

METODOLOGÍA MEIA.



Arantza Burgos
María Luz Álvarez
Isabel Sarachaga
Joseba Sainz de Murieta



eman ta zabal zazu



UPV EHU

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. MeiA (Methodology for industrial Automation systems)	5
3. Fase I: Secuencia Principal – Modo Automático	7
4. Fase II: Modo Manual.....	15
5. Fase III: Modos de Pruebas	25
6. Fase IV: Fallos	31
7. Fase V: Paro de Emergencia	39
8. Fase VI: Producción Normal.	47
9. Conclusiones	51

1. INTRODUCCIÓN

MeiA (*Methodology for industrial Automation systems*) es una metodología para el desarrollo de software de control en el ámbito de la ingeniería de automatización de procesos. Dicho software abarca tanto los sistemas que realizan el control directo del proceso, como el control general (o controlador de célula) que aborda el control de la producción comandando los sistemas de control directos, las funciones de diálogo con el personal y el tratamiento de la información del proceso.

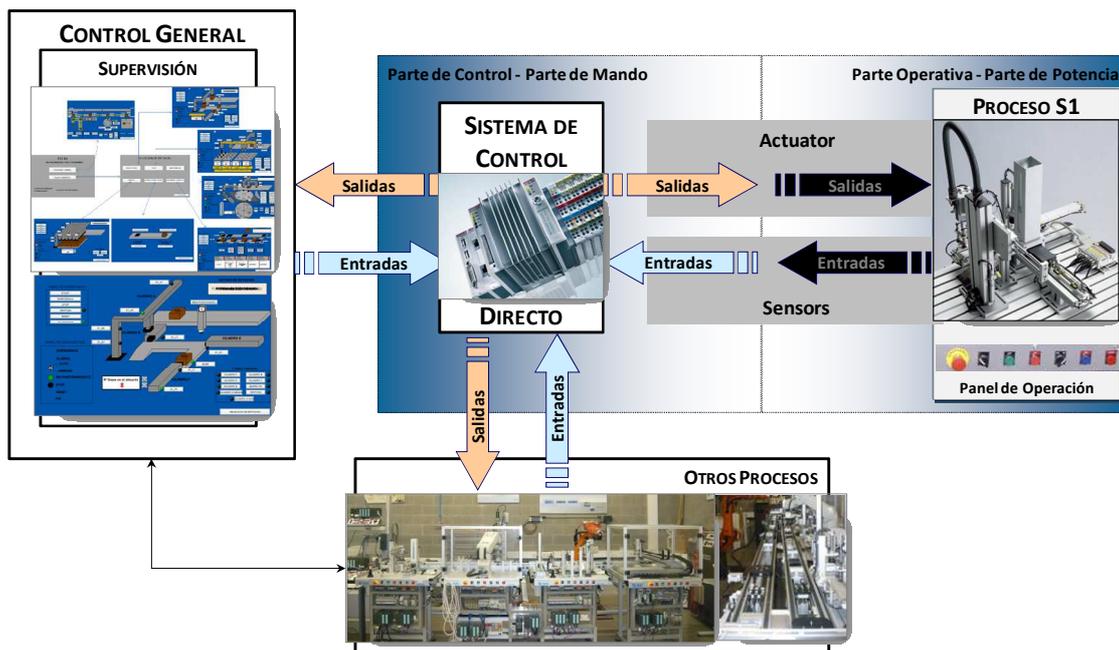


Figura 1 Ámbito del Software de Control para la automatización de procesos

El desarrollo de este tipo de software se enfrenta a la complejidad de integrar las tecnologías de la información en el entorno industrial a la hora de transformar información en acciones de dispositivos de un modo totalmente controlado. Para ello, es preciso generar, transmitir y procesar la información de modo rápido, exacto y fiable, en cantidad y calidad adecuadas a las necesidades específicas, en el momento preciso y en el lugar idóneo. Este flujo distribuido de datos debe garantizar el correcto flujo de materiales de un modo automático.

Con objeto de paliar esta problemática, **MeiA** combina la madurez de las disciplinas de la ingeniería de software con los métodos y estándares del campo de la automatización industrial. En lo referente a la ingeniería del software, **MeiA** adopta el estándar internacional ISO/IEC 12207 Ingeniería de software y sistemas - Procesos del ciclo de vida del software (ISO/IEC 12207, 2008), que establece el marco de referencia de los procesos, las actividades y las tareas

involucradas en el desarrollo, la explotación y el mantenimiento de un producto software, abarcando la vida del sistema desde la definición de los requisitos hasta la finalización de su uso. Concretamente, se adoptan los siguientes procesos:

- Procesos de *Implementación del Software* que transforman un comportamiento específico con unas interfaces y unas restricciones de implementación en un software de control que satisface los requisitos derivados de los requisitos del proceso productivo. Para ello, identifica los siguientes sub-procesos: *Análisis de requisitos, Diseño de Arquitectura, Diseño Detallado, Construcción, Integración y Pruebas del software*.
- Proceso de *Gestión de la Documentación del Software* que desarrolla y mantiene la información generada durante el ciclo de vida del producto software. Como proceso soporte a los procesos de implementación, contribuye al éxito y la calidad del proyecto software.
- Procesos de *Reutilización de Software* que desarrollan y mantienen los modelos, las arquitecturas y los activos reutilizables de un determinado dominio, gestionan dichos activos durante su ciclo de vida y explotan sistemáticamente las oportunidades de reutilización.
- Proceso de *Gestión del Modelo de Ciclo de Vida* que define, mantiene y garantiza la disponibilidad de los procesos del ciclo de vida, los modelos de ciclo de vida, las políticas y los procedimientos empleados por la organización en relación con este estándar.
- Proceso de *Planificación del Proyecto* que establece el modelo de ciclo de vida del proyecto.

Todos estos procesos se han adaptado teniendo en cuenta las particularidades del software de control para la automatización de procesos, de acuerdo con las directrices del *Proceso de Adaptación* y las pautas del *Proceso de Gestión de Decisiones*.

El estándar describe cada proceso mediante un título que expresa el alcance del proceso en su conjunto, su propósito que describe los objetivos de la realización del proceso, los resultados que establecen los esperables tras la correcta realización del proceso, las actividades que identifican la lista de acciones a desarrollar para lograr dichos resultados, y las tareas que son requisitos, recomendaciones o medidas admisibles destinadas a apoyar la consecución de los resultados.

No obstante, el estándar no detalla los procesos en términos de métodos o procedimientos necesarios para cumplir con los requisitos y los resultados del proceso. En este sentido, **MeiA**, adopta los métodos y estándares del campo de la automatización industrial proporcionando

directrices y plantillas para definir los sistemas de control industrial metodológicamente con la sintaxis y el léxico que los desarrolladores emplean habitualmente. Partiendo de los requisitos de usuario, MeiA_● guía a los desarrolladores en *los procesos de Implementación y Gestión de la Documentación del Software*:

- En el proceso de *Análisis de Requisitos*, MeiA_● integra GEMMA y el diagrama de casos de uso para identificar los requisitos de control y supervisión, así como la configuración del panel de operación y demás paneles auxiliares necesarios.
- En los procesos de *Diseño*, MeiA_● incorpora el lenguaje de modelado GRAFCET para generar las unidades de organización de diseño (DOUs - *Design Organization Units*). Se distinguen tres tipos de DOUs:
 - *DOUs de decisión* que organizan el arranque y la parada de los distintos modos de funcionamiento, y coordinan todos los posibles estados del sistema.
 - *DOUs de producción* que realizan las operaciones de producción, coordinación de operaciones, selección de parámetros de producción, etc.
 - *DOUs auxiliares* que realizan procedimientos de inicialización, preparación, paros, avisos, etc.
- En el proceso de *Construcción*, MeiA_● facilita la definición de las unidades de código (POUs - *Program Organization Units*) necesarias para generar el proyecto de automatización conforme al estándar IEC 61131-3. Por cada DOU se genera un POU de tipo bloque funcional.
- En los procesos de *Integración y Pruebas*, MeiA_● determina las señales de control involucradas en la coordinación de POU, que combina coordinación horizontal entre POU de *decisión*, coordinación vertical (también denominada jerárquica) entre POU de *decisión* y *auxiliares*, y coordinación vertical y horizontal entre POU de *producción*.
- Para el proceso de *Gestión de la Documentación*, MeiA_● plantea la generación de la documentación asociada a los distintos procesos usando la terminología del dominio en formato textual y gráfico.

MeiA_● proporciona un conjunto de directrices y plantillas que guían al desarrollador en todos estos procesos para incorporar la reutilización de software desde etapas tempranas. Dichas plantillas son los activos reutilizables que requieren una gestión efectiva para soportar un proceso dinámico de construcción y adaptación que permita explotar sistemáticamente nuevas oportunidades de reutilización.

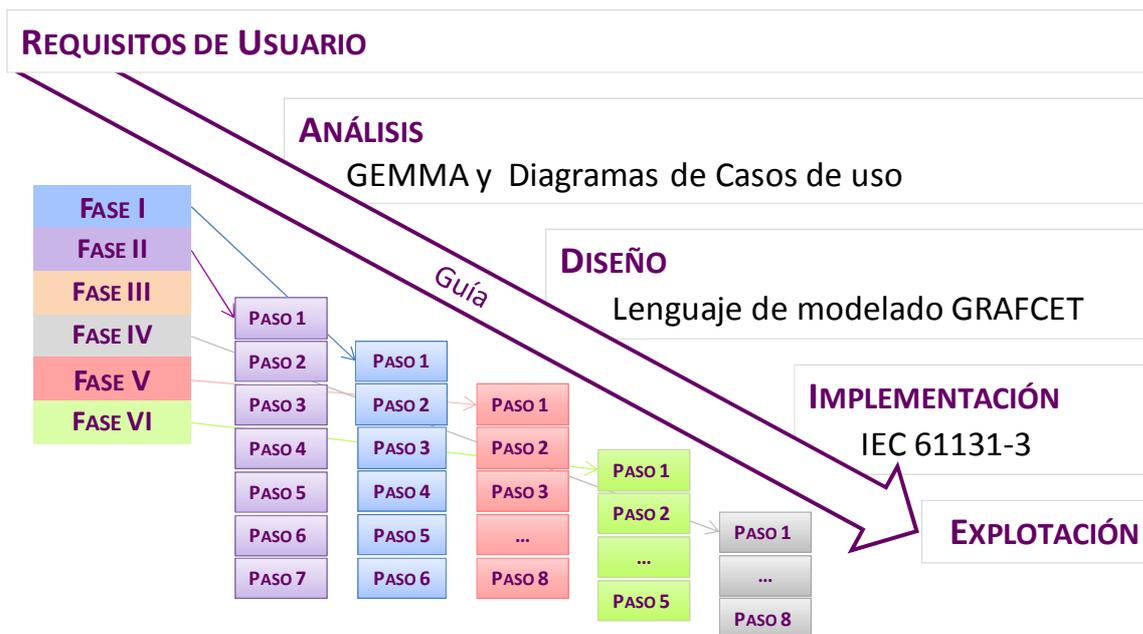


Figura 2 Modelo de ciclo de vida de un proyecto MeiA.

Con este enfoque de desarrollo, MeiA configura un proceso de *Gestión del Modelo de Ciclo de Vida* con dos procesos independientes pero cooperantes:

- El proceso responsable del desarrollo de directrices y plantillas, que deja abiertas las decisiones relativas a los requisitos específicos de un sistema particular.
- El proceso que genera un sistema particular de acuerdo con los requisitos concretos del cliente adaptando las plantillas según las directrices. Este proceso proporciona realimentación para mejorar dichas directrices y plantillas, y permite identificar nuevas oportunidades de reutilización.

Por último, MeiA establece un proceso de *Planificación del Proyecto* evolutivo inherente al carácter incremental de su ciclo de vida. La metodología consta de fases que permiten abordar el sistema de control desde diferentes perspectivas. Cada fase engloba un conjunto de pasos que permiten realizar la definición de la funcionalidad con distintos niveles de detalle y, por ende, los DOUs. A partir de los DOUs con mayor nivel de detalle (DOUs tecnológicos) se generan los POUs.

2. MEIA (METHODOLOGY FOR INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS)

El proyecto de desarrollo del sistema de control de un proceso con un nivel de complejidad media-alta comienza capturando la información sobre el funcionamiento del proceso productivo y las operaciones de producción. Con dicha información se identifican los sub-sistemas y la relación entre los mismos. Cada sub-sistema se estudia en detalle para establecer las condiciones de arranque, las señales relacionadas con los sensores y actuadores del proceso, y las señales que intercambia con el sistema de supervisión y control. Tras la implementación del sistema de control de cada uno de los sub-sistemas, se aborda el desarrollo del control general que coordina el funcionamiento conjunto.

Estos procesos de implementación comienzan identificando los modos de operación que determinan las perspectivas a analizar en las distintas fases de MeiA:

- **Secuencia Principal - Modo Automático.** La Fase I establece la secuencia principal del funcionamiento del sistema en modo automático, es decir, organiza tanto el arranque como la parada programada del sistema, generando las señales de mando que informan a producción normal sobre el estado del sistema en cada momento.
- **Modo Manual.** La Fase II organiza tanto el arranque como la parada del sistema en modo manual cuando existe la necesidad de verificar individualmente ciertos movimientos o partes del proceso sin respetar el orden habitual del ciclo, normalmente bajo el control del personal de mantenimiento; por ejemplo, para realizar el reajuste o calibración de ciertos sensores y/o actuadores, para ejecutar operaciones de mantenimiento preventivo, correcciones por desgaste, solventar fallos, etc.
- **Modo de Pruebas.** La Fase III analiza la necesidad de verificar paso a paso o de forma continua ciertos movimientos o partes del proceso, respetando el orden habitual del ciclo según el ritmo que marque el personal a cargo de dicha tarea.
- **Fallos.** La Fase IV identifica, analiza y evalúa los fallos que pueden producirse en el proceso, identificando dos tipos: aquéllos que permiten que el sistema siga en producción (incluso aceptando degradación de la calidad del producto) y aquéllos que forzosamente harán evolucionar el sistema hacia una parada controlada.
- **Paro de emergencia.** La Fase V organiza tanto el arranque como la parada del sistema para el tratamiento de emergencias.
- **Producción Normal.** La Fase VI analiza las operaciones del proceso para identificar y diseñar los procedimientos que realizarán dichas operaciones, y establece el orden de realización definiendo el ciclo normal de producción.

Cada fase realiza su tarea de análisis a través de una secuencia ordenada de pasos. No obstante, ciertos pasos pueden requerir la modificación o ampliación de los resultados de análisis de otras fases.

Un proyecto de automatización mínimo precisa abordar la fase Secuencia Principal – Modo Automático y la fase Producción Normal, aunque se considera incompleto si no contempla un Paro de Emergencia. Las restantes fases se aplicarán cuando los requisitos así los requieran.

En los siguientes apartados se detallan las seis fases. Para cada una de ellas se establecen los estados GEMMA involucrados y los casos de uso. Los actores que intervienen en cada modo de operación permiten determinar las condiciones de evolución entre los estados GEMMA. Las plantillas GRAFCET guían el diseño de los casos de uso para obtener los DOUs.

3. FASE I: SECUENCIA PRINCIPAL – MODO AUTOMÁTICO

Organización del arranque y parada del Modo Automático

En esta fase se establece la secuencia principal del sistema, que organiza tanto el arranque del sistema en modo automático como la parada programada del mismo, generando las señales de mando que informan a producción normal sobre el estado del sistema en cada momento.

Para establecer el funcionamiento en modo automático del sistema se deben realizar los siguientes **PASOS** (Figura 3):

PASO 1 - SOLICITUD DE FUNCIONAMIENTO MODO AUTOMÁTICO: Establecer la **forma de activar o poner en marcha el sistema en modo automático**; por ejemplo, mediante un pulsador de marcha, con un conmutador automático/manual, desde un sistema de supervisión, mediante otro proceso que marca el arranque, etc.

PASO 2 - INICIALIZACIÓN PARTE OPERATIVA – CONDICIONES INICIALES Y DE SEGURIDAD: Identificar la **situación de partida conocida y segura** en la que debe estar el proceso cuando se solicita su funcionamiento automático, así como las **acciones a realizar para alcanzar dicha situación**. Esto implica el estudio de los elementos del proceso:

- Analizar el efecto de la presencia de alimentación por primera vez en cada uno de los preaccionamientos y accionamientos del proceso, lo cual proporcionará información tanto de los aspectos a tener en cuenta para la seguridad del personal de planta, como de la situación inicial del proceso.
- Determinar la ubicación de todos los elementos en la situación de partida: posición de los elevadores, pinzas o mordazas abiertas o cerradas, cilindros extendidos o recogidos, situación de piezas, etc., prestando especial atención a las posibles situaciones en el arranque que requieran acciones para llevar al sistema a la situación de partida.
- Identificar situaciones no controlables y su resolución: intervención del personal de planta, inclusión de nuevos actuadores, sensores, indicadores, etc.

Establecer el procedimiento de comprobación que garantice que los componentes del sistema se encuentran en una situación determinada y conocida.

PASO 3 - MARCHA DE PREPARACIÓN: Analizar la necesidad de realizar determinadas tareas para **preparar el sistema antes de comenzar la producción**; por ejemplo carga de almacenes, carga de herramientas, preparación de utillajes, llenado de tanques, precalentamiento de equipos, etc.

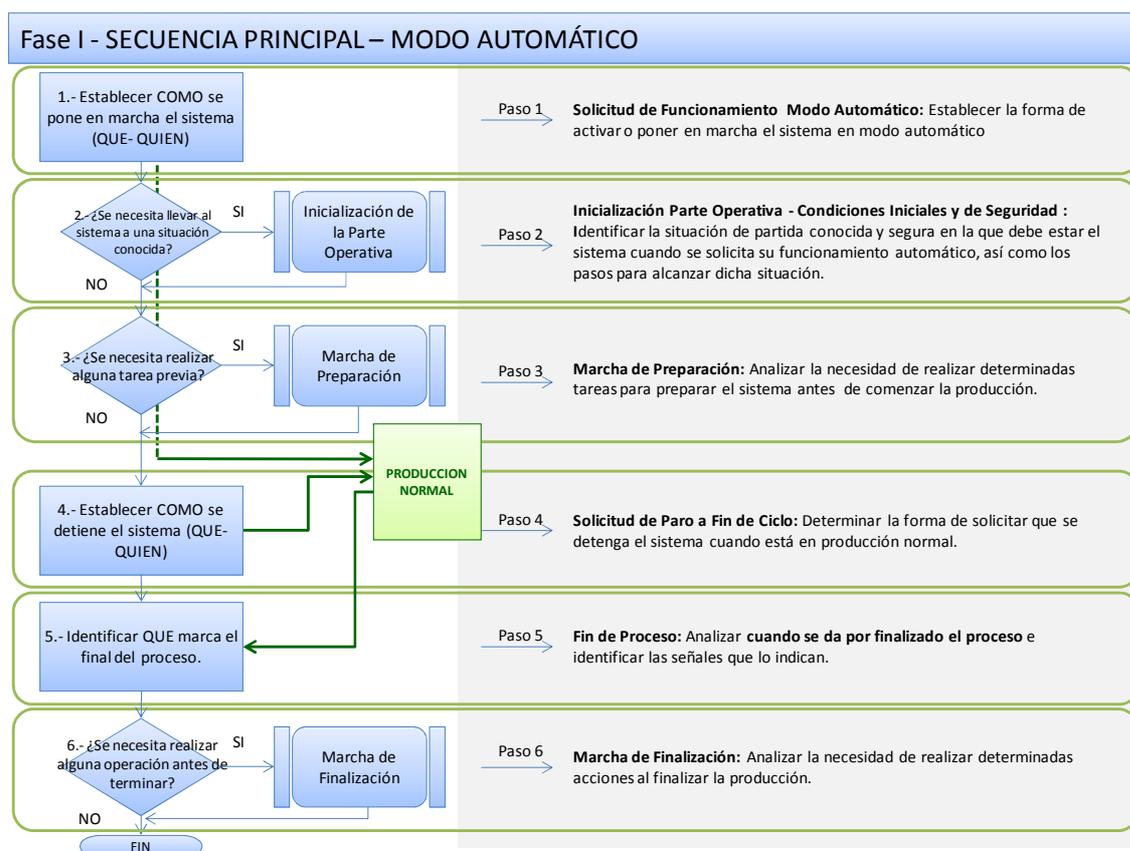


Figura 3 Pasos de la Fase I: Secuencia Principal - Modo Automático

PASO 4 - SOLICITUD DE PARO A FIN DE CICLO: Determinar la forma de **solicitar que se detenga el proceso** cuando está en producción normal; por ejemplo, mediante un pulsador de parada a fin de ciclo, por solicitud desde otro proceso, por solicitud tras haberse producido un fallo, al terminar algún tipo de materia prima, al finalizar el plan de producción, etc.

PASO 5 - FIN DE PROCESO: Analizar **cuándo se da por finalizado el proceso** e identificar las señales que indican que se ha terminado el último ciclo de producción; por ejemplo, cuando finalizan ciertos procedimientos de producción tras finalizar un lote, al terminar algún tipo de materia prima, etc.

PASO 6 - MARCHA DE FINALIZACIÓN: Analizar la necesidad de realizar determinadas **acciones al finalizar la producción**; por ejemplo, operaciones de vaciado y/o limpieza de alguna máquina, calibración de alguna máquina, cambios de herramientas, medidas de herramientas, etc.

Estos seis pasos permiten identificar los estados en **GEMMA** que contempla la secuencia principal, y las líneas y condiciones de evolución entre estos estados (Figura 4).

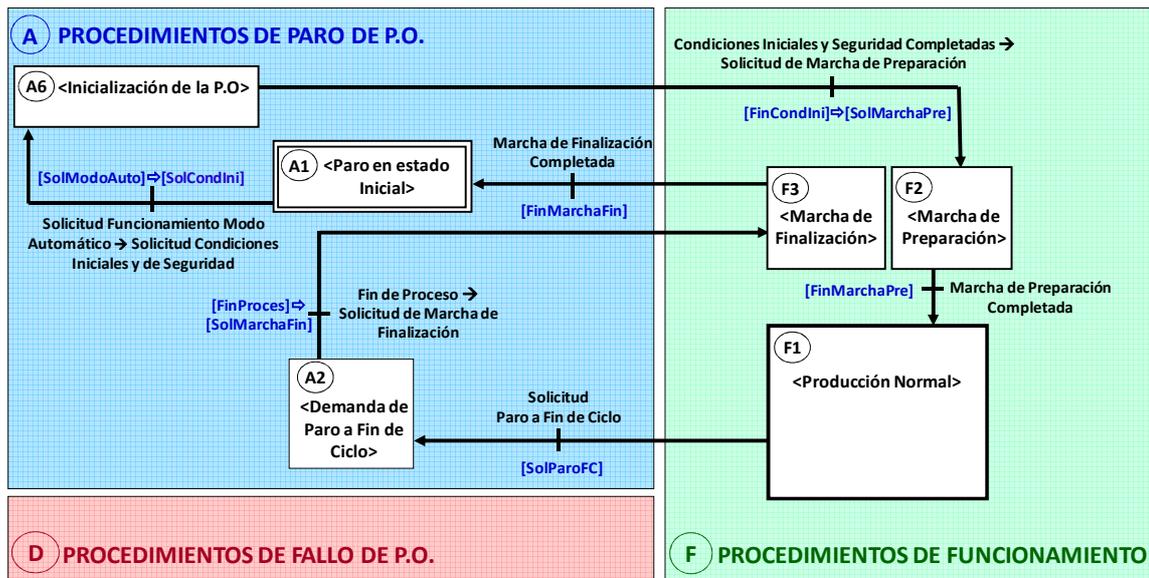


Figura 4 GEMMA correspondiente a la Secuencia Principal del sistema

Partiendo del sistema en estado *Paro en Estado inicial [A1]*, al solicitar su funcionamiento automático, se pasará al estado *Iniciación de la Parte Operativa [A6]* donde se deberán verificar las condiciones iniciales y de seguridad del sistema. Aquellos sistemas que requieran tareas de preparación previas a la producción disponen del estado *Marcha Preparación [F2]* como paso previo al estado *Producción Normal [F1]*. Cuando el sistema se encuentra en producción y se solicita la parada a fin de ciclo, el sistema pasará al estado *Demanda de Paro a Fin de Ciclo [A2]* hasta que se finalice el ciclo. Aquellos sistemas que precisen operaciones adicionales una vez finalizada la producción, requerirán del estado *Marcha de Finalización [F3]*, tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo *Paro en estado inicial [A1]*.

Asimismo, estos seis pasos permiten identificar los **casos de uso** que describen la funcionalidad de la secuencia principal con los actores que intervienen en los mismos (Figura 5), y las pre-condiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso "*Solicitar funcionamiento modo automático*" puede incluir los casos de uso "*Iniciar parte operativa*" y/o "*Ejecutar marcha de preparación*", mientras que el caso de uso "*Solicitar parada a fin de ciclo*" puede incluir "*Ejecutar marcha de finalización*". Las solicitudes de los **actores externos** al sistema de control van a determinar las pre-condiciones de ejecución de los casos de uso y las condiciones de evolución entre los estados de GEMMA; por ejemplo, el personal de planta puede ser quién solicite el funcionamiento y/o la parada a fin de ciclo. Cuando no hay intervención de actores externos, el sistema de control genera dichas condiciones.

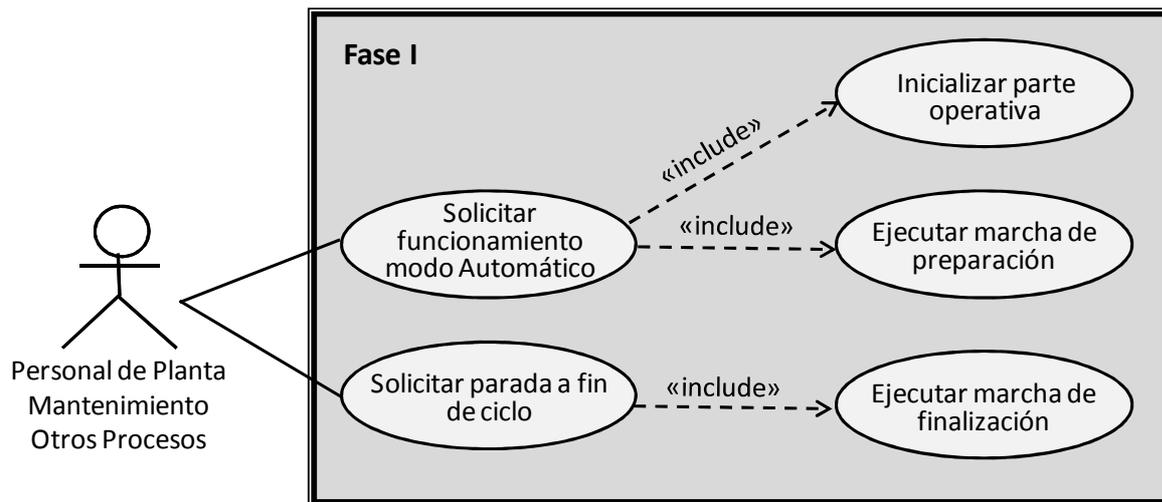


Figura 5 Diagrama de casos de uso de la Secuencia Principal del sistema

Una vez identificados los estados de GEMMA, las líneas y las condiciones de evolución entre estados, y analizados los casos de uso, el siguiente paso consiste en particularizar la plantilla Grafcet denominada **SECUENCIA PRINCIPAL** (Figura 6). Este Grafcet será el encargado de dar paso a otros Grafcets denominados **CONDICIONES INICIALES Y DE SEGURIDAD**, **MARCHA DE PREPARACIÓN** y **MARCHA DE FINALIZACIÓN** (Figura 7 y Figura 8), si las características del sistema así lo requieren. La Figura 9 ilustra la relación entre los Grafcets comentados.

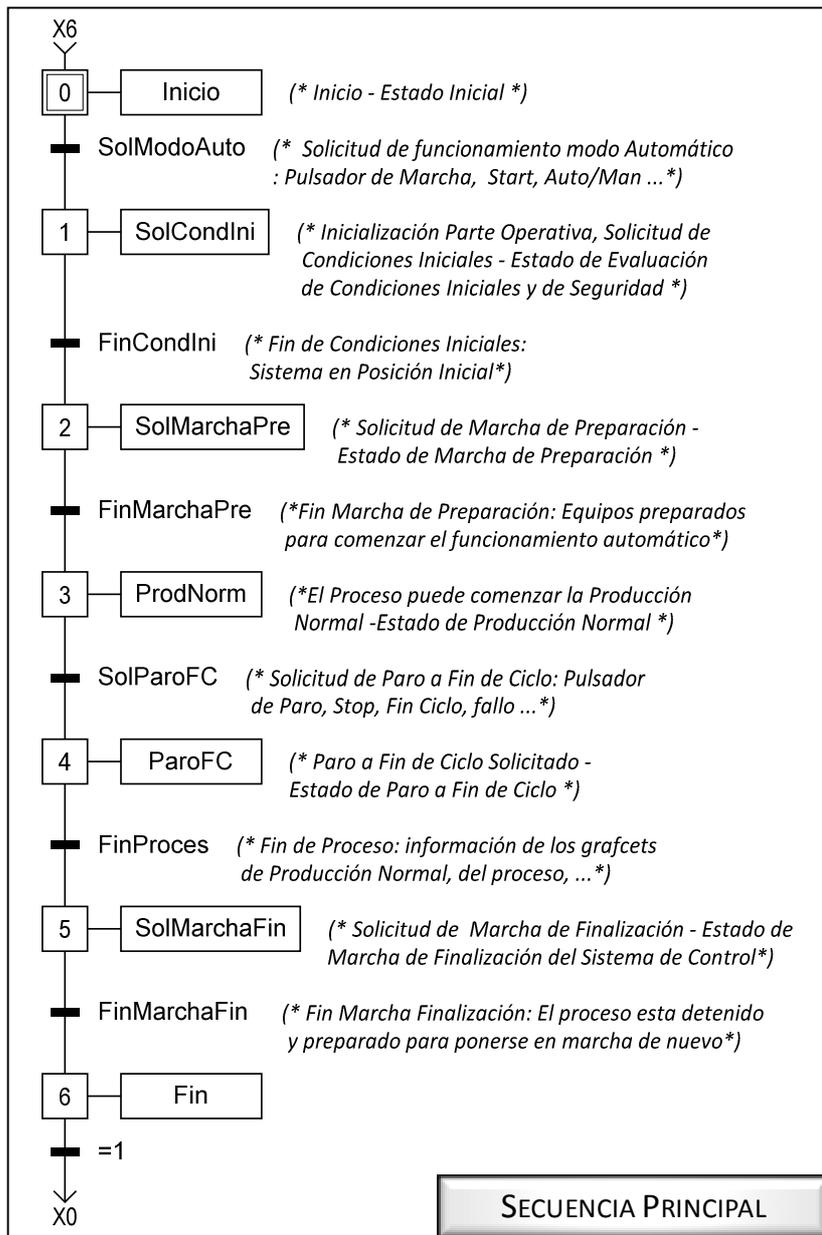


Figura 6 Plantilla Grafset Secuencia Principal

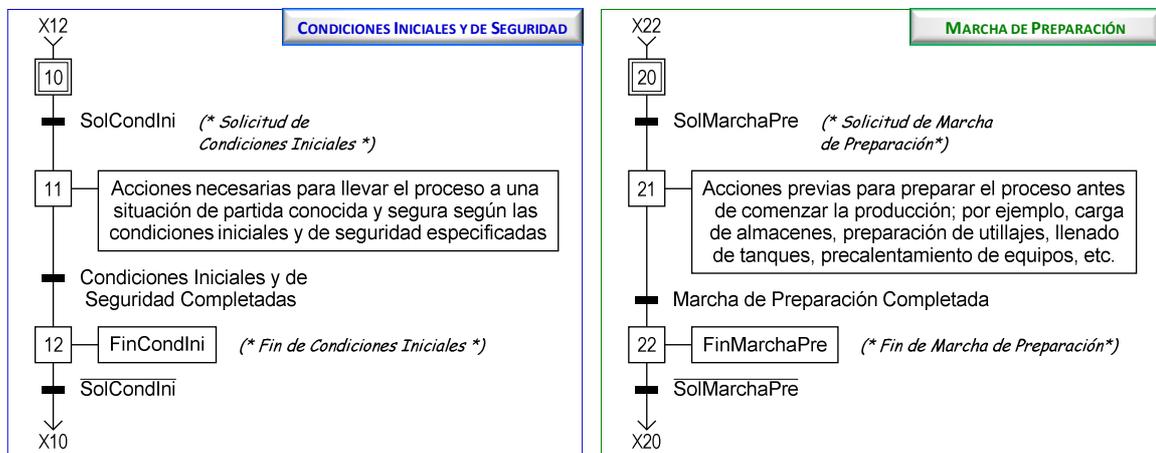


Figura 7 Plantillas Grafsets de Condiciones Iniciales y de Seguridad y Marcha de Preparación

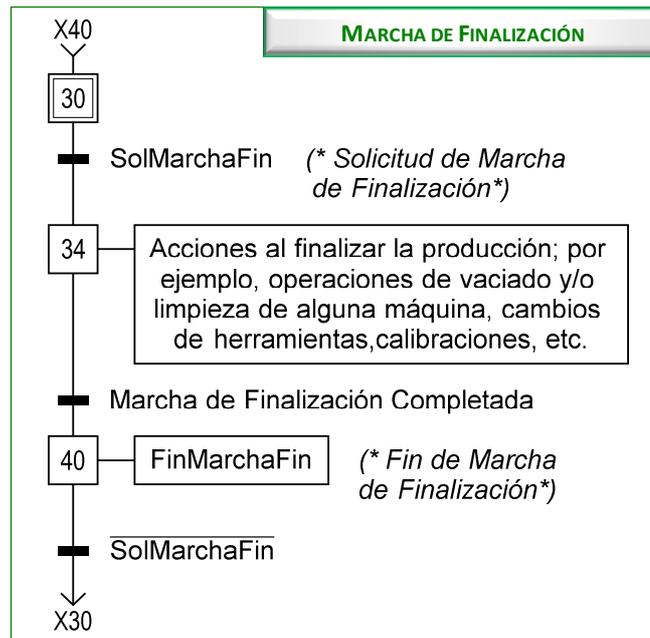


Figura 8 Plantilla Grafcet de Marcha de Finalización

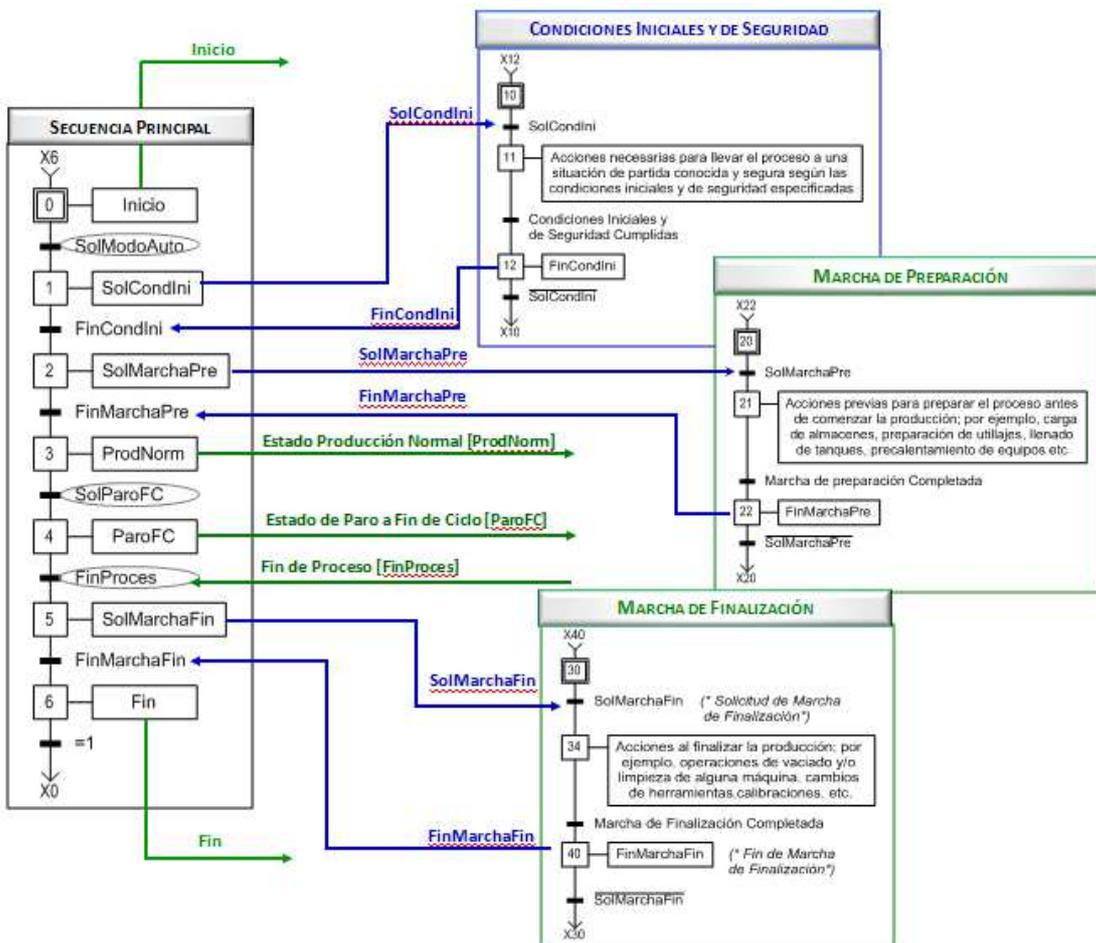


Figura 9 Relación entre los Grafcets de la Fase I

La relación entre los estados de GEMMA, los casos de uso y los Grafkets generados en la Fase I se recoge en la Figura 10.

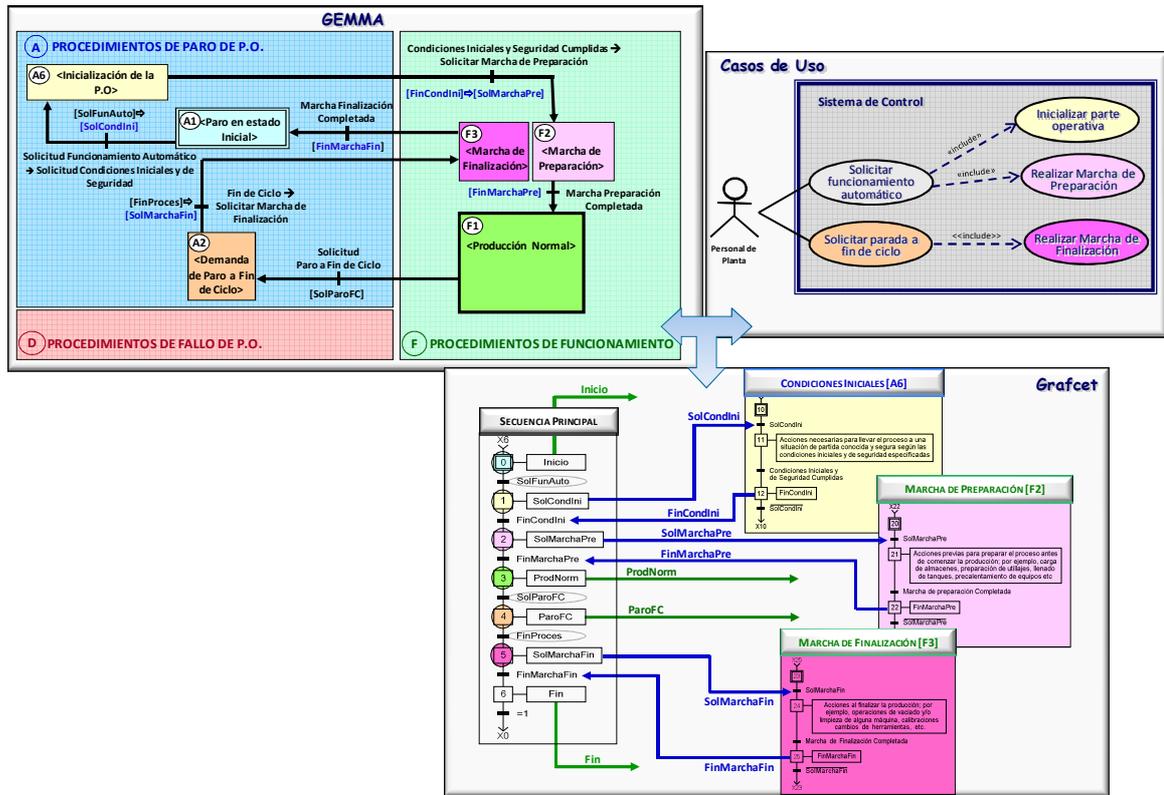


Figura 10 Relación entre estados de GEMMA, Casos de Uso y plantillas Grafkets de la Fase I

No obstante, si el proceso no tiene necesidad de verificar condiciones iniciales y de seguridad, o no requiere una marcha de preparación, o no requiere una marcha de finalización, se pueden suprimir los estados de GEMMA, los casos de uso y las etapas que activan los Grafkets adicionales, obteniendo diferentes soluciones para la Fase I (Figura 11 y Figura 12).

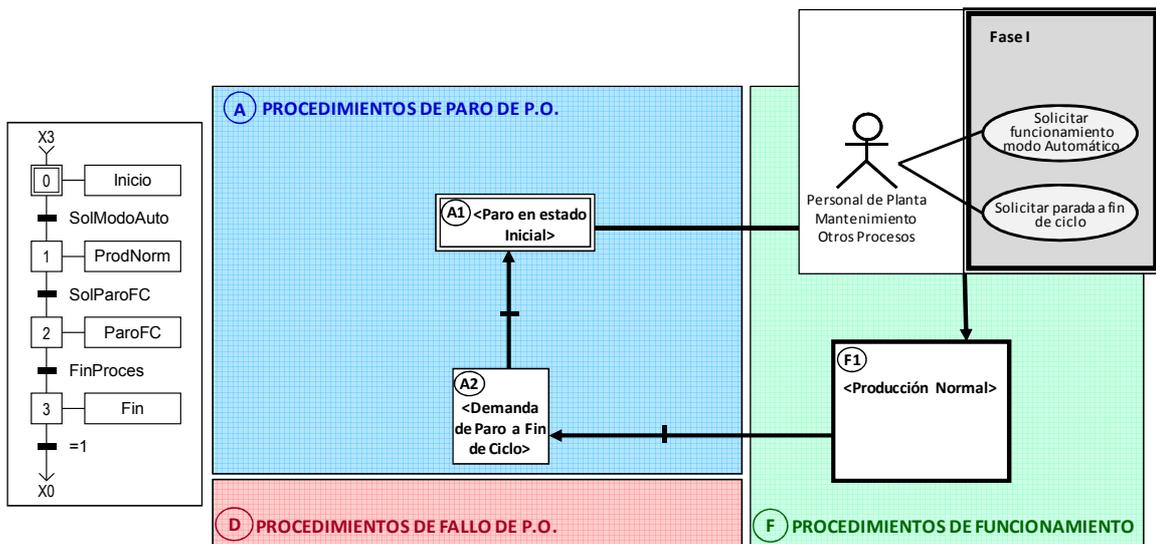


Figura 11 Posibles soluciones de la Fase I

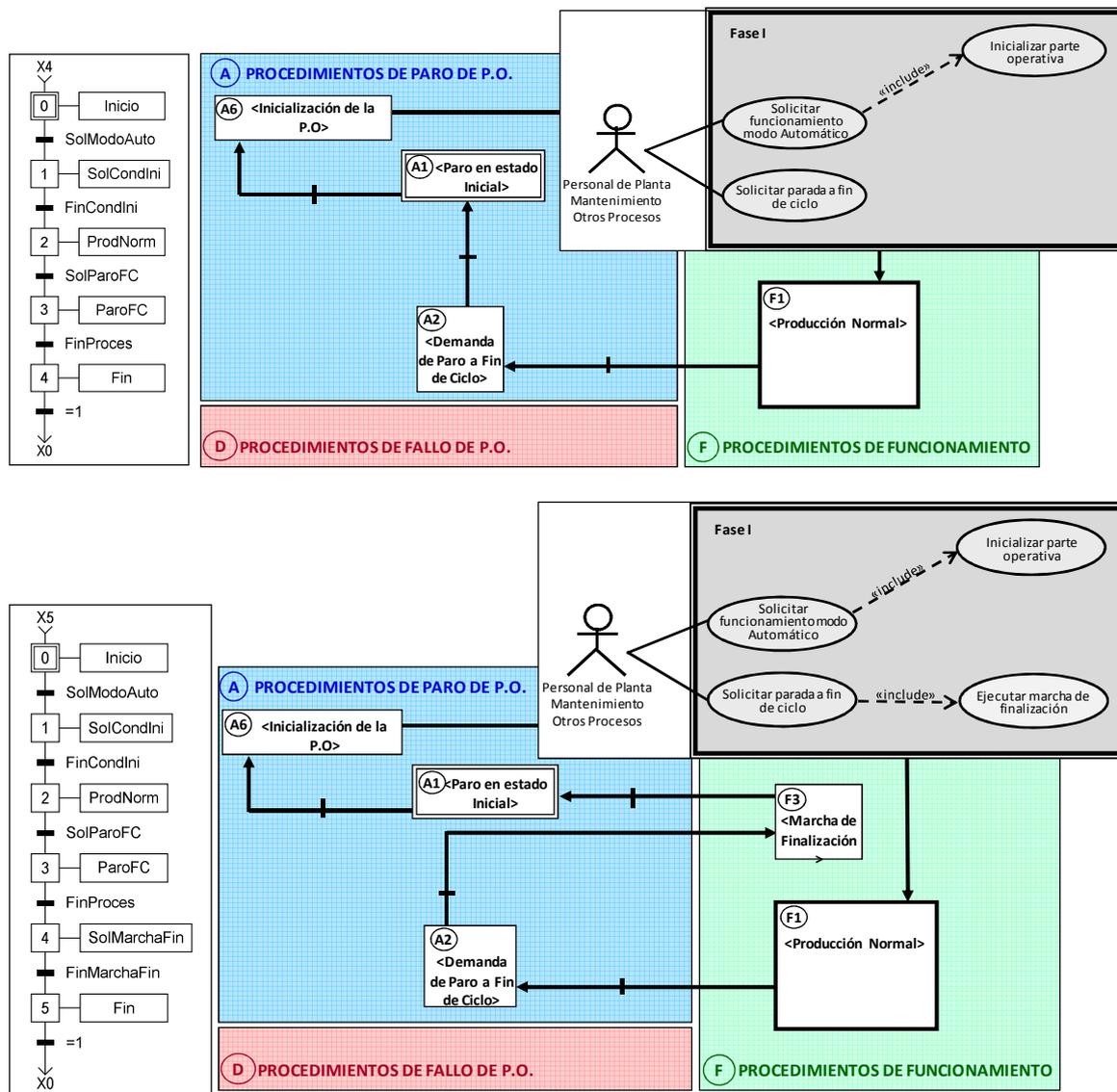


Figura 12 Posibles soluciones de la Fase I

4. FASE II: MODO MANUAL

Organización del arranque y parada del Modo Manual

En esta fase se organiza tanto el arranque como la parada del sistema para funcionar manualmente. Para ello, se analiza la necesidad de verificar individualmente ciertos movimientos o partes del proceso sin respetar el orden habitual del ciclo, normalmente bajo el control del personal de mantenimiento; por ejemplo, para realizar el reajuste o calibración de ciertos sensores y/o actuadores, para ejecutar ciertas operaciones de mantenimiento preventivo, correcciones por desgaste, para solventar fallos, etc.

En el caso de requerir este modo de funcionamiento será necesario identificar la forma de activar/desactivar este modo de funcionamiento, evaluar la prioridad del modo manual frente al modo automático, determinar los elementos de control disponibles para realizar las acciones del proceso de forma manual, y analizar la situación del proceso al finalizar el modo. Todos estos aspectos tienen gran influencia tanto en la elección de los controles a incluir en el sistema de supervisión/control, como en el diseño del panel de operación y de paneles auxiliares.

Para establecer el funcionamiento en modo manual del sistema se deben realizar los siguientes PASOS (Figura 13):

PASO 1 – SOLICITUD DE FUNCIONAMIENTO MODO MANUAL: Establecer la **forma de activar** este modo de funcionamiento; por ejemplo, mediante un conmutador automático/manual o un pulsador de modo manual, desde un sistema SCADA u otro proceso, al producirse alguna situación determinada en el proceso como fallo o emergencia, etc. En cualquier caso, será necesario identificar **desde que estados** puede activarse este modo de funcionamiento: parado en estado inicial y/o en estado de fallo y/o en estado de emergencia, o desde cualquier estado en el caso de manual prioritario.

PASO 2 – MANUAL PRIORITARIO – PARADA INMEDIATA: Si el modo manual es prioritario, su activación implica **detener el proceso de forma inmediata** con independencia del estado en el que se encuentre y realizar las acciones necesarias para llevar al sistema a una situación de parada segura, tanto desde el punto de vista de producción como de seguridad humana. Por tanto, será necesario:

PASO 2.1 - PARADA SEGURA: Identificar acciones previas a la desactivación del modo automático, analizando si hay algún accionamiento que deba quedar activado o ser activado tras la detención; por ejemplo, algún tipo de manipulador o accionador que sujete una pieza

o pueda estar manipulándola (electroimán, ventosa, cilindro, etc.), sistemas de refrigeración o calentamiento, elementos de contención, indicadores luminosos, acústicos, etc.

PASO 2.2 - DESACTIVACIÓN DEL PROCESO AUTOMÁTICO: Determinar los procedimientos que deben continuar activados al producirse el paso a manual y cuáles serán desactivados; por ejemplo, pueden quedar activados procesos de seguridad, de controles de niveles, temperaturas, etc.

PASO 3 – PROCEDIMIENTO MANUAL - CONTROLES: Identificar los **elementos de control disponibles** para realizar las acciones del proceso: un conjunto de pulsadores del panel de control, un conjunto de controles del sistema SCADA, o ambas posibilidades con un conmutador local/remoto que permita realizar la selección. En cualquier caso, será necesario evaluar cada una de las acciones para determinar si precisan medidas de seguridad; por ejemplo, limitar el recorrido de avance de un cilindro, comprobar que no existen obstáculos al bajar una puerta, etc.

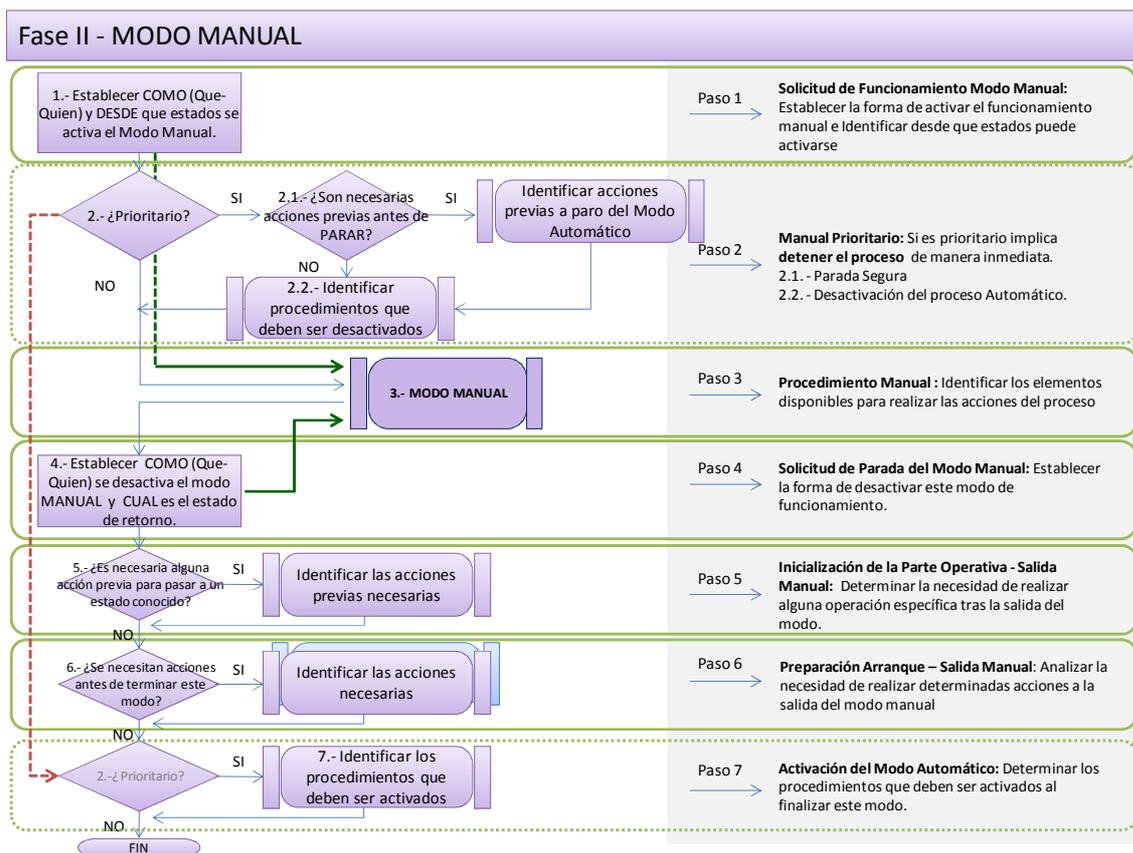


Figura 13 Pasos de la Fase II: Modo Manual

PASO 4 - SOLICITUD PARADA DEL FUNCIONAMIENTO MODO MANUAL: Establecer la forma de **desactivar este modo de funcionamiento**; por ejemplo, mediante un conmutador automático/manual,

desde un sistema SCADA u otro proceso, al solventarse un fallo, al solucionarse una emergencia, etc.

PASO 5 - INICIALIZACIÓN PARTE OPERATIVA - SALIDA DE MANUAL: Determinar la necesidad de realizar acciones específicas para asegurar el estado de ciertos elementos del proceso tras la salida del modo manual. Si dichas acciones no se contemplan en las condiciones iniciales, se puede o bien **enriquecer las Condiciones Iniciales y de Seguridad** (FaseI.Paso2) para que se consideren, o bien realizar dichas acciones antes de salir del modo manual (Pre-posicionamiento de la parte operativa).

PASO 6 – PREPARACIÓN DE ARRANQUE - SALIDA DE MANUAL: Analizar la necesidad de realizar determinadas acciones a la salida del modo manual; por ejemplo, operaciones de vaciado y/o limpieza de alguna máquina, calibración, etc. Determinar si es viable **adaptar la Marcha de Finalización** para contemplar esta situación (FaseI.Paso6).

PASO 7 - ACTIVACIÓN DEL MODO AUTOMÁTICO: Si el modo manual es prioritario, determinar los procedimientos que deben ser activados al finalizar el modo.

Estos siete pasos permiten identificar los distintos itinerarios en GEMMA para evolucionar al estado de **Marcha de Verificación en Desorden [F4]**. Cuando el modo manual sea prioritario, la solicitud de Funcionamiento Manual hará evolucionar al sistema al estado **Marcha de Verificación en Desorden [F4]** desde cualquier estado GEMMA (Figura 14), mientras que cuando el modo manual sea no prioritario, se evolucionará a dicho estado si la solicitud se realiza con el sistema en estado **Paro en estado inicial [A1]** (Figura 15), en estado **Diagnóstico y/o tratamiento de fallos [D2]** o en estado **Paro de emergencia [D1]** (Figura 16).

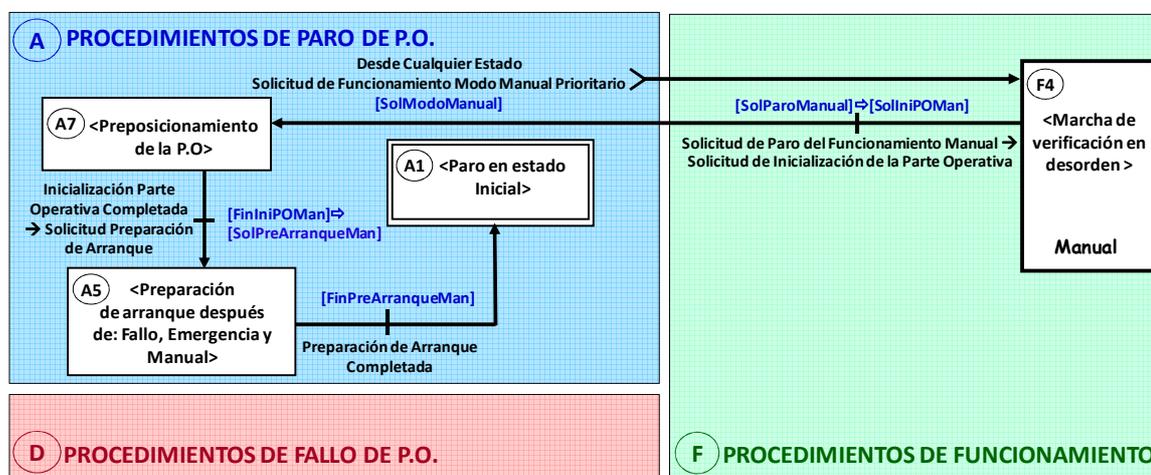


Figura 14 GEMMA correspondiente al modo Manual Prioritario

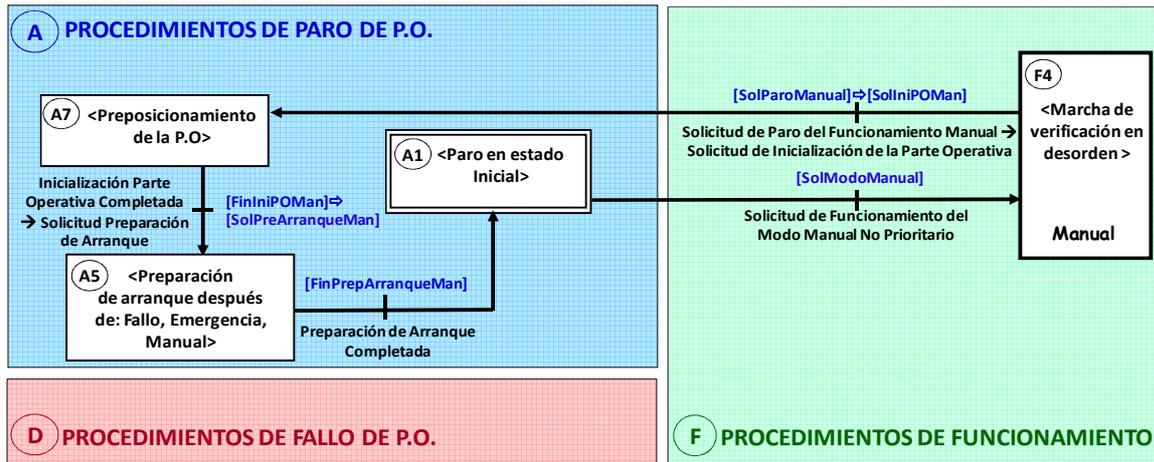


Figura 15 GEMMA correspondiente al modo Manual no Prioritario

En el caso de funcionamiento manual prioritario y en el caso de manual no prioritario activado desde el estado *Paro en estado inicial* [A1], con la desactivación del modo manual, el sistema pasará por el *Pre-posicionamiento de la Parte Operativa* [A7] donde se deberán verificar las condiciones iniciales y de seguridad del sistema considerando el funcionamiento manual. Además si el proceso lo precisa, se realizará la *Preparación de arranque* [A5], tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo *Paro en estado inicial* [A1].

Cuando la solicitud del funcionamiento manual se realiza desde el estado *Diagnóstico y/o tratamiento de fallos* [D2] o el estado *Paro de emergencia* [D1], con la desactivación del modo manual, se regresará a dichos estados.

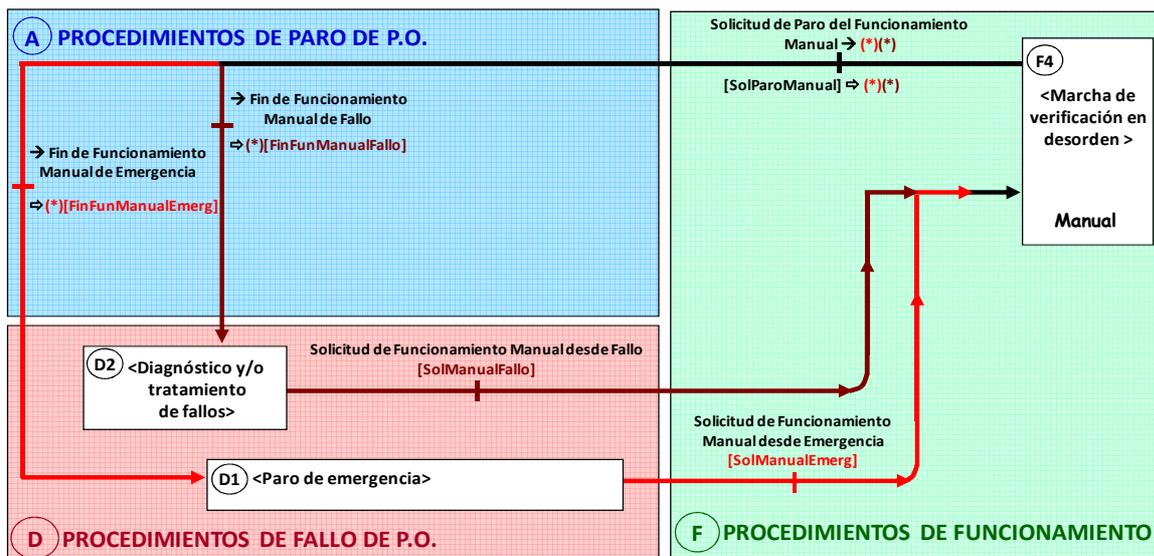


Figura 16 GEMMA correspondiente al modo Manual desde Emergencia o Fallo

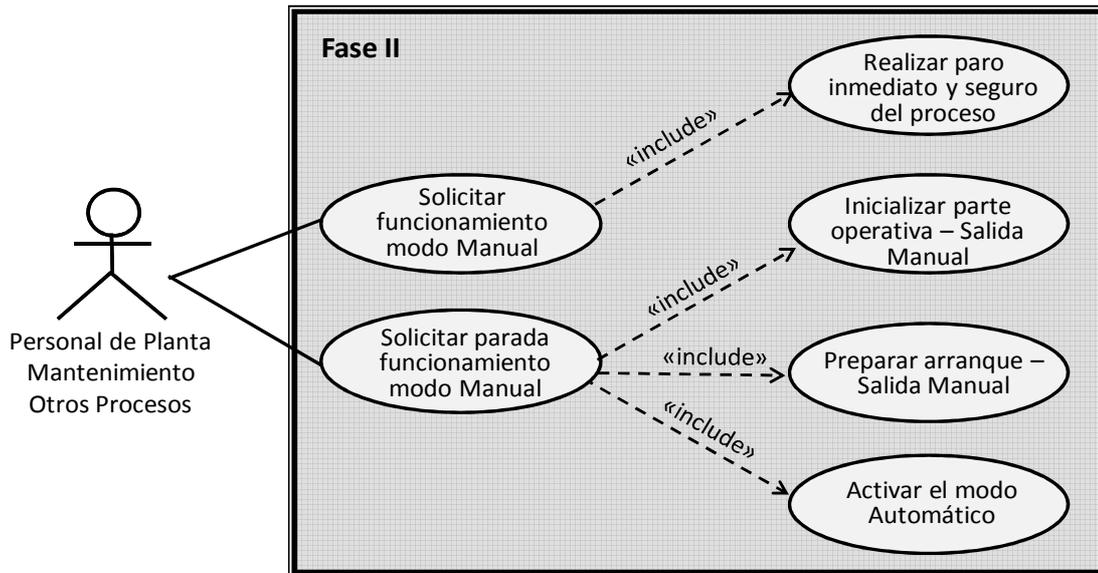


Figura 17 Diagrama de casos de uso del Modo Manual

Asimismo, los siete pasos permiten identificar los **casos de uso** que describen la funcionalidad del modo manual con los actores que intervienen en los mismos (Figura 17) y las pre-condiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso **“Solicitar funcionamiento modo Manual”** puede incluir el caso de uso **“Realizar paro inmediato y seguro del proceso”**, mientras que el caso de uso **“Solicitar parada funcionamiento modo Manual”** puede incluir **“Inicializar parte operativa - Salida Manual”**, **“Preparar arranque - Salida Manual”** y **“Activar el modo Automático”**.

Finalizado el análisis, el siguiente paso consiste en particularizar la plantilla Grafcet denominado **MODO MANUAL** (Figura 18). Este Grafcet será el encargado de dar paso a otros Grafcets denominados **PARO SEGURO MANUAL**, **PROCEDIMIENTO MANUAL**, **INICIALIZACIÓN PARTE OPERATIVA - SALIDA DE MANUAL** y **PREPARACIÓN DE ARRANQUE- SALIDA DE MANUAL** (Figura 19), si las características del sistema así lo requieren. La Figura 20 ilustra la relación entre los Grafcets comentados.

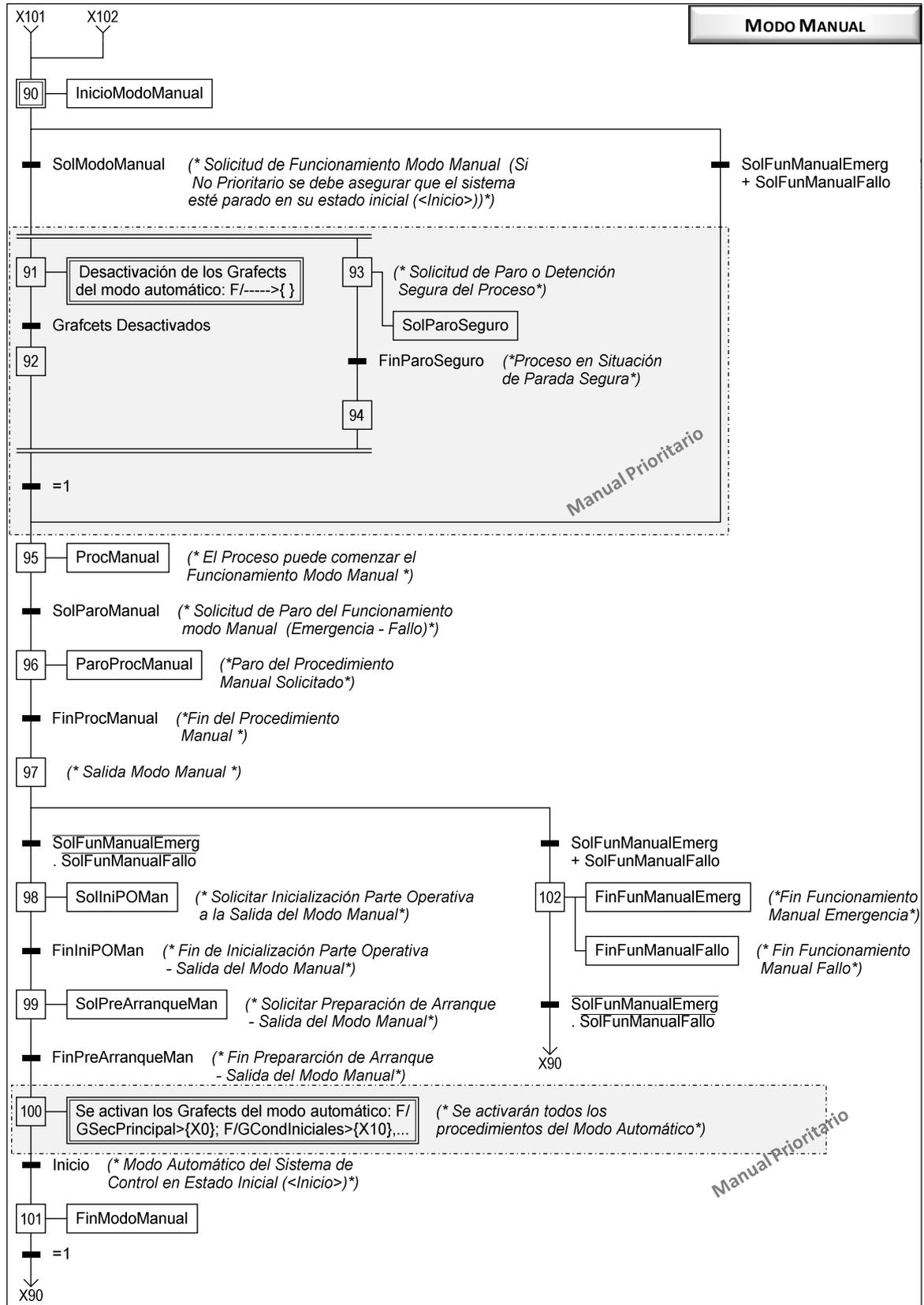


Figura 18 Plantilla Grafcet Modo Manual

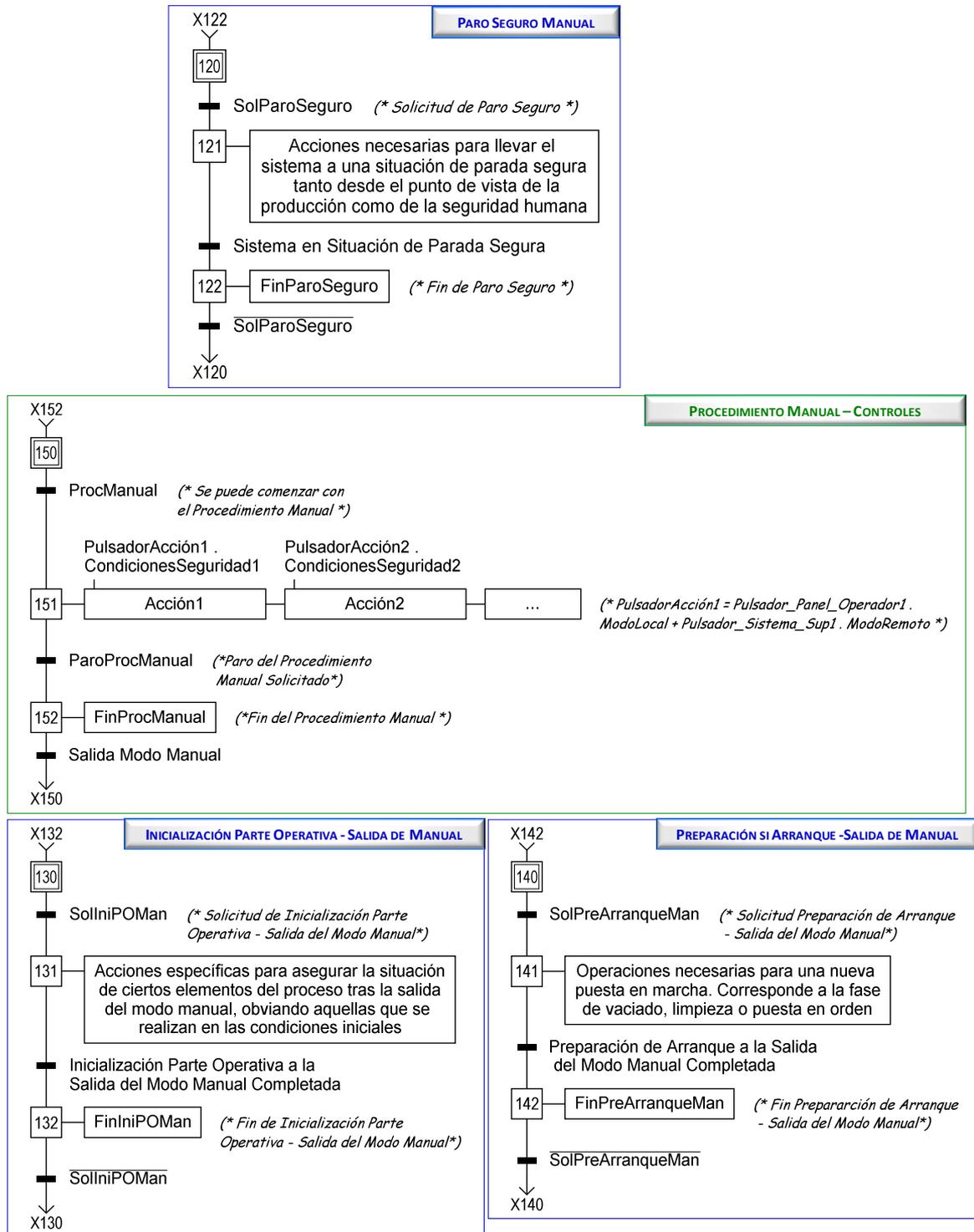


Figura 19 Plantillas Grafsets de Paro Seguro Manual, Procedimiento Manual, Inicialización Parte Operativa - Salida de Manual y Preparación de Arranque si Salida de Manual.

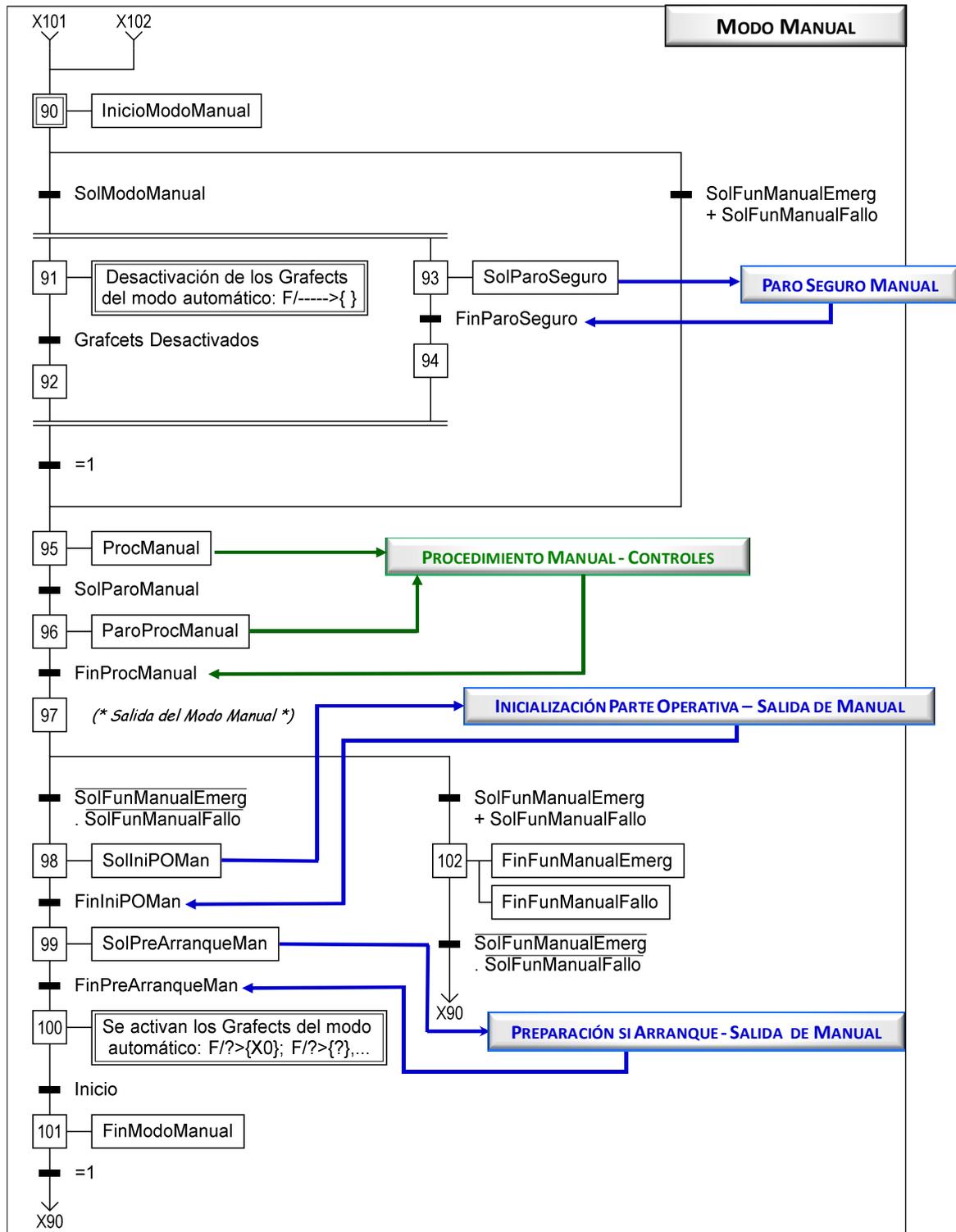


Figura 20 Relación entre los Grafets de la Fase II

Cuando el modo manual es prioritario frente al automático, el Grafcet **MODOS MANUAL** comienza con la parada del proceso de forma inmediata, realizando las acciones necesarias para llevarlo a una situación de parada segura con el Grafcet de **PARO SEGURO MANUAL** y la desactivación de los Grafets del Modo Automático. Tras la parada se pasará al **PROCEDIMIENTO MANUAL**.

Cuando el modo manual se activa desde el estado Inicial, Emergencia o Diagnóstico de Fallo se comienza directamente con el **PROCEDIMIENTO MANUAL**. Este procedimiento se basa en el uso de acciones condicionadas por elementos de control que serán los que las activen (por ejemplo, pulsadores del panel de operación, de un sistema de supervisión, etc.), y por medidas de seguridad para evitar daños a personas o en el sistema de producción (por ejemplo, finales de carrera, sensores de recorrido, etc.), tal y como se ilustra en la Figura 21.

No obstante, si el proceso no requiere alguno de estos procedimientos, se pueden suprimir los estados de GEMMA, los casos de uso y las etapas que activan los Grafkets adicionales, obteniendo diferentes soluciones para la Fase II (Figura 22). Por ejemplo, si el modo manual es activado desde el estado Inicial y a su salida no se requiere realizar ningún tipo de operación, el diseño de este modo puede reducirse a un sólo Grafket (Figura 23).

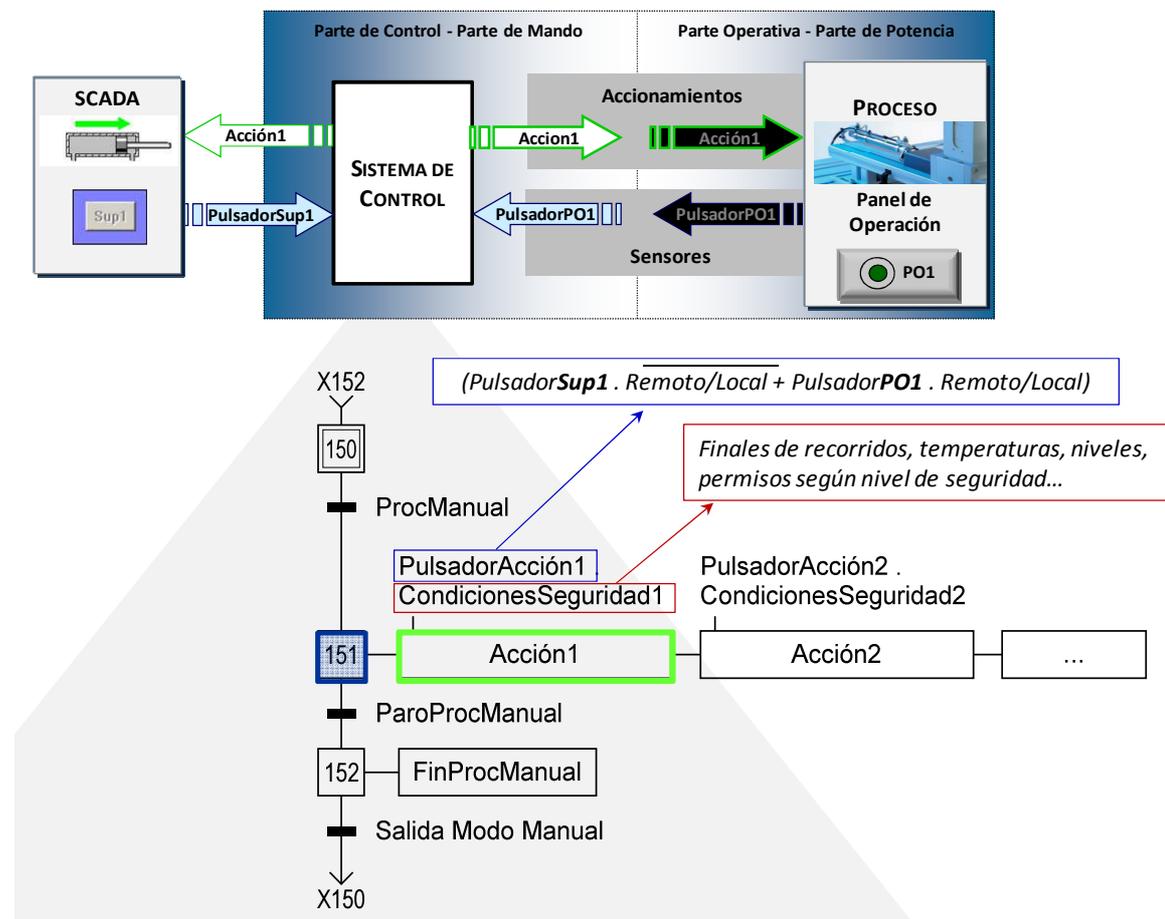


Figura 21 Procedimiento Manual: Acciones condicionadas para el funcionamiento manual

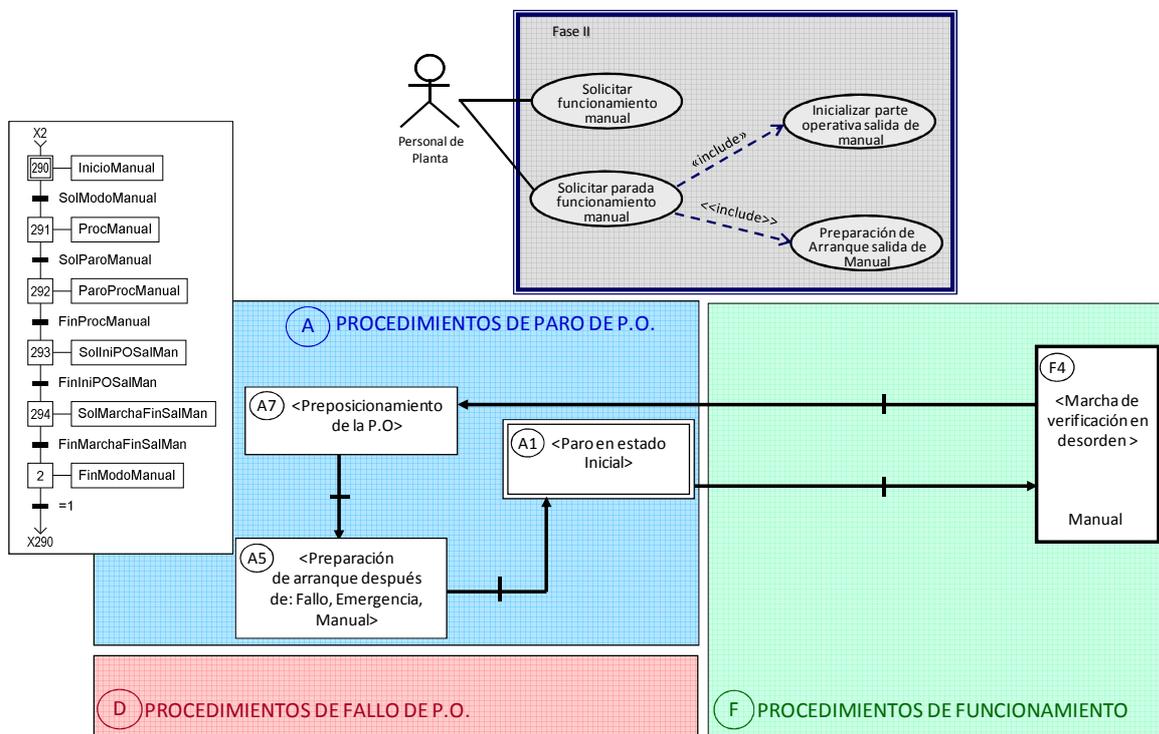
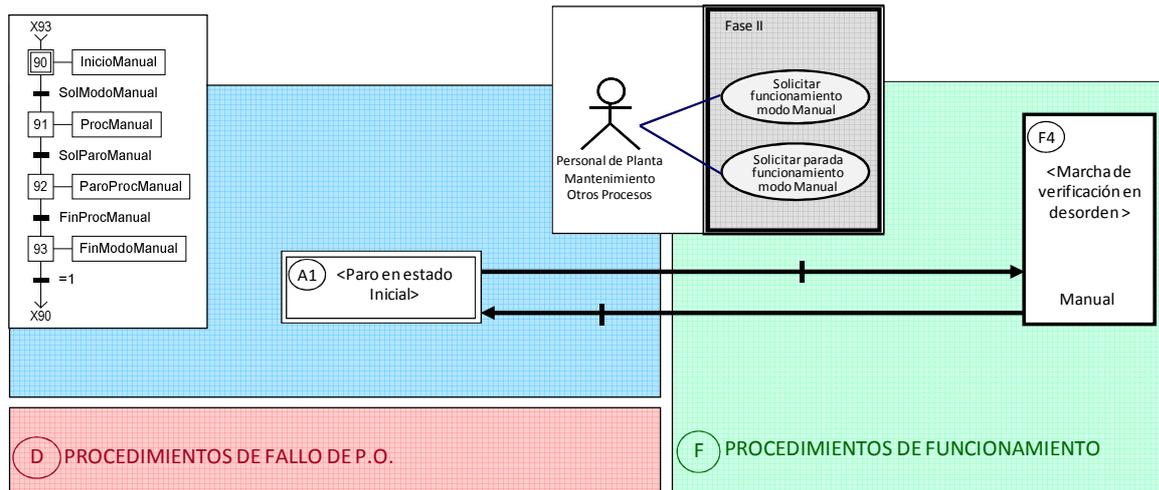


Figura 22 Posibles soluciones de la Fase II

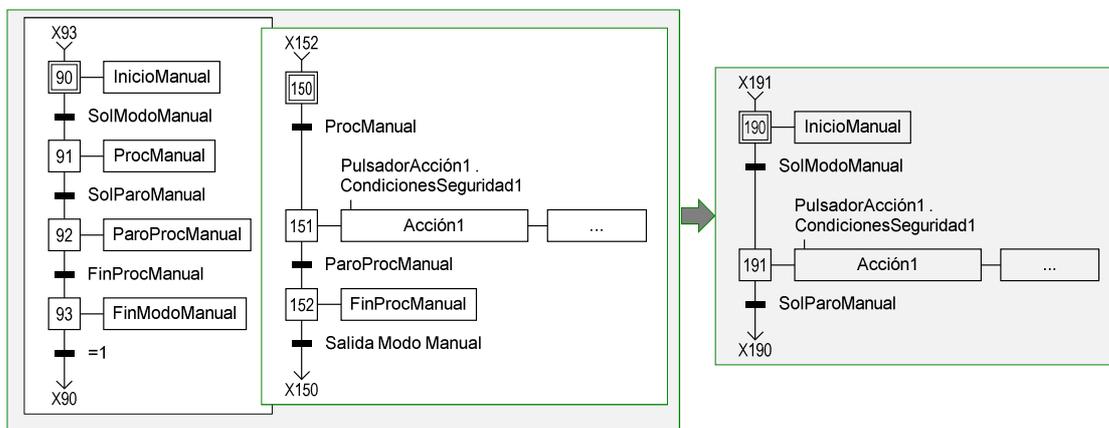


Figura 23 Simplificación de las plantillas para el caso más sencillo.

5. FASE III: MODOS DE PRUEBAS

Organización del arranque y parada de los modos de Pruebas (Marcha de Verificación en Orden).

En esta fase se analiza la necesidad de verificar paso a paso o de forma continua ciertos movimientos o partes del proceso, respetando el orden habitual del ciclo según el ritmo que marque el personal a cargo de dicha tarea. Por lo tanto, será necesario evaluar el tipo de funcionamiento y la forma de activar/desactivar dicho modo que afectará al diseño de los controles a incluir en el sistema de supervisión/control y/o al diseño del panel de operación y de paneles auxiliares.

Los tipos de funcionamiento que se contemplan son **paso a paso** para un avance ordenado fijado, por ejemplo, mediante la activación de un pulsador, o bien por **bloque funcional** para la puesta a punto de **una parte del proceso** (o varias), requiriendo seleccionar el bloque y activar su marcha.

Para establecer el funcionamiento de un **bloque funcional** se deben realizar los siguientes **PASOS** (Figura 24):

PASO 1 – SOLICITUD DE FUNCIONAMIENTO DE BLOQUE: Establecer la **forma de activar** este modo de funcionamiento; por ejemplo, con un conmutador para seleccionar el bloque con un pulsador de marcha, arranque desde otro proceso, etc. El sistema debe estar en estado Inicial. Si estuviese en otro estado, se deberá asegurar que no interfiera con el resto del proceso.

PASO 2 - INICIALIZACIÓN PARTE OPERATIVA – BLOQUE: Identificar las condiciones iniciales y de seguridad que debe cumplir la parte del proceso que se desea poner en marcha y **adaptar las Condiciones Iniciales y de Seguridad** (FaseI.Paso2) para que se consideren y se puedan solicitar, o bien realizar dichas acciones antes de comenzar.

PASO 3 – MARCHA DE PREPARACIÓN – BLOQUE: Analizar la necesidad de realizar determinadas tareas para preparar el bloque antes de comenzar su funcionamiento normal y **adaptar la Marcha de Preparación** (FaseI.Paso4) para que se consideren y se puedan solicitar, o bien realizar dichas tareas antes de comenzar.

PASO 4 – CONTROL MARCHA BLOQUE: Establecer los controles que permitirán el arranque del bloque; por ejemplo, con un pulsador.

PASO 5 - SOLICITUD PARADA DEL FUNCIONAMIENTO BLOQUE: Establecer la forma de **desactivar el modo de funcionamiento**; por ejemplo, con un pulsador de parada, al desactivar el selector del bloque, etc.

PASO 6 – FIN DE BLOQUE: Analizar **cuándo se da por finalizado el bloque** e identificar las señales que indican que se ha terminado; por ejemplo, cuando finalizan los procedimientos de producción que se están probando, al terminar algún tipo de materia prima, etc.

PASO 7 – MARCHA DE FINALIZACIÓN - BLOQUE: Analizar la necesidad de realizar una marcha de finalización de la parte del proceso puesta en marcha y **adaptar la Marcha de Finalización** (FaseI.Paso6) para contemplar esta situación, o bien realizar dichas acciones.

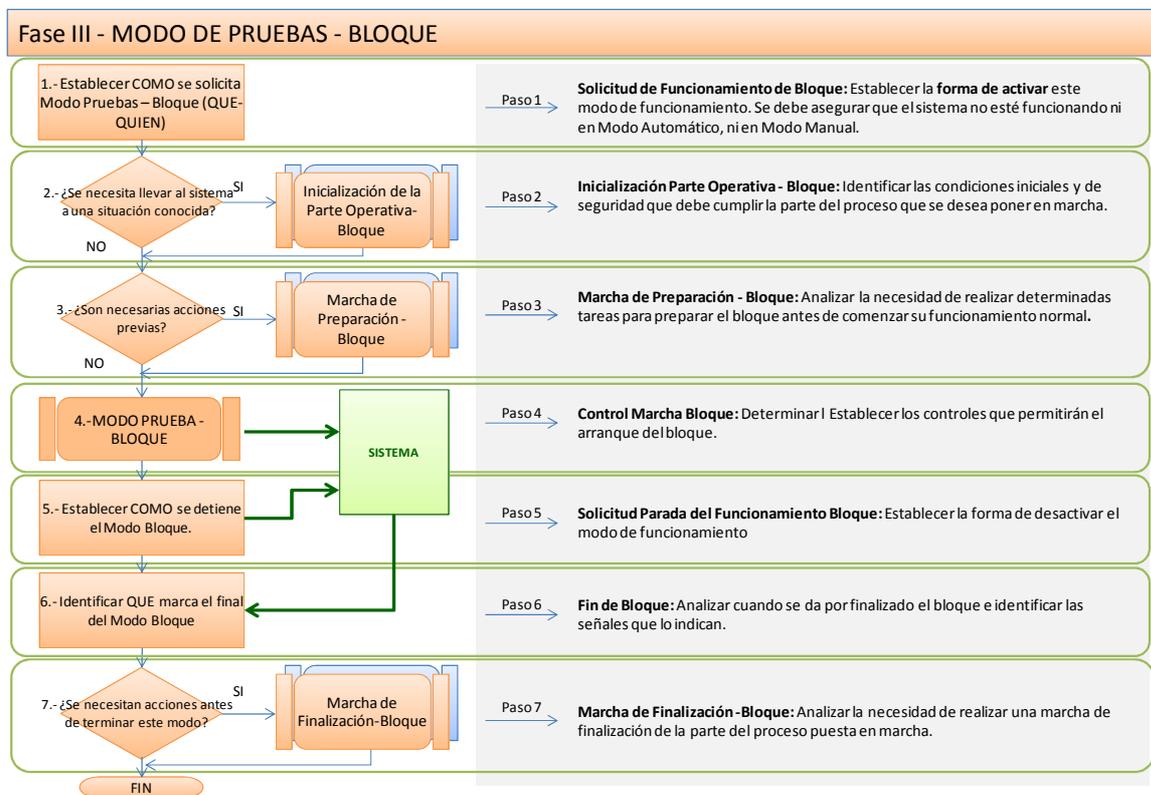


Figura 24 Pasos de la Fase III: Modos de Pruebas – Bloque

Para establecer el funcionamiento Paso a Paso se deben realizar los siguientes PASOS (Figura 25):

PASO 1 – SOLICITUD DE FUNCIONAMIENTO PASO A PASO: Establecer la **forma de activar** este modo de funcionamiento; por ejemplo, con un conmutador de paso.

PASO 2 – CONTROL AVANCE PASO A PASO: Establecer los controles que permitirán el avance de los pasos; por ejemplo, mediante un pulsador.

PASO 3 - SOLICITUD PARADA DEL FUNCIONAMIENTO PASO A PASO: Establecer la forma de **desactivar el modo de funcionamiento**; por ejemplo, con un pulsador de parada, al desactivar un selector, etc.

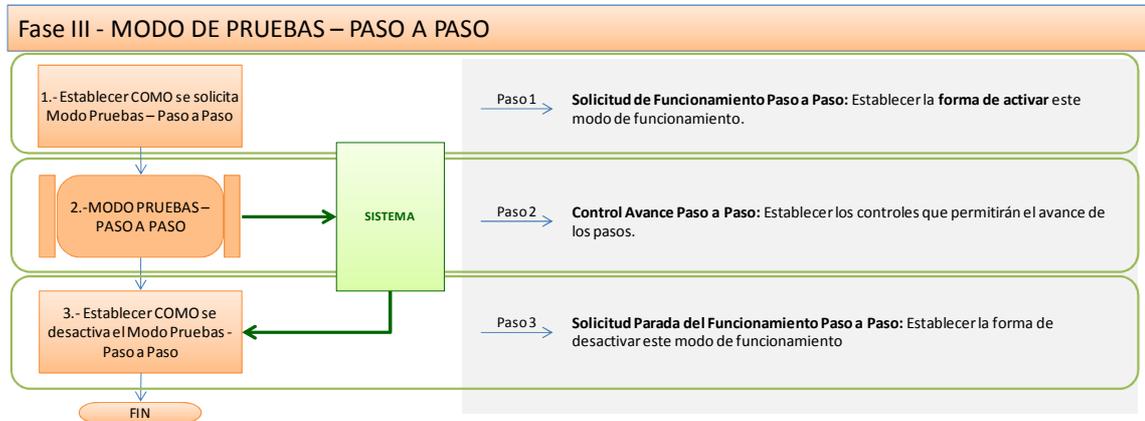


Figura 25 Pasos de la Fase III: Modos de Pruebas – Paso Paso

Estos pasos permiten identificar en GEMMA las transiciones al estado **Marcha de Verificación en Orden [F5]** desde el estado **Paro en estado inicial [A1]** o el estado **Producción Normal [F1]** (Figura 26).

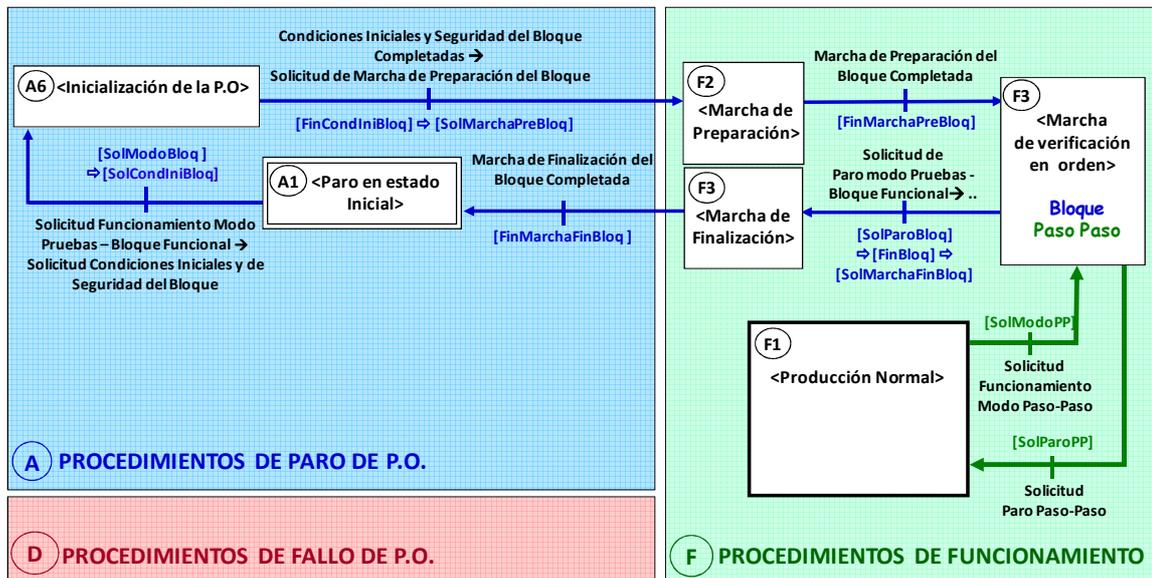


Figura 26 GEMMA correspondiente a los modos de pruebas: Bloque Funcional y Paso a Paso

Al solicitar el funcionamiento en modo de pruebas modalidad bloque funcional, partiendo del sistema en estado **Paro en Estado Inicial [A1]**, se pasará al estado **Iniciación de la Parte Operativa [A6]** donde se deberán verificar las condiciones iniciales y de seguridad que debe cumplir la parte del proceso que se desea poner en marcha. Si se requiere realizar determinadas tareas de preparación del bloque antes de comenzar su funcionamiento normal, se dispone del

estado **Marcha Preparación [F2]** como paso previo al estado **Marcha de Verificación en Orden [F3]**. Cuando se solicite la parada de este modo de funcionamiento, si se requiere, el sistema pasará al estado **Marcha de Finalización [F3]**, tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo **Paro en estado inicial [A1]**.

Al solicitar el funcionamiento en modo de pruebas modalidad paso a paso, partiendo del sistema en estado **Producción Normal [F1]**, se pasará al estado **Marcha de Verificación en Orden [F3]**. Cuando se solicite la parada de este modo de funcionamiento, el sistema seguirá en el estado de **Producción Normal [F1]**.

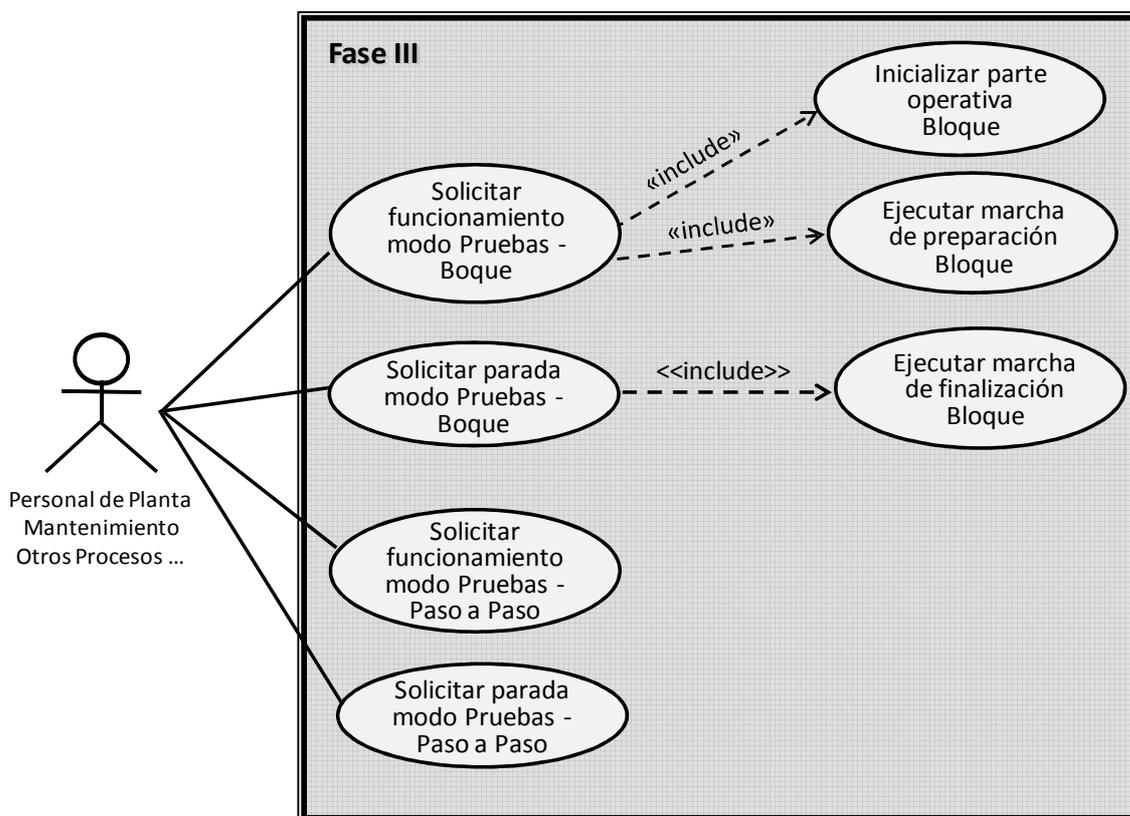


Figura 27 Diagrama de casos de uso de Modos de Pruebas

Asimismo, estos pasos permiten identificar los **casos de uso** que describen la funcionalidad de los modos de pruebas con los actores que intervienen en los mismos (Figura 27), y las precondiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. Para la modalidad bloque funcional, el caso de uso **“Solicitar funcionamiento modo Pruebas – Bloque”** puede incluir el caso de uso **“Inicializar parte operativa Bloque”** y/o **“Ejecutar marcha de preparación Bloque”**, mientras que el caso de uso **“Solicitar parada modo Pruebas - Bloque”** puede incluir **“Ejecutar marcha de finalización Bloque”**. Para la modalidad paso a paso, se identifican los casos de uso **“Solicitar funcionamiento modo Pruebas - Paso a Paso”** y **“Solicitar parada modo Pruebas - Paso a Paso”**.

Finalizado el análisis, el siguiente paso consiste en particularizar las plantillas de Grafkets denominadas **BLOQUE FUNCIONAL** (Figura 28) y **PASO A PASO** (Figura 29).

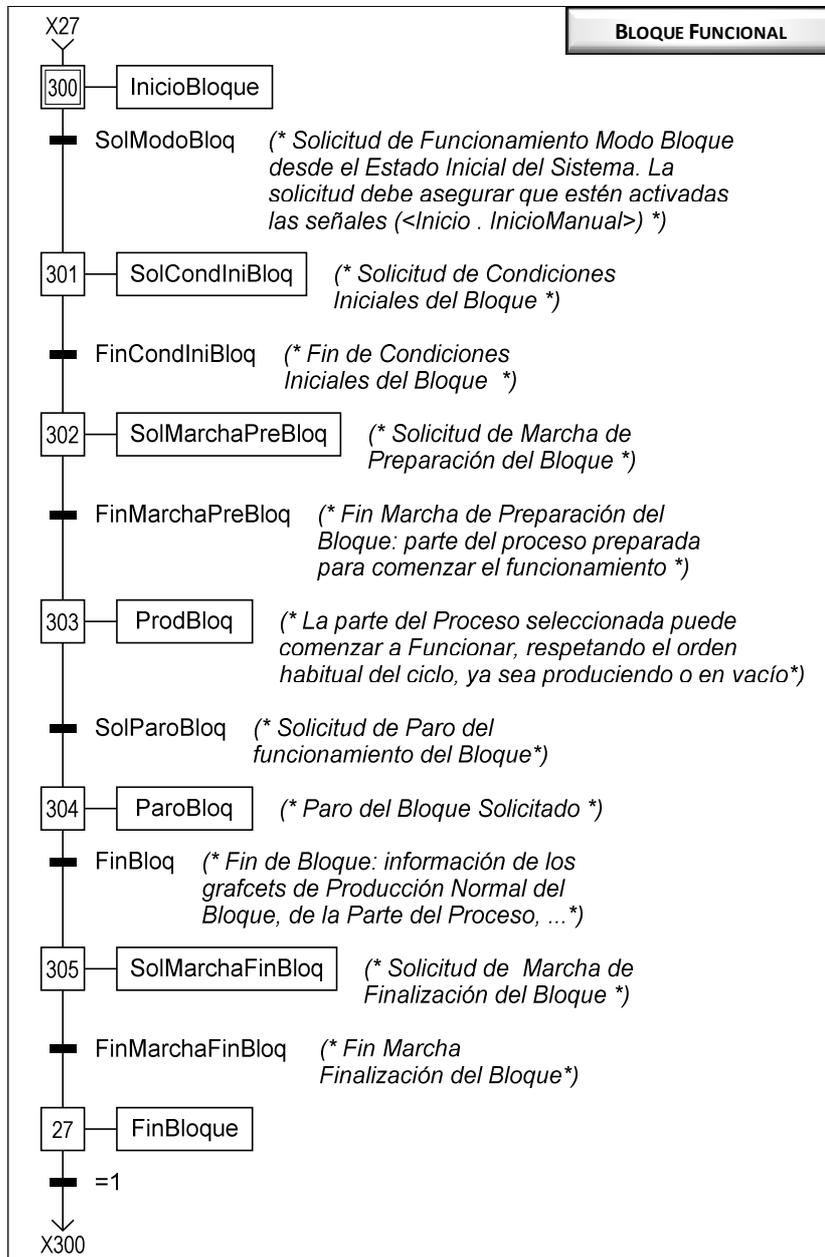


Figura 28 Plantilla Grafket Bloque Funcional

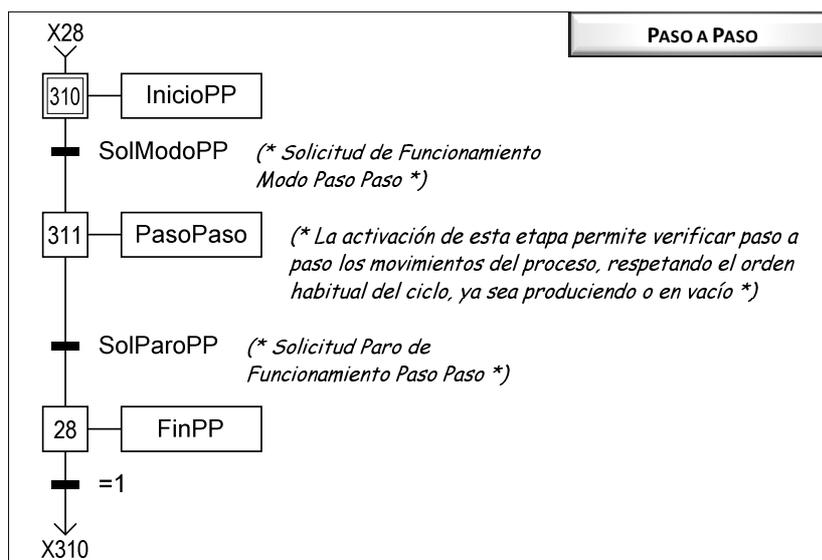


Figura 29 Plantilla Grafcet Paso a Paso.

No obstante, los Grafcets de Producción Normal deben disponer de las señales necesarias para garantizar el funcionamiento de estos modos de pruebas. Así, cuando la modalidad es bloque funcional, se utiliza la señal **ProdBloque** en los Grafcets de Producción Normal correspondientes para controlar el avance de la ejecución del proceso, añadiendo la señal correspondiente junto con el pulsador en la condición de la transición de entrada al bloque:

$\overline{\text{Condición}} \cdot \text{ProdBloq} +$
 $\text{Condición} \cdot (\text{ProdBloq} \cdot \uparrow \text{PulsadorBloque})$

Cuando la modalidad es Paso a Paso, se usará la señal **PasoPaso** en los Grafcets de Producción Normal para controlar el avance de la ejecución del proceso, añadiendo dicha señal junto con el pulsador que marca el ritmo de ejecución en las condiciones de las transiciones:

$\overline{\text{Condición}} \cdot \text{PasoPaso} +$
 $\text{Condición} \cdot (\text{PasoPaso} \cdot \uparrow \text{PulsadorBloque})$

6. FASE IV: FALLOS

Gestión de fallos del proceso

En esta fase se identifican, analizan y evalúan los fallos que pueden producirse en el proceso, identificando dos tipos: aquéllos que permiten que el sistema siga en producción (incluso aceptando degradación de la calidad del producto) y aquéllos que forzosamente harán evolucionar el sistema hacia una parada controlada. Aunque cada posible fallo se analizará de forma independiente, se podrán agrupar aquellas situaciones que requieran tratamientos similares. Para cada situación de fallo se deben realizar los siguientes **PASOS** (Figura 30):

PASO 1 – DETECCIÓN DE FALLO: Identificar la forma de **detectar la situación de fallo**; por ejemplo, con información proveniente del proceso productivo de sensores de detección de estados de error, situaciones controladas por temporizadores que marcan el tiempo límite para la realización de ciertas tareas, contadores de errores, etc.

PASO 2 – AVISO FALLO: Definir el procedimiento de **aviso del fallo**, identificar el modo de señalarlo (por ejemplo, mediante señales luminosas en los paneles de operación, mensajes, etc.) y determinar la forma de solicitar la parada del aviso.

PASO 3 – DIAGNÓSTICO DE FALLO: Realizar el **diagnóstico del fallo** para establecer si el fallo se puede solucionar. Si el fallo no se puede solucionar, será necesario evaluar si se solicita un paro a fin de ciclo, si se continúa la producción con la zona de fallo anulada o si se activa la emergencia para detener el proceso.

PASO 4 – TRATAMIENTO FALLO SOLUCIONABLE: Establecer las **acciones para preparar el proceso** en el área afectada; por ejemplo, detener el proceso en una zona para facilitar su reparación, activar algún accionamiento para liberar sujeciones, mover algún dispositivo para facilitar el acceso, realizar un paro en caliente, etc. Asimismo, identificar las **acciones a realizar para solventar el fallo**; por ejemplo, pasando al modo manual, realizando un tratamiento específico, etc.

Cuando se precise un paro en caliente que provoca la detención inmediata del proceso y la reanudación en el punto en el que se detuvo una vez desactivado, será necesario:

1. Establecer la forma de activar el paro en caliente (por ejemplo, mediante un pulsador de paro en caliente) e identificar en qué estado debe estar el sistema para permitir su activación.

2. Analizar el proceso para identificar aquellas acciones que no pueden ser detenidas o que pueden originar un degradación del proceso superado un tiempo (por ejemplo, un horno que debe mantener una temperatura determinada, sistemas de seguridad, ...).
3. Establecer la forma de desactivar el paro en caliente.

En el caso de un paso a funcionamiento manual para solucionar el fallo, se deberá considerar la forma de desactivar este modo de funcionamiento e incluirlo en la **Solicitud Parada del Funcionamiento Modo Manual** (FaseII.Paso4).

PASO 5 – TRATAMIENTO FALLO NO SOLUCIONABLE - PARO FIN CICLO: Analizar si se debe realizar alguna **acción previa a la solicitud del paro a fin de ciclo**; por ejemplo, retirada de alguna pieza en curso, finalización de algún proceso previo, etc. La solicitud se deberá incluir en la **Solicitud de Paro a Fin de Ciclo** (FaseI.Paso4).

PASO 6 – TRATAMIENTO FALLO NO SOLUCIONABLE - EMERGENCIA: Analizar si se debe realizar alguna **acción antes de la activación de la Emergencia**. La solicitud se deberá incluir en la **Solicitud Parada de Emergencia**.

PASO 7 – SEGUIR EN PRODUCCIÓN CON FALLO: Cuando se trata de un fallo no solucionable y se continúa la producción con la zona de fallo anulada, se deben realizar los siguientes pasos:

PASO 7.1 – ACEPTAR PRODUCCIÓN CON FALLO: Evaluar la necesidad de **aceptar el modo de funcionamiento** producción con fallo, dado que puede suponer una degradación de la calidad o pérdida total del producto. En su caso, identificar los **controles** para realizar dicha validación.

PASO 7.2 – MARCHA DE PREPARACIÓN PRODUCCIÓN CON FALLO: Evaluar si es necesario realizar alguna **acción previa antes de comenzar** con este modo de funcionamiento; por ejemplo, detener alguna parte del proceso, modificar la ruta del sistema de transporte, aprovisionar algún almacén, etc. Además, se deben **identificar las señales** necesarias para comunicar la anulación de parte del proceso a Producción Normal.

PASO 7.3 – MARCHA SISTEMA AUXILIAR POR FALLO: En aquellos casos que sea necesario, diseñar y establecer cómo poner **en marcha un nuevo proceso auxiliar**; por ejemplo una persona realiza la operación manualmente y dispone de controles para indicar el fin de la operación al proceso, un sistema alternativo, etc.

PASO 7.4 – SOLICITUD PARADA DE PRODUCCIÓN CON FALLO: Determinar la forma de parar este modo de funcionamiento una vez solventada la situación de fallo.

PASO 8 – PREPARACIÓN DE ARRANQUE - SALIDA DE FALLO: Analizar la necesidad de realizar determinadas acciones a la salida del fallo para preparar el proceso y continuar con la producción normal.

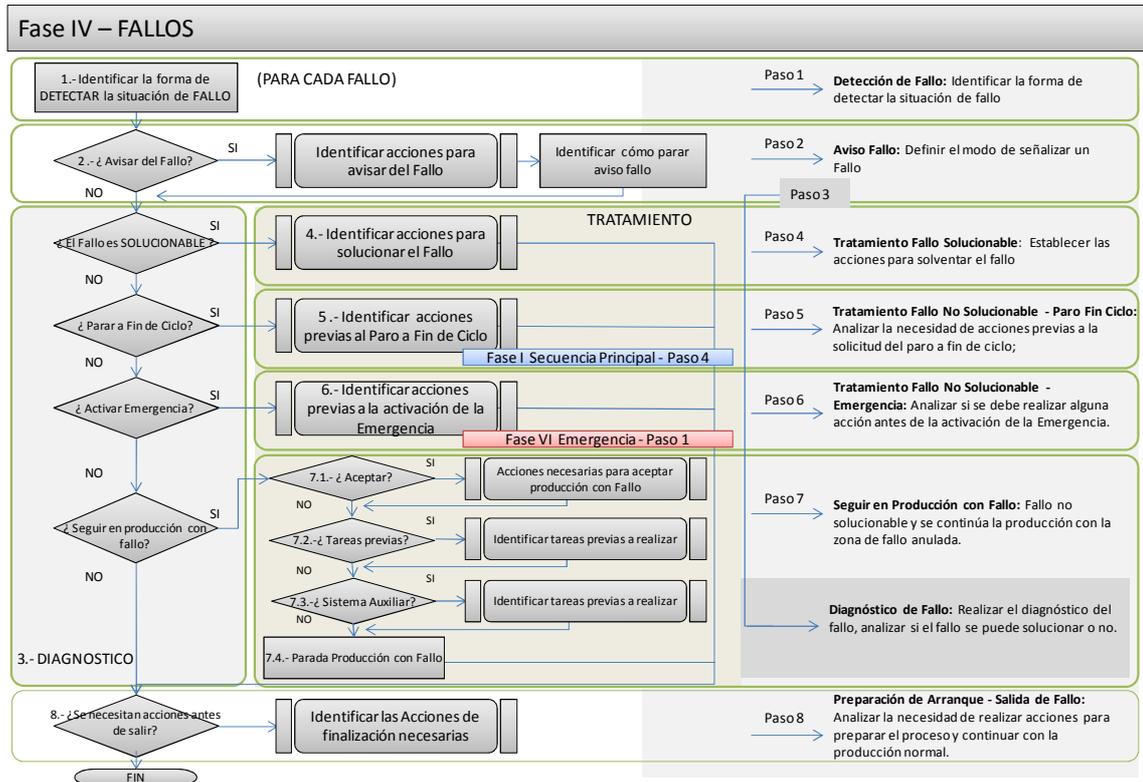


Figura 30 Pasos de la Fase IV: Fallos

Estos ocho pasos permiten identificar los itinerarios en GEMMA que pueden requerir las distintas situaciones de fallo del sistema (Figura 31). Partiendo del sistema en estado **Producción Normal [F1]** o **Paro en Estado Intermedio [A4]**, al detectarse una situación de fallo, se pasará al estado **Diagnóstico y/o Tratamiento del Fallo [D2]** para realizar un diagnóstico de fallo y su tratamiento. En función del diagnóstico, el sistema pasará al estado de **Demanda de Paro a Fin de Ciclo [A2]**, **Seguir en Producción con Fallo [D3]** o **Paro de Emergencia [D1]**. Aquellos fallos del sistema que requieran preparación del proceso a la salida del fallo disponen del estado **Preparación de Arranque después de Fallo [A5]** como paso previo al estado **Producción Normal [F1]**.

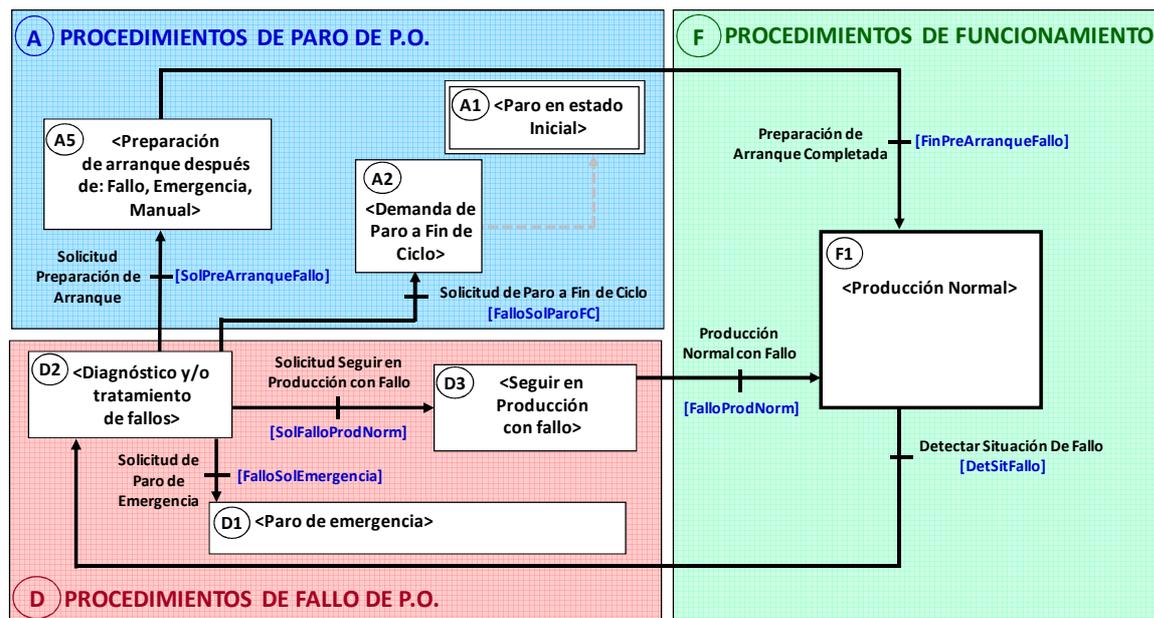


Figura 31 GEMMA correspondiente al Tratamiento de Fallos.

Asimismo, estos pasos permiten identificar los **casos de uso** que describen la funcionalidad para acometer las situaciones de fallo con los actores que intervienen en los mismos (Figura 32), y las pre-condiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso **“Identificar Fallo”** puede incluir el caso de uso **“Avisar Fallo”**, **“Diagnosticar y tratar Fallo”** y **“Preparar arranque – Salida de Fallo”**. Además, **“Diagnosticar y tratar Fallo”** va a incluir **“Tratar Fallo solucionable”**, **“Tratar Fallo no solucionable – Paro fin de ciclo”**, **“Tratar Fallo no solucionable – Emergencia”** o **“Seguir en producción con Fallo”**, dependiendo del fallo que se haya producido. El caso de uso **“Seguir en producción con Fallo”** puede incluir **“Aceptar producción con Fallo”**, **“Ejecutar marcha de preparación de producción con Fallo”**, **“Arrancar sistema auxiliar por Fallo”** y **“Solicitar parada producción con Fallo”**.

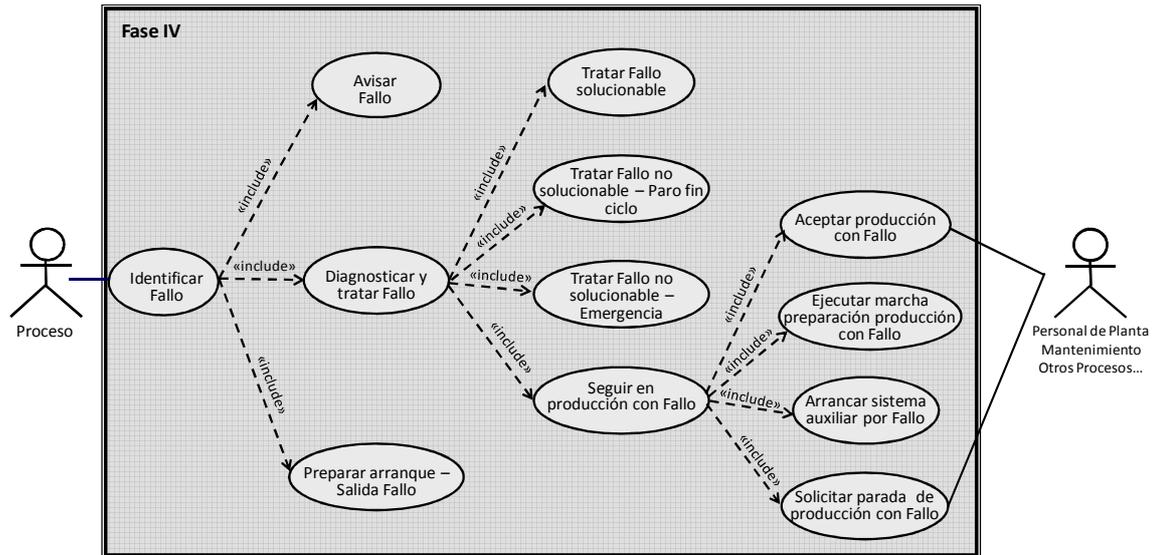


Figura 32 Diagrama de casos de uso de Fallo

Finalizado el análisis, el siguiente paso consiste en particularizar la plantilla Grafcet denominada **FALLO** (Figura 34). Este Grafcet será el encargado de dar paso a otros Grafcets denominados **AVISO FALLO**, **FALLO NO SOLUCIONABLE – PARO A FIN DE CICLO**, **FALLO NO SOLUCIONABLE – EMERGENCIA**, **PREPARACIÓN ARRANQUE - SALIDA DE FALLO**, **FALLO SOLUCIONABLE**, **PARO CALIENTE** y **SEGUIR EN PRODUCCIÓN CON FALLO** (Figura 35, Figura 33, Figura 36, Figura 37) , si las características del sistema así lo requieren. La Figura 38 ilustra la relación entre los Grafcets comentados.

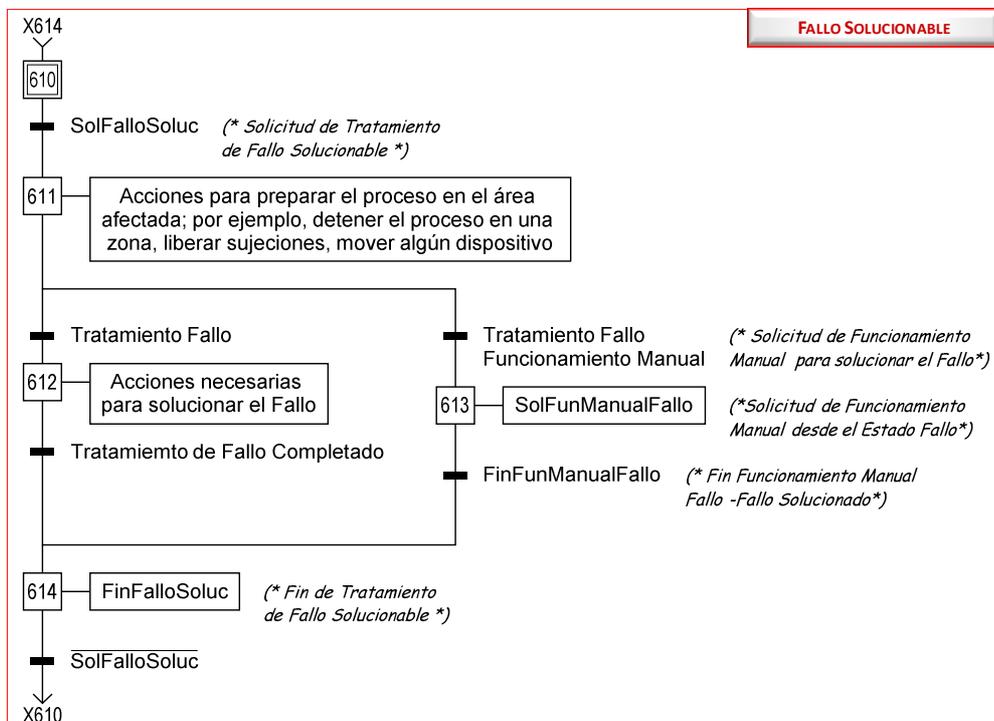


Figura 33 Plantilla Grafcet de Fallo Solucionable

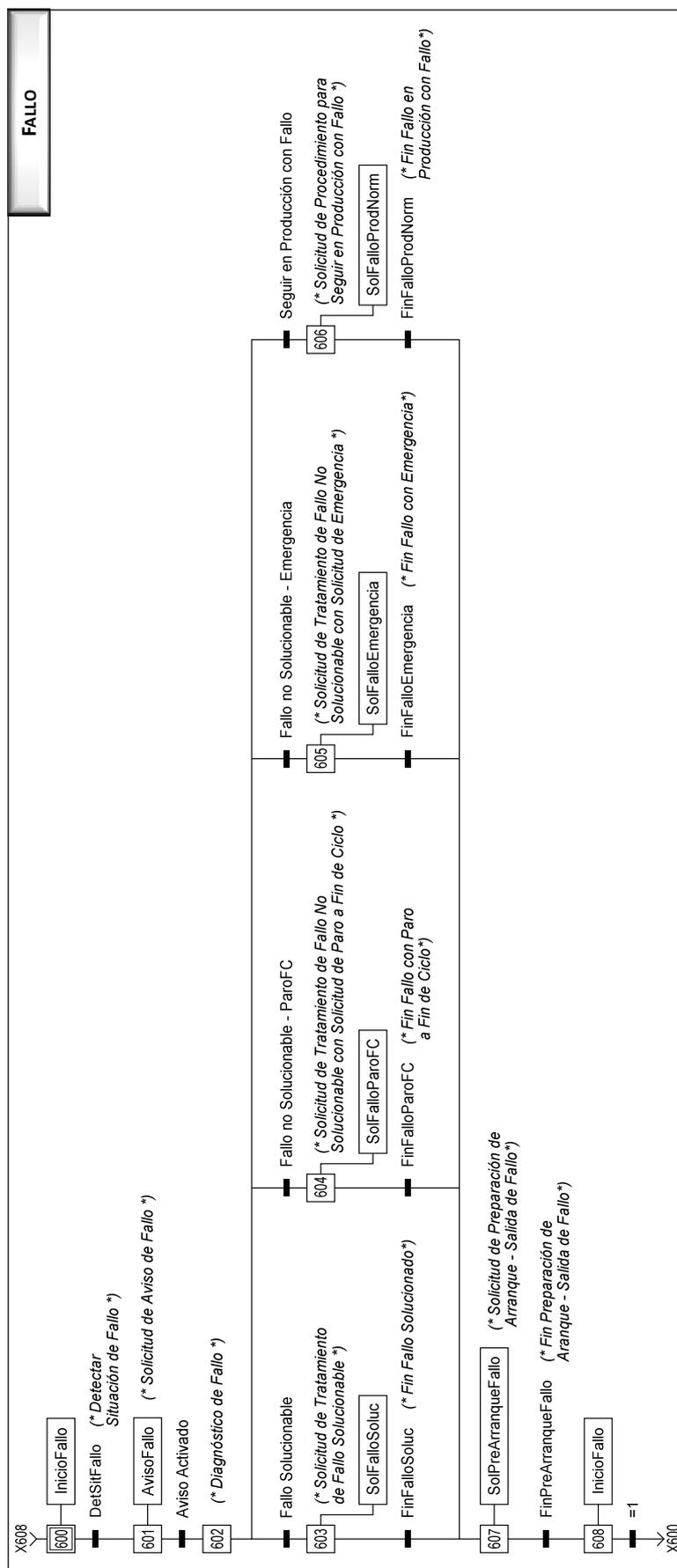


Figura 34 Plantilla Grafset para Fallos

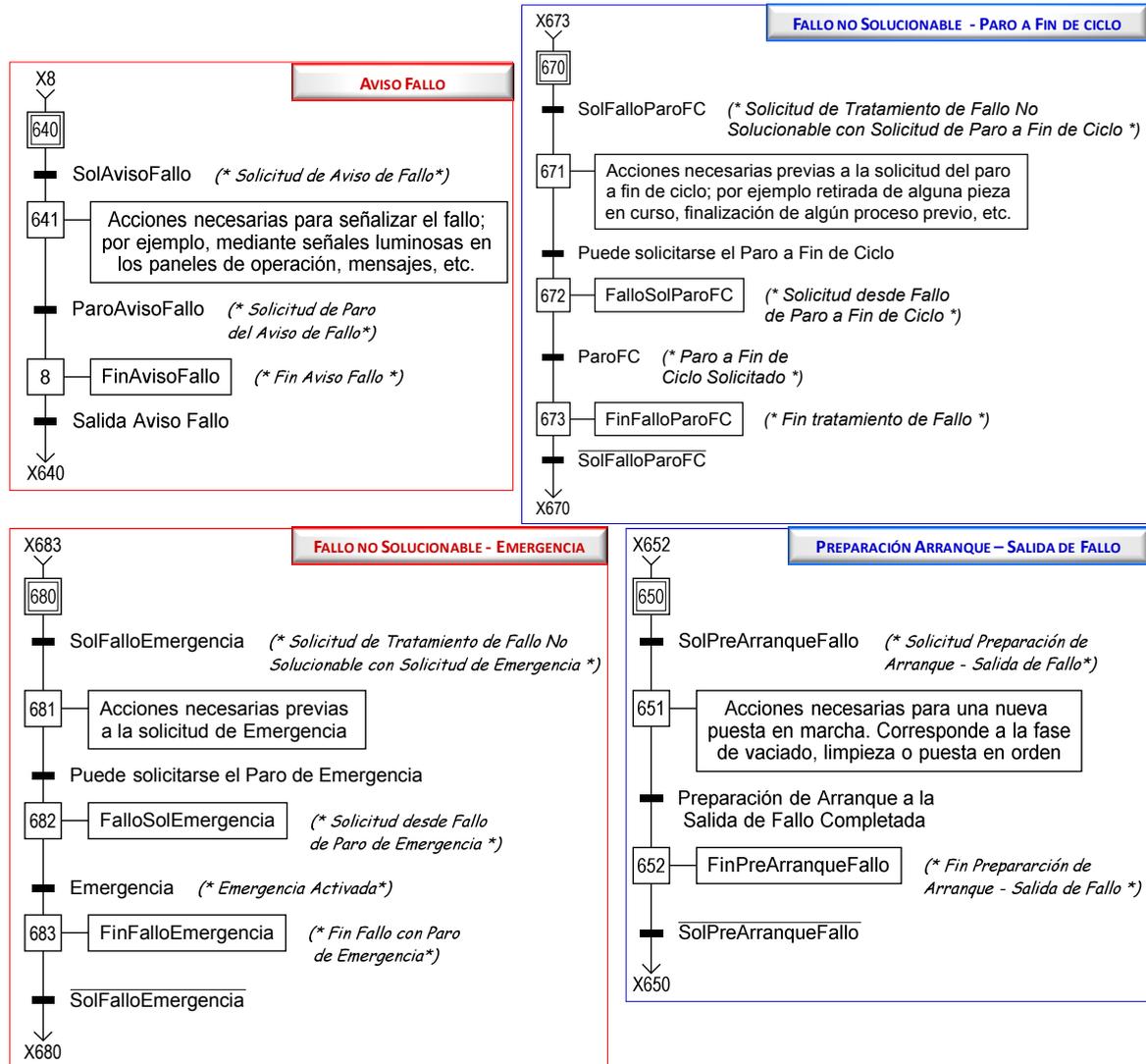


Figura 35 Plantillas Grafcet de Aviso Fallo, Fallo no solucionable – Paro a Fin de Ciclo, Fallo no solucionable – Emergencia, y Preparación de Arranque - Salida de Fallo

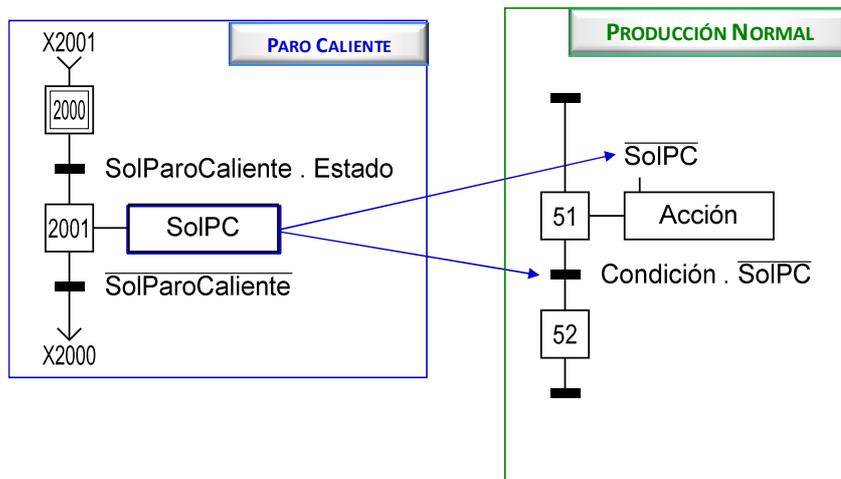


Figura 36 Plantilla Grafcet para el Paro en Caliente y utilización de la señal.

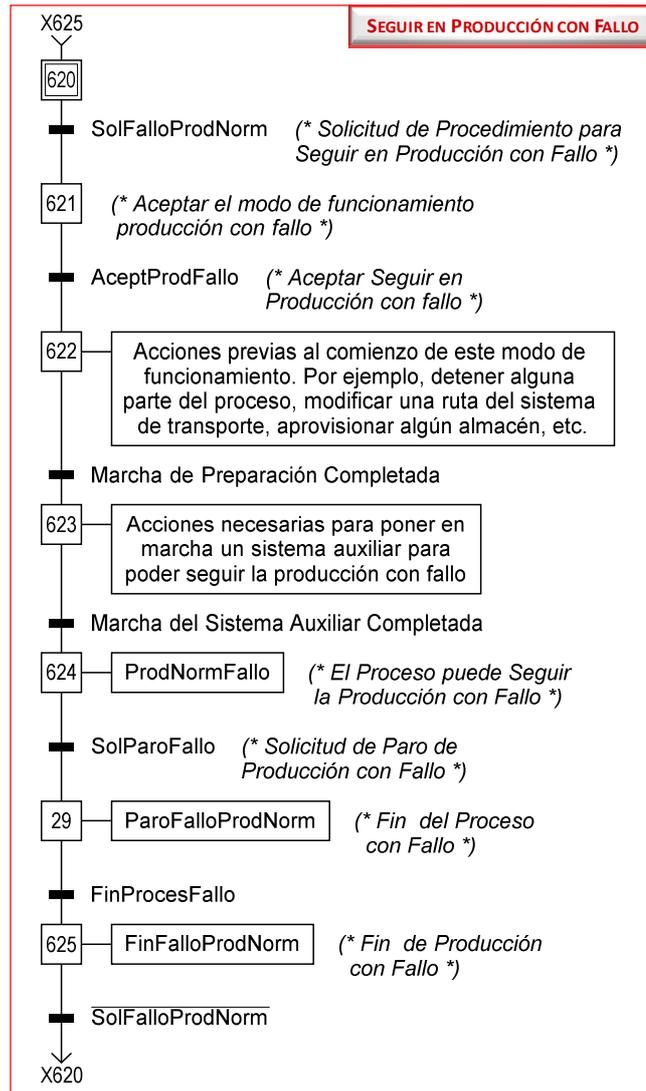


Figura 37 Plantilla Grafcet de Seguir en Producción con Fallo

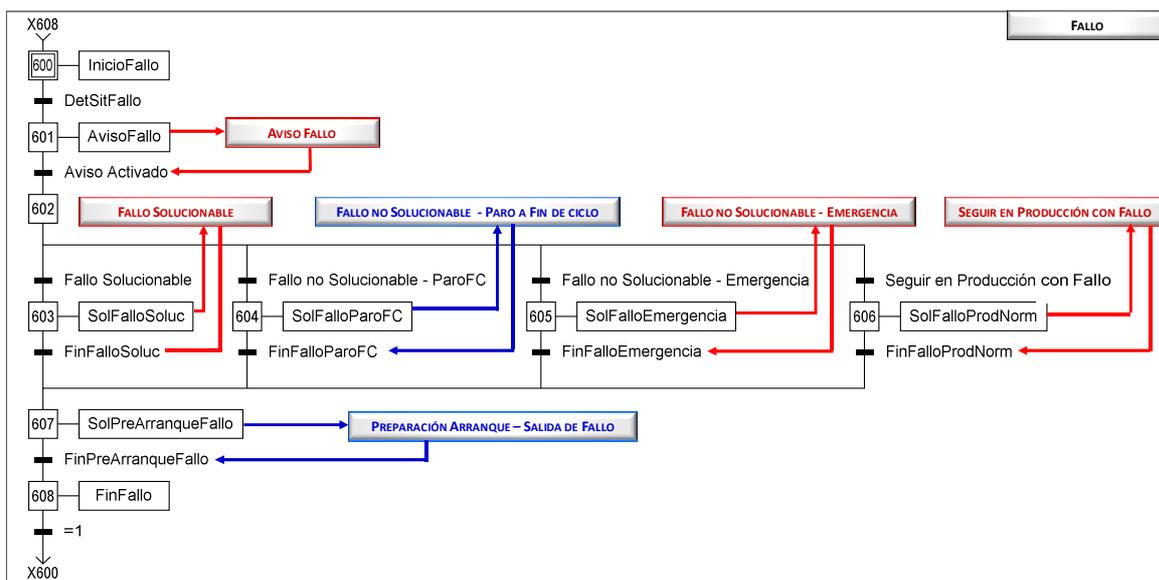


Figura 38 Relación entre los Grafcets de la Fase IV

7. FASE V: PARO DE EMERGENCIA

Organización del funcionamiento del Paro de Emergencia

En esta fase se organiza tanto el arranque como la parada del sistema para el tratamiento de emergencias. En la mayoría de los procesos, las emergencias se tratan como un módulo autónomo del controlador tanto a nivel de hardware como de software. No obstante, dado que la información de activación de las emergencias llega al controlador, el software de control debe contemplar tal situación y realizar la parada inmediata del proceso de forma segura, establecer el protocolo de actuación y la nueva puesta en marcha del sistema.

Para establecer el procedimiento de Emergencia del sistema se deben realizar los siguientes **PASOS** (Figura 39)

PASO 1 – SOLICITUD DE EMERGENCIA: Establecer la **forma de activar la parada de emergencia**; por ejemplo, al activar la seta de emergencia, tras la evaluación de un fallo no solucionable (FaseIV.Paso6), por situaciones del proceso al alcanzar una temperatura límite, etc.

PASO 2 – EMERGENCIA – PARADA INMEDIATA: La activación de la emergencia implica **detener el proceso de forma inmediata** con independencia del estado en el que se encuentre y realizar las acciones necesarias para llevar al sistema a una situación de parada segura, tanto desde el punto de vista de producción como de seguridad humana (FaseII.Paso2). Por tanto, será necesario:

PASO 2.1 - PARADA SEGURA EMERGENCIA: Analizar si hay algún accionamiento que deba quedar activado o ser activado tras la detención; por ejemplo, algún tipo de manipulador o accionador que sujete una pieza o pueda estar manipulándola (electroimán, ventosa, cilindro, etc.), sistemas de refrigeración o calentamiento, bloqueos mecánicos, elementos de contención, indicadores luminosos, acústicos, etc. (FaseII.Paso2.1)

PASO 2.2 - DESACTIVACIÓN DEL MODO AUTOMÁTICO: Determinar los procedimientos que deben continuar activados al producirse la emergencia y cuáles serán desactivados (FaseII.Paso2.2).

PASO 3 – AVISO DE EMERGENCIA: Definir el procedimiento de aviso de emergencia, identificar el modo de **señalizar la emergencia** (por ejemplo, mediante señales luminosas en los paneles de operación, mensajes, etc.) y determinar la forma de solicitar la parada del aviso.

PASO 4 – PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA – PROTOCOLO DE ACTUACIÓN: Analizar la posibilidad de realizar un diagnóstico de la emergencia para averiguar el origen y tratamiento de la misma. Asimismo, identificar las acciones a realizar; por ejemplo, pasando al modo manual, realizando

un tratamiento específico, etc. En el caso de un paso a manual, se deberá considerar la forma de desactivar este modo de funcionamiento e incluirlo en la **Solicitud de Parada del Funcionamiento modo Manual** (FaseII.Paso4).

PASO 5 – SOLICITUD PARADA DE EMERGENCIA: Establecer la forma de **desactivar** este modo de funcionamiento; por ejemplo, mediante el desenclavamiento de la seta de emergencia y un pulsador de rearme, al solucionarse el problema que la originó, tras finalizar el procedimiento de emergencia, etc.

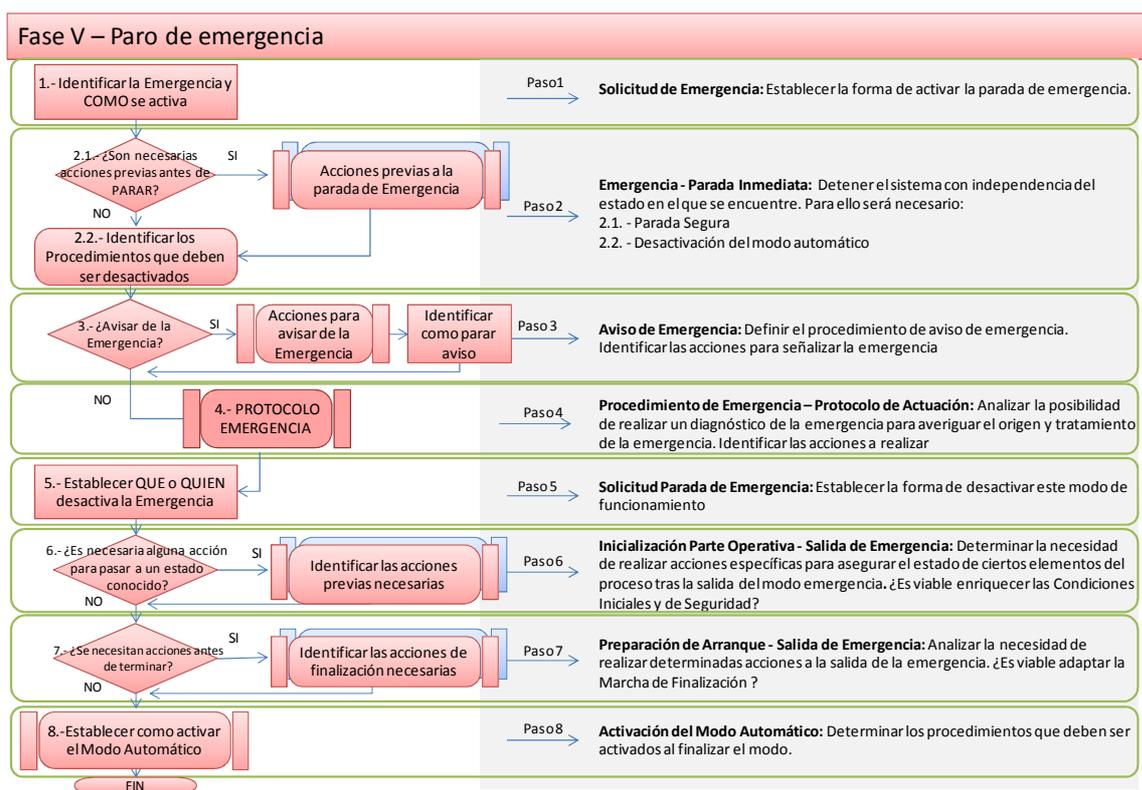


Figura 39 Pasos de la Fase V: Paro de Emergencia

PASO 6 - INICIALIZACIÓN PARTE OPERATIVA - SALIDA DE EMERGENCIA: Determinar la necesidad de realizar acciones específicas para asegurar el estado de ciertos elementos del proceso tras la salida del modo emergencia. Si dichas acciones no se contemplan en las condiciones iniciales, se puede o bien **enriquecer las Condiciones Iniciales y de Seguridad** (FaseI.Paso2) para que se consideren, o bien realizar dichas acciones antes de salir de la emergencia (Preposicionamiento de la parte operativa).

PASO 7 – PREPARACIÓN DE ARRANQUE - SALIDA DE EMERGENCIA: Analizar la necesidad de realizar determinadas acciones a la salida de la emergencia; por ejemplo, operaciones de vaciado y/o

limpieza de alguna máquina, calibración, etc. En su caso, determinar si es viable **adaptar la Marcha de Finalización** para contemplar esta situación (Fasel.Paso6).

PASO 8 - ACTIVACIÓN DEL MODO AUTOMÁTICO: Determinar los procedimientos que deben ser activados al finalizar el modo.

Estos ocho pasos permiten identificar los estados en **GEMMA** implicados en el Paro de Emergencia, y las líneas y condiciones de evolución entre estos estados, tal y como se muestra en la Figura 40. La activación de la Emergencia hará evolucionar al sistema al estado de **Paro de Emergencia [D1]** desde cualquier estado GEMMA. Tras la detención del proceso de forma inmediata y segura, el sistema evolucionará al estado de **Diagnóstico y/o Tratamiento de Fallos [D2]** para identificar, si es factible, el origen y tratamiento de la emergencia. Cuando se solicita la parada de emergencia, si el proceso lo precisa, pasará al estado **Preposicionamiento de la Parte Operativa [A7]** para realizar acciones específicas que aseguren el estado de ciertos elementos del proceso tras la salida del modo emergencia. Cuando sea necesario, además se realizará la **Preparación de Arranque [A5]**, tras lo cual el sistema se detendrá en el estado de reposo **Paro en estado inicial [A1]**.

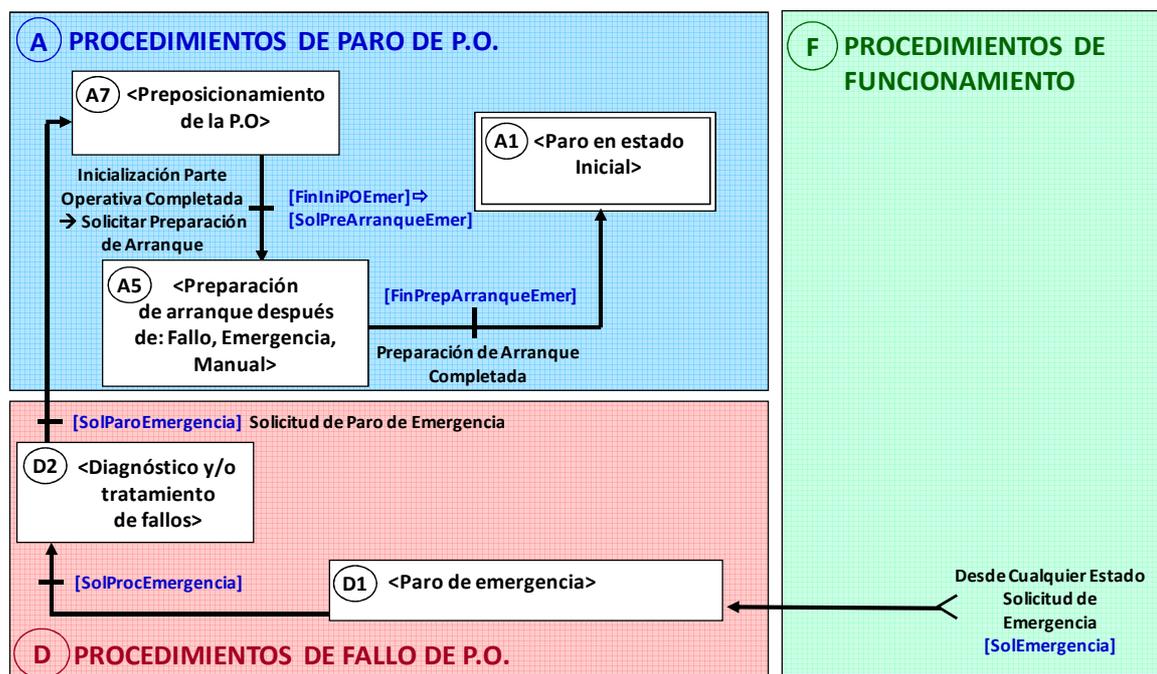


Figura 40 GEMMA correspondiente a la Emergencia

Asimismo, estos pasos permiten identificar los **casos de uso** que describen la funcionalidad de la emergencia con los actores que intervienen en los mismos (Figura 41), y las pre-condiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. El caso de uso **“Solicitar Emergencia”** puede incluir el caso de uso **“Avisar Emergencia”** y **“Realizar paro inmediato y**

seguro del proceso”, mientras que el caso de uso “Solicitar parada de Emergencia” puede incluir “Inicializar parte operativa - Salida Emergencia”, “Preparar arranque – Salida Emergencia” y “Activar el modo Automático”.

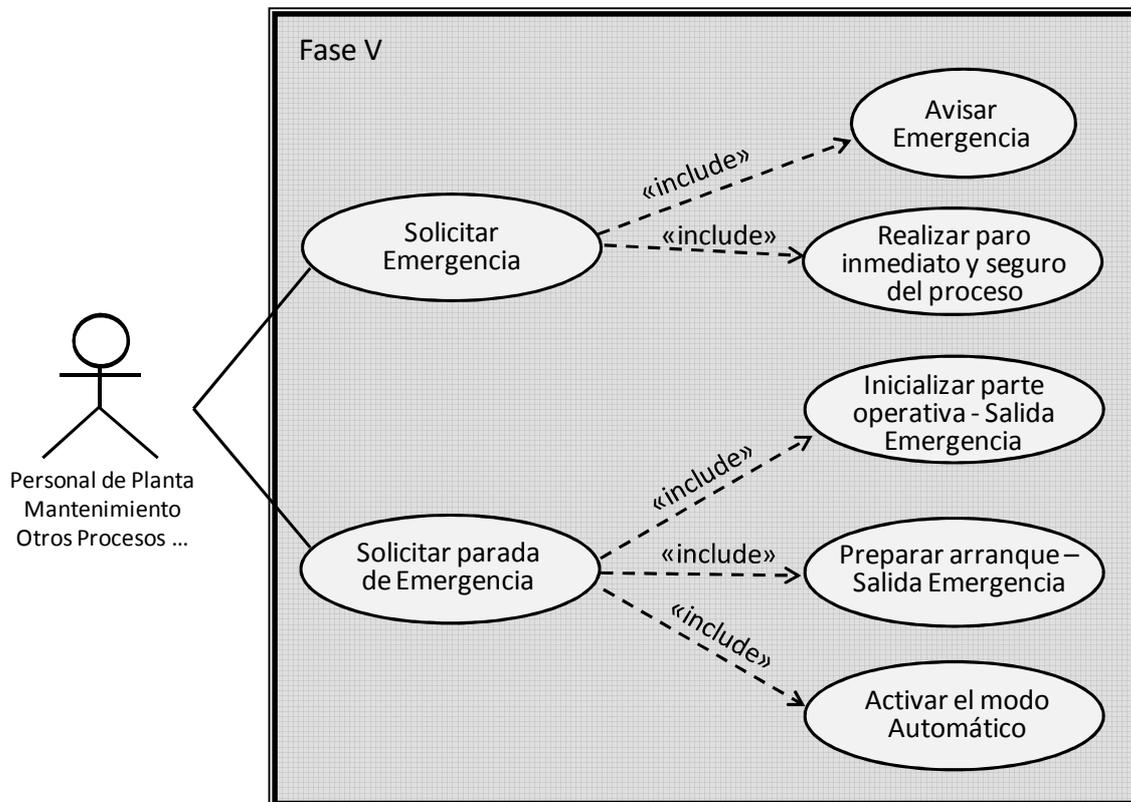


Figura 41 Diagrama de casos de uso de la Parada de Emergencia

Finalizado el análisis, el siguiente paso consiste en particularizar la plantilla Grafcet denominada Paro de Emergencia (Figura 42). Este Grafcet será el encargado de dar paso a otros Grafcets denominados **PARO SEGURO**, **AVISO DE EMERGENCIA**, **PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA**, **INICIALIZACIÓN PARTE OPERATIVA - SALIDA DE EMERGENCIA** y **PREPARACIÓN DE ARRANQUE - SALIDA DE EMERGENCIA** (Figura 43), si las características del sistema así lo requieren. La Figura 44 ilustra la relación entre los Grafcets comentados.

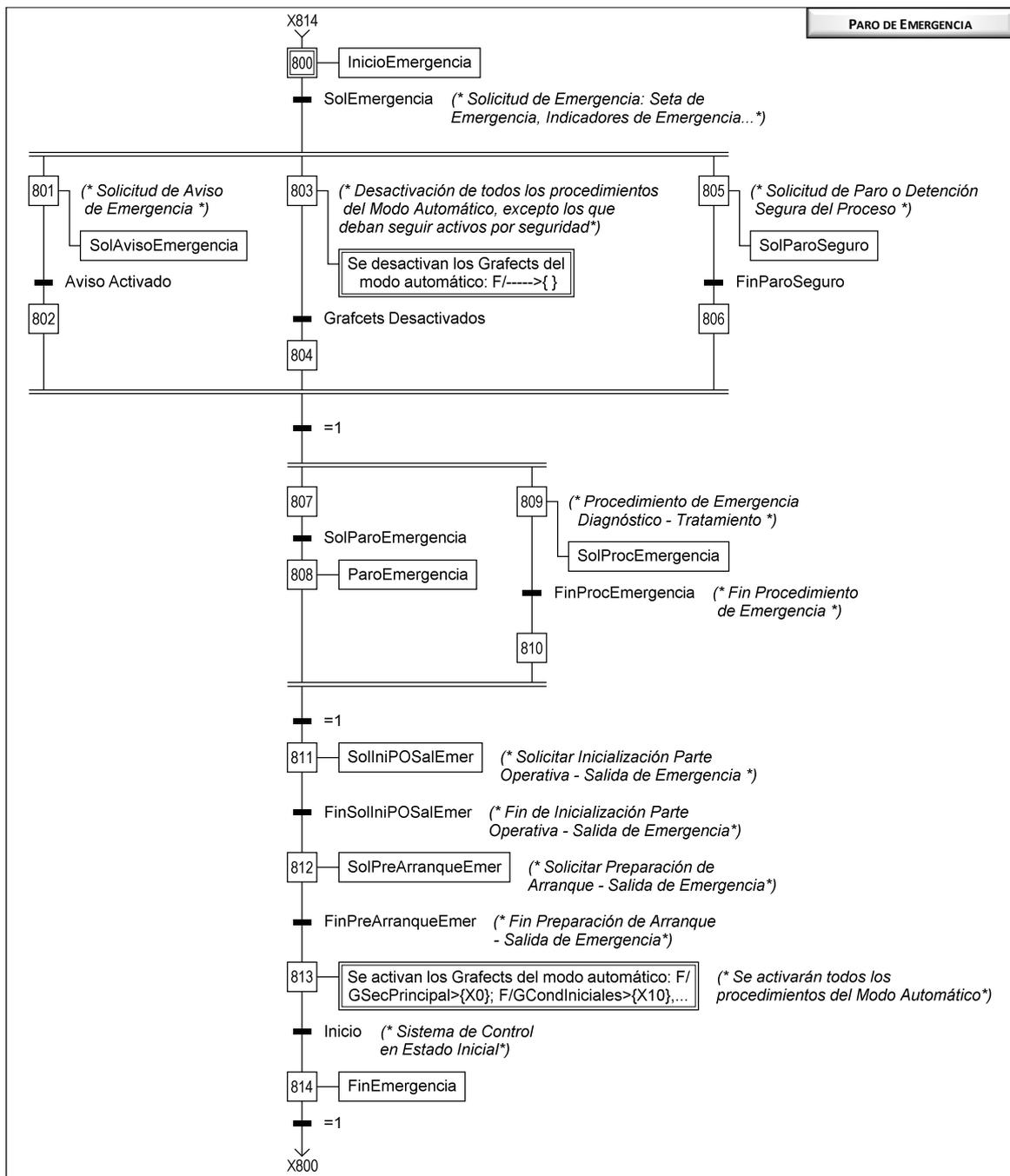


Figura 42 Plantilla Grafcet del Paro de Emergencia

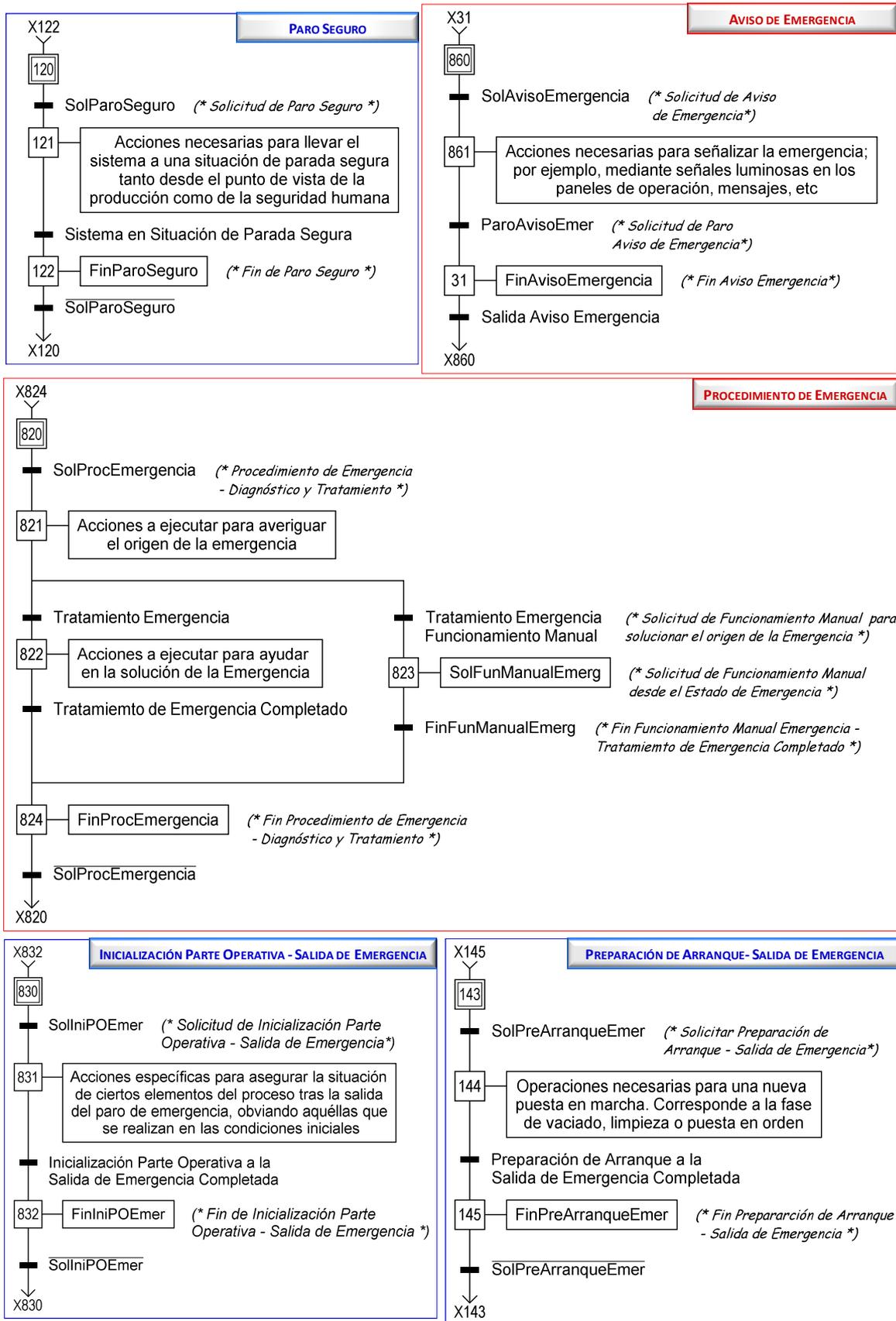


Figura 43 Plantillas Grafcet de Paro Seguro, Aviso de Emergencia, Procedimiento de Emergencia, Inicialización Parte Operativa - Salida de Emergencia y Preparación de Arranque - Salida de Emergencia.

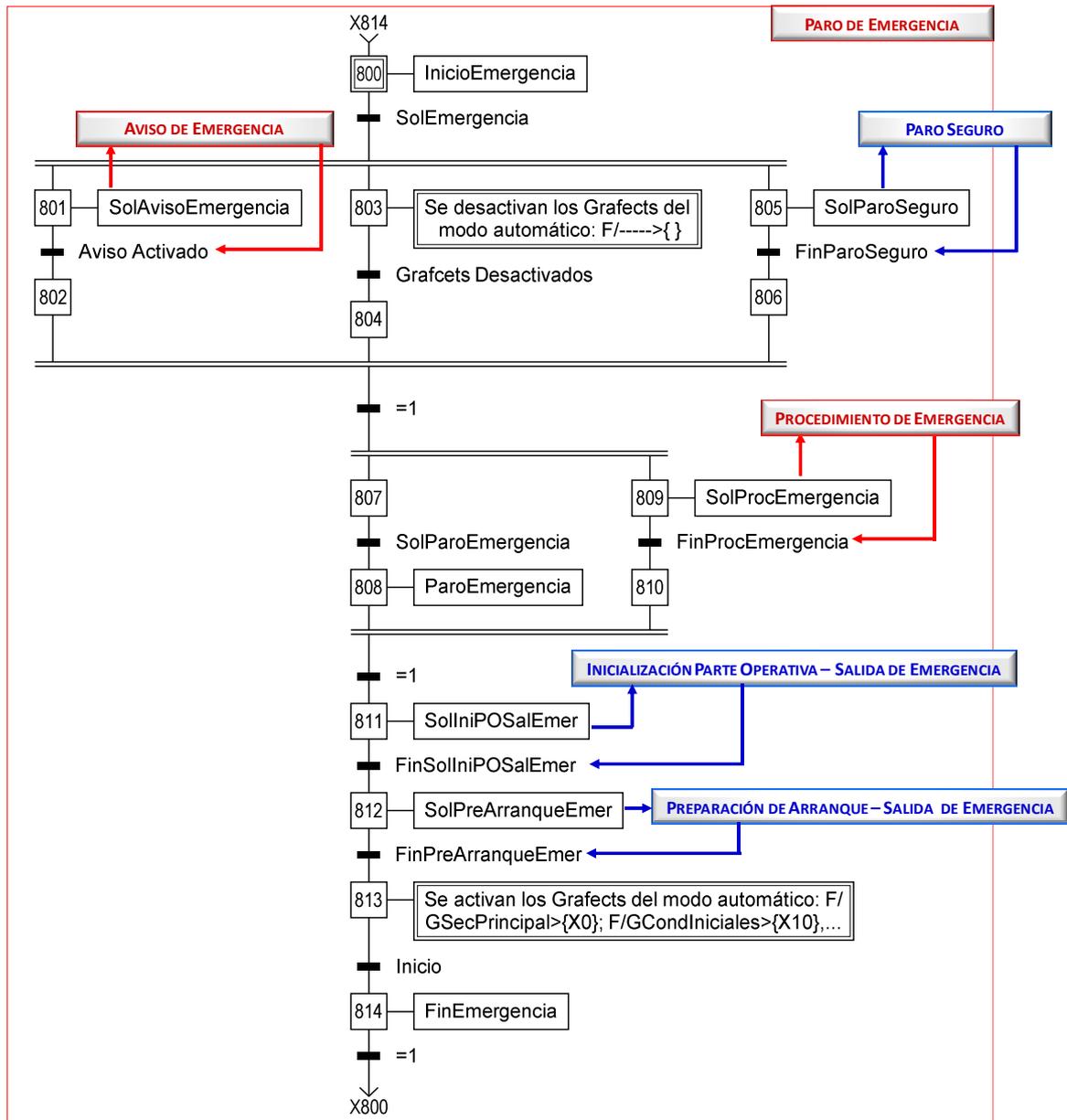


Figura 44 Relación entre los Grafcets de la Fase V

No obstante, si el proceso no requiere alguno de estos procedimientos, se pueden suprimir los estados de GEMMA, los casos de uso y las etapas que activan los Grafcets adicionales, obteniendo diferentes soluciones para esta Fase. La Figura 45 ilustra el caso más sencillo. Con la solicitud de la parada de emergencia, el proceso se detiene de forma inmediata mediante la desactivación del sistema de control, lo cual realiza desactivando todas las etapas de todos los grafcets (forzado de los grafcets a una situación de vacío), lo que implica la detención de todas las acciones y, por consiguiente, la parada inmediata del proceso.

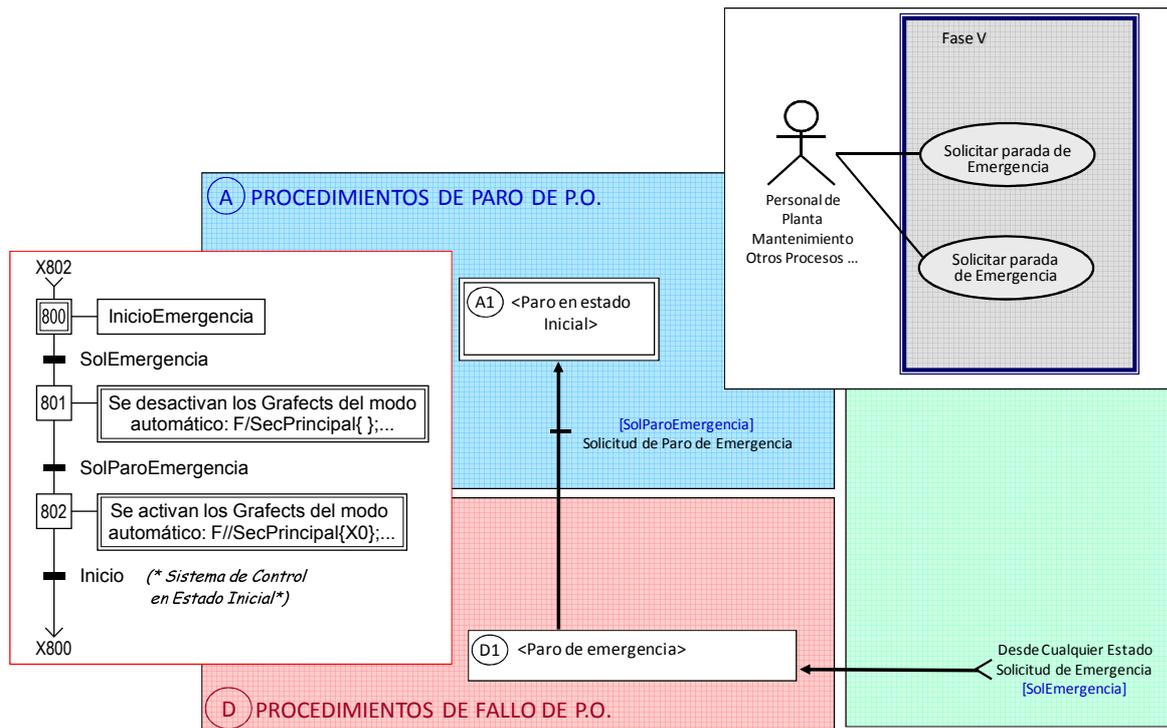


Figura 45 GEMMA, Casos de Uso y Grafcet para el caso más sencillo de Paro de Emergencia

8. FASE VI: PRODUCCIÓN NORMAL.

Operaciones del proceso y definición del ciclo normal de producción.

En esta fase se analizan las operaciones del proceso, se establece el orden de realización definiendo el ciclo normal de producción, y se identifican, analizan y diseñan los procedimientos que realizarán dichas operaciones.

Las operaciones del proceso se descomponen en tareas coordinadas realizadas por uno o varios procedimientos, distinguiendo:

- Procedimientos principales que realizan las operaciones principales de producción; por ejemplo, pintado, transporte, prensado, etc.
- Procedimientos de coordinación de operaciones, procedimientos de selección de parámetros de producción, procedimientos que gestionan la concurrencia de elementos en el proceso, selección de productos, etc.
- Procedimientos de información que gestionan la generación de avisos al personal de planta, procedimientos específicos para suministrar información al sistema de supervisión/control de alto nivel, procedimientos de seguridad, etc.
- Procedimientos que realizan operaciones auxiliares relacionadas con la Marcha de Preparación; por ejemplo, carga de almacenes, llenado de tanques, precalentamiento de equipos, etc.

El análisis y diseño de los procedimientos que desempeñan las operaciones de producción normal se pueden realizar de forma progresiva. No obstante, se deberán considerar las señales provenientes de las restantes fases (*señales internas*) en su diseño (Figura 46).

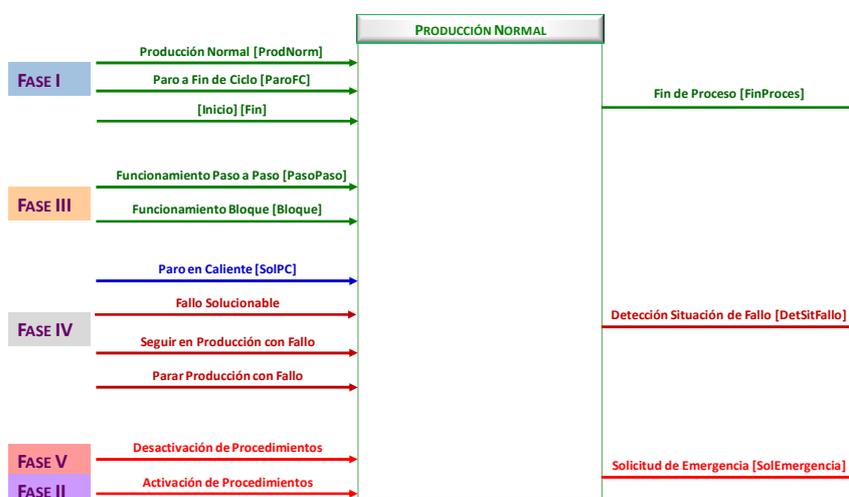


Figura 46 Señales Internas a considerar en los Procedimientos de Producción Normal

Para establecer el ciclo normal de producción del sistema se deben realizar los siguientes **PASOS** (Figura 47):

PASO 0 – OPERACIONES DEL PROCESO - PROCEDIMIENTOS: Identificar las operaciones del proceso, los procedimientos que las realizan y su orden de ejecución.

Por cada procedimiento se deben realizar los siguientes **PASOS**:

PASO 1 – MARCHA DEL PROCEDIMIENTO: Establecer la forma de poner en marcha el procedimiento; por ejemplo, cuando se activa un sensor que indica la presencia de una pieza, al alcanzar un nivel en un tanque, al transcurrir un tiempo desde un evento concreto, al ser activado desde otro procedimiento, al finalizar algún tipo de materia prima, etc. Por lo tanto, también habrá que identificar las *señales internas* a tener en cuenta para su puesta en marcha.

Consideraciones a tener en cuenta:

- Los procedimientos principales y de coordinación precisan que el sistema de control esté preparado para su puesta en marcha [ProdNorm].
- Los procedimientos que realizan operaciones auxiliares necesarias durante el ciclo de producción deberán ser diseñados para su activación desde los procedimientos de Marcha de Preparación y de Producción Normal. En estos casos se sugiere utilizar una señal interna para identificar la operación auxiliar (coordinación horizontal).

PASO 2 – DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO:

PASO 2.1 – IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES: Identificar las *señales externas*, sensores y actuadores, señales del panel de operación y aquellas que provienen del supervisor, así como las *señales internas* procedentes de las restantes fases que deben ser consideradas en el procedimiento. Cuando el procedimiento deba solicitar la activación de otros procedimientos, también se deben identificar las *señales internas* necesarias para llevar a cabo dichas activaciones.

PASO 2.2 – TAREAS: Definir las tareas a realizar y su orden para cumplir con el propósito del procedimiento.

PASO 3 – PARO EN ESTADO INTERMEDIO: Analizar si el procedimiento debe quedar detenido en un estado intermedio (por ejemplo, en situaciones de aprovisionamiento de materia prima, retirada de piezas, gestión de herramientas, medios de transporte, etc.), considerando que siempre que se requiera la intervención del personal se deberá asegurar el paro del proceso. En su caso, identificar las señales que indican la parada, su finalización y las acciones a realizar.

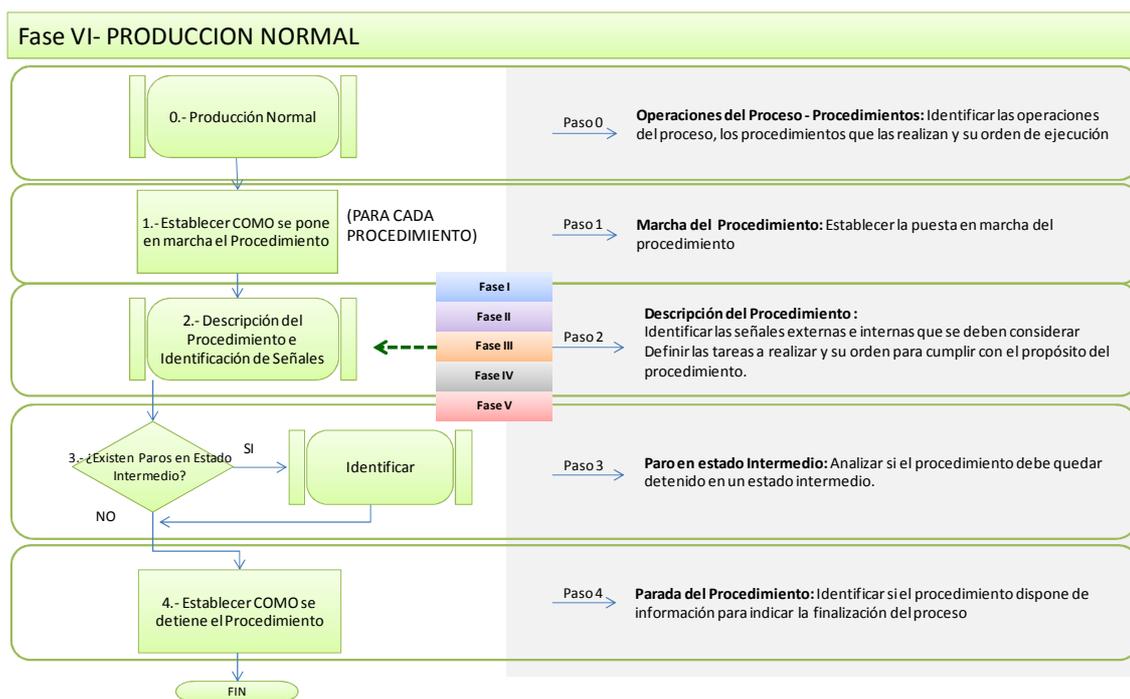


Figura 47 Pasos de la Fase VI: Producción Normal

PASO 4 – PARADA DEL PROCEDIMIENTO: Determinar cómo afecta la solicitud de paro a fin de ciclo al procedimiento, e identificar si el procedimiento dispone de información para indicar la finalización del proceso.

Tras el estudio de las operaciones del proceso y la definición del ciclo normal de producción, se podrán identificar las transiciones entre el estado **Producción Normal [F1]** y los estados **Demanda de paro en estado intermedio [A3]** y **Paro en estado intermedio [A4]** que están directamente relacionados con el proceso productivo (Figura 48), siendo necesarios en situaciones de aprovisionamiento de materia prima, retirada de piezas, gestión de herramientas, medios de transporte, etc. que mantendrán al sistema en espera hasta que se realice la acción correspondiente. La no atención de estas demandas puede llevar al sistema a un estado de fallo. Estos pasos, además, permiten identificar los casos de uso que describen la funcionalidad del ciclo de producción con los actores que intervienen en aquellas operaciones que lo requieran, y las pre-condiciones que se deben cumplir para que se ejecuten dichos casos de uso. A partir de las descripciones de estos casos de uso se generarán los correspondientes Grafsets.

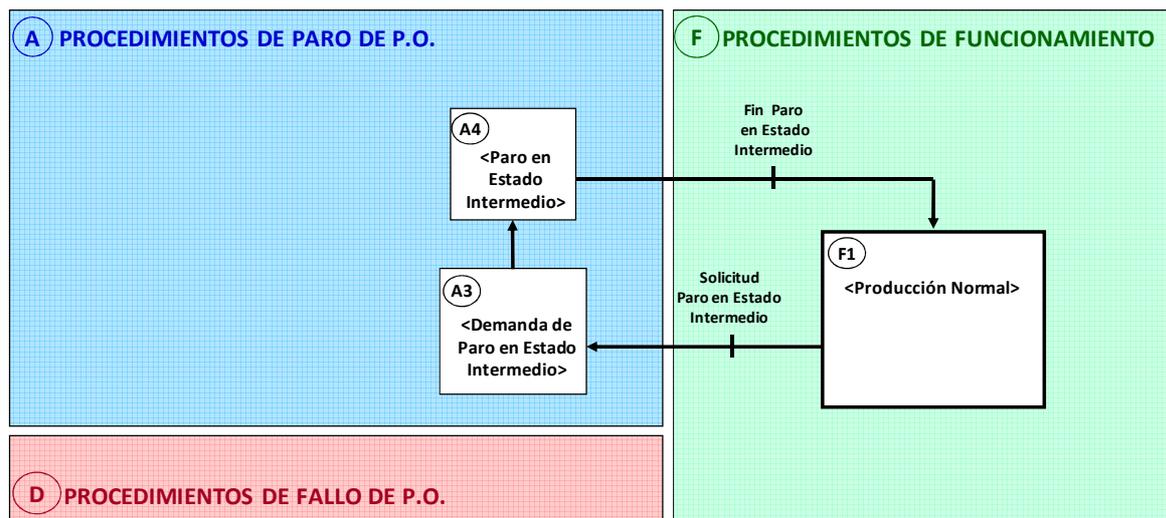


Figura 48 GEMMA correspondiente al Paro en Estado Intermedio.

9. CONCLUSIONES

La metodología MeiA integra la madurez de las disciplinas de la ingeniería del software con los métodos y estándares extendidos en el ámbito de la automatización para desarrollar sistemas de control industrial. Al utilizar la terminología del dominio, se consigue una importante mejora en la comunicación entre todos los agentes involucrados en el desarrollo, puesta a punto y operación del sistema automatizado.

El proceso de desarrollo abarca desde el análisis, pasando por el diseño, hasta la implementación y operación. El análisis de requisitos aborda la identificación y descripción de los modos de operación para especificar los requisitos funcionales y no funcionales que establecen el comportamiento deseado del sistema. Así, los pasos de análisis de cada una de las fases contribuyen a evitar contradicciones, fallos o situaciones inesperadas debidas a especificaciones incorrectas o incompletas.

A lo largo del proceso de desarrollo, la metodología MeiA proporciona guías y plantillas que capturan la experiencia de analistas y diseñadores, incluyendo no sólo aspectos estructurales claves, sino también aspectos relacionados con la flexibilidad, modularidad y extensibilidad de los diseños que pueden ser reutilizados en otros sistemas. De este modo, se consigue reutilización de diseños en etapas tempranas del proceso de desarrollo, que revierte en un incremento de la productividad en la construcción de los sistemas automatizados.

En resumen, la metodología MeiA permite desarrollar sistemas complejos de control de una manera estructurada y bien documentada con un menor número de errores en el análisis y diseño; en definitiva, diseños de calidad que requieren tiempos más cortos para su implementación y operación.

