

### 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.

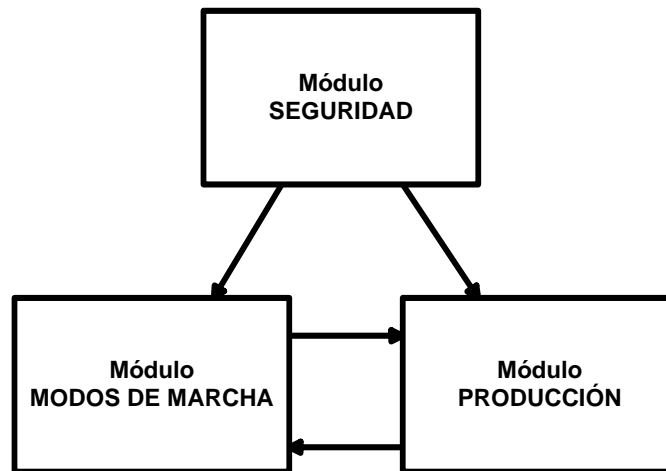


Fig. 3.1 Estructura modular del diseño estructurado de sistemas

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).

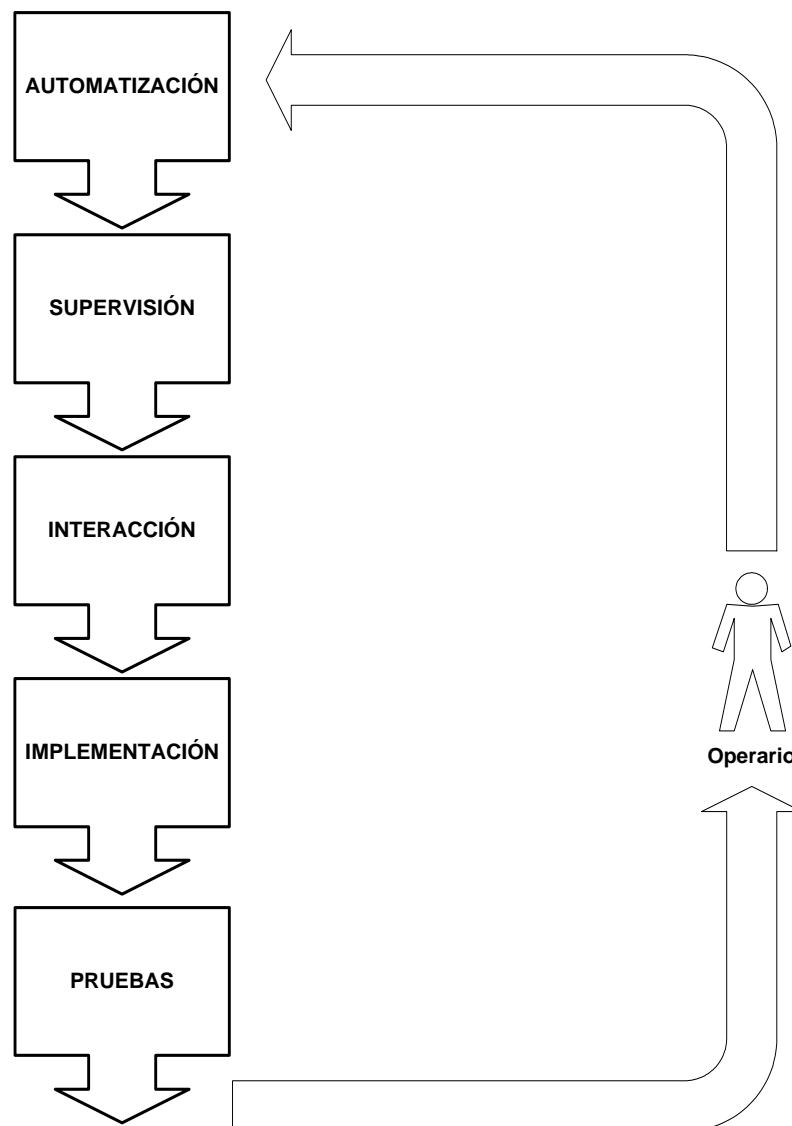


Fig. 3.2 Marco metodológico genérico

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.

## Supervisión

A continuación, en esta segunda fase, hay que desarrollar los pasos siguientes:

- Hay que reunir el máximo de especificaciones a priori sobre los estados posibles en las que se puede encontrar una máquina o un proceso, según la experiencia del agente encargado de la automatización o según las peticiones del cliente.
- Hay que definir los módulos a utilizar según la complejidad del problema (seguridad, modos de marcha, producción) y representar gráficamente el caso de estudio mediante los estados y las transiciones de la guía GEMMA.
- Para cada módulo, hay que generar un GRAFCET parcial. Cabe destacar que en el caso de producción, el GRAFCET de producción ya se ha generado en la fase de automatización, de manera que lo que hay que establecer aquí es la relación con el resto de módulos. En el caso del módulo de modos de marcha el GRAFCET de conducción promueve la activación y desactivación del módulo de producción, que normalmente presenta un desarrollo secuencial cíclico. Finalmente, mediante el módulo de seguridad, el GRAFCET de seguridad pertinente vigila los dos módulos anteriores ante la posible aparición de fallos o situaciones de emergencia en el sistema automatizado.
- Los GRAFCET parciales se integran de forma modular y estructurada en un solo GRAFCET general que contemple todos los módulos enunciados en función de la complejidad del problema, mediante las reglas de forzado y las reglas de evolución.
- El operario procede a la supervisión cuando está vigilando la evolución del proceso controlado automáticamente, y está atento a la presencia de posibles imprevistos que merezcan activar el módulo de seguridad e intervenir directamente en el mismo.

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

## Interacción

En la interacción entre la supervisión humana llevada a cabo por el operario y el proceso controlado por parte del automatismo, hay que concretar la intervención del operario mediante el diseño del panel de mando en función de las acciones físicas sobre dispositivos y la recepción de señales informativas visuales o acústicas.

Los dispositivos concretos a utilizar dependen de los módulos definidos en la fase denominada *supervisión*. En cualquier caso, presentamos una disposición básica de dispositivos en el panel de la figura 3.3. Para el diseño del panel de mando se utilizan conceptos que aparecen en la normativa de seguridad en máquinas, así como especificaciones ergonómicas y el conjunto de situaciones a tratar mediante la guía GEMMA. El anexo A muestra en detalladamente esta integración. En función de la complejidad del problema, el operario debe conocer qué dispositivos necesita y si el panel es el adecuado o conviene hacer mejoras.

En automatización industrial, existe una gran diversidad de dispositivos, que se engloban en lo que se conoce como interfaz persona-máquina (*HMI human-machine interface*) de manera que aquí no se pretende abordar el tema en detalladamente sino tan sólo ofrecer un panel de mando apto para su uso con la guía GEMMA. La comprensión de la fase de interacción es vital para que el usuario pueda clasificar las diversas situaciones que se dan en el sistema automatizado y procesar la información e intervenir con coherencia.

El detalle de cada uno de los dispositivos se comentará con más detalle cuando se aborde la utilización de la guía GEMMA. Baste decir aquí que el panel de mando está formado por un conjunto de dispositivos informativos visuales DIV situados en la parte superior del panel, y por un conjunto de controladores situados en la parte inferior del panel.

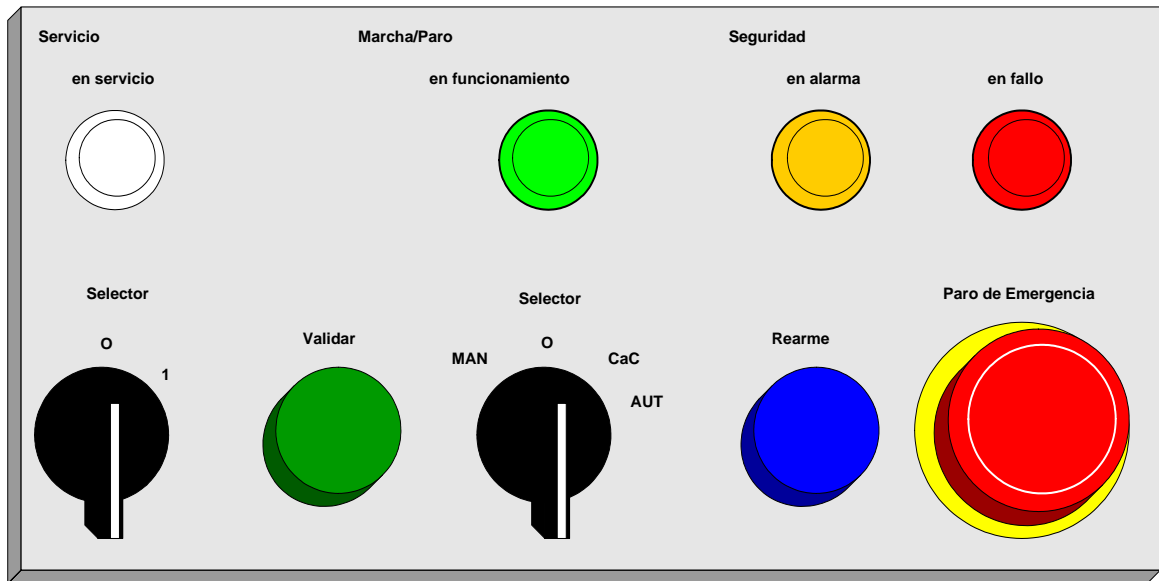


Fig.3.3 Panel de mando básico para llevar a cabo la intervención del operario

Este panel puede situarse físicamente en una zona cercana a los controladores y a la planta y/o máquina. Si es necesario, también puede complementarse con paneles auxiliares de accionamiento individual de actuadores, aunque para su utilización en sistemas electroneumáticos, por ejemplo, podemos acceder a los actuadores directamente sobre las electroválvulas que dispongan de accionamiento manual.

Otra posibilidad de auge reciente radica en diseñar dispositivos -tanto informativos como controladores-, mediante librerías de instrumentación virtual, de forma que los objetos gráficos forman parte de terminales programables alfanuméricos, monitores táctiles u ordenadores industriales.

Una vez realizadas las fases de automatización, supervisión e interacción, y antes de seguir con el resto de fases, el operario puede rehacer convenientemente cada una de ellas a medida que aumenta el conocimiento experto del funcionamiento del sistema. A continuación, se procede a las fases de implementación y pruebas.

### Implementación

Sin duda, ésta es la parte más práctica del método y escapa a las pretensiones de este libro. Son sus pasos más significativos:

- Selección del lenguaje de programación del automatismo.
- Traducción de GRAFCET a lenguaje de programación.

Esta fase requiere las habilidades prácticas del operario en la programación de automatismos. Respecto a la traducción de GRAFCET a lenguaje de programación de autómatas -como, por ejemplo, el esquema de contactos-, algunos usuarios utilizan el GRAFCET de tercer nivel en su descripción operativa. Otros usuarios prefieren pasar directamente el GRAFCET de segundo nivel, en su descripción tecnológica, al formato de esquema de contactos. Existe otra posibilidad, que es la formulación de las etapas y transiciones del GRAFCET en la forma de biestables S/R (S *set*, R *reset*). Cabe destacar que el usuario debe respetar las singularidades observadas, ya que cada casa comercial

genera su lenguaje de programación conforme a unas normas propias de diseño, de manera que lo único que queremos recalcar aquí de forma genérica es que la representación formal de la guía GEMMA ha de implementarse adecuadamente en el autómata programable correspondiente. Una vez la fase de implementación está consolidada, hay que establecer la fase de pruebas.

### **Pruebas**

Una vez implementado el algoritmo general sobre el automatismo, el operario puede verificar dicho algoritmo por partes; vigilar la evolución del proceso o interactuar con el proceso controlado mediante el panel de mando, e incluso puede emular situaciones de emergencia para analizar cómo responde el sistema automatizado ante la implantación de la guía GEMMA. Frente a situaciones problemáticas, el operario puede depurar los algoritmos parciales, o añadir más estados que inicialmente no se habían tomado en consideración y rehacer el algoritmo general.

Evidentemente, para afrontar problemas complejos se recomienda dividir el problema en módulos funcionales básicos, y así poder rehacer el algoritmo de forma metódica sólo en las partes a rehacer. Conviene tener muy clara la identificación del aspecto a resolver y clasificar, si es posible, a qué fase corresponde.

La comprensión del método genérico que se acaba de exponer pasa por la amplia experiencia en el sector industrial de la automatización y claramente por la puesta en práctica de las ideas aquí expuestas.

Centrando el tema de nuevo en la guía GEMMA, es conveniente no perder de vista las fases de supervisión e interacción, ya que en este libro se considera que la fase de automatización ya está realizada previamente, mientras que las fases de implementación y pruebas pertenecen al dominio práctico del puesto de trabajo.

Así, el operario encargado de llevar a cabo la puesta a punto de la guía GEMMA tiene una tarea interna más restrictiva. Si hace frente a un problema complejo, lo dividirá y afrontará de forma modular, y de forma iterativa irá completando el análisis hasta obtener una guía adaptada al problema en cuestión. Para mostrar en detalle las tareas de este operario la figura 3.4 se acerca a los diagramas característicos que aparecen en las referencias bibliográficas sobre supervisión.

El operario vigila el proceso controlado y puede decidir intervenir en el momento oportuno mediante la actividad sobre el panel de mando; la tarea del operario se complementa con su acceso al proceso para resolver *in situ* problemas de la producción.

El detalle en que se explica la puesta a punto de la guía GEMMA en este libro pasa por la representación gráfica convencional, el diseño del panel de mando en función del tipo de intervención humana y la especificación del control secuencial mediante GRAFCET (sin entrar a analizar el lenguaje de programación concreto, que formaría parte ya de la fase de implementación).

### **3.3 Representación**

En este apartado se presenta la representación gráfica convencional de la guía GEMMA, para que el usuario se familiarice con su nomenclatura.

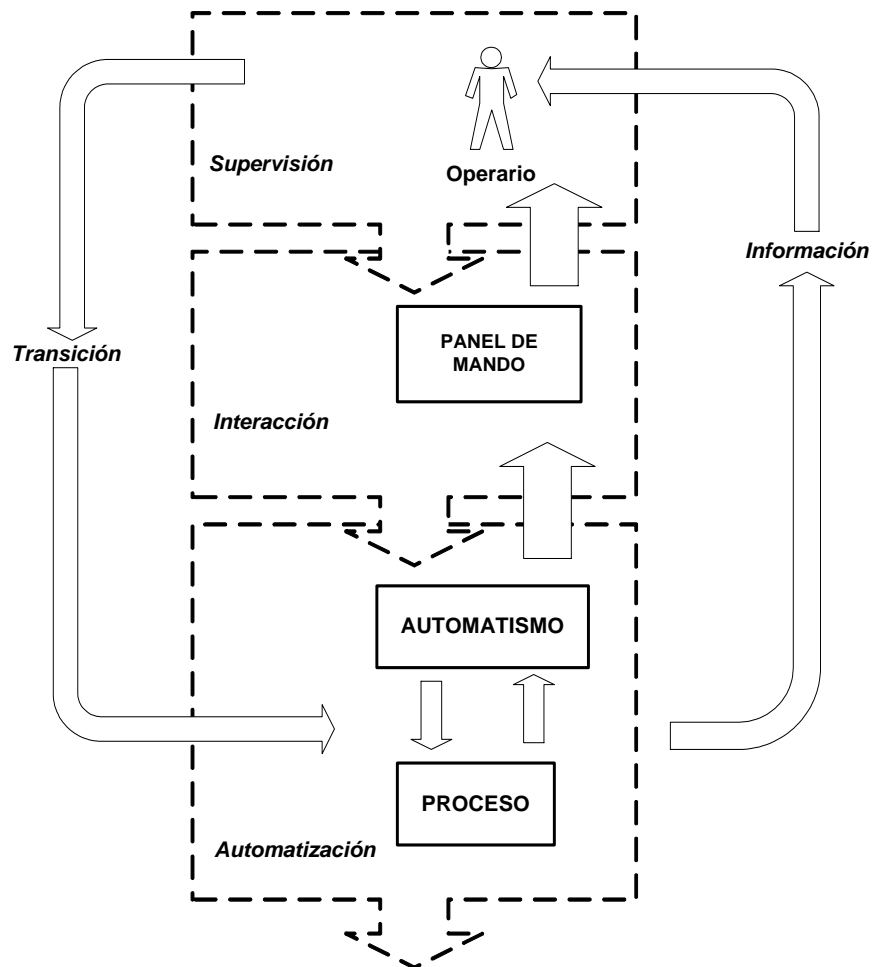


Fig. 3.4 Marco de aplicación de la guía GEMMA

### 3.3.1 Representación gráfica convencional

La representación estándar de la guía GEMMA superpone dos diagramas. El primer diagrama es conceptual y representa algunas situaciones en forma de rectángulos grises. La guía GEMMA distingue cinco situaciones relevantes:

- PZ: Existencia o no de energía de alimentación sobre el global operario-automatismo-proceso.
- Tres familias de modos de marchas y paradas
  - A: Procedimientos de parada.
  - F: Procedimientos de funcionamiento.
  - D: Procedimientos de fallo.
- Producción de piezas o material continuo.



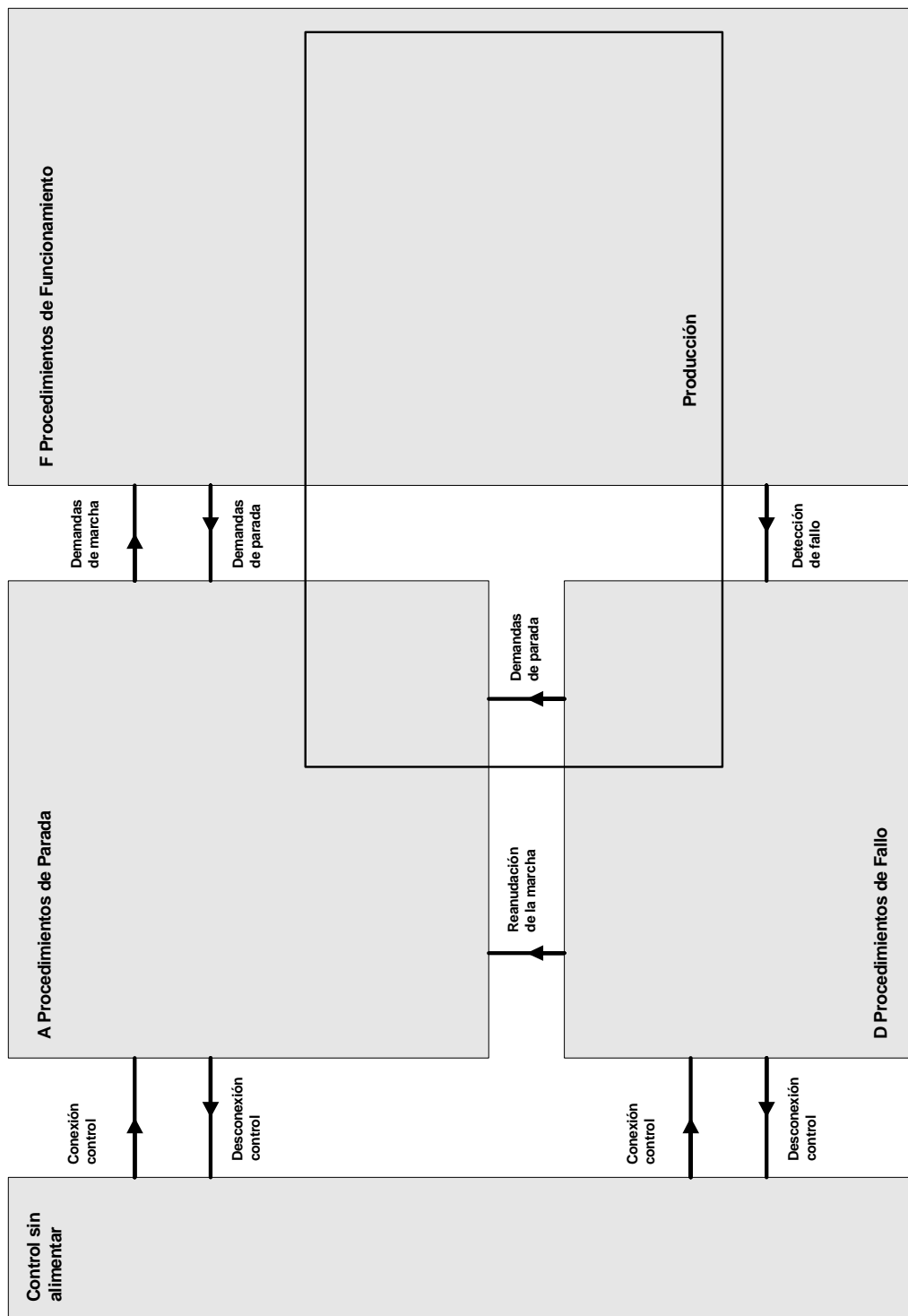


Fig. 3.5 Representación de la primera parte de la guía GEMMA

Las siglas corresponden a la notación original de la guía en francés. La figura 3.5 ilustra las cinco situaciones sobre una representación bidimensional. A la izquierda, tenemos el rectángulo asociado al control con/sin alimentación y que tiene la función de alimentación eléctrica del sistema automatizado. Este concepto viene impuesto originalmente por las normas de seguridad consideradas en la concepción de la guía, e ilustra el caso en que, sin alimentación, el accionamiento de los pulsadores de marcha y paro no provoca ninguna acción, así como ante una falta de alimentación el automatismo deja de ejercer control automático. A continuación, se añade el rectángulo conocido por la etiqueta genérica *A* (*procedimientos de parada*), cuya función principal es la de reconocer los posibles estados de reposo del sistema. A la derecha, se dispone el rectángulo asociado al funcionamiento, que se conoce por la etiqueta *F* (*procedimientos de funcionamiento*) y engloba no tan sólo el funcionamiento normal automático sino el funcionamiento de verificación y pruebas por parte del operario. Finalmente, se añade en la parte inferior el rectángulo asociado a *D* (*procedimientos de fallo*), pues se entiende que estos procedimientos engloban la presencia de defectos en el producto, la presencia de fallos de los dispositivos (actuadores, sensores) y el tratamiento de situaciones de emergencia.

Sobre este esquema se añade un quinto rectángulo denominado producción y dibujado normalmente en forma de doble línea discontinua. En este libro y para simplificar la representación éste rectángulo se dibuja tan solo con una línea discontinua. La Figura 3.5 ilustra que el rectángulo asociado a Producción presenta intersección con los rectángulos que ilustran las familias de procedimientos *A*, *F* y *D*, ello indica que la guía GEMMA diferencia situaciones en las que no se está produciendo producto alguno (operaciones de verificación, mantenimiento, emergencia).

En condiciones normales, existe la transición desde los procedimientos *A* hacia los procedimientos *F*, y viceversa, si se desea finalizar la tarea. En condiciones anómalas, la situación es más compleja, ya que de los procedimientos *F* se pasa a los procedimientos *D* y, para volver a reiniciar y reestablecer el funcionamiento en condiciones normales, hay que pasar a los procedimientos *A*. Aunque estas apreciaciones parezcan simples, indican cómo la guía GEMMA intenta planificar de forma determinista el funcionamiento del proceso, el control del mismo y la presencia de posibles contingencias.

A continuación, el segundo diagrama de la representación de la guía GEMMA resulta más detallista. Cada familia *PZ*, *A*, *F* o *D* se detalla en una serie de estados o modos con la finalidad de mostrar cómo la guía GEMMA puede adaptarse a un gran número de situaciones y problemas. En este punto, es necesario definir la lista de modos, y representarlos de forma gráfica mediante rectángulos más pequeños de color blanco.

### **PZ: Procedimientos del control fuera de servicio**

PZ1: Puesta del control sin energía

Cuando el automatismo se queda sin energía, este estado se ocupa de los procedimientos a realizar para garantizar la seguridad.

Las condiciones para acceder a este estado son a partir de cualquier estado, voluntariamente o accidentalmente. La situación voluntaria solo debería darse cuando el sistema se encuentra en el estado *A1*, en *PZ2* o en *PZ3*.

Las acciones que hay que llevar a cabo en este estado consisten básicamente en terminar los movimientos en curso, bloquear mecánicamente las cargas suspendidas o dejar sin alimentación la parte operativa (si no lo estaba ya).

**PZ2: Puesta del control en estado de marcha**

En este estado, se vuelve a alimentar el control, situación que puede ocurrir a partir de PZ1 y de forma accidental. En un automatismo, un procedimiento de chequeo es ejecutado automáticamente. El automatismo lleva a cabo un ciclo básico, denominado ciclo de *scan*, en el que se verifican los módulos de *hardware* de entradas y salidas, la ejecución de tareas organizadas por la CPU del automatismo y el cumplimiento del buen funcionamiento, dentro de los límites impuestos por el temporizador *watch dog*.

**PZ3: Puesta del control fuera del estado de marcha**

Se está en este estado cuando el control tiene energía pero no está operativo (STOP).

Las condiciones para acceder a este estado son a partir de A1 a petición del operario, o a partir de cualquier estado si se detectan anomalías en el automatismo (módulos de entrada/salida, memoria RAM, anomalías en la CPU o desbordamiento de *watch dog*).

Las acciones concretas consisten en reparar la avería, y llevar el sistema al estado PZ1 o al PZ2.

Para simplificar la representación gráfica de la guía GEMMA, los modos PZ1, PZ2 y PZ3 no se incluyen en la figura 2.6.

**F: Procedimientos de funcionamiento****F1: Producción normal**

Estado en el que la máquina está produciendo normalmente, realizando la tarea para la que está concebida. En su interior, se encuentra el algoritmo básico, expresado habitualmente como GRAFCET de producción o GRAFCET de base.

**F2: Marcha de preparación**

Acciones necesarias para que la máquina pueda entrar en producción (precalentamiento, carga de utillajes, calibración, etc.).

**F3: Marcha de finalización**

Acciones que hay que realizar antes de la parada (vaciado de tuberías, cambio de herramientas, limpieza, enfriamiento, etc.)

Los modos F1, F2 y F3 engloban el funcionamiento normal de algunas máquinas o procesos controlados. Como complemento a estos modos, los modos F4, F5 y F6 ilustran la necesidad de verificar algunos subprocesos por parte del operario:

**F4: Marcha de verificación sin orden**

Permite certificar movimientos individuales del ciclo, sin respetar el orden habitual (usualmente, en vacío). Es asimilable a la intervención del operario en la forma de control manual.

**F5: Marcha de verificación con orden**

Permite verificar paso a paso ciertos movimientos o ciclos del proceso (en vacío o produciendo). Es asimilable al control semiautomático y en aquellas fases de implementación y pruebas en las que el operario supervisa directamente y valida cada uno de los pasos.

F6: Marcha de test

Para la realización de operaciones de ajuste y mantenimiento sobre la instrumentación de control (comprobación de la activación de sensores, reajuste por desgaste, etc.).

### **A: Procedimientos de Parada**

A1: Parada en el estado inicial

Estado inicial de reposo de la guía GEMMA. Se suele corresponder con el estado inicial del GRAFCET; de ahí que se represente con un rectángulo doble.

A2: Parada a final de ciclo

Cuando se solicita este paro, la máquina debe completar el ciclo y luego detenerse en el estado inicial. Al no solicitar este paro, no se produce interrupción alguna y el ciclo se repite automáticamente. Se trata de un estado transitorio hacia A1.

Tanto en la producción de piezas discretas como en la producción de material continuo, hay que establecer el inicio y el fin de ciclo; de ahí la importancia de los modos A1 y A2. Cuando la producción es continua y no es necesario finalizar el ciclo que se desarrolla en F1 sino repetirlo indefinidamente, el modo A2 no es relevante. Por otro lado, en algunas ocasiones se puede proceder a una parada, sin que sea necesariamente la de inicio, por lo que se desea una parada intermedia para luego reanudar el ciclo allí donde se había detenido.

A3: Parada en un estado determinado

Estado transitorio en el que la máquina debe continuar hasta detenerse en un estado diferente del final. Se trata de un estado transitorio hacia A4.

A4: Parada en un estado intermedio

La máquina está detenida en un estado distinto del inicial y el final.

Una vez comentados los modos A1, A2 y A3, los modos de la familia de procedimientos de parada deben completarse con los modos A5, A6 y A7, que son necesarios si se ha producido una situación que requiere la activación del modelo de seguridad.

A5: Preparación para la Puesta en Marcha después de un Fallo

En este estado, deben efectuarse las operaciones necesarias para una nueva puesta en marcha después de un fallo/defecto (vaciado, limpieza, reposición de producto, etc.). Se trata de reconfigurar el sistema y, una vez concluida la preparación, habitualmente se asocia a un pulsador con la finalidad de rearme.

A6: Puesta del sistema en el estado inicial

Operaciones necesarias para llevar el sistema al estado inicial desde situaciones diferentes a la de producción: manual, parada de emergencia, etc. El resultado final es A1.

A7: Puesta del sistema en un estado determinado

Operaciones necesarias para llevar el sistema, que no está en producción, a un estado distinto del inicial para su puesta en marcha. El resultado final es A4.

Subsanadas todas las posibles contingencias, los modos A6 y A1 son consecutivos si se desea volver al inicio, mientras que los modos A7 y A4 son consecutivos si se desea reemprender el ciclo en estados intermedios.

#### **D: Procedimientos de fallo**

D1: Parada de emergencia (o parada para asegurar la seguridad)

Estado al que evoluciona el sistema después de accionar el paro de emergencia. Deben preverse un cese de actividades lo más rápido posible y las actuaciones necesarias para limitar las consecuencias del paro (tanto en la producción como para los operarios).

D2: Diagnóstico de fallos/defectos y/o tratamiento de fallos/defectos

Acciones a ejecutar para determinar el origen del fallo o el origen del defecto. Pueden realizarse con la ayuda del operario.

D3: Producción pese al defecto

Corresponde a casos en que se debe continuar produciendo a pesar del defecto (en una cadena de producción: sustituir transitoriamente parte del trabajo por el de un operario).

Cuando se accede a D2 a partir del modo D1, se está considerando la presencia de un fallo que conviene tratar de forma inmediata. Cuando se accede a D2 a partir del modo D3, se está considerando la presencia de un defecto como una contingencia a resolver cuando finaliza el ciclo actual; de ahí que se acceda posteriormente a los procedimientos de parada.

En estas líneas, se quiere distinguir entre fallo y defecto, pues se entiende que se trata de diversas degradaciones del funcionamiento normal, y es prioritario en la guía GEMMA el tratamiento de fallos frente al tratamiento de defectos.

Una vez explicitado el conjunto de 16 modos de las familias F, A y D, la representación gráfica convencional de la guía GEMMA consiste en la representación superpuesta de los dos diagramas mencionados. Falta añadir el conjunto de transiciones entre estados, que permite entender la representación gráfica a modo de ciclo en el que se integran el funcionamiento normal junto con la aparición de anomalías en secuencias cerradas.

Llegados a este punto, corresponde al usuario la tarea de adaptar la guía GEMMA e implementarla al sistema automatizado en cuestión. Sin duda, es una tarea compleja, ya que algunos modos no son tan sólo conceptos puntuales. Así, por ejemplo, en el modo D2, el diagnóstico de fallos/defectos ha evolucionado hasta el desarrollo de sistemas de control tolerantes a fallos, de manera que ya se dispone de aportaciones teóricas de nivel. Y el modo D1 de parada de emergencia esconde todo el tema de la seguridad en máquinas y las normativas asociadas.

Para finalizar estos comentarios sobre la representación gráfica, se puede hacer hincapié en el detalle de que la guía GEMMA ofrece de forma estática todos los posibles estados y transiciones, de la misma manera que el GRAFCET, en su descripción tecnológica, nos ofrece la representación estática del control secuencial. En este sentido, los diseñadores quisieron facilitar el aprendizaje de esta guía a los usuarios ya familiarizados con GRAFCET.

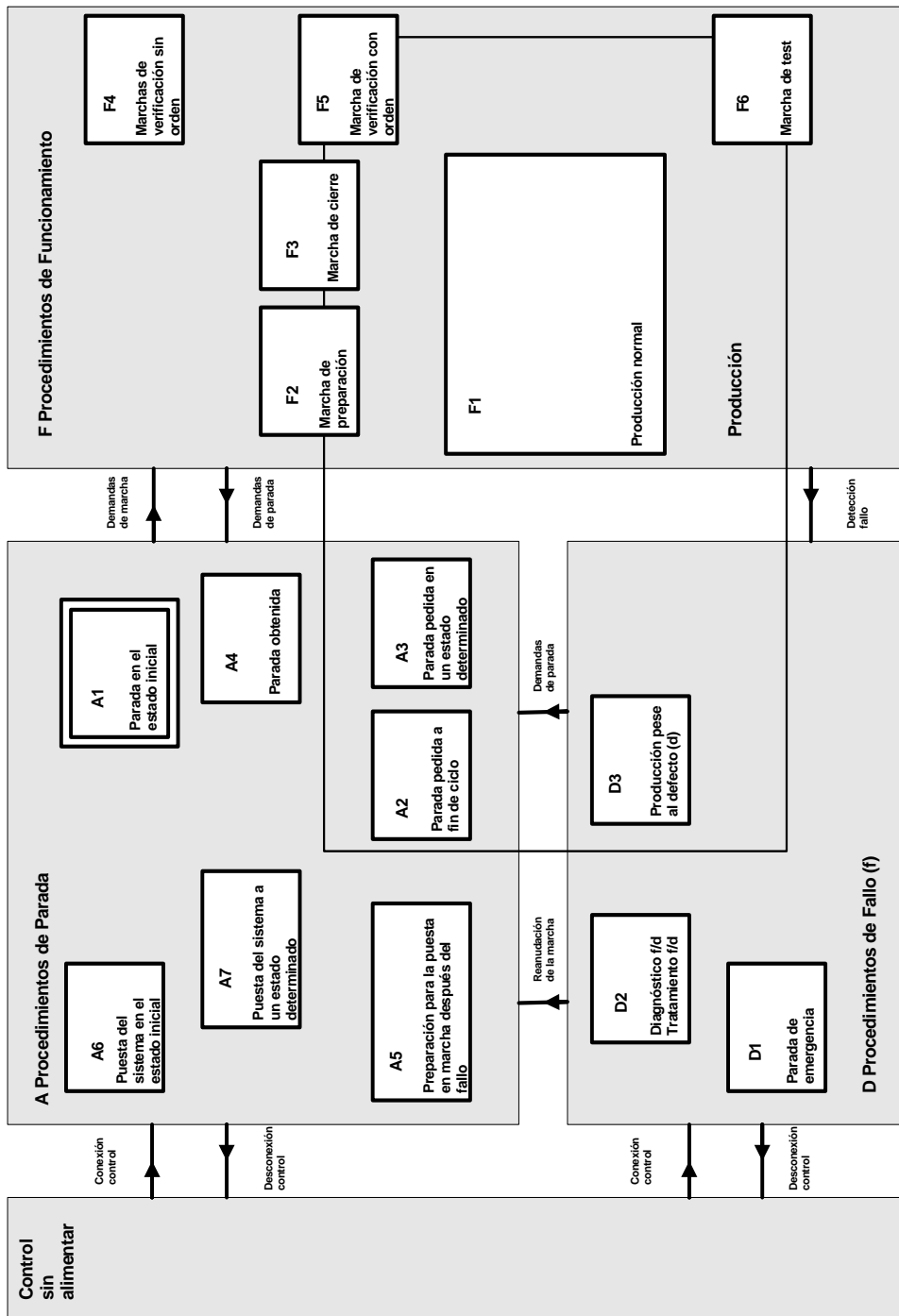


Fig. 3.6 Representación convencional de la guía GEMMA, únicamente con los 16 modos

### 3.4 Utilización

La utilización de la guía GEMMA pasa por dos etapas. La primera etapa es la comprensión y el uso práctico de la metodología a nivel básico, mientras que la segunda etapa corresponde a la aplicación a casos complejos, como los que se ilustran en los capítulos siguientes.

En este apartado se lleva a cabo la primera etapa, con algunos de las situaciones a estudio más significativas.

#### 3.4.1 Estudio de situaciones elementales

Sin duda alguna, la guía GEMMA empieza a mostrar su funcionalidad cuando se aplica al estudio de situaciones concretas. En las líneas siguientes se concreta la metodología únicamente en las fases de supervisión e interacción. Las situaciones a tratar son las siguientes:

- Situación 1: Marcha por ciclos y paro a final de ciclo
- Situación 2: Marcha de verificación con orden

##### Situación 1. Marcha por ciclos y paro a final de ciclo

En la fase de supervisión sólo intervienen el módulo de modos de marcha y el módulo de producción (figura 3.7). En la fase de interacción, el panel de mando está compuesto, en la parte de servicio, por el selector de servicio y el *led* indicador de servicio; en la parte de modos de marcha se dispone del selector (0, CaC, AUT) y el pulsador para validar la decisión. La intervención del operario se traduce de forma que, en condiciones normales de funcionamiento, inicia el ciclo de actividades seleccionando el modo automático AUT y validando con el pulsador, mientras que finaliza las actividades de un ciclo en ejecución seleccionando el modo ciclo a ciclo (CaC) y validando con el pulsador (figura 3.8).

Obsérvense las mismas ideas desde el punto de vista de la conectividad de GRAFCET parciales en la figura 3.9. Cuando el operario selecciona AUT y acciona el pulsador de validación en el GRAFCET de conducción G100, pasa a ejecutarse el algoritmo de control secuencial presente en el módulo de producción, GRAFCET de producción G0.

El GRAFCET de conducción G100 está estructurado en forma de estados ( $X$ ) y transiciones. El GRAFCET de producción G0 está estructurado en forma de etapas ( $E$ ) y transiciones ( $t$ ). Para aclarar la nomenclatura utilizada, sirva este ejemplo: el estado X101 está compuesto por la etiqueta 101 y la etapa 101, mientras que el estado X1 está compuesto por la etiqueta 1 y la etapa 1 y ésta a su vez puede contener una o más acciones. Habitualmente en el GRAFCET de conducción aparecen transiciones asociadas a los dispositivos del panel de mando, mientras que en el GRAFCET de producción aparecen transiciones asociadas al GRAFCET de conducción ya que existe una clara dependencia horizontal.

Si, mientras se desarrolla el GRAFCET de producción G0, el operario selecciona CaC y acciona el pulsador de validación, se conduce el algoritmo global al estado de parada en el estado inicial al finalizar el ciclo de ejecución actual (G0 al estado  $X0$  y G100 al estado  $X100$ ). En caso de que entremos en la etapa  $n+1$  valoramos si el operario ha seleccionado CaC y ha validado, con lo que G0 se reanuda en la etapa 0, o bien si el operario tenía seleccionado AUT y ha validado sin ordenar paro a fin de ciclo, con lo que G0 se reanuda en la etapa 1.

De esta forma, el operario introduce condiciones de marcha y paro dentro del control secuencial de un proceso, y ello puede ser útil para el seguimiento adecuado del proceso controlado.

Cabe indicar que la situación 1 es genérica y que, con matices, se puede aplicar en general a sistemas productivos, ya que, como se aprecia en la guía (figura 3.7) la descripción de los estados y las transiciones es independiente del tipo de proceso particular expresado en el GRAFCET de producción. Ello hace que esta situación sea intrínseca a la utilización de la guía GEMMA.

### **Situación 2. Marcha de verificación con orden**

En esta situación, en la fase de supervisión sólo intervienen el módulo de modos de marcha y el módulo de producción (figura 3.10). En la fase de interacción, el panel de mando está compuesto por tres partes: en la primera se dispone del selector de puesta en servicio (0, 1), junto con el LED informativo correspondiente; en la segunda se dispone el selector de modos (MAN, 0, CaC, AUT), junto con el pulsador de validación y el LED informativo de funcionamiento; finalmente, se dispone del selector de verificación con orden (Orden, 0) junto con el pulsador de verificación y el LED informativo correspondiente (figura 3.11).

En primer lugar, hay que indicar que la situación 2 expresa la modularidad en la construcción de la guía GEMMA. En la situación 2 se incorpora de forma natural la situación 1, tal como se aprecia en las figuras precedentes, tanto en la representación de la guía, como en el diseño del panel de mando y en la representación del GRAFCET. La intervención del operario puede acontecer al inicio de ciclo o en pleno desarrollo del mismo. En todo caso, cuando el operario selecciona el modo MAN y valida la decisión mediante el pulsador, se entra en el control manual (tanto si se trata del principio del ciclo como de cualquier momento del mismo). Si el operario selecciona MAN, a continuación el operario selecciona el modo orden y finalmente valida su decisión, y ya se está en disposición de ejecutar *F5: la marcha de verificación con orden*. Para la transición de una etapa a la siguiente, en el GRAFCET de producción no basta con las transiciones habituales sino que es el propio operario el que interviene en la transición y debe accionar el pulsador de verificación. Una vez ejecutados diversos estados mediante el estado F5 de la guía, el operario puede poner el primer selector en modo AUT y el segundo selector en modo 0, y accionando el pulsador de validación se reanuda el control automático.

Se deja para el lector la ampliación de la situación ilustrada en la figura 3.10 si se supone que el operario también puede ejecutar el estado *F4: Marcha de verificación sin orden*. Obsérvese que debe corregirse el selector (Orden, 0) considerando (Desorden, Orden, 0) y que el GRAFCET de conducción G100, después del estado 100 *X100*, presentará una tercera rama dentro de la estructura de secuencias excluyentes (lo que se conoce como paralelismo interpretado), con una transición del tipo *val·MAN·Desorden*.

Nótese que, en sistemas productivos continuos, la disposición del selector en cuatro modos (MAN, 0, CaC, AUT) puede simplificarse a tres (MAN, 0, AUT). Por ejemplo, en el llenado, la puesta de tapón y etiqueta de botellas, no es necesario el modo CaC, por lo que sencillamente poniendo el selector en el modo 0 y validando la decisión se detiene el proceso sin más problemas, y se reinicia seleccionando AUT y validando la decisión. En el caso de máquinas de extrusión de plástico en las que el operario repone, de forma continua, material para que la máquina genere piezas discretas, quizás tampoco es necesario el modo CaC. En máquinas-herramienta de control numérico computerizado CNC en las que la producción se realiza por lotes de piezas mecanizadas, el modo CaC es necesario para valorar aquellas situaciones (cambio de herramienta, mantenimiento preventivo) en las que el ciclo debe interrumpirse si el operario conoce la vida útil de la herramienta, o el desgaste de componentes en función del número de lotes producidos por la máquina.



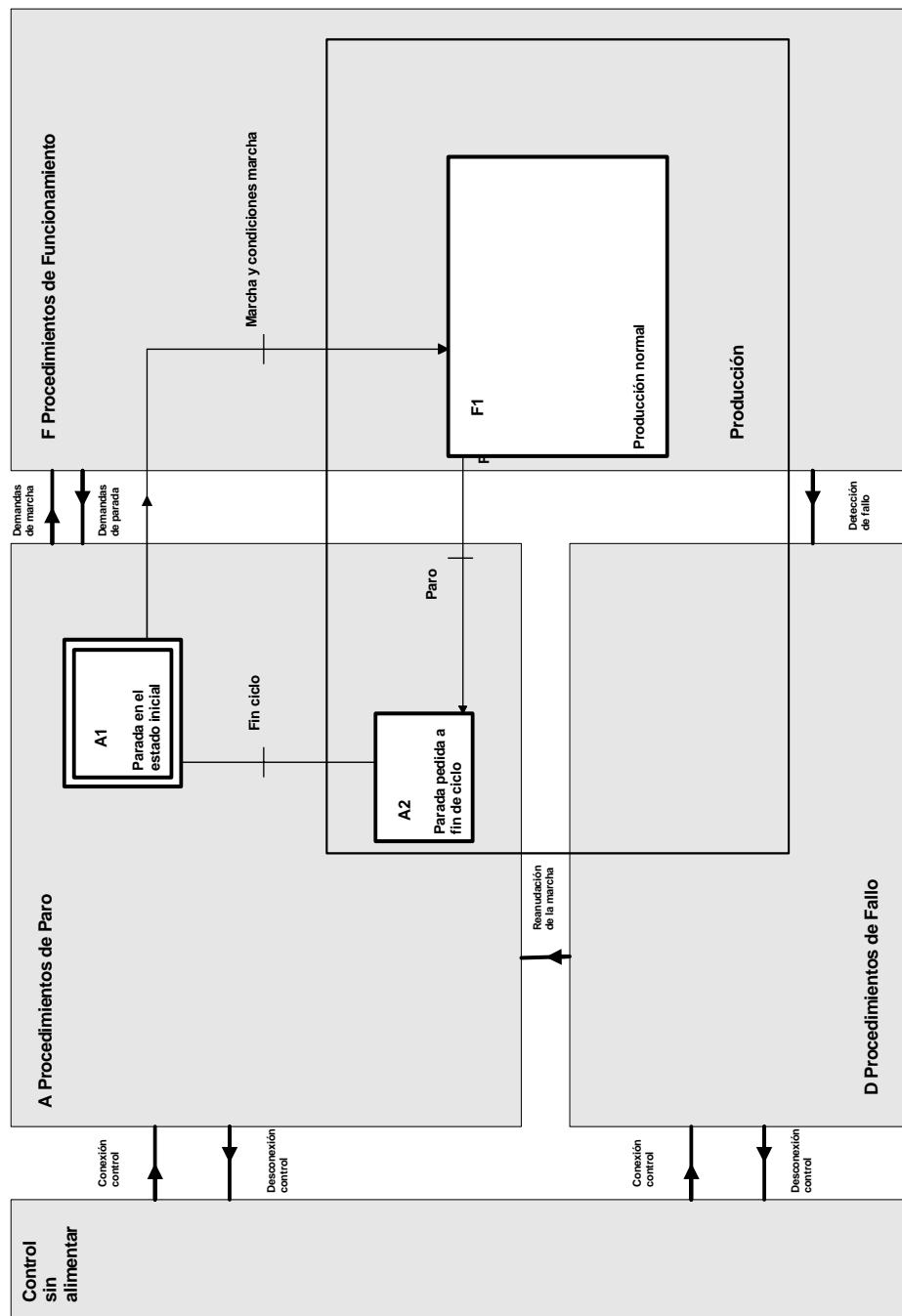


Fig. 3.7 Marcha por ciclos y paro a final de ciclo

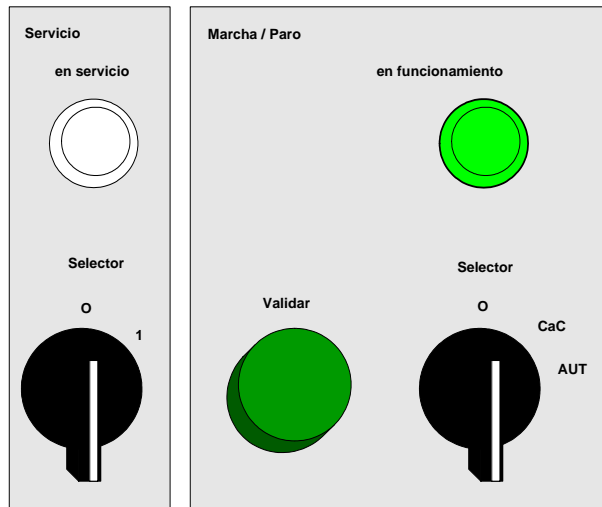


Fig. 3.8 Panel de mando para la situación 1

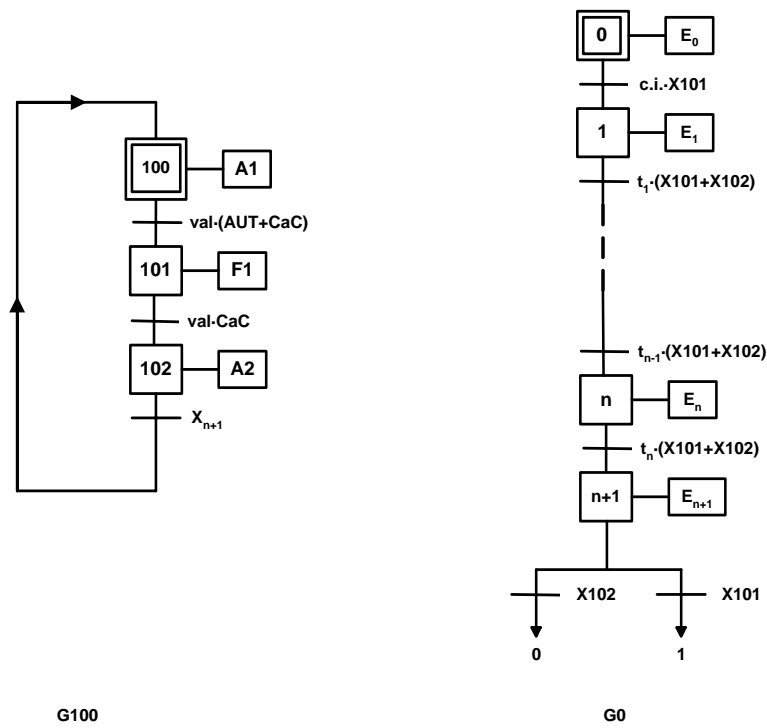


Fig. 3.9 GRAFCET de conducción G100 y GRAFCET de producción G0 para la situación 1

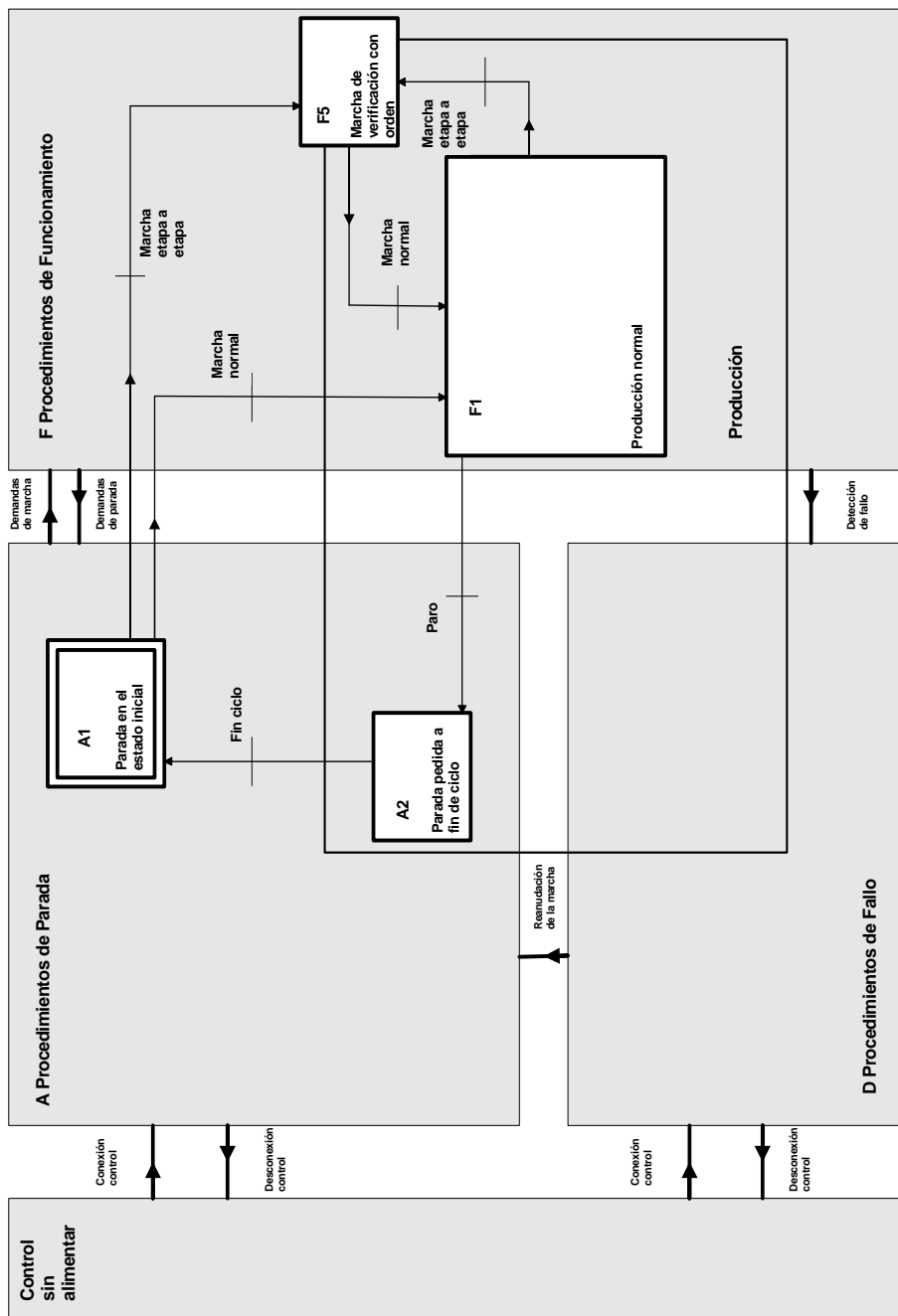


Fig. 3.10 Marcha de verificación con orden

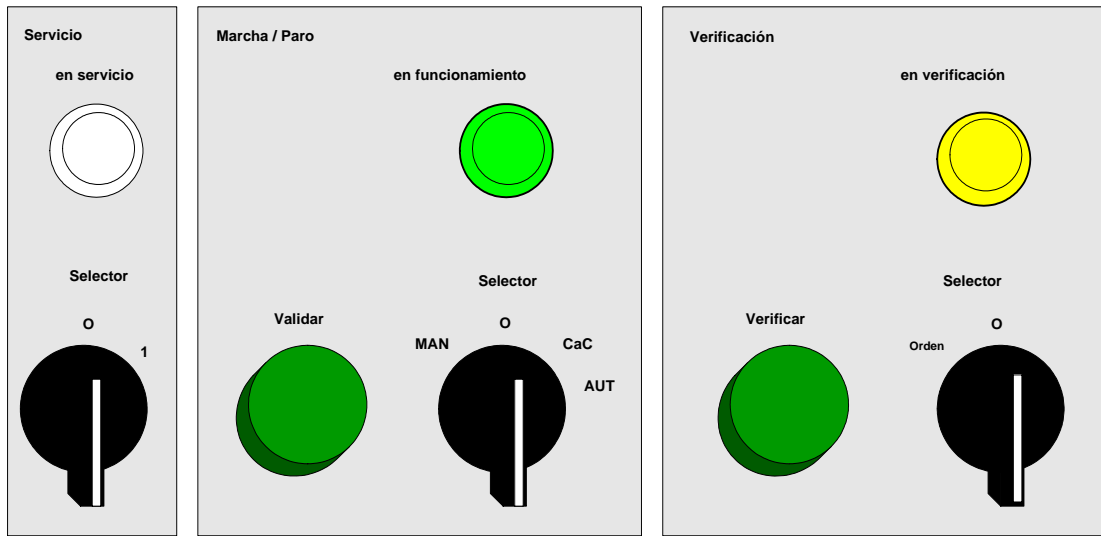


Fig. 3.11 Panel de mando para la situación 2

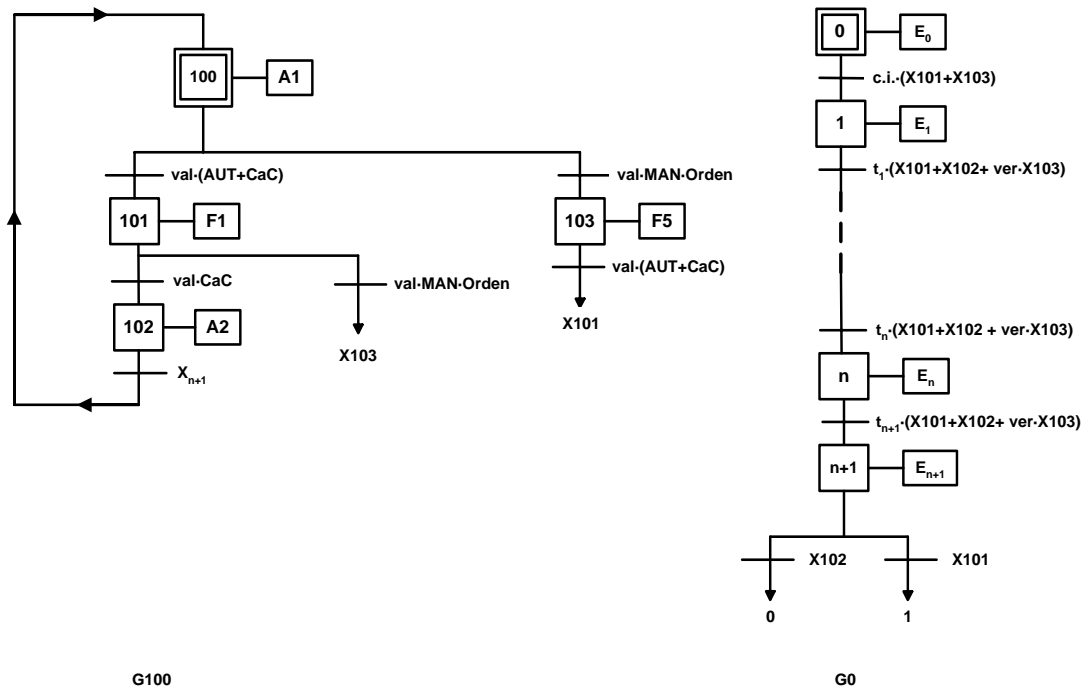


Fig. 3.12 GRAFCET de conducción G100 y GRAFCET de producción G0 para la situación 2