

Jornadas de Automática

De la normativa de máquinas a los modos de funcionamiento y maniobras

Garrido, J.^{a,*}, Silva-Muñiz, D.^a, Riveiro, E.^a, Pérez-García, U.^a

^aGrupo en Ingeniería Eficiente y Digital (EN.EDI), Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidade de Vigo, C/Maxwell, n° 9, 36310, Vigo, España

To cite this article: Garrido, J., Silva-Muñiz, D., Riveiro, E., Pérez-García, U. 2026. From machine regulations to operating modes and procedures. *Jornadas de Automática*, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13737>

Resumen

El artículo propone que la docencia de los modos de funcionamiento y maniobras en automatización industrial debe conceptualizarse conforme al Reglamento de Máquinas y a la normativa internacional relacionada. Estos aspectos son cada vez más complejos y, al mismo tiempo, preceptivos para el desarrollo de sistemas reales. En primer lugar, se analiza la presencia de contenidos relacionados con la seguridad, los modos de funcionamiento y las maniobras en los currículos nacionales de Automatización Industrial. A continuación, se revisan distintos modelos empleados históricamente para la definición de maniobras, como GEMMA o PackML. Finalmente, se propone y justifica un modelo simple e incremental, sintetizado a partir de la normativa y, por tanto, coherente con ella. Asimismo, se analiza la relación de este modelo con GEMMA y PackML y se presenta un ejemplo de implementación.

Palabras clave: Automatización, Autómatas programables, Educación en control, Seguridad, Supervisión

From machine regulations to operating modes and procedures

Abstract

This article proposes that the teaching of operating modes and procedures in industrial automation should be conceptualized in accordance with the Machinery Regulation and the related international standards. These aspects are becoming increasingly complex and, at the same time, mandatory for the development of real systems. First, the article analyzes the presence of contents related to safety, operating modes and procedures in national Industrial Automation curricula. It then reviews different models historically used to define procedures, such as GEMMA and PackML. Finally, it proposes and justifies a simple and incremental model, synthesized from the regulations and therefore consistent with them. The paper also examines how this proposed model relates to GEMMA and PackML models and presents an example of its implementation.

Keywords: Automation, Control education, Programmable logic controllers, Safety, Supervision

1. Introducción

Los planes de estudio nacionales de ingeniería relacionados con la automatización industrial se han caracterizado, en sus diferentes etapas, por abordar los recursos necesarios, principalmente el *hardware*, y los métodos empleados para diseñar e implementar la funcionalidad “automática” de los sistemas.

Una de las competencias recurrentes que se pretende adquirir en estas asignaturas de automatización industrial es la de “conocer las técnicas para poner un sistema industrial en

funcionamiento”. Pero poner un sistema en funcionamiento en la industria no es solo resolver los dispositivos y la funcionalidad necesaria para ejecutar las operaciones “automáticas”. También exige considerar la seguridad, los distintos “comportamientos” del sistema, o modos de funcionamiento, y las transiciones entre ellos, es decir, las maniobras. Desde 2009, para que una máquina pueda ser puesta en funcionamiento o comercializada dentro de la Comunidad Europea, debe estar marcada con el distintivo CE, lo que implica el cumplimiento de la Directiva de Máquinas (Parlamento Europeo y Con-

*Autor para correspondencia: jgarri@uvigo.gal

sejo de la Unión Europea, 2006). Esta directiva ha promovido un nuevo enfoque, en el que la seguridad ha pasado a ser un aspecto integral que debe tenerse en cuenta durante todo el proceso de diseño y en todos los elementos de un sistema automatizado industrial. Además, el cambio normativo ha traído consigo que el “subsistema de seguridad” pueda ser un elemento electrónico o programable, tal como recoge la ISO 13850 (Asociación Española de Normalización, 2016). Esto ha introducido una complejidad creciente en los subsistemas de seguridad y, sobre todo, en su integración e interoperación con los subsistemas de proceso propiamente dichos.

Sin embargo, una revisión de los currículos de ingeniería industrial relacionados con la automatización constata que la expresión “seguridad industrial” suele estar ausente. También son escasas las guías de asignaturas que abordan de forma sistemática los modos de funcionamiento de los sistemas industriales. Históricamente, estos contenidos se han tratado mediante el “Modelo GEMMA” (Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée, 1981), o como parte de la docencia en sistemas IHM (Interfaces Humano-Máquina). No obstante, las nuevas exigencias regulatorias han sobrepasado ampliamente este enfoque. Aunque han surgido nuevos modelos, como PackML (International Society of Automation, 2008), orientado a estandarizar el tratamiento de las maniobras, no es frecuente encontrar un tratamiento sistemático de las implicaciones que la normativa de seguridad vigente tiene sobre el diseño e implantación de los modos de funcionamiento y las maniobras.

La formación en seguridad industrial se suele centrar en la metodología de análisis y reducción del riesgo de máquina, recogida en la ISO 12100 (Asociación Española de Normalización, 2012), y en la metodología de diseño y dimensionamiento del subsistema de seguridad a través de la UNE-EN ISO 13849, mediante el cálculo del PLr y del PL (Asociación Española de Normalización, 2024). Sin embargo, sigue estando poco presente la implicación que tiene sobre el “mando”, es decir, sobre el programa de automatización, el hecho preceptivo de que “el sistema de mando tiene que ser inherentemente seguro”.

Este artículo presenta una propuesta docente que aborda esta carencia. Para ello, se plantea un modelo incremental de modos de funcionamiento y maniobras, resultado del análisis del nuevo reglamento, antigua directiva, y de la normativa asociada. El modelo define de forma clara la interacción entre el subsistema de seguridad y el subsistema de proceso, de acuerdo con la normativa. Además, ha sido empleado con éxito durante las dos últimas décadas en asignaturas de últimos cursos de grado y máster relacionadas con la automatización industrial (Garrido Campos, 2025a,b). Por último, se compara la propuesta con otros modelos de referencia en la literatura.

2. Contexto

2.1. Contexto normativo

En el contexto actual, “la capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento” en automatización exige conocer el nuevo marco establecido por el Reglamento 2023/1230, relativo a las máquinas (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2023).

La evolución normativa en este ámbito refleja un cambio

profundo en la forma de entender la seguridad industrial. El antiguo Reglamento de Seguridad en las Máquinas, aprobado por el Real Decreto 1495/1986 (España. Presidencia del Gobierno, 1986), respondía a un enfoque prescriptivo, basado en requisitos técnicos concretos. Posteriormente, la Directiva 89/392/CEE introdujo un cambio de paradigma al sustituir ese planteamiento por un marco europeo basado en requisitos esenciales de seguridad y salud, más general y flexible (Consejo de las Comunidades Europeas, 1989). Más adelante, la Directiva 2006/42/CE, preceptiva desde 2009 a través del Real Decreto 1644/2008, reforzó este enfoque al situar la evaluación de riesgos como eje central del diseño y exigir una documentación técnica más completa, justificada y trazable. Asimismo, este marco normativo impulsó una concepción más avanzada de los sistemas de mando relacionados con la seguridad, en coherencia con normas armonizadas como la EN ISO 13849-1 (Asociación Española de Normalización, 2024), que permiten evaluar cuantitativamente la fiabilidad de las partes del sistema de control relativas a la seguridad (SRP/CS) y amplían su implementación a tecnologías eléctricas, electrónicas y programables.

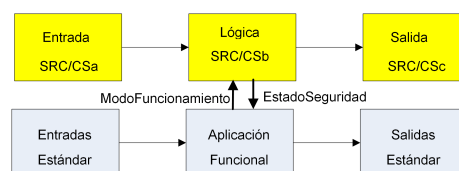


Figura 1: Arquitectura de un sistema de mando (ISO 13849).

Es importante resaltar que tanto el Reglamento como la norma ISO 12100 (Asociación Española de Normalización, 2012) definen el “mando” como el conjunto del sistema de automatización. Esta definición excluye únicamente los elementos de accionamiento y los resguardos físicos, pero incluye el controlador, las señales de entrada y salida de proceso, el sistema IHM y el subsistema de seguridad. Por tanto, cuando a lo largo del Reglamento y las normas se alude repetidamente a las características de seguridad del “sistema de mando”, se refieren al sistema de automatización en su conjunto, y no solo al subsistema de seguridad. En consecuencia, al diseñar e implementar una automatización industrial, lo estipulado en el reglamento debe aplicarse a la totalidad del sistema.

2.2. Modelos de modos de funcionamiento y maniobras

La modelización del comportamiento de una máquina automatizada exige representar, por una parte, sus modos de funcionamiento, entendidos como estados operativos globales, y, por otra, sus maniobras, entendidas como secuencias de acciones necesarias para ejecutar funciones concretas dentro de dichos modos. Mientras los modos permiten estructurar la operación a nivel funcional y de supervisión, las maniobras recogen la lógica dinámica de ejecución asociada a tareas específicas. Sobre esta distinción se han desarrollado diferentes propuestas de especificación.

GEMMA (Guide d’Étude des Modes de Marches et d’Arrêts), definido por ADEPA en 1981, ha ofrecido desde entonces una guía metodológica para organizar los modos de marcha, parada, fallo e intervención, aunque con una aplicabilidad más limitada cuando se requieren descripciones operativas detalladas. La Figura 5 reproduce este modelo. Más

Tabla 1: Análisis comparativo entre currículos nacionales

Tema	Sí/Total	Universidades
GEMMA	28/54	EHU, Loyola, UBU, UCA, UCAV, UCLM, UDC, UdG, UEx, UGR, UIB, ULL, UMA, UMH, UNAV, UniOvi, UNIR, UNIZAR, UPC, UPCT, UPV, URV, US, USAL, USC, UV, UVa, UVigo
PackML	4/54	EHU, UPC, US, UVigo
Directiva de Máquinas	4/54	MU, UPCT, UV, UVigo
Modos de funcionamiento	31/54	EHU, Loyola, UA, UBU, UCA, UCAV, UCLM, UDC, UdG, UEx, UGR, UIB, ULL, UMA, UMH, UNAV, UniOvi, UNIR, UNIZAR, UPC, UPCT, UPM, UPV, URJC, URV, US, USAL, USC, UV, UVa, UVigo
Modos según directiva	1/54	UVigo
Seguridad industrial	17/54	EHU, MU, UCLM, UDC, UEM, UEx, UGR, ULE, UNIZAR, UPC, UPCT, UPM, UR, URJC, UV, UVic-UCC, UVigo
Seg. programada estándar	1/54	UVigo

recientemente, a comienzos de los años 2000, el OMAC Packaging Workgroup promovió la especificación PackML, posteriormente armonizada con ISA-88 (International Society of Automation, 2008). PackML proporciona una estructura de estados y transiciones más próxima a la implementación, aunque orientada originalmente al sector del *packaging*. La mayoría de los grandes fabricantes de controladores industriales (Siemens, Beckhoff, Schneider, Omron) proporcionan librerías que implementan esta especificación.

Ambas especificaciones pueden entenderse como guías gráficas de sistemas secuenciales, en las que los estados representan los “modos de funcionamiento específicos” y las transiciones las “maniobras” asociadas. La Figura 2 representa uno de los submodelos desarrollados por PackML, correspondiente al modo automático. En esta representación, los estados se agrupan en tres tipos según su comportamiento genérico: estados de espera, estados de actuación y estados duales. Los estados en naranja y azul son estados estables, por lo que pueden mantenerse durante un periodo de tiempo más largo. El estado azul (*Dual state*) identifica una máquina ejecutando activamente el modo elegido. Los estados en verde (*Acting state*), en cambio, son estados transitorios, válidos solo durante un cierto periodo de tiempo, que transfieren al siguiente estado sin intervención del operador cuando se cumple la condición de estado completo ($SC = State Complete$). Las transiciones entre estados pueden producirse por intervención del operador o como respuesta al estado de uno o más “objetos de control”.

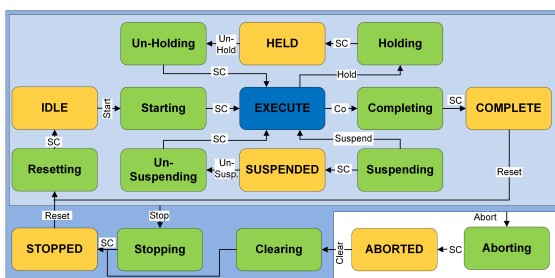


Figura 2: Representación de estados PackML.

La Figura 2 muestra la funcionalidad automática con sus estados y maniobras principales. En este modelo pueden aparecer distintos bucles según las transiciones de salida de los estados, como un bucle de alarma o un bucle de parada operativa. Además, se definen estados “puente” que permiten el salto entre funcionalidades, por ejemplo del modo automático al modo manual, descrito mediante otro gráfico específico.

Finalmente, tanto GEMMA como PackML son muy res-

trictivos para modificar su estructura y no han sido conceptualizados a partir de la normativa vigente. Además, los modelos no siguen una progresión incremental, sino que parten directamente de un modelo completo que se particulariza en cada caso. Desde un punto de vista didáctico, sería más adecuado plantear una evolución gradual, desde formulaciones simples hacia modelos de mayor complejidad.

2.3. Presencia en las titulaciones actuales en España

Dado que el marco normativo vigente afecta al sistema de mando en su conjunto, resulta pertinente analizar si estos contenidos aparecen explícitamente en la docencia de automatización industrial. Para ello, se revisaron sistemáticamente las guías docentes de 72 titulaciones de grado relacionadas con la Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, la Ingeniería Electrónica Industrial, la Ingeniería Mecatrónica y la Ingeniería Robótica, correspondientes a 54 universidades. A partir de la búsqueda de los términos “automática”, “automatización”, “automatismos” y “automáticos”, se identificaron 180 asignaturas. Tras excluir aquellas centradas principalmente en teoría de control o regulación continua y/o discreta, se seleccionaron 101 para el análisis detallado.

En dichas guías se registró la presencia de términos asociados a GEMMA, PackML, seguridad de máquinas, normativa de máquinas, modos de funcionamiento y maniobras. La Tabla 1 sintetiza los resultados. El análisis se limita a lo declarado en las guías docentes, por lo que no descarta que estos contenidos se traten en el aula, aunque sí permite valorar hasta qué punto están formalizados en los programas y son reconocibles como parte explícita de la formación en automatización industrial. Se excluyeron, además, las titulaciones de máster.

Los resultados muestran una presencia limitada y poco integrada de los modos de funcionamiento y las maniobras desde la perspectiva de la normativa de seguridad de máquinas. Aunque algunos currículos abordan los modos de funcionamiento, principalmente mediante GEMMA, identificado en 28 de las 54 universidades, PackML solo aparece en 4. La seguridad industrial figura en 17 universidades y la Directiva de Máquinas únicamente en 4. Sin embargo, el tratamiento conjunto de modos de funcionamiento y maniobras desde la normativa de seguridad solo se ha identificado en la UVigo.

El siguiente apartado resume la metodología seguida para presentar dicha conceptualización. Esta propuesta forma parte actualmente de la asignatura “Automatización Industrial” del grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática (Garrido Campos, 2025a) y de “Automatización de Maquinaria” del máster en Mecatrónica (Garrido Campos, 2025b).

3. Propuesta de modelo de modos de funcionamiento

Ni el reglamento ni las normas asociadas definen explícitamente cuál debe ser el diseño de los “modos de funcionamiento” de una máquina o sistema industrial. Ni siquiera especifican sus nombres, ni cuáles deberían considerarse preceptivos. Se ocupan, más bien, de establecer cómo deben realizarse las “transiciones” o “maniobras” entre diferentes modos o situaciones de máquina. Esta especificación aparece principalmente en el apéndice 1.2 de la Directiva de Máquinas y en diferentes normas asociadas.

A partir de la interpretación de estos textos es posible generar un modelo de modos de funcionamiento conforme con la normativa preceptiva. Este proceso de deducción, y el modelo resultante de complejidad creciente, se presentan a continuación mediante el análisis de diferentes situaciones características recogidas en los textos normativos, principalmente coincidentes con los puntos del apéndice 1.2 de la Directiva de Máquinas. En cada caso se indica la “situación a analizar” en negrita, la fuente subrayada, el texto normativo en cursiva, su interpretación en texto plano y la consecuencia en el modelo gráfico sintetizado indicada entre paréntesis:

Puesta en marcha. Directiva 2006/42/CE: 1.2.3 Puesta en marcha: *La puesta en marcha de una máquina solo deberá poder efectuarse mediante una acción voluntaria ejercida sobre un órgano de accionamiento previsto a tal efecto.* Existe, por tanto, un modo “en marcha”, que en este modelo se corresponde con el modo automático, en el que la máquina realiza la tarea concebida, y otro modo “no en marcha” o STOP, en el que dicha tarea no se ejecuta. El paso de “no marcha” a “en marcha” se realiza mediante una acción voluntaria del operador sobre el pulsador ihm_Marcha (1 en Figura 3(a)).

Parada. Directiva 2006/42/CE: Apéndice 1.2.4 Parada. 1.2.4.2 Parada operativa. *Cuando por razones de funcionamiento se requiera una orden de parada que no interrumpa la alimentación de energía de los accionadores, se supervisarán y conservarán las condiciones de parada.* Esta situación se representa mediante el pulsador ihm_Paro, que permite pasar de modo automático a modo STOP con energía (2 en Figura 3(a)).

1.2.4.3 Parada de emergencia. *Si como resultado de la evaluación de riesgo es necesario que una máquina esté provista de componentes y elementos para lograr una función de parada de emergencia que permita evitar situaciones peligrosas que puedan producirse de forma inminente o que se estén produciendo...* El subsistema de seguridad informa de que se ha desenergizado, debido a la activación de una parada de emergencia, mediante la variable “Fallo” (3 en Figura 3(a)). Con esa misma variable se informa posteriormente de que el sistema se ha energizado de nuevo (4 en Figura 3(a)).

1.2.4.1 Parada normal. *Las máquinas estarán provistas de un órgano de accionamiento que permita su parada total en condiciones seguras. Una vez obtenida la parada, se interrumpirá la alimentación de energía de los accionadores afectados.* El pulsador ihm_ParoNormal permite pasar de modo automático a modo STOP sin energía (1 en Figura 3(b)). La diferencia con la parada anterior es que esta se realiza “sin urgencia” y sin que tenga que haber aparecido una situación peligrosa. No obstante, puede alcanzarse el mismo resultado, es decir, un modo STOP sin energía, mediante la seta de emergencia,

siempre que pueda asumirse una parada inmediata. La Figura 3(b) distingue así dos situaciones de STOP sin energía: con error activo y sin error activo (4 y 5 respectivamente).

Rearme. UNE-EN ISO 13849: *debe proporcionarse por un dispositivo distinto, accionado manualmente y ligado a las partes del sistema de mando relativas a la seguridad; sólo se debe ejecutar si todas las funciones de seguridad y dispositivos de protección están operativas; se debe realizar por una acción voluntaria; debe preparar al sistema de seguridad para recibir una nueva orden pero no provocar el inicio de operaciones.* El rearme se modela como una maniobra independiente que devuelve el sistema a STOP seguro, sin provocar arranque automático (1 en Figura 4). UNE-EN 60204-1, 9.2.5.4.2: *El rearme no deberá provocar un nuevo arranque.*

Autodiagnóstico. Directiva 2006/42/CE: *El autocontrol detecta un fallo inmediatamente, o bien hace comprobaciones periódicas de manera que se detecta un fallo antes de la siguiente solicitud de seguridad.* 4.11.12 Disponer de sistemas de diagnóstico para facilitar localización de averías. *En los sistemas de mando se debería incluir sistemas de diagnóstico para facilitar la localización de averías.* En ISO 12100, 6.2.11.12 se recomienda *incluir sistemas de diagnóstico en el sistema de mando para ayudar a localizar fallos sin necesidad de anular medidas de protección.* En el modelo propuesto, todas las causas de alarma, tanto las procedentes del subsistema de seguridad como las derivadas del autodiagnóstico, se encapsulan en la misma variable “Fallo” (Figura 3(a)). El pulsador Reset (5 en Figura 3(a)) se emplea para que el operario confirme la situación y permita la evolución correspondiente del sistema.

Selección de modos de mando o de funcionamiento. Directiva 2006/42/CE: 1.2.5 *la máquina ha sido diseñada y fabricada para que pueda utilizarse según varios modos de funcionamiento..., llevará un selector de modo de mando o de funcionamiento enclavable en cada posición.* Esta exigencia se representa mediante el selector ihm_M/A (6 en Figura 3(a)). UNE-EN 60204-1, 9.2.3 Modos de Funcionamiento. *La selección del modo de funcionamiento no debe por sí misma provocar el inicio del funcionamiento de la máquina. Debe ser necesaria una acción separada del operador.* Por este motivo, para pasar de STOP a Automático es necesario que el selector ihm_M/A esté en “Auto” y, además, que el operador pulse ihm_Marcha. Sin embargo, en modo manual la máquina está, por defecto, parada, por lo que basta con seleccionar ihm_M/A = “Manual” para pasar a este modo (7 en Figura 3(a)).

Modo manual. Directiva 2006/42/CE: *Cuando sea necesario suprimir funciones de seguridad y/o medidas de protección (por ejemplo en reglaje o mantenimiento), la protección debe estar asegurada por: desactivación de todos los demás modos de funcionamiento; y otros medios apropiados por ejemplo: puesta en marcha del movimiento mediante un dispositivo de mando que precise una acción mantenida; limitación de la velocidad o de la potencia de movimiento; etc.* Se dispone un pulsador u orden manual “mantenida” para cada operación manual. Puede existir un modo manual con seguridades activas (Manual, 2 en Figura 4) y otro con seguridades retiradas “Manual_Sin_Seguridad”, 3 en Figura 4), destinado típicamente a operaciones de mantenimiento. Este segundo modo manual debe informar al subsistema de seguridad de que, aunque una determinada medida de seguridad no esté activa (por

ejemplo un resguardo abierto), se permite el rearme del sistema de seguridad bajo las condiciones previstas (Figura 4).

Por otro lado, pueden existir “maniobras” que no sean inmediatas. Por ejemplo, algunas paradas pueden requerir estados transitorios, como un estado “parando”, del que se sale automáticamente cuando el sistema detecta que el movimiento ha cesado finalmente, algo habitual en aplicaciones con servomotores. Otro modo transitorio puede ser el necesario para dar tiempo al subsistema de seguridad a que se rearme (Figura 3(b)). En la Figura 3(b), el pulsador Rearme rearma el subsistema de seguridad e informa a la gestión de modos.

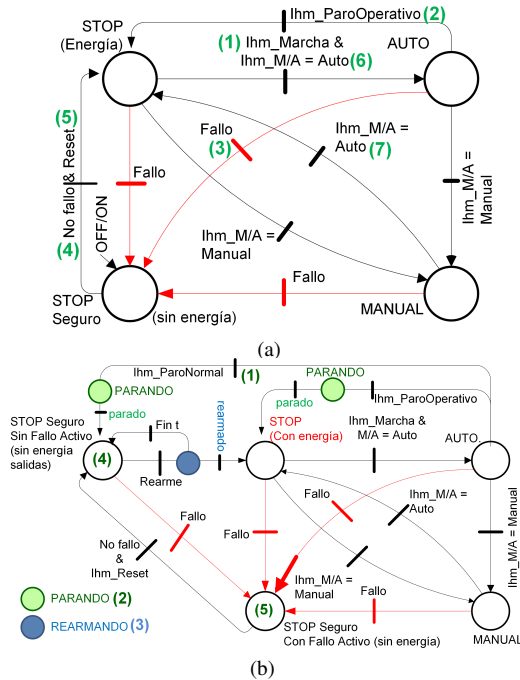


Figura 3: Propuesta de Modos de Funcionamiento: (a) versión con solo paro operativo. (b) versión con paro operativo, normal y modos transitorios.

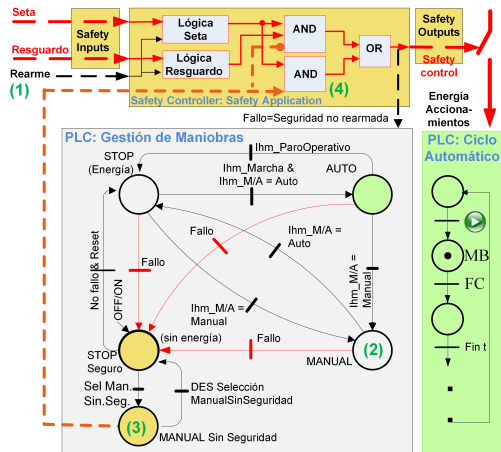


Figura 4: Integración del mando (modos de funcionamiento) con seguridad.

4. Comparativa con otros modelos

En este apartado se compara la propuesta frente a dos modelos consolidados en la literatura: GEMMA y PackML.

4.1. Comparativa con el modelo GEMMA

El modelo GEMMA presenta tres macroetapas principales, cada una con una serie de modos: procedimientos de parada (Ax), procedimientos de funcionamiento (Fx) y procedimientos de defecto (Dx). La máquina “en producción” debería

coincidir, en principio, con los modos F. Sin embargo, GEMMA contempla que, en determinadas circunstancias, pueda seguir produciendo mientras se encuentra en una situación orientada a la parada, por lo que parte de la producción puede coincidir con modos A. Del mismo modo, también admite que la producción se mantenga aun cuando haya aparecido algún defecto, pudiendo coincidir entonces con modos D.

La Figura 5 relaciona los modos GEMMA con los modos de funcionamiento definidos en la Sección 3. La Figura 5(a) representa los modos equivalentes al modo automático. La Figura 5(b) representa los modos equivalentes al STOP con energía, siendo la principal diferencia que GEMMA identifica explícitamente si la secuencia automática está en su estado inicial o no, mientras que en el modelo propuesto esta distinción no se especifica, ya que se considera gestionada por la propia secuencia automática. La Figura 5(c) se corresponde con el modo manual con seguridades activas. Por último, la Figura 5(d) recoge el modo alarma y el modo manual sin seguridades, es decir, con energía a pesar de existir una incidencia de seguridad activa.

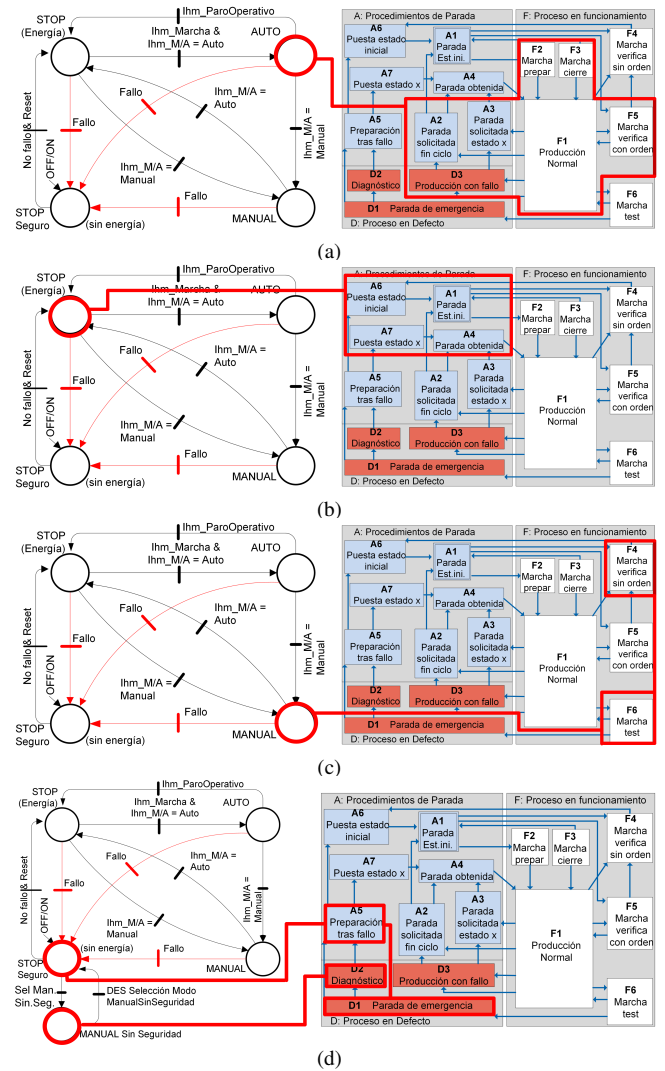


Figura 5: Comparativa con modelo GEMMA.

4.2. Comparativa con el modelo PackML

En este apartado se presenta, a modo de ejemplo, una secuencia de maniobras característica de PackML y su equivalencia con el modelo desarrollado en la Sección 3. La Figura 6

representa el paso de Automático a Alarma y el retorno a Automático. El resto de maniobras del modelo propuesto pueden asimilarse también a maniobras dentro de PackML.

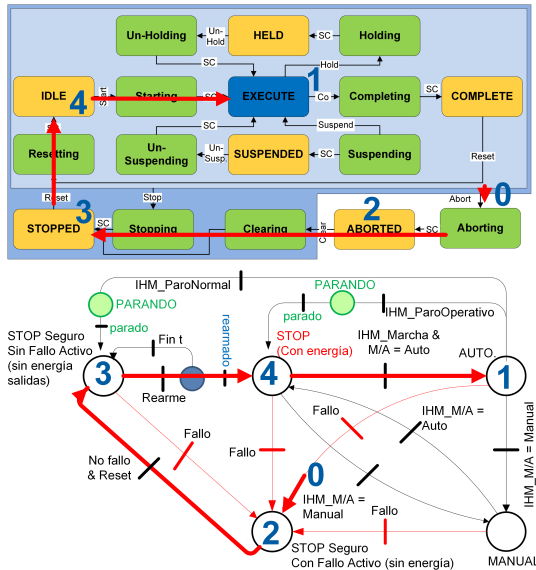


Figura 6: Comparativa con modelo PackML para la maniobra de paso Automático-Alarma-Automático. Arriba PackML, abajo propuesta.

5. Implementación

Este apartado presenta una propuesta de implementación sobre un proceso automático muy simple, a modo de “hola mundo”. Se considera una secuencia de marcha-paro sobre un transportador de cadenas, o cinta transportadora. La secuencia parte de un pulsador de inicio de operación (OkCarga), que activa el motor (OutMotor) hasta que una fotocélula (InFt) detecta que la pieza ha llegado al extremo. Una vez retirada la pieza (No InFt), se permite el inicio de un nuevo ciclo.

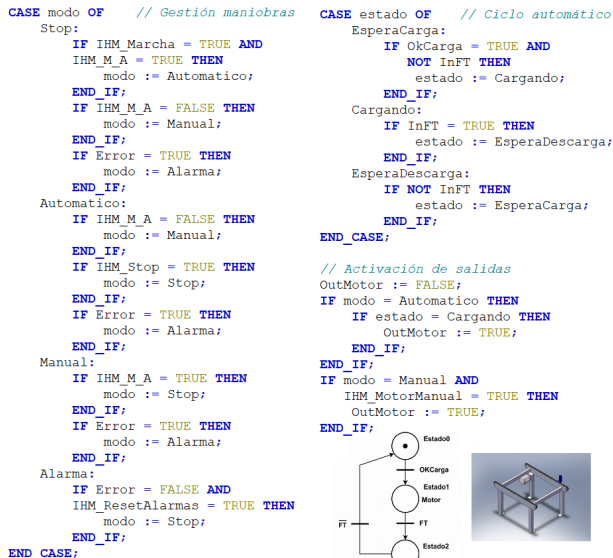


Figura 7: Ejemplo de implementación jerárquica de maniobras y ciclo.

Este ciclo se representa mediante una red de Petri en la Figura 7, junto con su codificación. Una variable “estado” identifica el estado activo del ciclo automático, a través de los valores EsperaCarga, Cargando y EsperaDescarga. La implementación aplica una organización jerárquica del control. Por una parte, se codifica la gestión de los “modos de funcionamiento” y su evolución a partir del modelo descrito en la Figura 3(a). Para ello, una variable enumerada “Modo”, con los valores

STOP, Auto, Man y Alarma, especifica el modo de funcionamiento en curso. El estado del subsistema de seguridad, rearmado o no, se representa mediante la variable error.

Por otra parte, la gestión de modos condiciona tanto la evolución del ciclo automático como la activación de la salida OutMotor. Así, el motor puede activarse por el estado correspondiente del ciclo automático, cuando el sistema está en modo automático, o por la pulsación manual IHM_MotorManual, cuando está en modo manual.

6. Conclusiones

Aunque las directivas y normas asociadas no especifican qué modos de funcionamiento debe tener una máquina o proceso industrial, y dejan una amplia libertad de implementación, sí establecen restricciones sobre las transiciones entre modos (maniobras), y, en algunos casos, recomendaciones sobre lo que debe o no debe hacerse en determinados modos característicos. A partir de estos documentos es posible generar un modelo de modos de funcionamiento simple, de fácil implementación y escalable.

Tanto el modelo GEMMA como PackML no han sido sintetizados considerando la normativa vigente. Por ello, cabría especificar su relación con la Directiva de Máquinas (y con las normas asociadas), como marco de obligado cumplimiento. En este sentido, el modelo propuesto en este artículo se ha desarrollado a partir de dicho marco normativo.

En definitiva, una formación en automatización industrial con vocación de trabajo de campo no debe limitarse a la algoritmia de proceso. Debe incorporar la normativa de seguridad como un elemento estructural del diseño, capacitando no solo para que un sistema funcione, sino para que lo haga con un nivel de seguridad técnicamente justificado, normativamente conforme y documentalmente defendible.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo del Grupo de Innovación Docente “GID M3C” de la Universidad de Vigo.

Referencias

- Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée, 1981. GEMMA: Guide d'Étude des modes de marches et d'Arrêts.
- Asociación Española de Normalización, 2012. UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- Asociación Española de Normalización, 2016. UNE-EN ISO 13850:2016. Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño.
- Asociación Española de Normalización, 2024. UNE-EN ISO 13849-1:2024. Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.
- Consejo de las Comunidades Europeas, 1989. Directiva del Consejo, de 14 de junio de 1989, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- España. Presidencia del Gobierno, 1986. Real decreto 1495/1986, de 26 de mayo, por el que se aprueba el reglamento de seguridad en las máquinas.
- Garrido Campos, J., 2025a. Guía docente automatización industrial. Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática. Universidad de Vigo.
- Garrido Campos, J., 2025b. Guía docente de automatización de maquinaria. Máster Universitario en Mecatrónica. Universidad de Vigo.
- International Society of Automation, 2008. ISA-TR88.00.02-2008. Machine and Unit States: An implementation example of ISA-88.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2006. Directiva 2006/42/CE, relativa a las máquinas. Diario Oficial de la Unión Europea, L 157, pp. 24–86, 17 de mayo de 2006.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2023. Reglamento (UE) 2023/1230, relativo a las máquinas. Diario Oficial de la Unión Europea, L 165, pp. 1–102, 14 de junio de 2023.