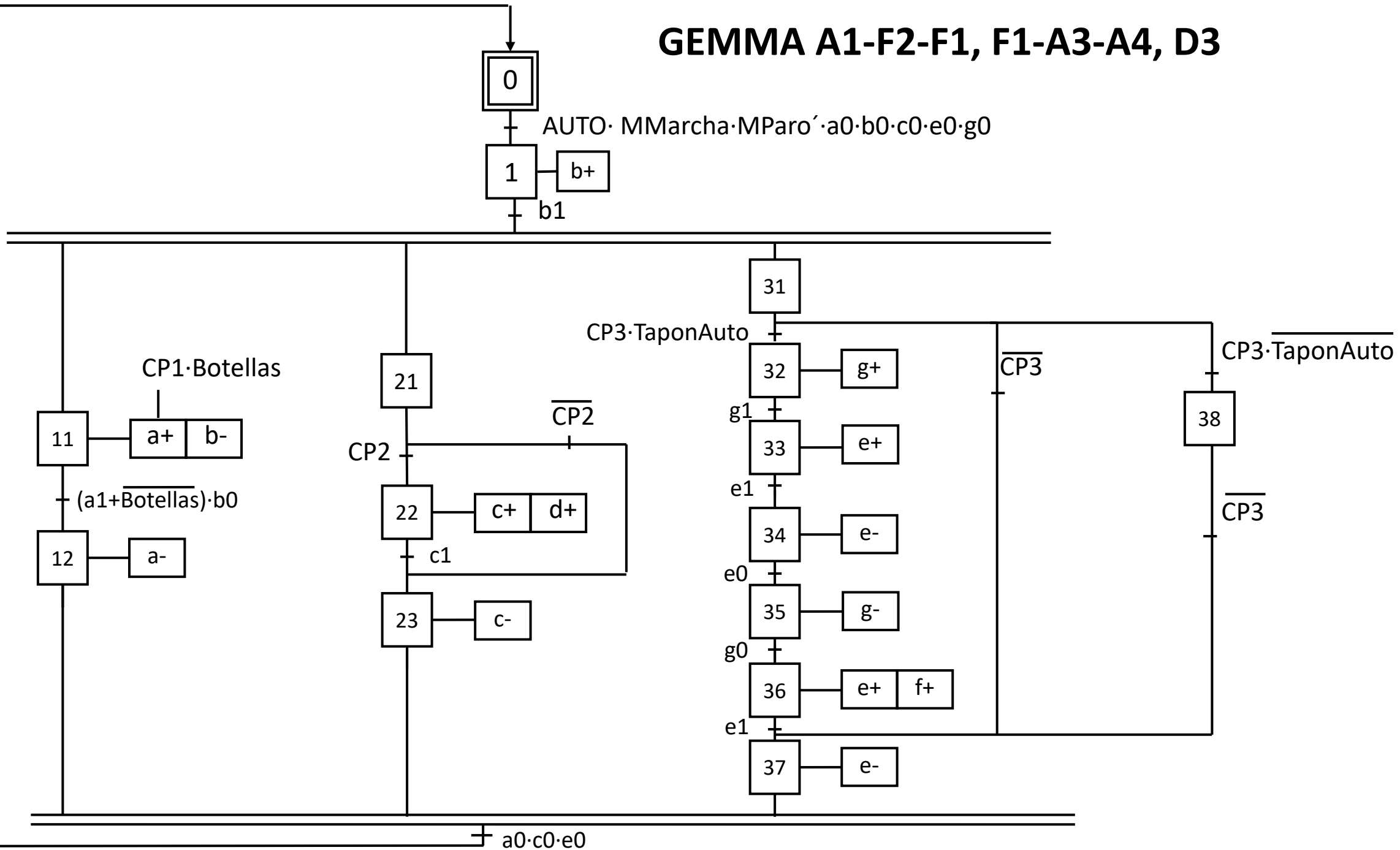


GEMMA A1-F2-F1, F1-A3-A4, F1-F3-A1



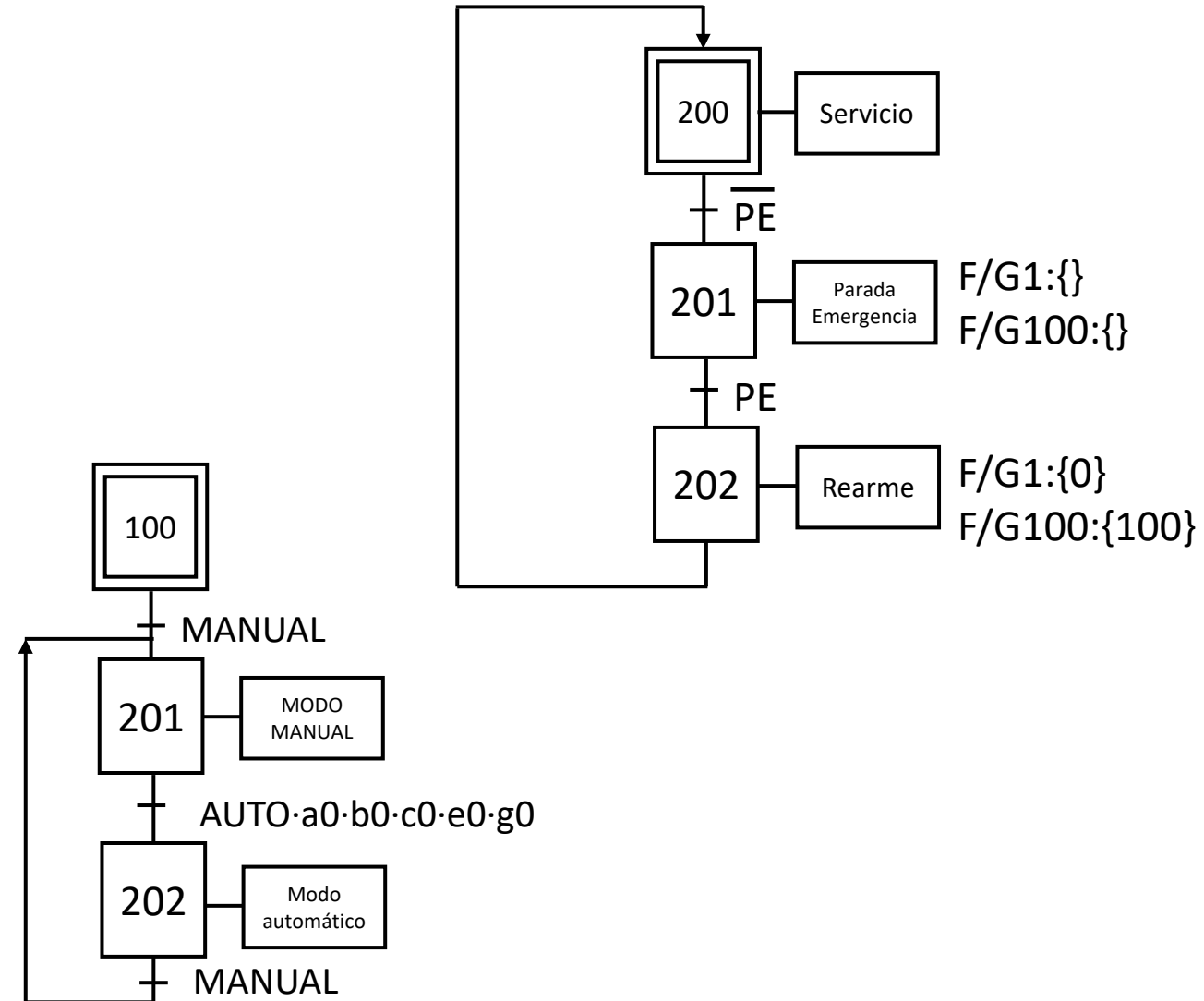
Mmarcha se activa con Marcha y se desactiva con Paro. Semajante con MParo

GEMMA A1-F2-F1, F1-A3-A4, D3



Guía GEMMA. Ejemplo 2. Estados alarma

- En la parada de emergencia se cierra la válvula D (desactivación d+)
- Desde la parada de emergencia pasamos a control manual para poner los cilindros en posición adecuada.
- ¿Cómo se trabaja en modo TEST y MANUAL?:
 - Manual: A6 y F4



BIBLIOGRAFÍA

- Autómatas Programables. Josep Barcells y José Luís Romeral. Ed. Marcombo.
- Automatización Industrial. Roberto Sanchís, Julio Ariel Romero y Carlos Vicente Ariño. Ed. Universitat Jaume I.
- Diseño y aplicaciones con autómatas programables. Joan Domingo, Juan Gámiz, Antoni Grau y Herminio Martínez. Editorial UOC.
- Autómatas Programables SIEMENS Grafset y Guía Gemma con TIA PORTAL.
- Automatización Industrial. Roberto Sanchis Llopis, Julio Ariel Romero Pérez y Carlos Vicente Ariño Latorre. Universitat Jaume I.