Diseño estructurado de sistemas de control: ejemplo

Descripción del sistema

El sistema de ejemplo es el que aparece en la figura 1. El objetivo es realizar el volcado de una mezcla de cemento en la zona rectangular G. Los elementos disponibles en el sistema son los siguientes:

- Dos vagonetas que cargarán los elementos necesarios (cemento y agua). La vagoneta 1 cubre el trayecto `AC` (parte superior) y la vagoneta 2 el trayecto `DFG` (parte inferior).
- Dos tolvas, una que almacena cemento (tolva `C`) y otra que almacena agua (tolva `A`).
- Dos accionadores en cada tolva que provocan el vertido de los materiales respectivos (identificadores `TC` y `TA`).
- Dos dosificadores para cada tolva que indican cuándo se dispone de la cantidad suficiente de material (identificadores `fc` y `fa`).
- Un pulsador de arranque `M`.
- Seis sensores, `a`, `b`, `c`, `d`, `e` y `f`, que se activan cuando las vagonetas están situadas en las posiciones `A`, `B`, `C`, `D`, `E` y `F`, respectivamente.
- La vagoneta 1 (superior) dispone de un motor con dos sentidos de marcha: a derecha (señal `MD1`) y a izquierda (señal `MI1`). También dispone de un mecanismo de volcado del material (accionamiento `VC`), junto a un sensor que se activa cuando detecta la finalización del volcado de material (`fvc`).
- La vagoneta de la parte inferior sólo dispone de un sentido de marcha a derecha (señal `MD2`). También dispone de un molinete que se acciona con la seña `MOL`, y un dispositivo de descarga que se activa con la señal `DES`, junto con un sensor de fin de descarga `fdes`.

El proceso a controlar debe seguir los pasos siguientes:

1. El ciclo comienza con el accionamiento del pulsador de arranque `M`, si además las dos vagonetas se encuentran situadas en los puntos `A` y `D`.
2. La vagoneta superior debe dirigirse hacia el punto `B`, debajo de la tolva de cemento, para realizar la carga. Después debe dirigirse al punto `C` donde volcará el cemento a la vagoneta del circuito inferior. El volcado debe producirse sólo si la otra vagoneta está situada debajo.
3. La vagoneta inferior debe comenzar su recorrido cuando la otra vagoneta se sitúe debajo de la tolva de cemento y se detendrá a cargar agua debajo de la tolva de agua, para posteriormente dirigirse al punto `F` para recibir la descarga de cemento de la vagoneta superior.

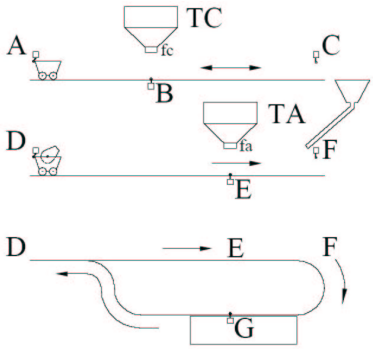

Fig. 1: Esquema del sistema a controlar.

4. Cuando finalice la descarga de cemento, la vagoneta superior debe regresar a su punto de partida `A`.

5. Simultáneamente, la vagoneta inferior debe activar su molinete al tiempo que se dirige al punto `G` de descarga. Cuando finalice la descarga deberá dirigirse al punto `D` cerrando el recorrido del circuito.

En la figura 2 se muestra el diagrama Grafcet de nivel 2 para este sistema.

Tratamiento de alarmas y paradas de emergencia

Supongamos que en una segunda fase de diseño se desea contemplar los siguientes casos de alarmas y paradas de emergencia:

1. Avería en los mecanismos de apertura/cierre de las tolvas `TC` y `TA`. En este caso se procederá a la suspensión de todas las operaciones con la retirada manual de las vagonetas a su lugar de origen para proceder a su reparación.

2. Avería de cualquiera de las dos vagonetas. Se realizarán las mismas acciones que en el caso anterior.

3. Aparición de algún obstáculo en la trayectoria de cualquiera de las dos vagonetas, lo cual deberá suspender temporalmente la evolución del sistema hasta que sea retirado el obstáculo.

En los casos (1) y (2) deberá añadirse al Grafcet anterior una secuencia de emergencia que situará al sistema en el estado deseado. Esta secuencia contempla la activación de una señal sonora (`AS`) cuando se produzca la avería en una u otra vagoneta, la retirada de ésta de forma manual a su punto de partida para su reparación y finalmente la restauración de todas las condiciones iniciales que hagan posible el rearme del sistema y el retorno al funcionamiento correcto.

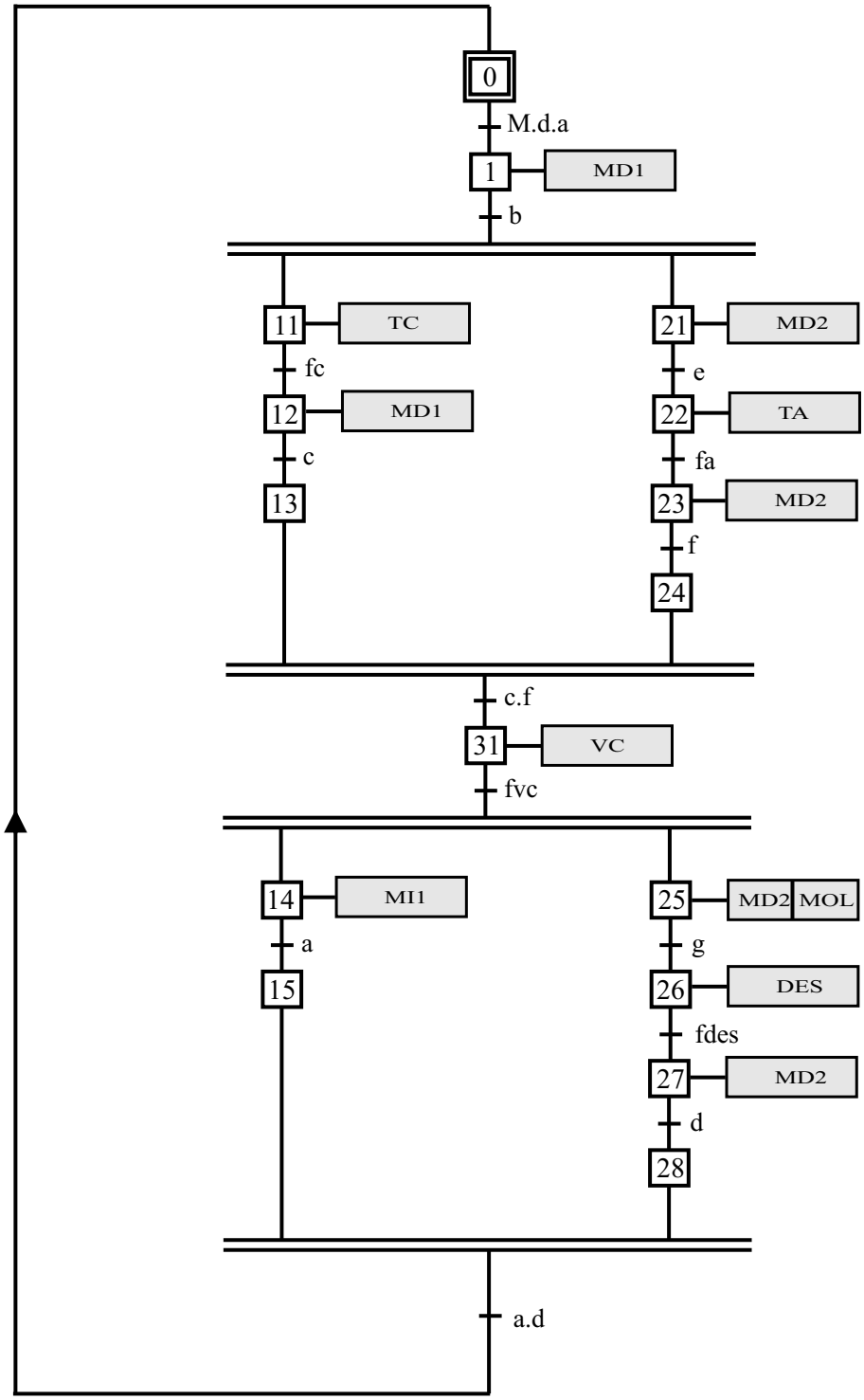

Fig. 2: Grafcet correspondiente al sistema descrito.

El caso (3) puede solucionarse mediante la técnica de congelación del automatismo, introduciendo una variable en cada una de las receptividades afectadas y dotando de carácter condicional a las acciones de marcha de las vagonetas.

Las variables de alarma introducidas son las siguientes:

- `P`, cuya activación indicará averías de las vagonetas o en alguna de las tolvas.
- `PO`, que indicará presencia de obstáculo en las trayectorias de las vagonetas.

Además, se añade dos variables nuevas:

- `CI` que indica cuándo se recuperan las condiciones iniciales,
- y `Re` que indica cuándo el sistema está preparado para seguir el funcionamiento normal (rearme).

Las modificaciones del diagrama Grafcet de la figura 2, teniendo en cuenta las variables y secuencia de emergencia, se muestran en la figura 3.

Como se puede observar en este diagrama, si se consideran los aspectos de seguridad comentados en las especificaciones, de cada una de las etapas del Grafcet debería salir una divergencia hacia la secuencia de emergencia de carácter prioritario. De esta forma se asegura que sea cual sea la situación en que se encontrase el sistema, se garantiza la seguridad del mismo.

Como se ha podido comprobar, la representación directa y exhaustiva en un único diagrama de la seguridad del sistema puede complicar en la mayoría de los casos el diagrama Grafcet, lo cual va en contra de los objetivos de legibilidad y claridad del mismo. Por este motivo es más conveniente estructurar la representación en varios diagramas Grafcet, como se ha explicado en secciones anteriores.

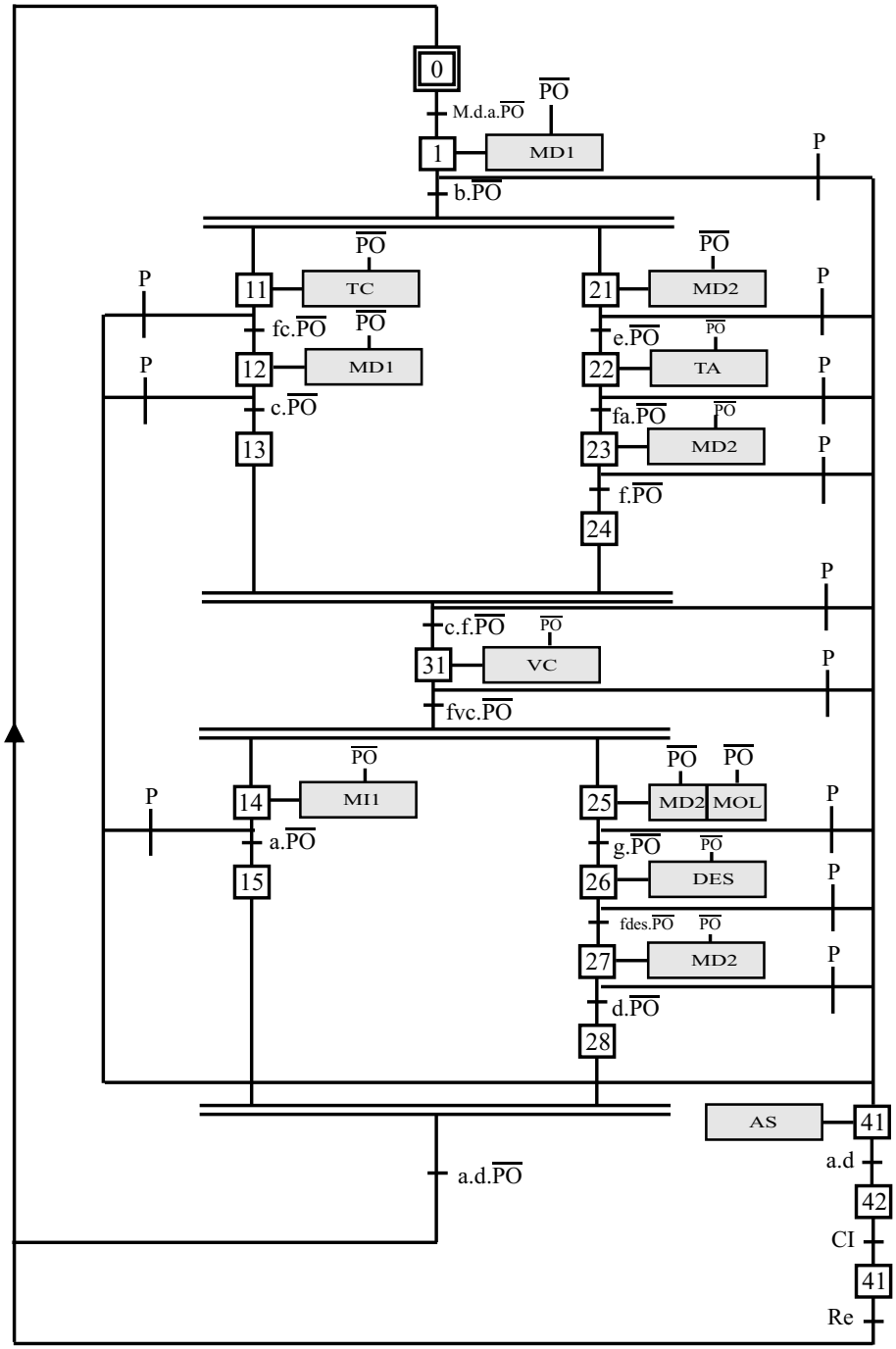

Fig. 3: Grafcet correspondiente al sistema teniendo en cuenta las variables y secuencia de emergencia.

Diseño estructurado

El diseño estructurado del sistema de control consiste en realizar, en la medida de lo posible, una representación separada de los diversos aspectos del sistema. En este caso concreto, el criterio que se utilizará será descomponer el modelo global en tres diagramas parciales que representarán respectivamente:

- La seguridad del sistema (*Grafcet de seguridad*). Este diagrama es jerárquicamente superior y deberá establecer los criterios sobre seguridad realizados en las especificaciones de diseño. La jerarquía se establecerá usando el mecanismo de forzado.
- Los modos de marcha (*Grafcet de modos de marcha*). Este diagrama se diseña de tal forma que se permita conmutar entre tres modos de marcha: automático, semiautomático (ciclo a ciclo) y de intervención.
- El funcionamiento normal del sistema (*Grafcet de producción*).

En la figuras 4, 5 y 6 se muestra el diseño estructurado del sistema usando estos tres diagramas.

Se han añadido tres variables para permitir el control de los modos de marcha:

- `MA`: controla el modo de marcha automática.
- `MCC`: controla el modo de marcha ciclo a ciclo.
- `MI`: controla el modo de marcha de intervención.

Además, en el Grafcet de producción se utilizan las variables booleanas `E41`, `E42` y `E43`, que indican la activación de las etapas 41, 42 y 43 del Grafcet de modos de marcha.

Cuando el sistema se encuentra en el modo de marcha automático, se desea que el funcionamiento sea equivalente al modelado en el Grafcet inicial (figura 2). En ese caso el operador activará el interruptor `MA`, de tal forma que se producirá la transición de la etapa 40 a la 41 del Grafcet de modos de marcha.

El interruptor `MCC` se utilizará para que el operador pueda controlar el inicio de un nuevo ciclo de ejecución del proceso. Cuando se desea que el sistema funcione ciclo a ciclo deberá accionarse `MCC` de tal forma que el Grafcet de modos de marcha active su etapa 42. Cuando el Grafcet de producción alcance la etapa 29, se quedará esperando en dicha etapa hasta que se desactive `MCC`, lo cual podrá provocar la transición a la etapa 0. Una vez activada esta etapa, se podrá dar la orden de inicio de un nuevo ciclo accionando de nuevo `MCC`.

La marcha de intervención servirá para detectar fallos en el sistema. La representación de esta marcha se consigue incluyendo la variable `E43` en las condiciones de las acciones y en las receptividades de las transiciones, de tal forma que se permite controlar manualmente la evolución del sistema mediante la activación/desactivación del interruptor `MI`.

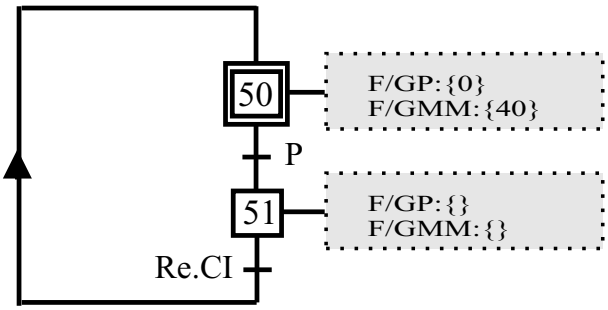

Fig. 4: Grafcet de seguridad (GS).

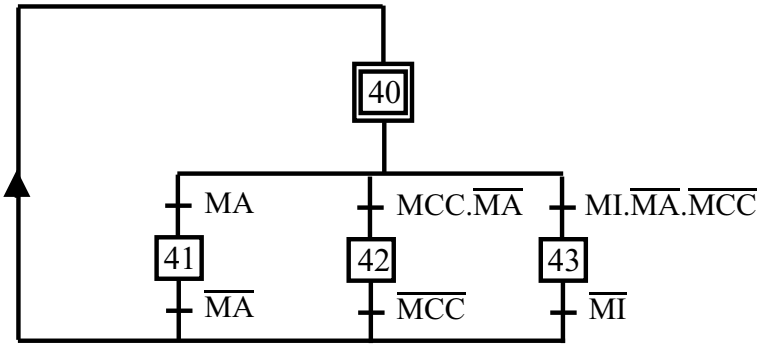

Fig. 5: Grafcet de modos de marcha (GMM).

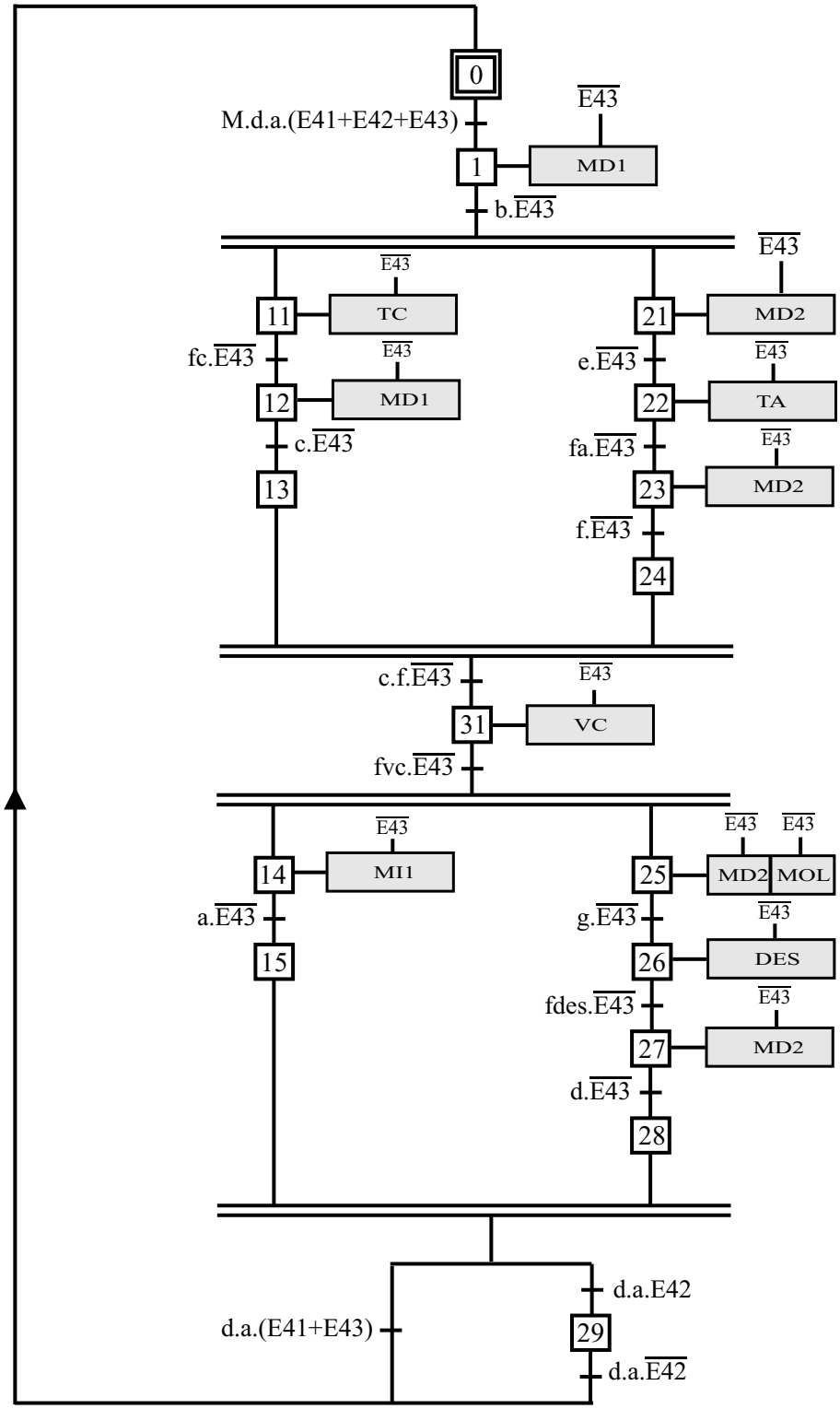

Fig. 6: Grafcet de producción (GP).

Bibliografía para ampliar

- García Moreno, E., *Automatización de procesos industriales*, Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia (SPUPV-99.4116), 1999.