

Pere Ponsa Asensio
Ramon Vilanova Arbós

Automatización de procesos mediante la guía GEMMA

Automatización de procesos mediante la guía GEMMA

Pere Ponsa Asensio
Ramon Vilanova Arbós

Automatización de procesos mediante la guía GEMMA

Presentación

Durante años se han publicado diversas obras que tratan la automatización. Buena parte de estos libros se centran en el controlador lógico programable. Uno de los problemas de este tipo de obras es el cambio tecnológico en esta área, lo que conlleva que los modelos de controladores que se detallan queden rápidamente superados. Algunas obras están centradas en la representación gráfica mediante GRAFCET y la programación de controladores mediante lenguajes de programación como, por ejemplo, el esquema de contactos. En los últimos años, el uso de GRAFCET se ha extendido y es de uso común en el ámbito docente universitario y en aplicaciones industriales. Este libro propone un salto cualitativo en esta área de conocimiento mediante el desarrollo sistemático de la guía GEMMA como metodología de uso genérico a utilizar para cubrir aspectos de supervisión y automatización. El enfoque planteado es complementario al que se ofrece en otras obras de automatización.

Cabe destacar que la guía GEMMA planteada por algunos autores se centra en los conocimientos teóricos, con algún ejemplo básico. Entendemos que, para la mejor difusión y uso de la guía GEMMA, conviene desarrollar un conjunto extenso de ejemplos y problemas. De hecho, en las siguientes páginas se potencia la reflexión del lector sobre cuál es el problema y cómo abordarlo; es muy probable que en el desarrollo de proyectos industriales los problemas sean más complejos y conviene tener una metodología clara que permita enfrentarse a ellos con un mínimo de rigor. Con ello se pretende aprovechar los conocimientos sobre GRAFCET y ofrecer una metodología aplicada sobre las posibles contingencias de un sistema y su gobernabilidad. Esta metodología permite el tratamiento de complejos problemas de automatización, mediante una estructura modular ordenada. Además, la guía GEMMA comporta el estudio de algunos aspectos tecnológicos como, por ejemplo, el diseño del panel de mando. Ello incide en el detalle de que no se trata tan sólo de una metodología teórica, sino que se utilizan de forma profunda los conocimientos adquiridos de sensórica, neumática, interacción persona-máquina, mantenimiento y seguridad.

El libro está estructurado ofreciendo la combinación de los contenidos básicos teóricos de GRAFCET y la guía GEMMA, junto a ejemplos elementales, problemas de complejidad mediana y finalmente mediante un caso ilustrativo del ámbito industrial. Con este enfoque, los autores consideran que la guía GEMMA se ajusta tanto al ámbito del estudiante de ingeniería como al profesional del sector de la automatización.

El capítulo 1 (*Fundamentos*) presenta el marco genérico teórico que engloba la evolución histórica del control de procesos industrial; aborda diversas definiciones sobre supervisión y automatización, y conduce finalmente a la necesidad de contribuir al desarrollo de metodologías integradoras y necesarias como la guía GEMMA.

El capítulo 2 (*GRAFCET*) aborda la representación estándar que se utiliza en automatización. GRAFCET es una representación del control secuencial que permite abordar un gran número de problemas de automatización y es fácilmente traducible a algoritmos de programación. De ahí que se

haya difundido en el área de automatización como un estándar *de facto* y se muestra muy manejable para tareas docentes. El capítulo se complementa con algunos ejemplos didácticos.

El capítulo 3 (*Aspectos básicos de la guía GEMMA*) introduce los aspectos elementales de la metodología para el estudio de los modos de marcha y paradas de los sistemas automatizados. El enfoque presentado en este capítulo pretende hacer reflexionar al lector para que aprenda mientras utiliza la guía (*learning by doing*), de manera que pueda ser útil para aquellos profesionales de la automatización que llevan muchos años trabajando en proyectos en los que intervienen autómatas programables, estudiantes de ciclos formativos de grado superior, ingenieros técnicos industriales o, en general, usuarios interesados en la automatización de sistemas.

El capítulo 4 (*Diseño estructurado con la guía GEMMA*) introduce los aspectos avanzados de la metodología para el estudio del tratamiento de situaciones que deterioran el funcionamiento normal de máquina o proceso: en concreto, la presencia de defectos y/o fallos. El enfoque presentado en este capítulo es del tipo *top-down* en el que la visión global de cómo los GRAFCET parciales se integran jerárquicamente entre ellos prevalece frente al enfoque *bottom-up*, que centra únicamente la atención en el GRAFCET parcial de producción. El capítulo se complementa con un ejemplo de bobinado de cable suministrado por la empresa Pirelli Cable y que pretende ilustrar cómo la guía GEMMA puede aplicarse en el sector industrial.

El capítulo 5 (*Estudio aplicado sobre estación trituradora-mezcladora*) es un caso práctico en el que, previa definición de las especificaciones, se aplica la metodología explicada en el capítulo 3 y se procede de forma iterativa a completar la guía GEMMA.

El capítulo 6 (*Conclusiones*) aborda los comentarios finales del libro, junto con algunas ideas de discusión para favorecer un debate de mejora de la utilización de la guía GEMMA.

El anexo A (*Diseño del panel de mando*) aporta aspectos complementarios obtenidos de otras áreas como la ergonomía, la interacción persona-máquina y la seguridad en máquinas, para la obtención de un panel de mando acorde con las especificaciones indicadas en la guía GEMMA. El panel de mando diseñado con los criterios aquí mencionados es el que se ha seguido a lo largo del libro.

El anexo B (*Representación alternativa de la guía GEMMA*) aporta una relectura efectuada por los autores de la representación gráfica convencional de la guía, de manera que, mediante la reorganización de los modos/estados, se facilite la comprensión de la guía.

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa Pirelli Cable, y en concreto al Sr. Joan Rovira, jefe de producción de la citada empresa, por ceder amablemente fotos y detalles de procesos de bobinado que han permitido ilustrar la guía GEMMA con un escenario industrial.

Los autores agradecen también a todos aquellos autores referenciados en la bibliografía su aporte continuado en un área como es la automatización industrial, en continuo cambio, pues de alguna manera han sido tomados como patrones en muchas páginas de este libro.

Pere Ponsa y Ramón Vilanova
Octubre de 2005

Índice

1 Fundamentos.....	11
1.1 Automatización	11
1.2 Supervisión	13
1.3 Necesidad de herramientas de representación y programación.....	17
2 GRAFCET	21
2.1 Introducción. Reseñas históricas.....	21
2.2 Elementos de GRAFCET y terminología.....	22
2.3 Receptividades. Notación.....	24
2.4 Reglas de evolución del GRAFCET	25
2.5 Estructuras básicas	25
2.5.1 Secuencia lineal.....	26
2.5.2 Convergencia y divergencia en “O”	26
2.5.3 Convergencia y divergencia en “Y”	27
2.6 Macroetapas	29
2.7 Ejemplo 1: Transporte y procesado de material.....	29
2.8 Ejemplo 2: Movimiento cíclico de un objeto	31
2.9 Ejemplo 3: Selección de cajas.....	32
2.10 Ejemplo 4: Automatización de una empaquetadora.....	34
3 Aspectos básicos de la guía GEMMA.....	37
3.1 Introducción	37
3.2 Metodología	39
3.3 Representación.....	43
3.3.1 Representación gráfica convencional	44
3.4 Utilización.....	51
3.4.1 Estudio de situaciones elementales.....	51
4 Diseño estructurado con la guía GEMMA	57
4.1 Forzado de GRAFCET.....	57
4.1.1 Reglas de jerarquía	57
4.1.2 Reglas de forzado	58
4.1.3 Representación del forzado	59
4.2 GRAFCET parcial de Seguridad.....	60
4.3 Conectividad de GRAFCET parciales	60
4.4 Estudio de caso práctico de posicionador de cable de un bobinador.....	64

5 Estudio aplicado sobre estación trituradora-mezcladora	73
5.1 Descripción del proceso	73
5.2 Especificaciones de Funcionamiento	76
5.3 Funcionamiento Automático y Ciclo a Ciclo	77
5.4 Parada en el estado actual	89
5.5 Detección de falta de producto	89
5.6 Consideración de una parada de Emergencia.....	92
 6 Conclusiones.....	 97
 Anexo A. Diseño del panel de mando.....	 99
 Anexo B. Representación alternativa de la guía GEMMA.....	 109
 Bibliografía.....	 113

1. Fundamentos

En este capítulo se detallan los conceptos básicos de automatización y supervisión, ya que, en opinión de los autores, ello permitirá centrar el contexto de los capítulos siguientes, destinados al desarrollo de la guía GEMMA.

1.1 Automatización

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la *automática* como el conjunto de métodos y procedimientos para la substitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la *automatización* como la aplicación de la *automática* al control de procesos industriales.

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos *batch*. Los *procesos continuos* se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los *procesos discretos* contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los *procesos batch* son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.

En este punto es necesario hacer un breve inciso sobre los tipos de industria existentes y los problemas de control que se plantean en cada tipo de industria. Las industrias relacionadas con la automatización son básicamente la industria manufacturera y la industria de procesos. La industria manufacturera (*discrete parts manufacturing*) se caracteriza por la presencia de máquinas herramienta de control numérico por ordenador como núcleo de sistemas de fabricación flexible. En esta industria, destaca el uso de estaciones robotizadas en tareas de soldadura al arco o por puntos, pintura, montaje, etc., de forma que en la actualidad la necesidad de automatización es elevada si se desea ofrecer productos de calidad en un entorno competitivo. Uno de los temas principales a resolver en este tipo de industria es la planificación y gestión de la producción: asignación de tareas a máquinas, diseño del *layout* de la planta, sistemas flexibles que fabriquen diversos productos, políticas de planificación cercanas a la optimización, etc. En cuanto a la industria de procesos (*continuous manufacturing*), existen fábricas de productos de naturaleza más o menos continua, como la industria petroquímica, cementera, de la alimentación, farmacéutica, etc. Dentro del proceso de fabricación de estas industrias, se investiga en nuevas tecnologías, para la obtención de nuevos catalizadores, bioprocesos, membranas para la separación de productos, microrreactores, etc. En este tipo de industria, destacan la aplicación de algoritmos de control avanzado, - como, por ejemplo, el control predictivo -, o la formación experta de operarios de salas de control mediante simuladores. Respecto a las necesidades de automatización, la

industria de procesos tiene un nivel consolidado en cuanto a salas de control con sistemas de control distribuido (DCS), y el uso de autómatas programables para tareas secuenciales o para configurar sistemas redundantes seguros ante fallos, entre otros elementos.

No hay que olvidar que las industrias -tanto la manufacturera como la de procesos- realizan grandes esfuerzos en la optimización del proceso. Algunas de ellas se centran en el aspecto de la calidad, mientras que otras se centran en el aspecto de los costes. Estos factores -mejora de la calidad del producto y disminución de costes en la producción- son los condicionantes fundamentales en estas industrias, y en este sentido la automatización industrial contribuye decisivamente desde que a finales de la década de los años setenta apareció el microprocesador, núcleo de los controladores comerciales presentes en el mercado como los autómatas programables, los controles numéricos y los armarios de control de robots manipuladores industriales.

En cuanto a la expresión *control de procesos industriales*, ésta abarca, desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (como, por ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (*feedback*, *feedforward*, *cascada*, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.), por citar algunos de los aspectos más relevantes.

Ciñéndonos a los algoritmos de control presentes en las industrias citadas, cabe destacar el control secuencial y la regulación continua. El control secuencial propone estados (operaciones a realizar para la transformación de la materia prima en producto) y transiciones (información relativa a sensores o elementos lógicos como temporizadores o contadores) en una secuencia ordenada que identifica la evolución dinámica del proceso controlado. En la regulación continua, mediante la estructura de control clásica *feedback*, se aborda la acción de control proporcional, derivativa o integral, respecto al error (diferencia entre la consigna y la medida de la variable de salida del proceso) para conseguir así una regulación adecuada de la variable (temperatura, caudal, nivel, etc.).

Respecto a instrumentación de control, los tres elementos básicos capaces de llevar a cabo el control secuencial o la regulación continua dentro del control de procesos industriales son el llamado autómata programable PLC, el ordenador industrial y los reguladores industriales (tanto en versión analógica como digital). Estos tres elementos comparten protagonismo y es frecuente encontrar artículos de opinión donde se comenta el futuro de la utilización de los PLC ante las continuas mejoras del control realizado mediante ordenador. Disputas aparte, cada uno de estos elementos halla su aplicación en la industria actual, y es por ello que la tendencia en los próximos años sea la de continuar utilizando estos elementos.

Durante los casi ya treinta años de utilización de autómatas programables en la industria, conviene destacar su labor eficaz en el control secuencial de procesos. Una de las aplicaciones de mayor éxito es la combinación de autómata programable con la tecnología electroneumática. Esta combinación ha permitido ofrecer soluciones de automatización basadas en el posicionamiento, la orientación y el transporte de material dentro de la planta, y es de gran ayuda en las tareas realizadas por otros elementos, como por ejemplo el robot manipulador industrial.

Los reguladores industriales son dispositivos generados de forma clara para la regulación continua de variables. Durante años, el regulador analógico tradicional ha sido el elemento capaz de controlar procesos en los que se requiere el control de temperatura, el control de caudal, o el control de presión, todos ellos ejemplos típicos de la ingeniería química. Con los avances en la electrónica digital y la informática industrial, los reguladores han pasado a ser controladores digitales autónomos, polivalentes desde el punto de vista de que se adaptan a un rango de tensiones y corrientes habituales

2. GRAFCET

En este capítulo se introducirá el GRAFCET como metodología de automatización básica que servirá de base a partir de la cual plantear una automatización más completa mediante GEMMA. Por otra parte, la metodología GRAFCET es suficientemente importante en el mundo de la automatización de procesos por sí sola como para que merezca un tratamiento detallado y extenso.

2.1 Introducción. Reseñas históricas

Cuando nos hallamos ante la tarea de automatizar un proceso, nos encontramos con que la naturaleza de este proceso es, en la práctica totalidad de situaciones, secuencial. Una serie de actividades y operaciones a realizar conforme a una determinada secuencia, que determinan el proceso productivo en sí. A pesar de la elevada diversidad de tecnologías y dispositivos que puedan estar implicados en la realización de estas operaciones, desde el punto de vista de automatizar su operación, es esta ordenación secuencial lo que es importante. De esta forma, se tratará de tener claro, en cada caso, que es lo que determina que haya terminado una operación (en el fondo, una condición lógica), así como la actividad a realizar durante esta operación. De hecho, nos estamos refiriendo a un sistema secuencial, y la automatización de un sistema de este tipo la llevaremos a cabo mediante un automatismo que será una combinación de sistema secuencial y combinacional –secuencia de acciones/operaciones de control reguladas por expresiones lógicas.

A pesar de la existencia de métodos de diseño de sistemas lógicos (REF), la complejidad creciente de los automatismos industriales planteó, en la segunda mitad de los setenta la necesidad de definir de una manera clara las especificaciones funcionales de este tipo de sistemas -y unificar así la descripción de estos sistemas lógicos, sobre todo la parte secuencial-. De esta manera, surge en 1975, desde el grupo de trabajo *Logical Systems* de la Association Française de Cybernétique Economique et Technique (AFCET), un comité, formado tanto por miembros académicos como de la industria, para la estandarización de los requerimientos de representación para la automatización de sistemas lógicos. Después de analizar diferentes herramientas (entre ellas, *flowcharts*, Petri Nets, etc.), surge en 1977 la definición de GRAFCET (*Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition*) como una nueva herramienta de modelado de este tipo de procesos. El resultado de este trabajo se recoge en un informe interno de la AFCET en agosto de 1977 y, por otro lado, como publicación oficial en *Automatique et Informatique Industrielle*, en diciembre de 1977. Esta fecha está considerada hoy en día como la fecha de nacimiento de GRAFCET.

Dos años más tarde, el 13 de diciembre de 1979, se plantean unas jornadas para el estudio del uso y la difusión de GRAFCET. Al mismo tiempo, se propone GRAFCET a la Agencia Nacional Francesa para la Estandarización (AFNOR). De esta forma, después de introducirse en el ámbito educativo y en vistas de la rápida evolución de los lenguajes de programación para permitir la implantación de GRAFCET en los controladores lógicos industriales, GRAFCET se convierte, en 1982, en estándar AFNOR con la referencia NF C03190.

2.10 Ejemplo 4: Automatización de una empaquetadora

La máquina que se pretende automatizar realiza la agrupación de elementos por empaquetar y su introducción posterior en una caja. El operador se encargará de preparar la caja y situarla en la máquina. El resto de operaciones se realizan de manera automática.

Las figuras 2.16 y 2.17 muestran el detalle de la máquina empaquetadora. El proceso que realiza es el siguiente: El producto va llegando y se sitúa en línea, formando grupos de tres productos sobre el cilindro B. Mediante este cilindro, elevamos el grupo de tres productos a la altura del cilindro A.

Puesto que esto lo realizamos a través de una parte elástica que permite el ascenso pero no el descenso del producto, podemos retirar el cilindro B dejando el grupo de productos a la altura del cilindro A.

Una vez disponemos de un grupo de nueve productos (tres filas) situados delante del cilindro A, éste los ha de introducir dentro de la caja (nótese que el plato del cilindro B le sirve de guía para empujar el grupo de productos).

El pistón D mantiene la caja en posición horizontal, de manera que, una vez la caja se ha llenado (dos hileras de nueve productos), éste ha de liberar la caja y soltarla sobre la cinta transportadora.

Los sensores y actuadores disponibles son los siguientes:

- t1: Permite detectar un producto. Sirve para indicar que se ha formado una hilera de tres productos.
- t2: Permite detectar un producto. Sirve para indicar la formación de un grupo de nueve productos (tres filas de tres productos cada una).
- t3: Es un sensor de presión. Juntamente con a2 nos indica que la caja está llena.
- a2: Sensor que marca el fin de recorrido del cilindro A.
- a0: Sensor que marca el inicio de recorrido del cilindro A.
- b0: Sensor que marca el fin de recorrido del cilindro B.
- b1: Sensor que marca el inicio de recorrido del cilindro B.
- d1: Indica la posición del cilindro D (caja en posición horizontal).

Para los actuadores utilizamos el nombre del cilindro seguido, del signo ‘+’ o ‘-’, según proceda. Disponemos también de un pulsador M para poner en marcha la máquina.

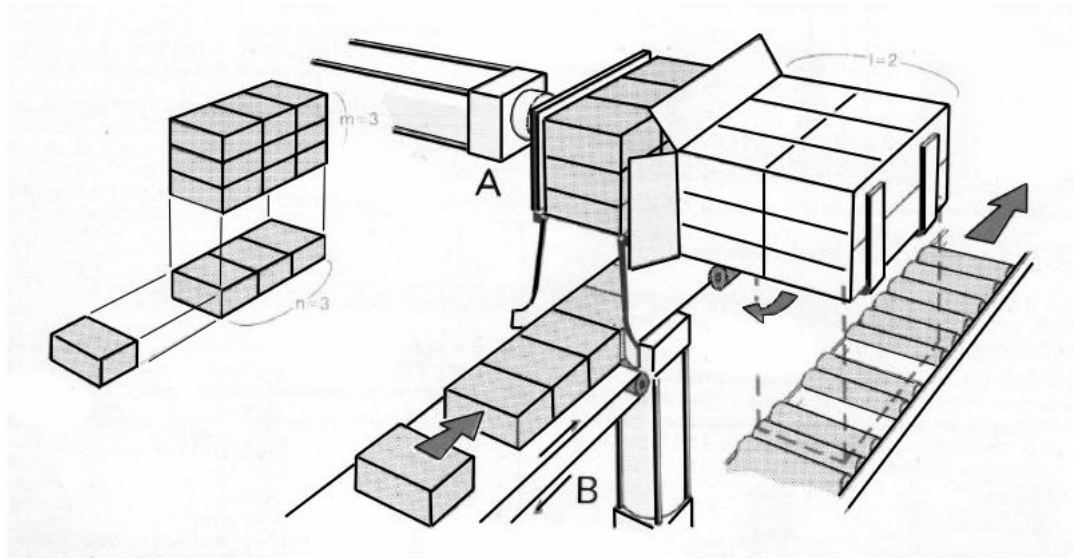


Fig. 2.16 Máquina empaquetadora

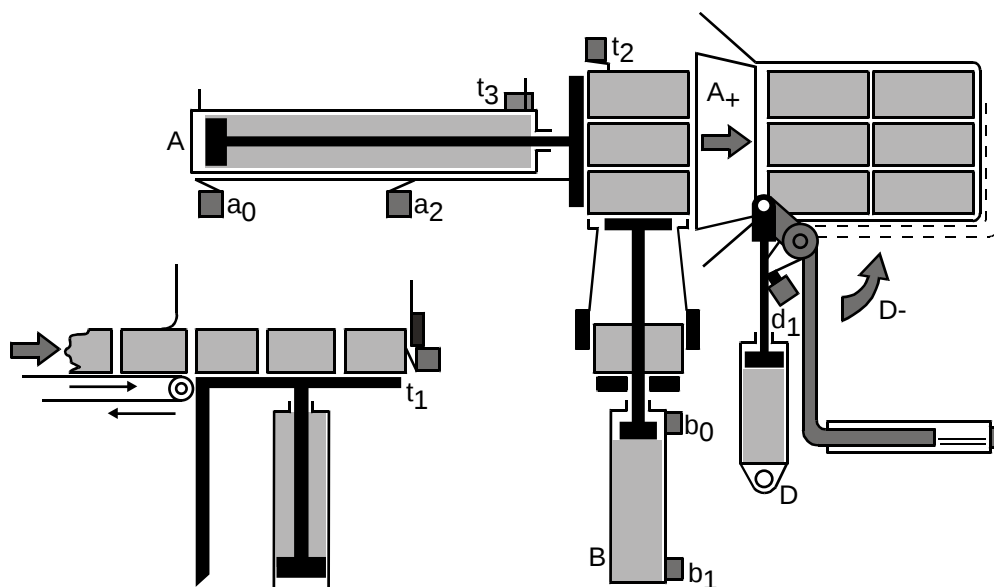


Fig. 2.17 Máquina empaquetadora. Detalle de la instrumentación

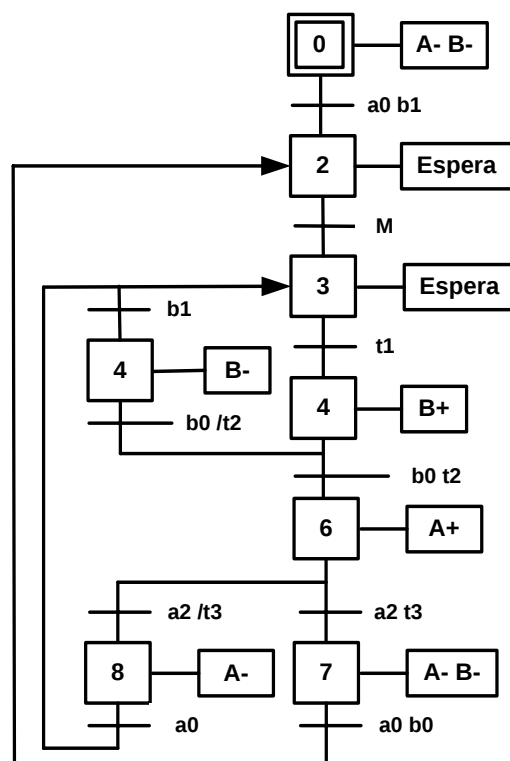


Fig. 2.18 GRAFCET para la máquina empaquetadora

3. Aspectos básicos de la guía GEMMA

En este capítulo, se detallan los conceptos básicos de la guía GEMMA asociados a la automatización de procesos complejos. La exposición se divide en una introducción, en la que se describe el marco del diseño estructurado de sistemas de automatización, seguida de la metodología, en la que se incluye la guía. A continuación, se procede a la representación gráfica estándar junto a la descripción de los estados que la forman. Finalmente, se escenifica la utilización de la guía mediante situaciones didácticas.

3.1 Introducción

La guía GEMMA procede de los trabajos llevados a cabo durante dos años por la ADEPA (*Agence nationale pour le DEveloppement de la Productique Appliquée à l'industrie*), agencia nacional francesa para el desarrollo de la producción aplicada a la industria. Las siglas GEMMA (*Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrets*) designan guía de estudio de los modos de marcha y paro. En el contexto de su creación, en 1993, se concibe para que esté en consonancia con las normas de seguridad de la Unión Europea. Bajo la norma nacional francesa UTE C 03-191, se complementa con la representación GRAFCET y pretende dar cabida a una metodología que incluya los modos de marcha y paro del control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado, junto con el funcionamiento deteriorado ante anomalías e incluso el tratamiento de situaciones de emergencia en previsión de posibles daños humanos o materiales.

La primera idea asociada a la guía GEMMA que conviene matizar es que se trata de un enfoque de diseño estructurado. Ante la complejidad de los factores que intervienen en la automatización de procesos, es conveniente utilizar el diseño estructurado con el fin de modelar, de forma parcial, las tareas. En el diseño estructurado de un sistema automatizado, aparecen tres módulos:

- Módulo de seguridad
- Módulo de modos de marcha
- Módulo de producción

La representación de la guía GEMMA tiene en cuenta la presencia de estos módulos, junto con las relaciones internas existentes entre módulos. La jerarquía ilustrada en la figura 3.1 pretende intensificar la atención en el aspecto de seguridad de los sistemas automatizados en entornos productivos, como por ejemplo en situaciones de emergencia, en situaciones de fallos de dispositivos, o en situaciones de producción defectuosa, de forma que, ante estas contingencias, el módulo de seguridad es prioritario respecto a los otros módulos.

En segundo lugar, es notoria la intervención del operario como parte integrante del sistema, pues aporta experiencia en el cambio de modo automático a modo manual cuando el funcionamiento del proceso lo requiere.

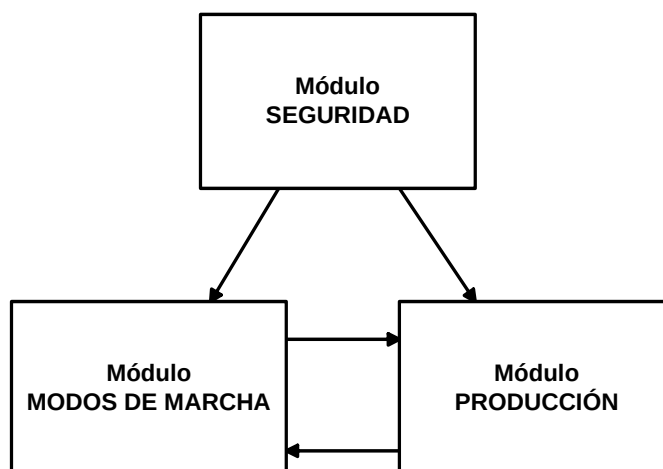


Fig. 3.1 Estructura modular del diseño estructurado de sistemas

Es decir, el control global del proceso puede ser debido a fragmentos de control intermitentes entre control automático y control manual. En tercer lugar, aparece el módulo de producción, que se entiende que está supeditado a los módulos precedentes, y en el que tenemos el funcionamiento de ejecución secuencial de activación y desactivación de estados mediante la lectura lógica de las transiciones.

Analizando estos módulos de forma inversa, la guía GEMMA pretende conservar la metodología de modelado GRAFCET pero teniendo en cuenta que en el diseño estructurado de un sistema automatizado coexisten diversos GRAFCET parciales, los cuales hay que relacionar y jerarquizar convenientemente.

Así, en el módulo de producción se concibe el organigrama de control básico en condiciones idóneas de funcionamiento, organigrama que se conoce como el GRAFCET de producción o GRAFCET de base; en el módulo de modos de marcha, el operario vigila el GRAFCET de producción y puede llegar a intervenir, si la situación lo requiere, mediante el cambio de control automático a manual (o viceversa, para reestablecer la situación) en este módulo, el organigrama se conoce como GRAFCET de conducción; finalmente, en el módulo de seguridad se procede al tratamiento de emergencias, fallos y defectos, con la posibilidad, por ejemplo, de que, se realice paradas de emergencias sobre el sistema, con las convenientes fases de solución de problemas y reconfiguración para volver a la condición de reinicio de la marcha y producción.

En este último módulo, el organigrama se conoce como GRAFCET de seguridad.

La representación de la guía GEMMA permite enlazar dichos modelos mediante la secuencialización de estados y transiciones. Internamente, ello se traduce en la utilización de las reglas de forzado y las reglas de evolución del GRAFCET, tal como se detallará en el capítulo siguiente.

Uno de los objetivos principales de la guía GEMMA es la utilización de una metodología sistemática y estructurada que ofrezca a los expertos en automatización información precisa del sistema en clave de estados posibles; de ahí que habitualmente se presente en el formato de la descripción completa de todos los posibles estados que puede llegar a tener el sistema.

Al ser la guía GEMMA una metodología que incorpora el módulo de seguridad, así como la vigilancia del operario sobre el módulo de producción se acerca a las características fundamentales presentes en

las referencias bibliográficas que tratan el tema de supervisión de procesos. Así pues, la relevancia de la guía GEMMA radica en que promueve claramente la integración entre dos áreas de conocimiento complementarias como la supervisión y la automatización.

3.2 Metodología

Atendiendo a los comentarios anteriores cabe ubicar la guía GEMMA en un marco metodológico genérico, ya que están implicados una serie de conceptos que habitualmente se tratan en las referencias bibliográficas de forma separada. El marco metodológico consta de las fases siguientes, que el operario debe realizar:

- Automatización
- Supervisión
- Interacción
- Implementación
- Pruebas

En el caso de llevar a la práctica un proyecto de automatización, es necesario seguir las fases de la metodología presentada, así como indicar el operario o grupo de ellos encargados de llevar a cabo las fases por separado o el conjunto de ellas. En todo caso, este marco metodológico genérico escapa a las pretensiones del libro, pero puede servir para especificar el contexto en el que la guía GEMMA debe desarrollarse.

La figura 3.2 ilustra la secuencia ordenada de fases. Es decir, si la metodología quiere llevarse a la práctica hay que seguir paso a paso el método de forma secuencial. Cabe destacar el rol del operario en este esquema. El operario lleva a cabo cada una de las fases; hace la transición entre una fase y la siguiente, y, finalmente, se encarga de proceder a una iteración para rehacer el primer ciclo para introducir mejoras.

Las fases que aparecen en el marco metodológico no son conceptos puntuales; cada uno de ellos puede tratarse en profundidad. A continuación, se presenta tan sólo un breve resumen de cada una de las fases, ya que lo que se quiere constatar es la relación entre las fases y los aspectos dinámicos intrínsecos de cada fase.

Automatización

En esta fase elemental hay que desarrollar los pasos siguientes relacionados con el GRAFCET y la puesta en marcha de automatismos:

- Observación del proceso a controlar y generación del GRAFCET de primer nivel en su descripción funcional.
- Selección del automatismo (autómata programable, regulador digital autónomo).
- Selección y cableado físico de sensores y actuadores, con las secciones de entradas y salidas del automatismo.
- Generación del GRAFCET de segundo nivel en su descripción tecnológica.

En estas líneas, la fase de automatización coincide con todas las propuestas que hacen las referencias bibliográficas básicas de automatización y autómatas programables. En la fase de automatización aparecen diversas tecnologías, entre ellas la sensórica y la neumática, supeditadas a su conexión física con el automatismo (autómata programable, por ejemplo).

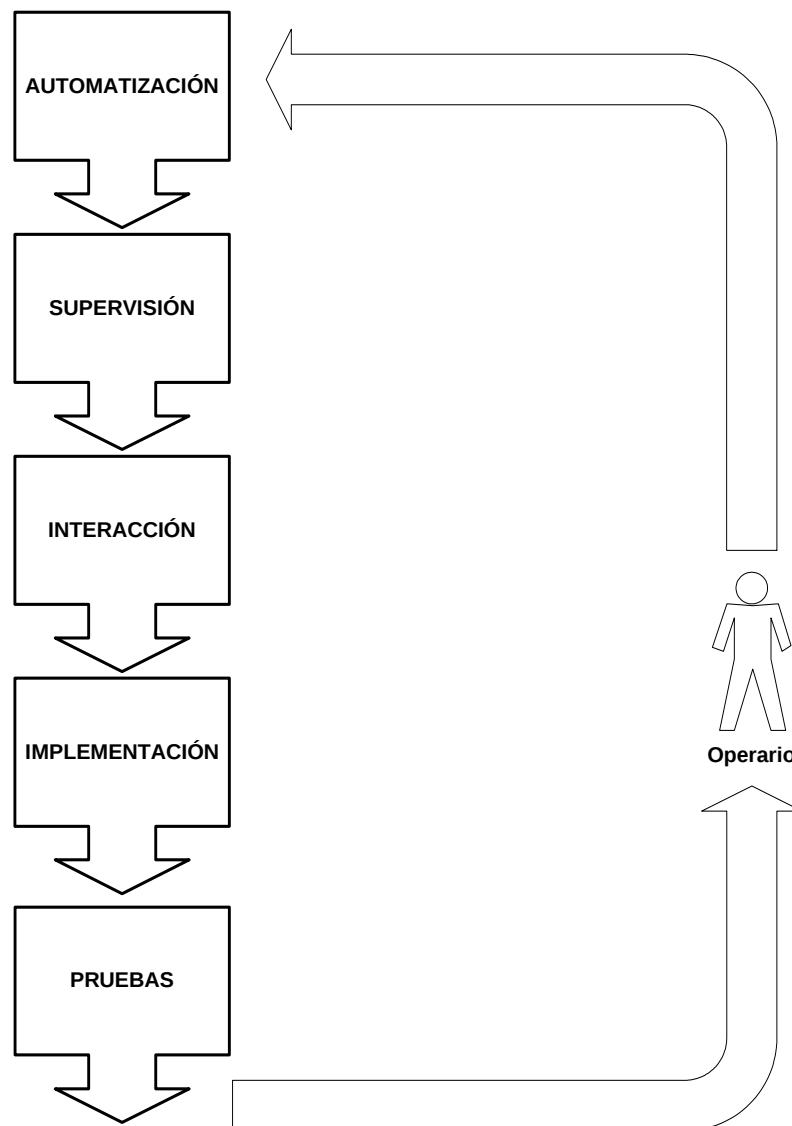


Fig. 3.2 Marco metodológico genérico

La representación del control secuencial sobre el proceso se representa mediante GRAFCET. A partir de estas líneas, el GRAFCET generado pasa a denominarse GRAFCET de producción, en asociación con el módulo de producción.

Una vez la fase de automatización ya está consolidada, hay que establecer la fase de supervisión.

5. Estudio aplicado de una estación trituradora-mezcladora

En este capítulo se presenta la aplicación detallada y completa de la guía GEMMA a un caso de estudio concreto. El objetivo es poder seguir la aplicación de la guía de diseño GEMMA desde la realización del GRAFCET de producción inicial –automatización básica - hasta completar todos los diferentes GRAFCET que acabará interactuando y configurando la automatización final del proceso. Como se ha podido ver en capítulos anteriores, la guía GEMMA considera una elevada cantidad de situaciones posibles con las que nos podemos encontrar cuando queremos automatizar un proceso. Es en este sentido que tenemos que ver GEMMA como una guía de aplicación y no como una exigencia en que deban entrar en consideración todos los casos posibles. Es imposible concebir todas las situaciones posibles de una sola vez y, además, plasmarlas de forma correcta en el correspondiente GRAFCET. No obstante, como veremos, la aplicación es sumamente sencilla si se aplica de forma incremental.

Antes de continuar y entrar propiamente en el desarrollo de la aplicación, debemos tener claro qué parte del proceso de automatización solucionamos con la aplicación GEMMA. Tal como hemos comentado en los capítulos precedentes, la aplicación GEMMA parte del hecho de que disponemos de *la automatización básica del proceso*, entendiendo como automatización básica aquella en la que se ha tenido en cuenta, únicamente, el ciclo de producción que realiza la máquina en cuestión. No hay consideraciones especiales sobre paradas de emergencia, funcionamiento manual y ciclo a ciclo, etc.; en definitiva, no consideramos la interacción con el operario. Esta segunda parte es la que realizaremos mediante la aplicación de GEMMA. Como resultado obtendremos un conjunto de diagramas GRAFCET, relativamente sencillos, que actuarán de manera coordinada entre ellos y que determinarán el avance del GRAFCET inicial, que implementa el ciclo de producción básico de la máquina o proceso en cuestión. Cabe recordar que esta coordinación entre GRAFCET muchas veces viene determinada por acciones del operario. Es en este sentido que la guía GEMMA veremos nos ayuda en el diseño del panel de operario, determinar qué entradas debe proporcionar el operario y qué información le podemos suministrar desde el programa de automatización.

Veremos, en primer lugar, una descripción del proceso a automatizar. A partir de esta descripción realizaremos el GRAFCET de producción, en el que plasmaremos el secuenciamiento de operaciones de la máquina. A partir de este punto, introduciremos

- Las especificaciones deseadas para la automatización completa de la máquina.
- La aplicación de la guía GEMMA para la implementación de estas especificaciones

5.1 Descripción del proceso

El proceso a automatizar es una estación trituradora-mezcladora. Está constituida por una primera parte, en la que una serie de dispensadores de producto nos permiten, escogiendo unidades de dispensadores diferentes, realizar la mezcla deseada. Una vez las cantidades de materia prima están

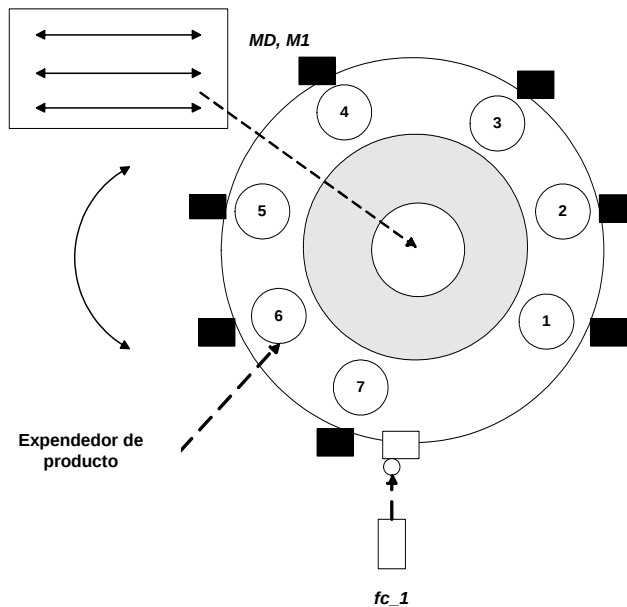


Fig. 5.1 Descripción del proceso (dispensadores)

seleccionadas, se trituran todas juntas para obtener el producto final (mezcla deseada). Finalmente, el producto se envía a la estación siguiente.

Tenemos siete tipos de productos diferentes; por tanto, siete dispensadores, situados sobre una base circular. Para escoger unidades de producto de un dispensador, debemos situar el correspondiente dispensador en la posición apropiada. Las unidades de producto, o pastillas, son empujadas una a una al recipiente en el que se realizará la mezcla. Esta base circular la podemos hacer girar hacia la izquierda y hacia la derecha, dependiendo del dispensador que debamos posicionar.

Un sensor de fin de carrera nos permite ir localizando los dispensadores y, de esta manera, gobernar el motor que hace girar la base circular.

El producto final a obtener viene determinado por una tabla, en la que se especifican, para cada tipo de producto básico (identificado por el número de dispensador), las unidades o pastillas que debemos mezclar. Cuando en la tabla encontremos un dispensador con identificador cero, será el indicador de que la composición está completa y que podemos proceder a activar la trituradora y realizar la mezcla. La trituradora será activada durante 5 segundos y, a continuación, también durante 5 segundos, abriremos la válvula para el vaciado de la mezcladora.

El sensor *s_infra* nos permitirá detectar si hay pastillas en el dispensador. En caso de detectar falta de pastillas, esto nos permitirá considerar la interacción apropiada con el usuario para poder solucionar la situación y que el proceso pueda continuar.

A partir de esta descripción, realizaremos el GRAFCET de producción correspondiente a la automatización del proceso descrito. No entraremos en el detalle de los sensores y las señales utilizados. De hecho, lo que es importante en este estadio de la automatización es que tengamos claramente establecida la secuencia lógica de acciones. Una vez esta fase esté completamente finalizada, podremos proceder a la traducción del GRAFCET en términos de las señales y entradas/salidas de nuestro autómat. Con el fin de ganar generalidad, nos centraremos ahora, de momento, en la secuenciación de acciones.

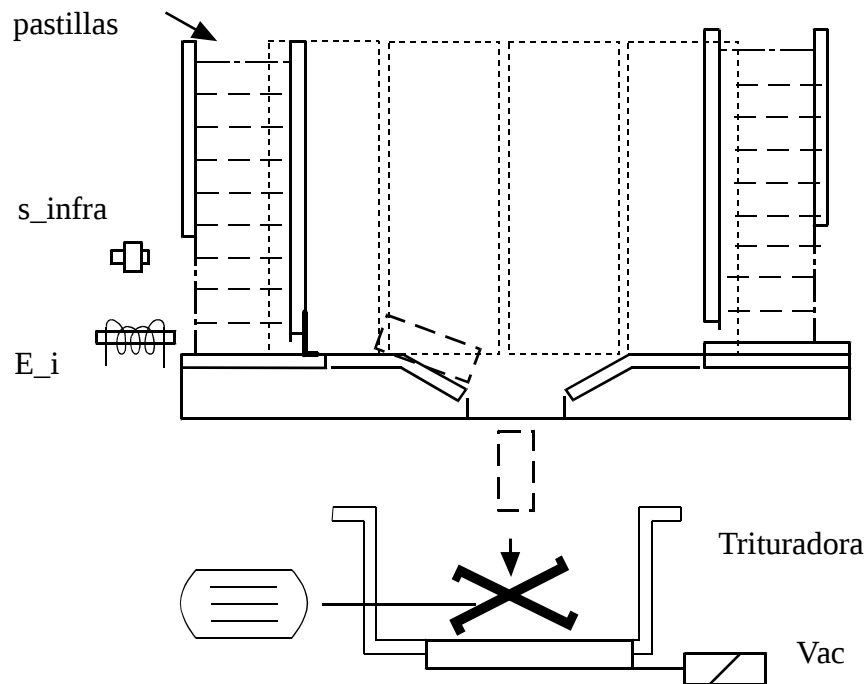


Fig. 5.2 Descripción del proceso (trituradora)

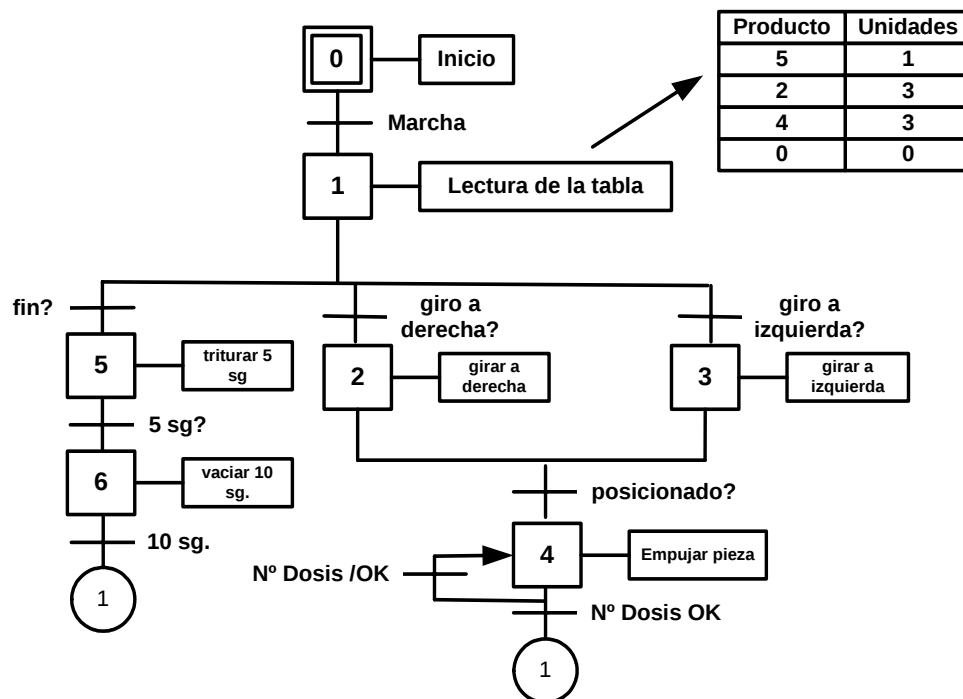


Fig. 5.3 GRAFCET de Producción (G0)