

UN ENFOQUE METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN RECONFIGURABLES

I. Sarachaga¹

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, ETSI de Bilbao, UPV/EHU
isabel.sarachaga@ehu.es

A. Burgos², M.L. Alvarez², E. Estévez³, M. Marcos¹

⁽²⁾Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, EUITI de Bilbao, UPV/EHU,

⁽³⁾Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, EPS de Jaén, Jaén

Resumen

*Uno de los grandes retos de los diseñadores de las actuales aplicaciones de control industrial es asegurar, en tiempo de diseño, la reconfiguración de las mismas en tiempo de ejecución. En este trabajo se presenta una extensión de la metodología **MeiA** (Methodology for industrial Automation systems) concebida para desarrollar software de control en el ámbito de la ingeniería de automatización, que contempla la reconfiguración tanto para atender las peticiones de aplicaciones de nivel superior, como para resolver los conflictos que puedan surgir en la propia planta. Dicha extensión aborda la reconfiguración automática en respuesta a cambios en la infraestructura de control mediante la redistribución de responsabilidades en tiempo de ejecución para poder continuar el plan de producción en curso. La aplicabilidad de la extensión propuesta se ilustra mediante un caso de estudio, que pone de manifiesto el incremento de las prestaciones de las aplicaciones de control al aumentar la disponibilidad del sistema durante su operación.*

Palabras Clave: Automatización, metodología de desarrollo, reconfiguración

1 INTRODUCCIÓN

La visión de la fabricación para el 2020 propuesta por la Plataforma Tecnológica Europea en Futuras Tecnologías de Fabricación (Future Manufacturing Technologies – MANUFUTURE) [1] propugna un cambio radical en los procesos productivos que permita evolucionar hacia un “proceso innovador” caracterizado por ser: adaptativo para responder automáticamente a las alteraciones en el entorno operativo; digital como paso previo para poder alcanzar la “industria digital”, que integre las tecnologías de la comunicación y la información,

tanto en el diseño como en la operación, con objeto de obtener importantes reducciones en tiempo y coste al implementar nuevas utilidades; conectado en red para operar en redes de valor añadido cooperativas y dinámicas traspasando los límites de la propia empresa; y basado en el conocimiento para obtener un flujo de información integrado a lo largo de la pirámide de automatización que permita hacer realidad las redes de empresas y la industria capaz de responder rápidamente a los cambios en un entorno dinámico.

Como iniciativa de MANUFUTURE y dentro del Plan de Recuperación Económico Europeo, EFFRA (European Factories of the Future Research Association) ha preparado la guía estratégica plurianual [2] que contempla cuatro dominios de actuación estratégicos: la fabricación sostenible, la fabricación inteligente basada en las TIC, la fabricación de alto rendimiento y los nuevos materiales en la fabricación. Dichas prioridades están dirigidas a obtener la “industria del futuro” que debe ser reutilizable, flexible, modular, inteligente, virtual, digital, asequible, fácil de adaptar, fácil de operar, fácil de mantener y muy fiable. Por tanto, se precisan herramientas y tecnologías que permitan automatizar, controlar y optimizar procesos productivos tolerantes a fallos y reconfigurables, que maximicen la disponibilidad de los equipos proporcionando máximos ratios de una producción de alta calidad con cero defectos.

En este contexto, queda de manifiesto la necesidad de nuevas arquitecturas de control industrial basadas en el conocimiento que sean robustas, interoperables, adaptables, reconfigurables y tolerante a fallos para poder afrontar la replanificación de la producción ante variaciones o fluctuaciones en la demanda y la gestión de situaciones inusuales o fuera de control.

Uno de los grandes retos de los diseñadores de las actuales aplicaciones de control industrial es asegurar, en tiempo de diseño, la reconfiguración de las mismas en tiempo de ejecución. En este sentido,

cabe distinguir entre reconfiguración funcional y reconfiguración de la infraestructura de control.

La reconfiguración funcional es inducida a través de la solicitud expresa por parte de las aplicaciones de nivel superior al control de planta (por ejemplo, un planificador, en el caso de un pedido urgente) o por la propia planta (por ejemplo, indisponibilidad de una de las estaciones de trabajo). Normalmente, una reconfiguración planificada implica una re-planificación online de la producción para poder hacer frente a estas situaciones.

A diferencia de la reconfiguración funcional, la reconfiguración de la infraestructura de control no precisa una re-planificación de la producción, sino una redistribución de responsabilidades en tiempo de ejecución para poder continuar el plan de producción en curso. Por ejemplo, ante la caída de un controlador de una sección del proceso productivo, otro u otros controladores deben asumir sus funciones. En cierto modo, se trata de especificar una tolerancia a fallos del sistema de control para garantizar una asignación dinámica de recursos en caso de producirse una situación anómala.

La metodología **MeiA** (Methodology for industrial Automation systems) [3] concebida para desarrollar software de control en el ámbito de la ingeniería de automatización, contempla la reconfiguración funcional tanto para atender las peticiones de aplicaciones de nivel superior, como para resolver los conflictos que puedan surgir en la propia planta. Pero no aborda la reconfiguración de la infraestructura de control, lo cual requiere la extensión de dicha metodología para acometerla, tal y como se presenta en este trabajo.

La estructura del artículo es la siguiente: en el apartado 2 se presentan los trabajos relacionados recientes. El apartado 3 sintetiza los antecedentes de la extensión de la metodología **MeiA**, aunque el detalle de la misma se desarrolla en el apartado 4 (Fase VII: Modo reconfiguración de la asignación de recursos de control). El apartado 5 describe el caso de estudio realizado en la célula de ensamblaje DISA FMS-200. Finalmente, las conclusiones se exponen en el apartado 6.

2 TRABAJOS RELACIONADOS

Mientras que la bibliografía relacionada con la reconfiguración funcional es muy extensa debido a la profusión de trabajos relacionados con la re-planificación de la producción on-line y con la gestión de rutas alternativas, no es el caso de la reconfiguración de la infraestructura de control. Aunque con ciertas diferencias, los trabajos relacionados más afines son los que tratan la

adaptación de la lógica de control en operación y la redistribución del software de control en tiempo de ejecución para evitar redundancia hardware.

En lo que respecta al primer grupo, Brennan et al. [4] distinguen entre: reconfiguración simple para aquellos enfoques que abordan los aspectos de acoplamiento de software durante la reconfiguración; reconfiguración dinámica para aquellos enfoques que extienden los comentarios con técnicas que garantizan un comportamiento predecible y estable del sistema; y reconfiguración inteligente para aquellos enfoques que, incluyendo los dos anteriores, acometen una reconfiguración automática en respuesta a cambios garantizando la robustez y gestión de las perturbaciones en un entorno de producción dinámico.

Dichos autores presentan un análisis de los trabajos recientes en el área de la reconfiguración simple y dinámica para establecer los requisitos básicos de la reconfiguración inteligente, que sería la más afín a la reconfiguración de la infraestructura de control.

Strasser et al. [5] destacan la necesidad de enfoques de ingeniería apropiados y entornos de ejecución con capacidades de reconfiguración dinámica para convertir esta visión en realidad. Además, proponen un método de reconfiguración basado en el modelo de referencia del estándar IEC 61499.

En lo que respecta al segundo grupo, Streit et al. [6] hacen una recopilación de los trabajos relacionados como paso previo a la propuesta de un enfoque basado en la re-distribución on-line del software de control en la arquitectura hardware de un sistema de automatización distribuido. No obstante, destacan la ausencia de los mecanismos de comunicación necesarios para poder afrontarlo.

3 EXTENSIÓN DE MeiA

MeiA combina la madurez de las disciplinas de la ingeniería de software con los métodos y estándares del campo de la automatización industrial. En cada una de sus seis fases se analiza una parte del sistema de control de manera “independiente”: la Fase I establece la secuencia principal del funcionamiento del sistema en modo automático; las Fases II y III organizan tanto el arranque como la parada del sistema en modo manual y pruebas, respectivamente; la Fase IV identifica, analiza y evalúa los fallos que pueden producirse en el proceso; la Fase V organiza tanto el arranque como la parada del sistema para el tratamiento de emergencias; y finalmente, la Fase VI establece el ciclo de producción.

Cada fase consta de un conjunto de pasos que son los que guían el proceso de análisis y diseño para obtener

GEMMA y los Casos de uso, así como los Graficets de Mando y las señales que participan en los Graficets de Producción Normal. Además, ayuda a identificar las necesidades de supervisión/control, y a configurar el Panel de Operación así como otros paneles auxiliares con accionamientos e indicadores específicos.

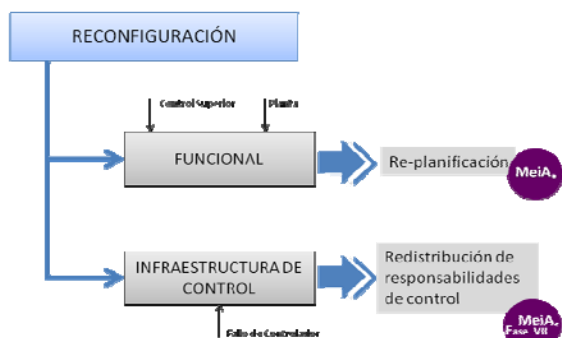


Figura 1: Reconfiguración acometida por MeiA.

Como ya se ha comentado, la metodología MeiA contempla la reconfiguración funcional tanto para atender las peticiones de aplicaciones de nivel superior (por ejemplo, mediante un paro a fin de ciclo previo a la ejecución de un nuevo plan de producción), como para resolver los conflictos que puedan surgir en la propia planta que han sido analizados en la Fase IV (Fallos) de la metodología.

No obstante, no aborda la reconfiguración de la infraestructura de control, lo cual requiere una extensión de la metodología para acometerla. En este sentido, la Fase VII examina el diseño realizado siguiendo la metodología MeiA con objeto de preparar el sistema para la reconfiguración de la asignación de los recursos de control. Para ello, habrá que analizar los distintos estados del proceso (Puntos del Proceso) que permiten identificar los estados del sistema de control (Puntos del Sistema de Control) asociados a las distintas situaciones de reconfiguración.

Un punto del sistema de control contiene la información de un punto de ejecución de dicho sistema de control, que permite identificar el punto de ejecución en el que se encuentra el proceso con distinto grado de precisión dependiendo de la calidad de la información que ofrece el proceso (sensorización). Por lo tanto, un punto del sistema de control puede representar distintos puntos del proceso. Por ejemplo, durante el proceso de subida de una barrera, el punto del sistema de control permanece constante hasta que un sensor detecte que la barrera está arriba. Dado que la barrera va cambiando de posición, un punto del sistema de control representa distintos puntos del proceso.

Asimismo, un punto del proceso puede estar

representado por distintos puntos del sistema de control. Por ejemplo, durante la inicialización de un proceso que se encuentra en su posición inicial, el punto del sistema de control evolucionará a través del procedimiento de inicialización, mientras que el punto del proceso no varía puesto que cumple las condiciones iniciales y de seguridad.

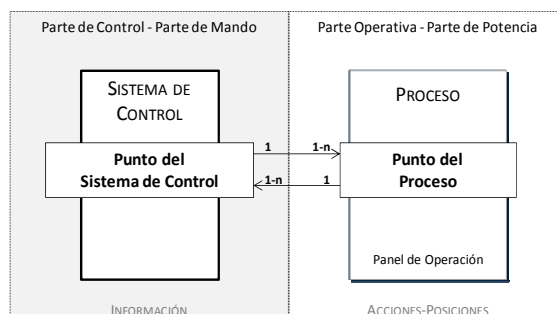


Figura 2: Relación entre Puntos del Sistema de Control y Puntos del Proceso

La Figura 2 presenta la relación entre los puntos del sistema de control y los puntos del proceso. No obstante, en ambos casos hay que distinguir distintos tipos (de ejecución, de caída y de arranque), tal y como se definen a continuación.

Puntos del Sistema de Control (Figura 3):

- **Punto de Ejecución:** estado del sistema de control actualizado.
- **Punto de Caída:** último estado del sistema de control memorizado antes de la caída del controlador.
 - **Punto Directo:** punto de caída que representa un estado del sistema de control que permite el arranque del nuevo sistema de control directamente desde ese estado sin necesidad de realizar ninguna acción previa.
 - **Punto Crítico:** punto de caída que representa un estado del sistema de control que no permite el arranque del nuevo sistema de control directamente.
 - **Recuperable:** se requieren realizar alguna acción previa o arrancar desde otro estado sin realizar acciones previas.
 - **No recuperable:** no es factible su arranque.
- **Punto de Arranque (CheckPoint):** estado del sistema de control a activar en el nuevo controlador.

Puntos del Proceso:

- **Punto de Ejecución:** situación actual en la que se encuentra el proceso.
- **Punto de Caída:** situación en la que queda detenido el proceso.
 - **Punto Directo:** situación del proceso desde la que se puede arrancar sin necesidad de realizar ninguna acción previa.

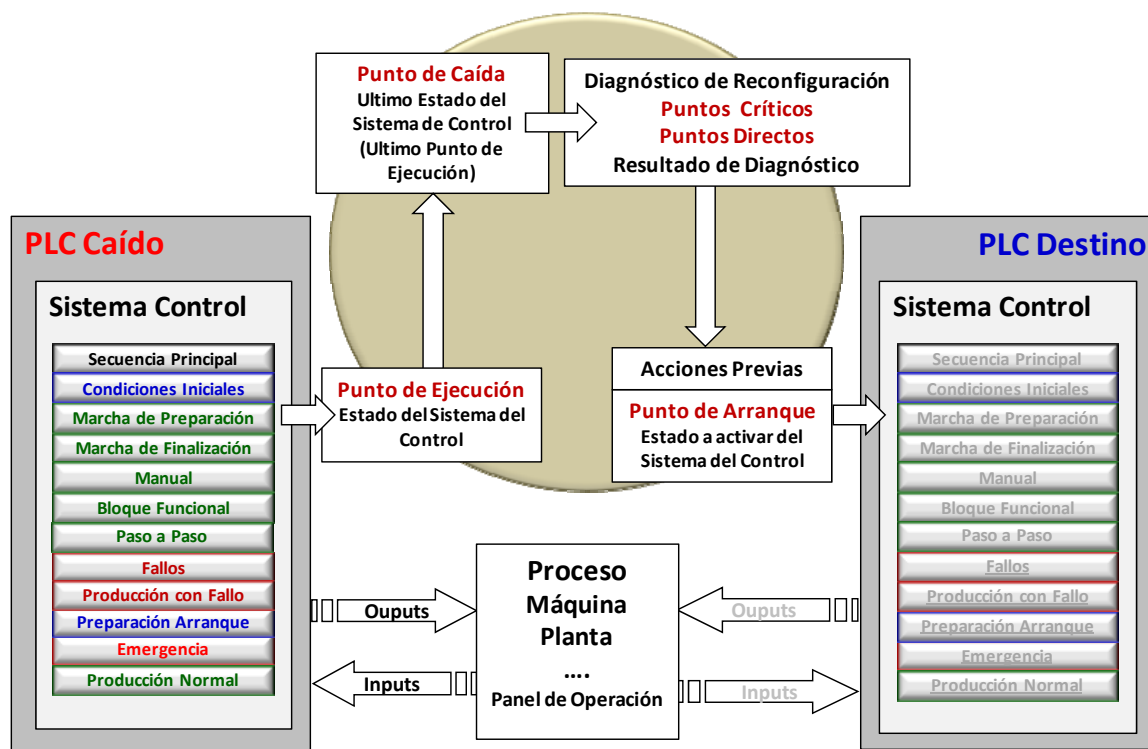


Figura 3: Puntos del Sistema de Control

- **Punto Crítico:** situación del proceso desde la que no se puede arrancar.
 - **Recuperable:** se puede llevar el proceso a otra situación (acciones previas).
 - **No recuperable:** no es factible su arranque
- **Punto de Arranque:** situación del proceso al arrancar el nuevo sistema de control.

procedimientos (activas/inactivas), señales de estados principales (Inicio, Inicialización Parte Operativa, Marcha de preparación, Demanda de paro a fin de ciclo, Emergencia,...), señales de coordinación e información, de contadores, temporizadores, registros, etc., que deben ser consideradas para realizar el diagnóstico de reconfiguración y para el arranque del sistema de control en otro controlador.

En el siguiente apartado se detalla la Fase VII: se establecen los estados GEMMA involucrados, los casos de uso y las plantillas GRAFCET para obtener las unidades de organización del diseño (DOUs - Design Organization Units).

PASO 2 – COMUNICACIÓN DEL PUNTO DE EJECUCIÓN: Determinar cómo se obtiene el Punto de Ejecución del sistema de control, cuándo se actualiza, y cómo, cuándo y a quién se envían dichos puntos.

4 FASE VII: MODO RECONFIGURACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS DE CONTROL

PASO 3 – DIAGNÓSTICO DE PUNTOS DEL PROCESO: Analizar los **puntos críticos del proceso** con objeto de identificar los **puntos directos** y los **puntos críticos del sistema de control**. En el caso de los puntos directos, el arranque del sistema de control se realiza desde el mismo (el punto de arranque coincide con el punto directo). En el caso de los puntos críticos, se distinguen aquéllos que permiten el arranque del sistema de control o la parada controlada del mismo (puntos críticos recuperables) y aquéllos que no lo permiten (puntos críticos no recuperables).

Partiendo del sistema de control analizado y diseñado siguiendo la **Metodología MeIA**, en esta fase se identifica la información a considerar para poder realizar una reasignación de los recursos de control.

Para llevar a cabo la identificación de los puntos críticos del proceso, se debe comenzar identificando los elementos críticos del proceso (ventosas, imanes, operaciones interrumpidas con restricciones de tiempos, cargas suspendidas, etc.) y los procedimientos donde éstos son manipulados. En este

Para establecer el funcionamiento en modo reconfiguración del sistema se deben realizar los siguientes **PASOS**:

PASO 1 – DEFINICIÓN DEL PUNTO DEL SISTEMA DE CONTROL: Analizar e identificar las señales internas a considerar para **definir el punto del sistema de control:** valor de las etapas de todos los

análisis se puede valorar la posibilidad de dotar al sistema de nuevos sensores que permitan aportar información de los puntos críticos.

PASO 4 – CARACTERIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS: Caracterizar el punto (o puntos) del sistema de control asociado a **cada punto crítico del proceso** según el formato establecido. Para ello, se deben identificar las etapas de los procedimientos que permiten caracterizar los puntos del sistema de control relacionados con cada punto crítico del proceso y las señales que deban ser tenidas en cuenta con los valores a considerar.

PASO 5 – PUNTOS CRÍTICOS RECUPERABLES: Determinar cómo realizar el arranque del sistema de control y del proceso para cada **punto crítico recuperable del proceso**.

PASO 5.1 – ACCIONES: Analizar si se deben realizar acciones en el proceso previas al arranque del nuevo controlador (por ejemplo, retirar alguna pieza, llevar algún actuador a una posición determinada, avisos al personal de planta, desenchavar accionamientos mecánicos, etc.).

PASO 5.2 - PUNTO DE ARRANQUE (CHECKPOINT): Establecer el punto de arranque del sistema de control a activar en el nuevo controlador.

PASO 6 – SOLICITAR FUNCIONAMIENTO MODO RECONFIGURACIÓN: Establecer la forma de poner en marcha la reconfiguración y de dar el aviso.

PASO 7 – CONFIRMACIÓN DE ARRANQUE: Identificar las señales que indican que el arranque del sistema de control se ha realizado correctamente.

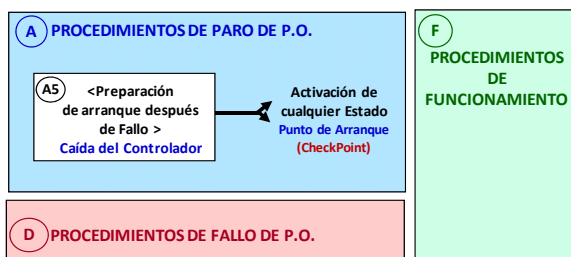


Figura 4: GEMMA correspondiente a la Fase VII

Estos pasos permiten identificar los estados en GEMMA implicados en la reconfiguración, y las líneas y condiciones de evolución, tal y como se muestra en la Figura 4. Al arrancar el sistema de control en un nuevo controlador, si la caída se produjo en un punto crítico recuperable y se requieren acciones previas al arranque, el sistema evolucionará al estado *Preparación de arranque después de fallo* [A5], tras lo cual pasará al estado correspondiente dependiendo del punto de arranque.

Asimismo, estos pasos permiten identificar los **casos de uso** que describen la funcionalidad de la

reconfiguración 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 arranque en nuevo controlador*” puede incluir los casos de uso “*Aviso Reconfiguración*” y “*Preparar arranque tras caída del controlador*”.

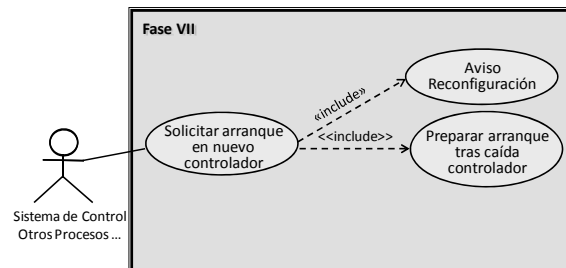


Figura 5: Diagrama de casos de uso de Reconfiguración

Finalizado el análisis, el siguiente paso consiste en particularizar las plantillas Graficets denominadas **INFORMADOR DE ESTADO Y ARRANCADOR**. El procedimiento **INFORMADOR DE ESTADO** se encarga de proporcionar el “*Estado del Sistema de Control*” (Punto de Ejecución). Tras la caída del controlador, el punto de caída (último punto de ejecución del sistema de control) permite al **ARRANCADOR** realizar las acciones establecidas y activar el sistema de control en un nuevo controlador. Las *señales externas*, sensores y actuadores y señales del panel de operación, y aquellas que provienen del supervisor, serán reasignadas al nuevo controlador.

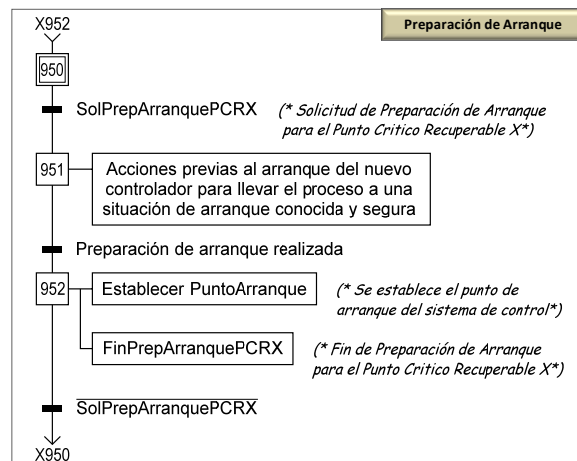


Figura 6: Preparación de Arranque

En el **ARRANCADOR**, tras recibir el punto de caída y dar el aviso (**AVISO RECONFIGURACIÓN**), se evalúa el **Punto de Caída**: si es un punto directo, el punto de arranque coincidirá con el de caída; si es un punto crítico no recuperable, se da un aviso; si es un punto crítico recuperable, se activa el procedimiento **PREPARACIÓN DE ARRANQUE** (Figura 6) correspondiente al punto crítico. En este

procedimiento se establecen las acciones previas al arranque del nuevo controlador y el punto de arranque del sistema de control

5 CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio aborda el desarrollo del software de control de la célula de ensamblado DISA FMS-200, situada en el laboratorio del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Está consta de 5 estaciones y un sistema de transporte encargado de gestionar el movimiento de palets entre las distintas estaciones.

En la célula se ensambla un conjunto formado por cuatro piezas (base, rodamiento, eje y tapa). Cada una de las estaciones y el sistema de transporte realiza una tarea en el proceso de ensamblado del conjunto: La estación 1 coloca correctamente la base del conjunto sobre un palet; La estación 2 coloca un rodamiento y un eje sobre la base; La estación 3 coloca la tapa al conjunto; La estación 4 se encarga de almacenar el conjunto: La estación 5 introduce palets en el sistema de transporte para el montaje de nuevos conjuntos o para la recogida de conjuntos del almacén y el sistema de transporte gestiona el movimiento de los palets entre las estaciones.

Para validar la **Reconfiguración funcional** se han considerado dos casos: pedido urgente y producción con fallo. En la Tabla 1 se presenta la situación y las estrategias de reconfiguración para cada uno de los casos.

Tabla 1: Reconfiguración funcional

Pedido urgente	
Situación	Estando en producción normal, llega un pedido urgente.
Estrategia de reconfiguración	Se finalizarán los conjuntos en curso en las estaciones 2 y 3, y se almacenarán en la estación 4. Mientras se carga la base en el palet, se abastecerán las estaciones 2 y 3 con el tipo de materia prima necesario para producir los conjuntos del pedido urgente.
Producción con fallo	
Situación	Alguna de las estaciones queda fuera de producción debido a una avería, falta de materia prima, mantenimiento,...
Estrategia de reconfiguración	Ante el fallo de las estaciones 1, 2 ó 3, en la estación 5 se podrá realizar cualquiera de las operaciones de forma manual. Si falla la estación 1, se finalizará el proceso con los conjuntos que están en las estaciones 2 y 3. Se podrá seguir en producción normal, siempre y cuando existan palets con bases montadas en la estación 4 o se realice la operación de forma manual en la estación 5. Si falla la estación 2 ó 3, los palets con piezas a medio montar, se almacenarán en la estación 4 o se realizará la operación de forma manual en la estación 5. Si falla la estación 4, los palets se almacenarán en la estación 5.

Para validar la **Reconfiguración de la infraestructura de control** se ha trabajado con la estación 1 (S1). La función de esta estación consiste en colocar la base, que sirve como soporte al producto ensamblado, sobre el palet situado en la posición de carga del sistema de transporte.

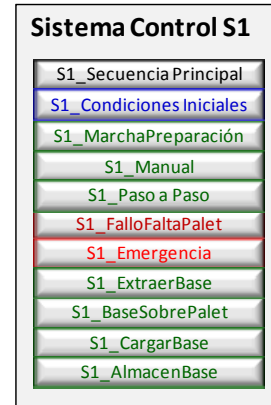


Figura 7: Procedimientos del Sistema de Control de la estación 1 (S1)

Las pruebas de validación previas a la implantación en el sistema se han realizado sobre dos plataformas de pruebas:

La primera está constituida por tres PLCs de Schneider Electric conectados en una red local Fipway. En el PLC1 se ejecuta el control de la estación 1, el PLC2 toma el control ante la caída del PLC1 y el PLC3 se ha empleado para simular el proceso. La comunicación se realiza mediante la función de producción/consumidor que proporciona Fipway de palabras comunes o de tabla compartida (Figura 8).

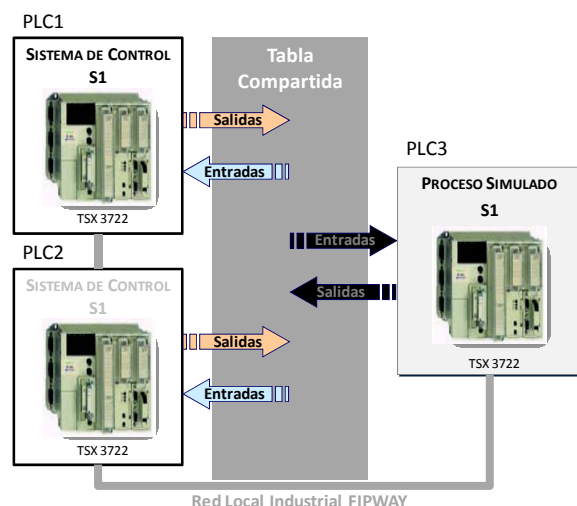


Figura 8: Plataforma de pruebas 1

La Plataforma de pruebas 2 está constituida por un único PLC de Beckhoff que contiene dos copias del Sistema de Control: una de ellas activa y la otra que se activará ante la caída del primero (Figura 9).

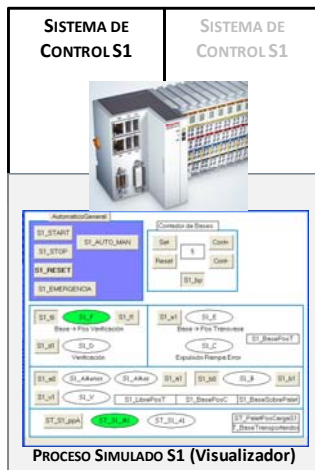


Figura 9: Plataforma de pruebas 2

Para establecer el funcionamiento en modo reconfiguración del sistema se han aplicado los pasos de la Fase VII:

PASO 1 – DEFINICIÓN DEL PUNTO DEL SISTEMA DE CONTROL. Las señales consideradas para definir el punto de control en la estación 1 son el valor de las etapas de todos los procedimientos (activas/inactivas) y el contador de bases del almacén.

PASO 2 – COMUNICACIÓN DEL PUNTO DE EJECUCIÓN.

Prueba_1: al trabajar con tablas de memoria compartida en cada ciclo del PLC2 se recoge el valor del punto de ejecución.

Prueba_2: al tratarse del mismo PLC el punto de ejecución permanece en la memoria y se salva antes de provocar la caída.

PASO 3 – DIAGNÓSTICO DE PUNTOS DEL PROCESO. En la estación 1 un manipulador de dos ejes se encarga de insertar la base en un palet vacío situado en la posición de carga de la estación. Como elemento terminal, el manipulador dispone de una plataforma de sujeción por vacío con cuatro ventosas y un eyector de vacío se encarga de la aspiración.

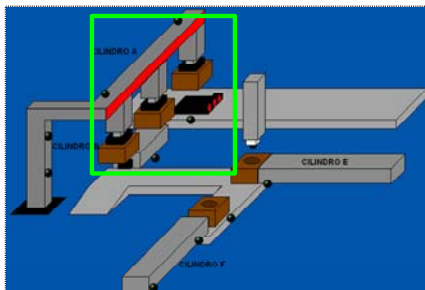


Figura 10: Punto crítico del proceso

Esta plataforma de sujeción constituye un punto crítico del proceso (Figura 10), ya que ante la caída del controlador, la salida que activa el eyector de

vacío dejará de estar activa, lo que provocará la caída de la base. El procedimiento que controla este elemento es S1_BaseSobrePalet.

PASO 4 – CARACTERIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS. Se identifican las etapas que controlan la activación del eyector para caracterizar los puntos críticos del sistema de control.

PASO 5 – PUNTOS CRÍTICOS RECUPERABLES. Los puntos críticos identificados, no son recuperables de forma automática.

PASO 6 – SOLICITAR FUNCIONAMIENTO MODO RECONFIGURACIÓN.

Prueba_1: al detectar la caída del PLC1.

Prueba_2: al provocar la caída del Sistema de Control.

PASO 7 – CONFIRMACIÓN DE ARRANQUE. Se verifica la activación de los procedimientos en el nuevo controlador.

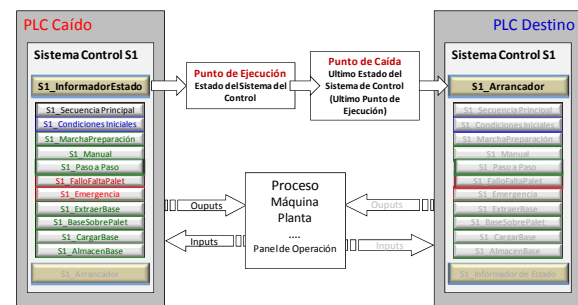


Figura 11: Modo Reconfiguración para la Estación 1

En la Figura 11 se muestran los nuevos procedimientos (S1_InformadorEstado y S1_Arrancador) desarrollados para dotar al sistema de control del modo reconfiguración.

6 CONCLUSIONES

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.

La extensión de dicha metodología con la nueva Fase VII permite, además, abordar el incremento de las prestaciones de las aplicaciones de control, dotándolas de la capacidad de reconfiguración de la infraestructura de control en tiempo real. Así, el estudio de los puntos críticos permite identificar los posibles puntos de arranque y las acciones previas al arranque del nuevo controlador que va a asumir nuevas responsabilidades para garantizar la

continuidad del plan de producción en curso. Por lo tanto, se incrementa la disponibilidad de los sistemas durante su operación.

Agradecimientos

Este trabajo se ha subvencionado en parte por el Gobierno de España (MCYT&FEDER) bajo el proyecto DPI- 2012-37806-C02-01, por el Gobierno Vasco (GV/EJ) bajo el proyecto IT719-13, y por la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) con subvención UFI11/28.

Referencias

- [1] MANUFACTURE High-Level Group, "A vision for 2020, Assuring the future of manufacturing in Europe," 2004.
- [2] EFFRA, "European Factories of the Future Research Association," [Online]. Available: <http://www.effra.eu/>.
- [3] M. L. Álvarez, E. Estévez, I. Sarachaga, A. Burgos y M. Marcos, "A novel approach for supporting the development cycle of automation systems," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 68, pp. 711–725, 2013.
- [4] R. Brennan, P. Vrba, P. Tichy, A. Zoitl, C. Sünder, T. Strasser y V. Marik, "Developments in dynamic and intelligent reconfiguration of industrial automation," *Computers in Industry*, vol. 59, pp. 533–547, 2008.
- [5] T. Strasser, M. Rooker, G. Ebenhofer y A. Zoitl, "Standardized Dynamic Reconfiguration of Control Applications in Industrial Systems," *International Journal of Applied Industrial Engineering (IJAIE)*, vol. 2, n° 1, pp. 57-73, 2014.
- [6] A. Streit, S. Rösch y B. Vogel-Heuser, "Redeployment of Control Software during Runtime for Modular Automation Systems Taking Real-Time and Distributed I/O into Consideration," *IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 2014.