

## **RESUMEN SOBRE GRAFCET**

## INDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA GRAFCET: CONCEPTOS BÁSICOS</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>ETAPAS</b>	<b>2</b>
2.1.1	ACCIONES ASOCIADAS A LAS ETAPAS	4
<b>2.2</b>	<b>TRANSICIÓN</b>	<b>5</b>
2.2.1	RECEPTIVIDAD ASOCIADA A LA TRANSICIÓN	5
<b>2.3</b>	<b>UNIONES ORIENTADAS</b>	<b>6</b>
<b>2.4</b>	<b>REGLAS DE EVOLUCIÓN</b>	<b>7</b>
2.4.1	SITUACIÓN INICIAL	7
2.4.2	FRANQUEO DE UNA TRANSICIÓN	7
2.4.3	EVOLUCIÓN DE LAS ETAPAS ACTIVAS	7
2.4.4	REGLAS DE ESTRUCTURAS DE USO FRECUENTE	8
2.4.5	EVOLUCIONES SIMULTÁNEAS	9
2.4.6	ACTIVACIÓN Y DESACTIVACIÓN SIMULTÁNEA	10
<b>2.5</b>	<b>ESTRUCTURAS PRINCIPALES</b>	<b>10</b>
2.5.1	SECUENCIA UNICA	10
2.5.2	SECUENCIAS SIMULTÁNEAS: PARALELISMO ESTRUCTURAL	10
2.5.3	SELECCIÓN DE SECUENCIA	11
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL GRAFCET</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>SIMATIC S7-200</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>MICROCONTROLADOR 8x51</b>	<b>16</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento es la presentación de la metodología Grafcet como solución al desarrollo de programas de control para procesos secuenciales. Esta metodología es la utilizada por MEDISS. MEDISS es una aplicación software que se ejecuta bajo entorno Windows y que permite el diseño de programas de control para los autómatas Simatic S5 y S7-200 basados en Grafcet. .

La creciente complejidad de los automatismos industriales se traduce en una mayor dificultad para definir de una manera clara y sin ambigüedades las especificaciones funcionales a las que debe responder. Esta dificultad se ve agravada por la utilización de un gran número de informaciones de entrada y salida.

Las distintas formas de descripción de un proceso podrían ser clasificadas en los distintos grupos:

- Una descripción literal únicamente resulta larga, incomoda, a veces imprecisa y, a menudo incompleta.
- Una descripción lógica (logigrama) está casi exclusivamente enfocado a una tecnología determinada, y no es apropiada a la realización mediante programa.
- Una representación por organigrama, más general, se adapta bien a las realizaciones mediante programa, pero resulta pobre en el caso de los secuenciales y no muestra los funcionamientos simultáneos, caso de que los haya.

Los trabajos realizados en los últimos años, han conducido a representaciones gráficas de las especificaciones funcionales que son totalmente independientes de la realización tecnológica, pudiendo ésta ser cableada (módulos neumáticos, relés electromecánicos o módulos electrónicos) o programada (PLC, ordenador o microprocesador).

Estas nuevas formas de representación se basan en los conceptos de etapa y de receptividad que simplifica en gran medida la síntesis de los automatismos

secuenciales, al considerar el hecho de que, entre el gran número de informaciones disponibles, pocas son significativas en un determinado momento.

A partir de estas ideas, los trabajos efectuados por las comisiones de AFCET. (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique, Asociación Francesa para la cibernética económica y técnica) y de ADEPA, (Agence Nationale pour le Developpment de la Production Automatisée, Agencia nacional para el desarrollo de la producción automatizada) han dado como resultado la definición de un diagrama funcional: el GRAFCET, (Graphe de Comands Etape/Transition, gráfico de mando etapa/transición).

Este diagrama funcional permite describir los comportamientos del automatismo en relación a las informaciones que recibe, imponiendo un funcionamiento riguroso, evitando de esta forma incoherencias, bloqueos o conflictos en el funcionamiento. En cada nivel de descripción, este diagrama puede ser modificado o corregido, sin necesidad de volver a partes ya estudiadas.

## 2 METODOLOGÍA GRAFCET: CONCEPTOS BÁSICOS

El Grafcet se compone de un conjunto de:

- **Etapas** o **Estados** a las que van asociadas **acciones**.
- **Transiciones** a las que van asociadas **receptividades**.
- **Uniones Orientadas** que unen las **etapas** a las **transiciones** y las **transiciones** a las **etapas**.

### 2.1 Etapas

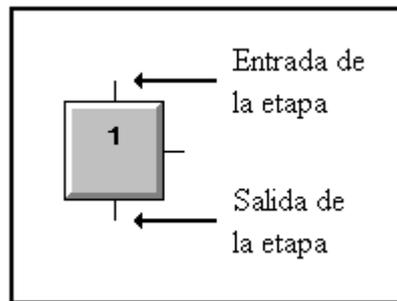
Una etapa se caracteriza por un comportamiento invariable en una parte o en la totalidad de la parte de mando.

En un momento determinado, y según sea la evolución del sistema:

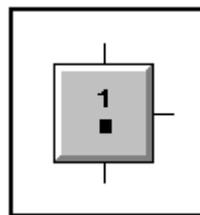
- Una **etapa** puede estar **activa** o **inactiva**.
- El conjunto de las **etapas activas** definen la situación de la parte de

mando.

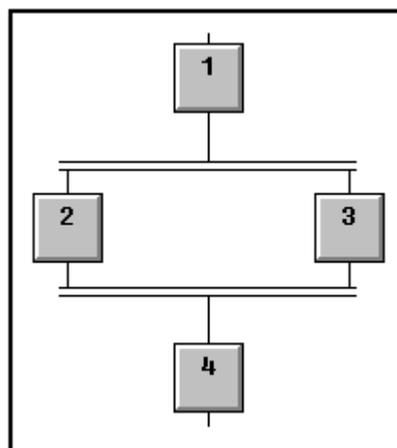
Las etapas se representan por un cuadrado con un número en su parte superior como identificación. La entrada y salida de una etapa aparece en la parte superior e inferior, respectivamente, de cada símbolo. El conjunto formado por el cuadrado y la extensión de las entradas y salidas constituye el símbolo completo de la **etapa**:



Cuando es necesario determinar la situación del Grafcet en un momento determinado, es muy cómodo identificar todas las etapas activas en ese momento, mediante un punto en la parte inferior de los símbolos de las etapas activas:



Cuando varias transiciones van unidas a una misma etapa, las uniones orientadas correspondientes se reagrupan antes o después de la etapa:

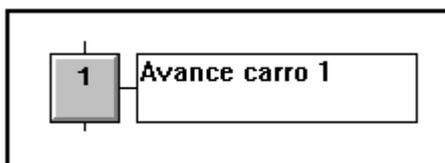


### 2.1.1 Acciones asociadas a las etapas

Las acciones están descritas, literal o simbólicamente, en el interior de uno o varios rectángulos unidos al símbolo de la etapa a la que van asociados.

Tanto las acciones asociadas a las etapas como las receptividades asociadas a las transiciones se pueden describir a dos niveles:

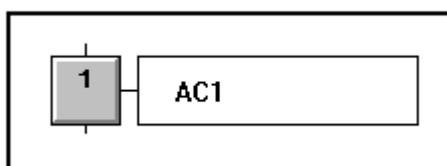
- **Nivel 1:** no tienen en cuenta los elementos tecnológicos que implementan el órgano operativo y sólo se atienden a las especificaciones de tipo funcional. Se trata de describir las funciones del sistema.



Acción asociada a la etapa 1 (nivel 1):

Avance del carro 1

- **Nivel 2:** se especifican los aspectos tecnológicos del órgano operativo y de lo que le rodea y de las especificaciones operacionales del órgano de control.



Acción asociada a la etapa 1 (nivel 2):

AC1

Cuando las acciones están descritas en forma simbólica, debe haber una tabla con la relación entre cada símbolo utilizado y la acción a ejecutar. Para el ejemplo anterior debería existir algo como:

AC1: Avance del Carro 1

## 2.2 Transición

Una transición indica la posibilidad de evolución entre etapas. Esta evolución se consume al producirse el **franqueo** de la **transición**. El franqueo de una transición provoca el paso en la parte de mando de una situación a otra situación.

Una **transición** puede estar **validada** o **no validada**. Se dice que está validada cuando todas las etapas inmediatamente unidas a esta transición están activas.

Una transición entre dos etapas se representa mediante una línea perpendicular a las uniones orientadas, también puede llevar una línea paralela a las uniones orientadas. Para facilitar la comprensión del Grafcet cada transición puede ir numerada a la izquierda de la línea perpendicular.

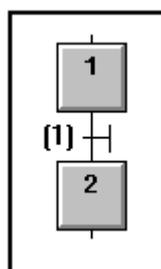


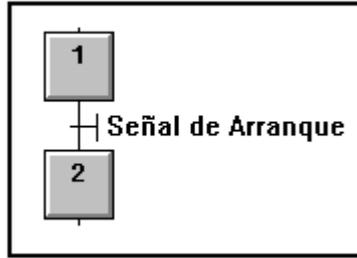
Ilustración 1- Transición que une la etapa 1 con la etapa 2

### 2.2.1 Receptividad asociada a la transición

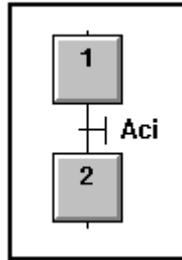
A cada transición va asociada una proposición lógica llamada receptividad que puede evaluada a verdadero o falso. Entre todas las informaciones disponibles en un momento determinado, la receptividad agrupa solamente aquellas que son necesarias para el franqueo del transición. La receptividad es función de informaciones externas (entradas) o internas (estado de contadores, temporizadores, estados activos o inactivos de otras etapas).

Las entradas de la parte de mando corresponden a las informaciones externas provenientes de la parte operativa, de consignas dadas por el operador, o de informaciones de otros sistemas.

La receptividad va escrita literal o simbólicamente, preferentemente a la derecha del símbolo de la transición.



**Ilustración 2- Representación literal de la receptividad**



**Ilustración 3- Representación simbólica de la receptividad**

Cuando la receptividad está escrita en forma simbólica, una tabla debe dar la correspondencia entre cada símbolo utilizado y la información correspondiente. En el ejemplo anterior

Aci: Señal Arranque

Cuando no hay condición asociada a una transición, se dice que la receptividad es verdadera siempre y se escribe =1.

## 2.3 Uniones orientadas

Las uniones orientadas unen las etapas a las transiciones y las transiciones a las etapas. Señalan el camino de las evoluciones.

Las uniones orientadas se representan mediante líneas horizontales o verticales. Las líneas oblicuas pueden ser empleadas excepcionalmente siempre que añadan claridad al diagrama. Por convenio, el sentido de las evoluciones en un Grafcet es de arriba hacia abajo.

Las flechas se utilizan para señalar la orientación de las uniones:

- cuando no se respeta el convenio.
- en casos especiales, siempre que su presencia aporte claridad y facilite la

## 2.4 Reglas de Evolución

### 2.4.1 Situación Inicial

La situación inicial del Grafcet caracteriza el comportamiento inicial de la parte de mando en relación a la parte operativa, y corresponde a las etapas activas al comienzo del funcionamiento. Si esta situación es siempre la misma, caso de los automatismos cíclicos, estará caracterizada por las etapas iniciales. Este caso corresponde a un comportamiento de reposo.

En el caso de automatismos no cíclicos, la situación de partida depende del estado del proceso en el momento de la puesta en marcha de la parte de mando. La forma de establecer la situación inicial debe ser definida en el Grafcet o en documentación adjunta.

### 2.4.2 Franqueo de una Transición

La evolución de la situación del Grafcet correspondiente al franqueo de una transición no puede producirse más que:

- cuando esta transición está validada y
- cuando la receptividad asociada a esa transición es cierta.

Cuando estas dos condiciones se cumplen, la transición es franqueable y entonces es franqueada **obligatoriamente**.

### 2.4.3 Evolución de las Etapas activas

El franqueo de una transición trae como consecuencia la activación simultánea de todas las etapas inmediatamente posteriores y la desactivación de todas las etapas inmediatamente anteriores.

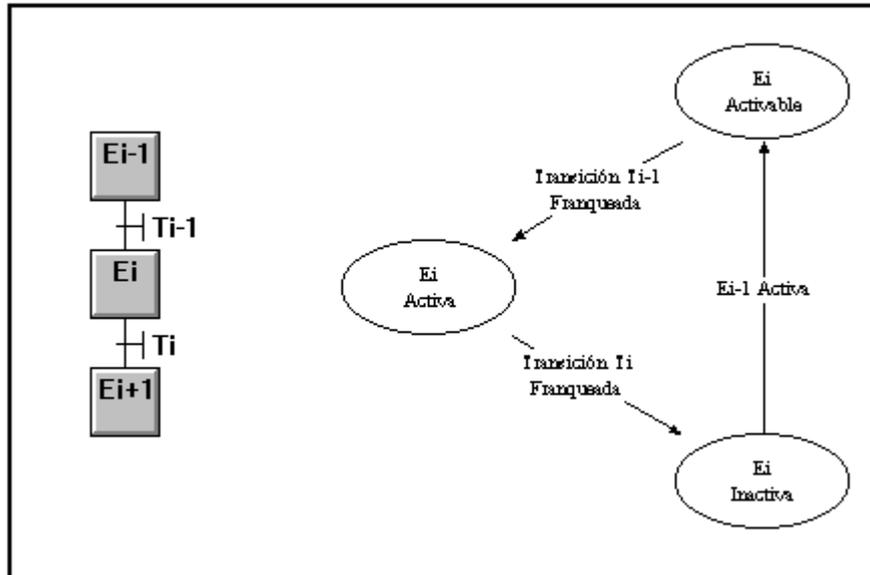
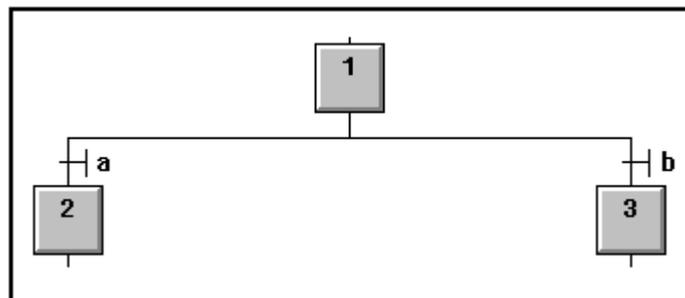


Ilustración 4- Estados posibles de la etap Ei y sus transiciones

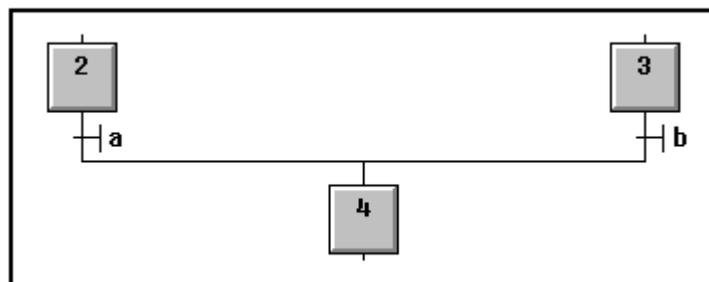
#### 2.4.4 Reglas de estructuras de uso frecuente

- **Divergencia en O.** Se representa mediante el esquema



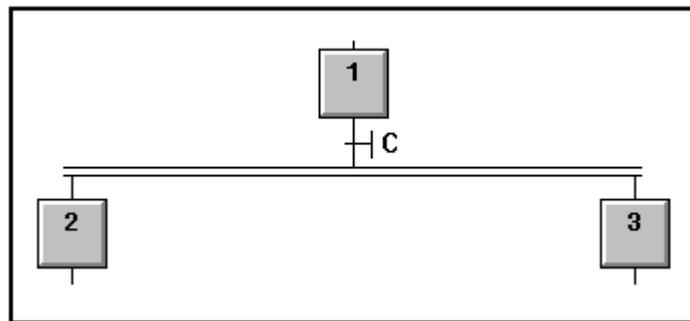
Cuando la etapa 1 está activa, según se cumpla la receptividad asociada a la transición **a** o la receptividad asociada a la transición **b**, pasará a ser activa la etapa 2 o bien la etapa 3 respectivamente.

- **Convergencia en O.** Se representa mediante el esquema



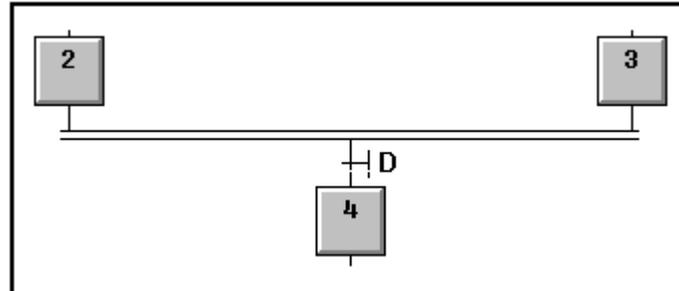
Si la etapa activa es la 2 debe cumplirse la receptividad asociada a la transición **a** para pasar a la etapa 4 a activa. Si la etapa activa es la 3 debe cumplirse la receptividad asociada a la transición **b**, para que la etapa 4 pase a estar activa.

- **Divergencia en Y.** Viene dada por el esquema



Estando activa la etapa 1 y si se cumple la receptividad asociada a la transición C, pasan a estar activas las etapas 2 y 3.

- **Convergencia en Y.** Viene dada por el siguiente esquema:



Para que se activa la etapa 4 deben estar activas las etapas 2 y 3 y cumplirse la receptividad asociada a la transición D.

## 2.4.5 Evoluciones Simultáneas

Varias transiciones que son franqueables simultáneamente, son simultáneamente franqueadas. Esta regla de franqueo simultáneo permite descomponer el Grafset en varios diagramas, especificando claramente sus interconexiones. En este caso, es indispensable hacer intervenir, en las receptividades los estados activos de las etapas.

## 2.4.6 Activación y Desactivación Simultánea

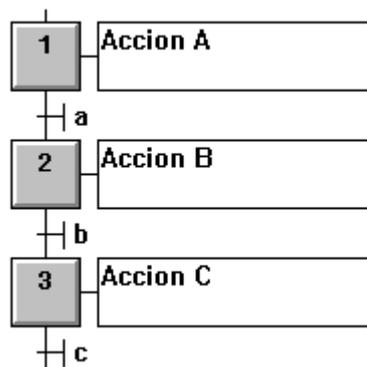
Si en el curso del funcionamiento de un automatismo una etapa debe ser desactivada y activada simultáneamente, ésta seguirá activa.

## 2.5 Estructuras Principales

Las estructuras de base más utilizadas se describen a continuación. Pueden combinarse entre ellas, siendo esta enumeración no limitativa.

### 2.5.1 Secuencia Unica

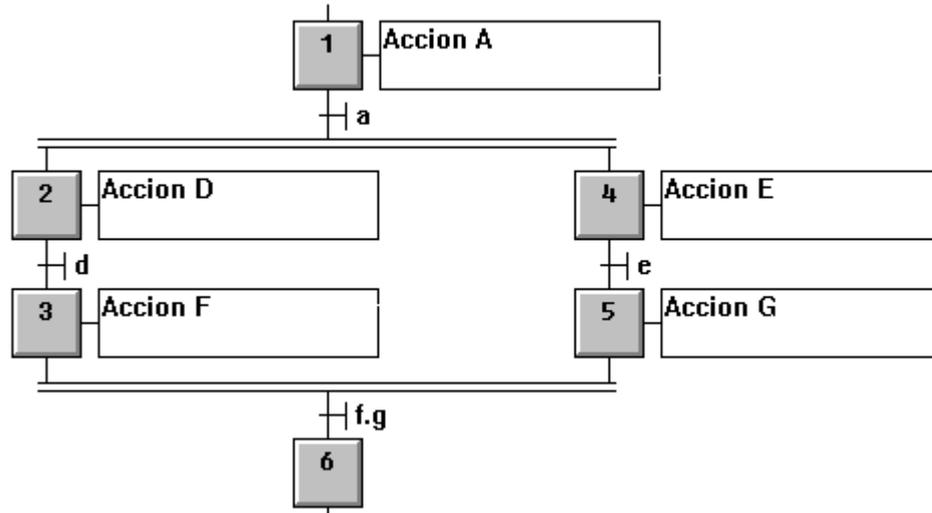
Una secuencia única se compone de una sucesión de etapas que son activadas una a continuación de otra. A cada Etapa le sigue solamente una transición y cada transición es validada por una sola etapa.



Se dice que la secuencia está activa si al menos lo está una etapa. Por el contrario se dice que está inactiva si todas las etapas están inactivas.

### 2.5.2 Secuencias Simultáneas: paralelismo estructural

Cuando el franqueo de una transición conduce a la activación de varias secuencias al mismo tiempo, se dice que son secuencias simultáneas. Después de la activación de estas secuencias, las evoluciones de las etapas activas en cada una de las secuencias son independientes. Para asegurar la sincronización de la desactivación de varias secuencias al mismo tiempo, generalmente se ponen etapas de espera recíproca.

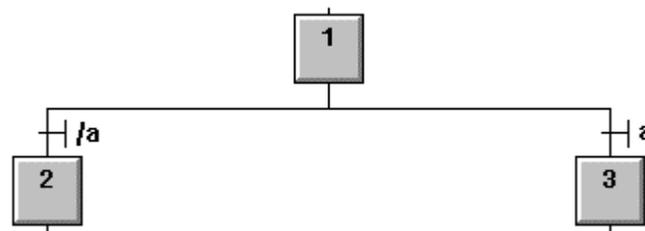


Las activaciones o desactivaciones simultáneas de estas secuencias pueden efectuarse en una o varias veces.

### 2.5.3 Selección de Secuencia

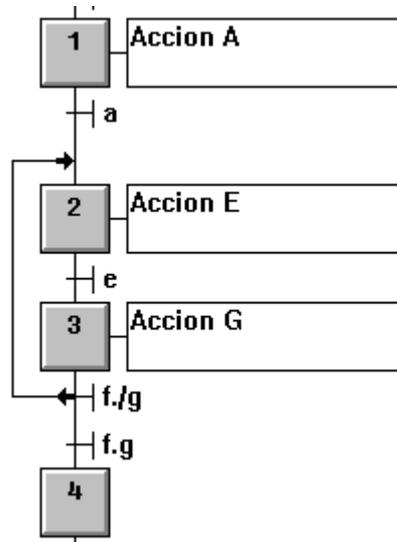
Una selección de secuencia, o una elección de evolución entre varias etapas o secuencias se presenta a partir de una o varias etapas, mediante tantas transiciones validadas como evoluciones posibles haya, es el caso de la divergencias en O.

- **Secuencias exclusivas.** Para obtener una selección exclusiva entre varias evoluciones posibles a partir de una misma etapa, es necesario asegurar que todas las receptividades asociadas a las transiciones son exclusivas es decir, no pueden ser verdaderas simultáneamente. Este exclusión puede ser de orden físico (incompatibilidad mecánica o temporal), o de orden lógico (en la escritura de las receptividades).

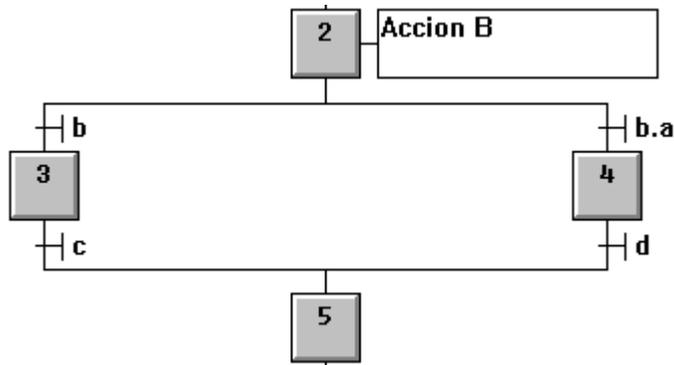


- **Salto de etapas y repetición de secuencia.** El salto de etapas permite saltar una o varias etapas, por ejemplo, cuando las acciones a efectuar por

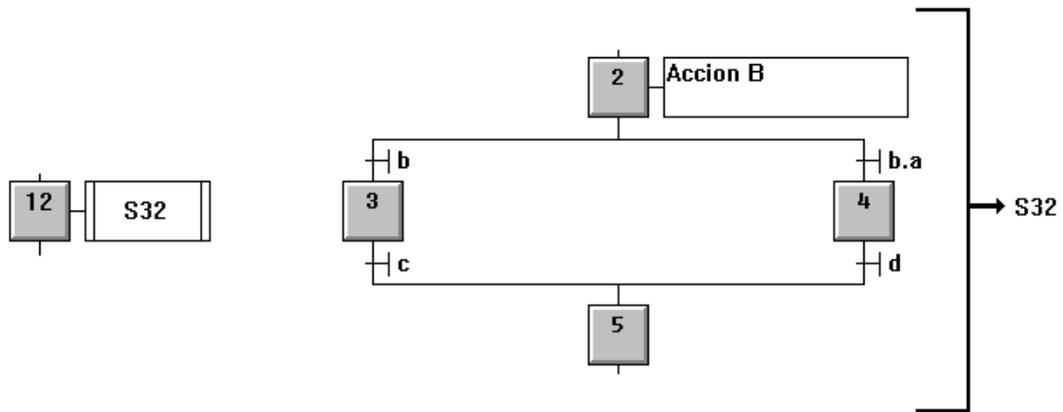
estas etapas, lleguen a ser inútiles o no tengan objeto. Por el contrario, la repetición de secuencia, permite volver a comenzar la misma secuencia mientras que una condición establecida no sea cumplida.



- **Paralelismo Interpretado.** Cuando las receptividades asociadas a las transiciones validadas por una o varias etapas no son exclusivas, pueden producirse evaluaciones simultáneas que activan varias etapas a la vez. Este segundo tipo de paralelismo se llama paralelismo interpretado.



- **Reutilización de la misma Secuencia.** Cuando una misma secuencia se utiliza varias veces, puede ser organizada de forma parecida a un subprograma. Las secuencias utilizadas como subprograma se representan mediante un rectángulo cuyos lados verticales van duplicados.



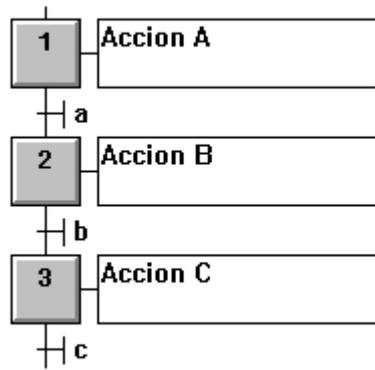
### 3 IMPLEMENTACIÓN DEL GRAFCET

Una vez realizado el Grafcet del proceso que deseamos controlar, el paso siguiente es la obtención de las condiciones de activación de las etapas, así como de las acciones asociadas a las mismas. Para ello se utilizará un proceso de normalización en el cual, y partiendo del Grafcet realizado, vamos obteniendo las condiciones de activación para cada una de las etapas y acciones. La obtención de estas condiciones booleanas se basará en la utilización de dos hechos:

- Una etapa se activará cuando estando activa la etapa inmediatamente anterior a ella, se evalúe a cierto la receptividad existente entre estas dos etapas, desactivándose la etapa anterior y activándose la nueva etapa.
- Una acción se deberá ejecutar, si la etapa a la que está asociada está activa.

Una vez obtenidas estas condiciones booleanas, el paso siguiente es la implementación en el lenguaje apropiado para el controlador que se haya escogido como unidad de control del proceso.

Un ejemplo de normalización de etapas y acciones es el siguiente:

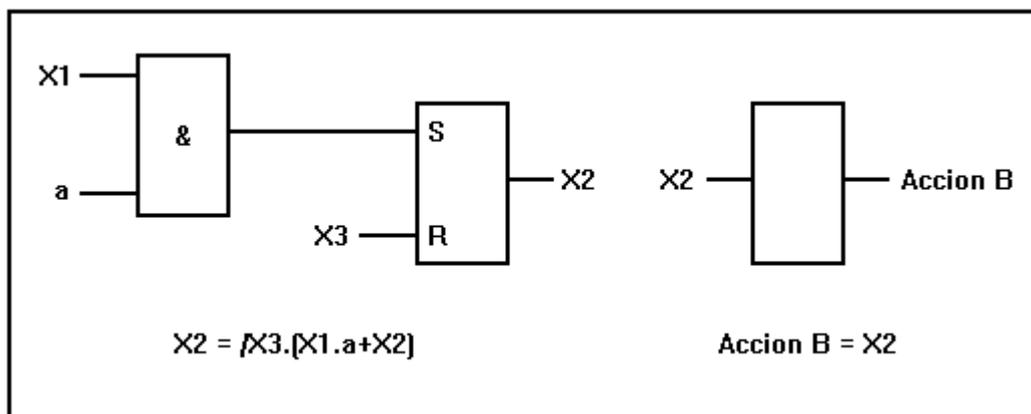


La etapa 2 se activará cuando estando activa la **etapa 1** se verifique la receptividad **a** y dejará de estar activa cuando se active la etapa 3, la cual se activará cuando estando activa la **etapa 2** se verifique **b**. Basándonos en esto, y mediante un proceso de normalización podemos llegar a la condición booleana que debe verificarse para la etapa 2. Esta condición es la siguiente (X es nombre de la etapa):

$$X2 = /X3.(X1.a+X2)$$

$$\text{Accion B} = X2$$

La representación gráfica de este proceso de normalización mediante la técnica “asociación etapa-biestable” sería la siguiente:



En el bloque **and** (&), que está conectado al **set** de la etapa, se representan las condiciones de activación de la etapa, mientras, que al **reset** de la etapa, se conectan las condiciones de desactivación de la etapa. En el bloque correspondiente a la acción se conectan las etapas en las cuales se estaría ejecutando la acción, en nuestro caso la etapa 2.

A continuación se expondrá como realizar la implementación de estas condiciones, como ejemplo, con los controladores Simatic S7-200, y el microcontrolador 8x51.

### **3.1 Simatic S7-200**

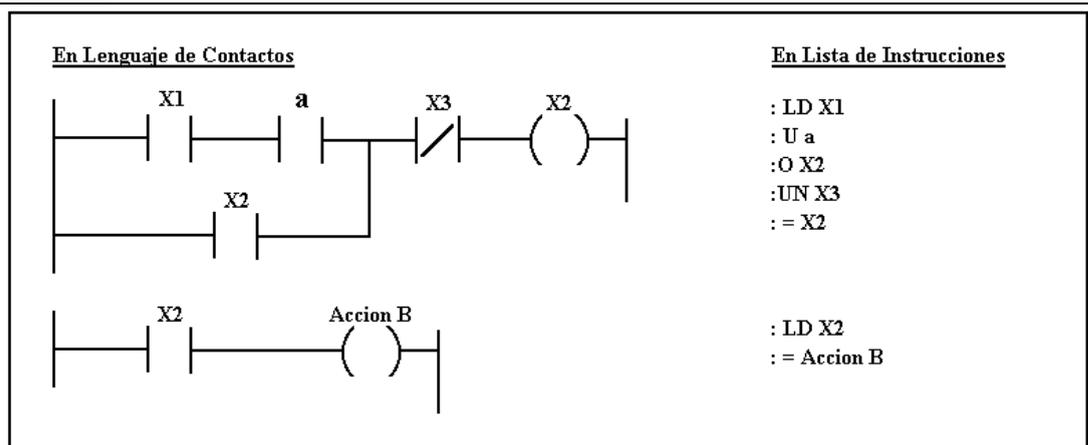
Para controlar el proceso mediante Simatic S7-200, basándose en el Grafcet construido, lo que se hace es asociar a cada etapa un elemento de memoria que permita saber si la etapa está activada o no. En el caso del presente trabajo, a cada etapa del Grafcet se le ha asociado una marca interna del autómeta, de tal manera que la marca estará puesta a un 1 lógico si la etapa que tiene asociada está activa, y un 0 lógico en otro caso.

Para controlar el proceso se realiza un programa escrito en cualquiera de los dos lenguajes de programación del S7-200 (esquema de contactos, lista de instrucciones), que se ejecuta constantemente en el autómeta. El programa a construir no es más que la implementación de la secuencia de condiciones booleanas que definen la activación-desactivación de las etapas así como de las condiciones asociadas a estas, halladas durante el proceso de normalización posterior a la construcción del Grafcet.

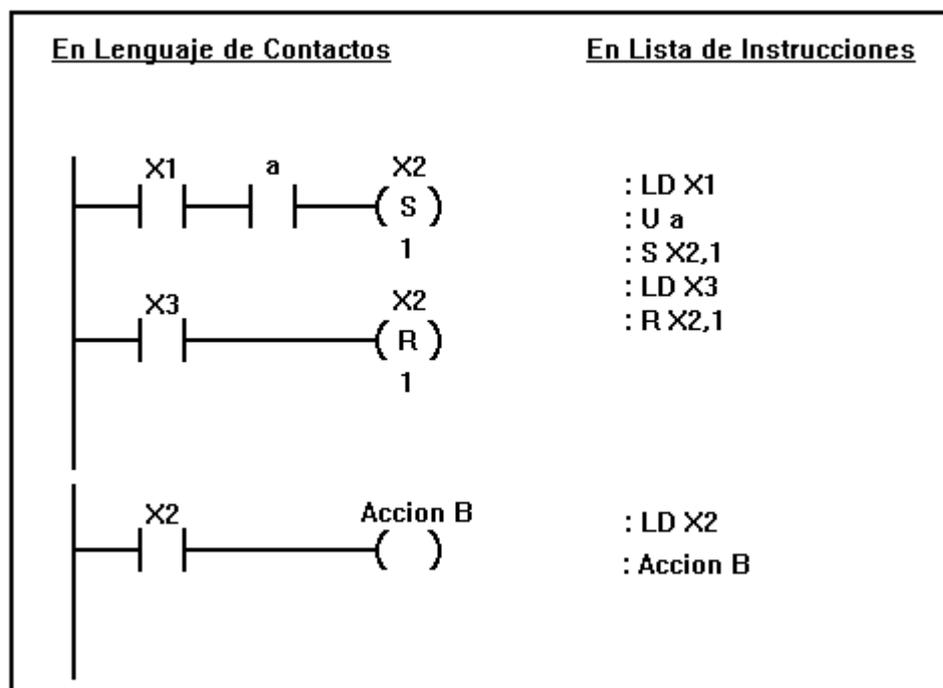
El programa examina en cada ciclo de ejecución las entradas al autómeta (entradas del proceso), y en función de las condiciones de activación-desactivación de las etapas activa estas. En el programa también están implementadas las condiciones de ejecución de las acciones, y en función de la etapa o etapas que estén activadas produce salidas dirigidas al proceso a controlar.

Las condiciones de activación de las etapas obtenidas en el proceso de normalización son condiciones que se basan principalmente en operaciones booleanas AND y OR, por lo que la implementación de este tipo de condiciones en cualquiera de los lenguajes de programación del S7-200 es bastante fácil.

En el ejemplo visto anteriormente la implementación de las condiciones de activación de la etapa 2, y de la acción asociada a esta etapa resultaría de la siguiente forma, si utilizamos la técnica relé-memoria:



Si por el contrario utilizamos la técnica etapa-biestable la implementación resultante sería la siguiente



### 3.2 Microcontrolador 8x51

La filosofía de funcionamiento e implementación de las condiciones de activación-desactivación de las etapas y acciones es la misma que con el autómata, salvo que en el microcontrolador las marcas internas que representan a las etapas serán sustituidas por posiciones de memoria RAM a las que se puede acceder bit a bit.

Siguiendo con el ejemplo anterior, una vez obtenido el Grafcet y habiendo realizado el proceso de normalización del cual surgía la ecuación de activación de la etapa 2 y de la acción asociada a esta etapa la implementación de estas condiciones booleanas en lenguaje ensamblador es la siguiente, utilizando una técnica relé-memoria:

<u>En Lenguaje Ensamblador</u>	
MOV C,X1	MOV C,X2
ANL C,a	MOV Accion B,C
ORL C,X2	
ANL C,/X3	
MOV X2,C	
<b>Etapa X2</b>	<b>Accion B</b>

Previamente se habrían asociado los símbolo **X1**, **a**, **X2**, **X3** con una posición de memoria y **Accion B** a una salida del microcontrolador si esta acción se ejecuta directamente sobre el proceso.