



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

MODELADO Y CONTROL EN SIMULACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE DE LA CÉLULA FMS-200 PARA SIMULACIÓN DE FALLOS

Alumno: Bueno Viso, Mikel

Director: Orive Revillas, Darío

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 19 de julio de 2019



BILBOKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE BILBAO



RESUMEN

En el presente proyecto se lleva a cabo el análisis, la simulación y finalmente el control de fallos en la Estación 1 de la Célula FMS-200. El trabajo de fin de grado realizado es parte de un proyecto de investigación del ámbito de la automatización, que tiene como objetivo principal la aplicación de la simulación para la mejora y optimización de los procesos reales de la actualidad. Para ello, se hace uso del gemelo digital de una de las estaciones de la célula FMS-200.

En el proyecto se define un procedimiento para el análisis de los fallos de un sistema industrial, y se establece una metodología para realizar la simulación y el control. Además de ello, se realiza una descripción detallada del funcionamiento del software necesario para llevar a cabo el trabajo, y se verifica la funcionalidad de integrar una metodología de este tipo en un proceso industrial automatizado.

De esta manera, se certifica una de las muchas funcionalidades que tiene una filosofía emergente como es la simulación de procesos industriales.

Palabras clave: Fallo, simulación, control, estación, célula, automatización, sistema, proceso industrial, gemelo digital.

LABURPENA

Gradu amaierako lan honen bidez FMS-200 makinaren lehen moduluaren akats potentzialen analisia, simulazioa eta kontrola burutzen da. Proiektua automatizazio industrialaren esparruan jorrotutako ikerkuntza lana da, eta simulazioaren bidezko gaur egungo prozesu industrialen optimizazioa du helburu. Horretarako FMS-200 makinaren moduluatariko bat erabiltzen da.

Proiektuan prozesu industrial baten akatsen analisirako prozedura definitzen da, eta hauen simulazio eta kontrola burutzeko metodologia ezarri. Horrez gain, lana garatzeko erabili den software-aren erabileraren deskribapena ere jorratzen da, eta uneoro egin den lanaren funtzionaltasuna egiaztatzen da, eratu den metodologia prozesu industrial errealean integartzeko helburuarekin.

Prozedura honi esker, gaur egun izugarriko hazkuntza prozesuan murgildurik dagoen simulazio teknologiararen erabileretariko baten funtzionaltasuna bermatzen da.

Hitz gakoak: Akats, simulazio, kontrol, makina, modulu, automatizazio, sistema, prozesu industrial.

ABSTRACT

This project has completed the analysis, simulation and control of potential failures of the Module 1 of the FMS-200 Cell. This end-of-degree work is a research project based on industrial automation, in order to apply the simulation philosophy with the objective of improving real industrial processes.

The project details a procedure designed to complete the analysis of potential failures of industrial processes, and a methodology based in the simulation and control of the failures previously analyzed. In addition, a detailed description of the software used to complete the project has been done.

In a nutshell, the main objective of the project is to implement a new procedure based on the simulation of industrial processes, in order to improve real processes that are being applied in industries.

Key words: Failure, simulation, control, module, cell, automation, system, industrial process.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE	9
3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO	15
4. BENEFICIOS QUE APORTA EL PROYECTO.....	17
5. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	19
5.1 INTRODUCCIÓN.....	19
5.2 SIMULACIÓN. SOFTWARE IN THE LOOP	19
5.3 CÉLULA FMS-200. ESTACIÓN 1.....	24
5.4 ANÁLISIS DE LOS FALLOS DEL SISTEMA	29
5.4.1 PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE FALLOS.....	29
5.4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS FALLOS.....	32
5.5. PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN DE FALLOS.....	48
5.5.1. MODIFICACIONES EN EL MODELO	48
5.5.2. EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	52
5.6. CONTROL DE FALLOS	55
5.6.1 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FALLO	55
5.6.2 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI).....	58
5.6.3 EJECUCIÓN DEL CONTROL DE FALLOS.....	62
6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	68
6.1. PLAN DE PROYECTO	68
6.2. DIAGRAMA DE GANTT	69
7. ASPECTOS ECONÓMICOS. PRESUPUESTO	70
8. ANÁLISIS DE RIESGOS	73
9. CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Telar de Jacquard	9
Ilustración 2. Estructura de un sistema automatizado	11
Ilustración 3. Estación 1 de la Célula FMS-200	15
Ilustración 4. Interfaz del HMI	18
Ilustración 5. Interfaz del software Siemens NX	20
Ilustración 6. Interfaz del software Siemens TiaPortal	21
Ilustración 7. Interfaz del software PLCSim Advanced	22
Ilustración 8. Mapeo de conexiones entre software	23
Ilustración 9. Estación de trabajo	23
Ilustración 10. Célula FMS-200	24
Ilustración 11. Estación 1 de la Célula FMS-200	25
Ilustración 12. Diagrama de flujo del proceso	26
Ilustración 13. Esquema gráfico del sistema.....	27
Ilustración 14. Visualización secuencial del transcurso del proceso en simulación	28
Ilustración 15. Pulsador "START" y selector automático/manual.....	34
Ilustración 16. Posición del palpador en caso de pieza mala y pieza buena	38
Ilustración 17. Visualización de la avería 10. Pallet alejándose y manipulador bloqueado	42
Ilustración 18. Señal luminosa de la estación	43
Ilustración 19. Modelización de un sensor	49
Ilustración 20. Modelización del selector de avería	49
Ilustración 21. Conjunto de selectores de avería.....	50
Ilustración 22. Parametrización de la avería.....	50
Ilustración 23. Mapeo de conexiones de la avería	51
Ilustración 24. Simulación de la avería 4.....	52
Ilustración 25. Simulación de la avería 5.....	53
Ilustración 26. Simulación de la avería 8.....	53
Ilustración 27. Simulación de la avería 11	54
Ilustración 28. Método por temporizador de tiempo de vigilancia	55
Ilustración 29. Método por temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa	56
Ilustración 30. Método por contador de piezas consecutivas defectuosas.....	57
Ilustración 31. Método por simultaneidad de señales activas	58
Ilustración 32. Pantalla inicial del HMI.....	59
Ilustración 33. Pantalla de averías del HMI	60
Ilustración 34. Pantalla de mando del HMI.....	61
Ilustración 35. Temporizador de tiempo de vigilancia en el código	62
Ilustración 36. Control de la avería 4	62
Ilustración 37. Implementación del pulsador "OK" en el código	63
Ilustración 38. Contador de piezas consecutivas defectuosas en el código	63
Ilustración 39. Control de la avería 5	64
Ilustración 40. Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa en el código.....	65
Ilustración 41. Control de la avería 8	65

Ilustración 42. Uso de la pantalla de mando para el control de la avería 8.....	66
Ilustración 43. Simultaneidad de señales activas en el código	66
Ilustración 44. Control de la avería 11	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fallos de la Estación 1 de la Célula FMS-200.....	47
Tabla 2. Presupuesto. Horas internas	70
Tabla 3. Presupuesto. Amortizaciones.....	70
Tabla 4. Presupuesto. Costes totales	72
Tabla 5. Matriz de probabilidad-impacto	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama de Gantt	69
Gráfico 2. Presupuesto. Costes directos	71

1. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX y en pleno auge de la industria, el trabajo e ingenio de personalidades como el ingeniero *Frederick Winslow Taylor* y el empresario *Henry Ford* contribuyeron a la creación de un nuevo modelo de fabricación conocido hoy en día como la producción en cadena. Aquella nueva forma de funcionar supuso un gran progreso en el ámbito industrial, mejorando notablemente tanto las condiciones de trabajo como los resultados de las industrias de la época.

La producción en cadena colaboró a que sectores en auge como la automoción innovaran y prosperaran, aplicando en su día a día un modelo que permitía, por ejemplo, fabricar vehículos a gran escala [1].

Sin embargo, en la actualidad sería inaceptable aplicar el mismo método que se utilizaba por aquel entonces, debido al continuo progreso que han padecido distintos ámbitos relacionados con el mundo empresarial, industrial y tecnológico. La necesidad de mejorar factores como la seguridad, la carga de trabajo, la calidad del producto o la rapidez han influido notablemente en la capacidad de cambiar e innovar de manera ininterrumpida que tiene el mundo industrial, y de adaptarse a los gustos y necesidades del cliente.

Una de las disciplinas que más se ha desarrollado y que más ha contribuido a la innovación y mejora de las cadenas de producción es la automatización, cuyo objetivo es conseguir empresas y procesos de producción totalmente automatizados e inteligentes. La automatización depende directamente de la tecnología, por lo que la creación y el desarrollo de nuevas tecnologías provoca que su incesante crecimiento se vea fortalecido por nuevos métodos o filosofías de trabajo.

Una de estas nuevas implementaciones es la simulación. La simulación (también conocida como virtualización) de procesos industriales se utiliza hoy en día para el diseño, desarrollo, análisis y optimización de cualquier proceso industrial o técnico, y su principal función es visualizar el proceso deseado de manera virtual en un dispositivo que así lo permita. Por lo tanto, se consigue una aproximación o un gemelo digital de la máquina, que permite actuar sobre el modelo y recopilar información de manera virtual sin la necesidad de interactuar con el dispositivo real.

Por lo tanto, en el presente trabajo se realizará el análisis de simulación de fallos aplicado a la Estación 1 de la Célula FMS-200, presentando de este modo un método efectivo e innovador que tiene como finalidad aplicar la simulación para ofrecer una gran cantidad de beneficios al negocio de la industria.

2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

La automatización industrial se puede definir como el uso o la combinación de distintas tecnologías con el fin de controlar procesos industriales, dispositivos o máquinas que desempeñan una función repetitiva, haciendo que funcionen de manera automática y reduciendo al máximo la intervención humana [2].

El comienzo de la automatización tal y como se conoce hoy en día se establece a principios del siglo XIX y en plena revolución industrial, cuando el tejedor y comerciante francés *Joseph Marie Jacquard* creó la patente del *telar de Jacquard*, un telar automático programable mediante tarjetas perforadas que revolucionó por completo la industria textil (*ver ilustración 1*). De este modo, se da el pistoletazo de salida a un sinnúmero de obras y desarrollos que tienen como objetivo común automatizar las tareas y procesos repetitivos, fatigosos o molestos del ámbito industrial, y que basándose en el fundamento de actuar de forma automática constituyen el concepto de la automatización industrial.



Ilustración 1. Telar de Jacquard

Fuente: Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Telar_de_Jacquard

Los propósitos de implementar la automatización en el día a día de una empresa se pueden resumir en un breve listado:

- Reducir la mano de obra.
- Simplificar el trabajo.

- Mayor eficiencia.
- Disminución de piezas defectuosas.
- Mayor calidad.
- Incremento de la productividad y competitividad.
- Control de calidad más estricto.

Sin entrar en detalle, la estructura de un sistema industrial automatizado se puede dividir en tres principales niveles (*ver ilustración 2*):

Nivel de gestión

Formado fundamentalmente por una o varias estaciones de trabajo cuya función principal es, entre otras, establecer la interconexión entre los distintos niveles de automatización y realizar las tareas de diseño de la maquinaria.

Nivel de control

Formado por controladores lógicos programables (PLC's). El PLC o autómatas programable es un equipo electrónico (computadora) programable en lenguaje no informático, encargado de controlar procesos secuenciales en tiempo real y ambiente de tipo industrial.

Las funciones básicas de un PLC son:

- Detección: Lectura de las señales de los sensores o captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- Mando: Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante accionadores.
- Diálogo hombre-máquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción mediante una interfaz hombre-máquina (HMI), obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso de fabricación.
- Programación: Introducir, elaborar y cambiar el programa de control del sistema. El PLC debe permitir modificar el código incluso con el autómatas controlando la máquina.

Además de las funciones básicas, un PLC puede desempeñar distintas funciones como soportar redes de comunicación o sistemas de supervisión, o crear una red de entradas y salidas distribuidas, pero la capacidad de realizar dichas tareas dependerá del modelo y del fabricante del autómatas [3].

Nivel de campo

Todos los sensores y actuadores distribuidos por el sistema de fabricación que reciben y envían señales tanto digitales como analógicas al PLC forman este nivel. Su función principal se puede definir como convertir magnitudes eléctricas en magnitudes físicas, y viceversa.

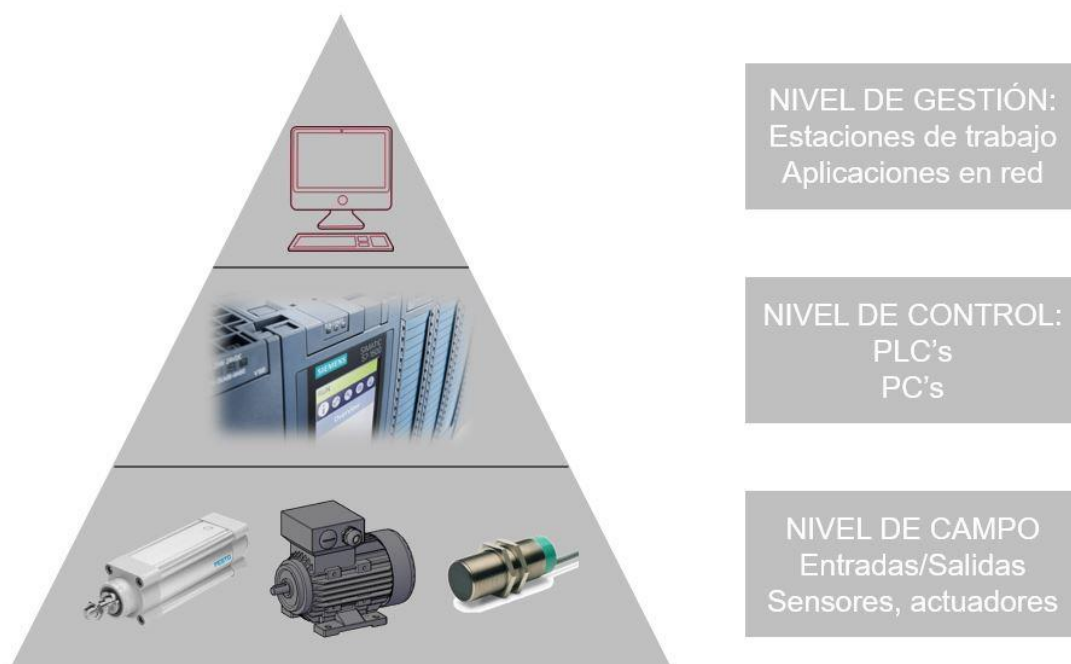


Ilustración 2. Estructura de un sistema automatizado

La automatización industrial está formada por la combinación de distintas tecnologías, que mediante su creación y desarrollo han ido aportando mejoras y avances que han causado que la automatización sea uno de los pilares fundamentales del ámbito industrial actual:

- Electricidad y electrónica industrial.
- Electrónica digital.
- Automática y control.
- Robótica.
- Tecnología mecánica.
- Telecomunicaciones y protocolos de comunicación.
- Modelado y diseño gráfico.

Una de las ramas de la automatización industrial de la actualidad es la simulación de procesos industriales, modalidad que permite simular procesos de todo tipo. Esta disciplina comenzó a desarrollarse a finales del siglo XX, gracias al gran avance que se produjo en temas de modelado, diseño gráfico y sobretodo lenguajes de programación y control de procesos. Por todo ello, cabe destacar la importancia que atesoran todas y cada una de las tecnologías mencionadas anteriormente.

La simulación de procesos es una representación de un proceso real, basada en procesos físicos, químicos y técnicos, y representada mediante operaciones en un software específico. Esta representación es comúnmente conocida como el *gemelo digital*, que se considera una aproximación de la máquina o proceso real que se quiere simular o virtualizar. Por lo tanto, esta especialidad permite representar numerosos procesos de fabricación y producción, robots e incluso fábricas enteras, mejorando notablemente el funcionamiento y control de todas ellas.

Tal y como se ha mencionado, un gemelo digital es un modelo que se aproxima a la realidad, por lo que cabe destacar la importancia de la calidad y capacidad de tanto el hardware como el software que se utiliza. Del mismo modo, las informaciones de los aspectos físico-químico-técnicos del proceso real que se proporcionan al software son fundamentales para que la simulación se aproxime en su totalidad a la realidad. Por lo tanto, el gemelo digital se puede definir como un modelo digital cuya finalidad es simular un proceso industrial real con la mayor exactitud posible.

Hoy en día casi todas las empresas del ámbito industrial hacen uso de la automatización, y en cuanto a las herramientas de simulación, se puede afirmar que su implementación está aumentando considerablemente. El aumento se debe a que a la vez que las empresas crean y mejoran sus propias plantas de fabricación y producción y se moderniza la tecnología, se descubren nuevas funcionalidades de un gemelo digital, aumentando considerablemente el valor de la simulación. Éstas son algunas de las muchas funcionalidades que puede poseer un gemelo digital:

- Verificar el funcionamiento previo a la puesta en marcha real.
- Modificar el diseño de procesos y máquinas.
- Modificar la producción.
- Probar y validar nuevas funcionalidades de un sistema.
- Simulación de posibles fallos del sistema.

El hecho de que el poder simular un proceso industrial permita realizar todo tipo de pruebas y modificaciones sin alterar la realidad acentúa el valor de la simulación, y justifica todo el valor económico que las empresas están invirtiendo en la actualidad con el fin de implementarlo en su día a día.

A la hora de hablar de la historia de la simulación de procesos, es imprescindible interpretar técnicamente el progreso desde su creación hasta la actualidad. El comienzo del uso de la simulación está sólidamente relacionado con el desarrollo de la informática, el hardware y los lenguajes de programación. Las implementaciones que se introdujeron en la década de los 70 para virtualizar procesos químicos se comenzaron a implementar en diversos ámbitos y sistemas, formando así el concepto de simulación de procesos. Inicialmente, la simulación se utilizó para reflejar procesos de estado estable, basándose en balances de masa y energía independientes del tiempo. La simulación dinámica fue una extensión de este primer paso, en la que la dependencia del tiempo se integró en la simulación, haciendo posible la descripción, predicción y el control de variables dentro de cualquier proceso a tiempo real. Debido al avance efectuado estos últimos años en temas software de modelado y diseño y a la implementación de nuevas tecnologías en términos de hardware, se ha conseguido que la simulación sea una aproximación casi exacta del proceso real, evidenciando de esta forma una transformación e innovación contundentes.

Existen numerosas empresas en la actualidad que desarrollan herramientas de simulación, cada cual creada y optimizada tanto para simular procesos industriales específicos, como para la simulación de procesos en general. Un software de simulación especializado por ejemplo para procesos fluido-mecánicos ofrecerá resultados más exactos que uno desarrollado para una aplicación más genérica, pero será menos flexible a la hora de combinar distintos procesos físico-químico-técnicos. Por esta razón, las empresas que desean contratar este tipo de servicios optan por escoger el software que mejor se adapta a su proceso industrial.

Éstas son algunas de las empresas punteras en el ámbito del desarrollo de herramientas de simulación de procesos industriales, y sus software:

- SIMIT, de Siemens: Software para la formación y realización de pruebas de proyectos de automatización.
- Siemens NX, que realiza funciones tanto de simulación, como de diseño y fabricación mediante la combinación de distintas herramientas.
- Panasonic Robot & Welding, software de simulación, edición y gestión de datos.
- Circa Series, de General Electric. Software especializado en la modelización y simulación de operaciones con tubos.
- Autodesk CFD, software de diseño y simulación térmica.
- Ansys, software de simulación en mecánica de fluidos y transferencias térmicas.

- Automation Studio, software de Famic Technologies especializado en el diseño y simulación de circuitos y sistemas de energía de fluidos y proyectos eléctricos.

Como se puede constatar, la gran cantidad de alternativas de mercado evidencian tanto el desarrollo como la magnitud de la simulación en el ambiente industrial de la actualidad [4].

En el presente proyecto se empleará el concepto del gemelo digital para realizar una simulación de fallos de un proceso industrial. Por lo tanto, sería apropiado introducir el concepto de simulación de fallos para su posterior análisis y ejecución.

En la actualidad, todas y cada una de las empresas que hacen uso de maquinaria industrial y procesos automatizados invierten una gran cantidad de dinero en comprobar y verificar el correcto funcionamiento de su sistema, para así evitar posibles incidencias durante el proceso. Las razones por las que éste hecho es primordial a la hora de afrontar el día a día en el ámbito industrial se pueden resumir en:

- El precio elevado de los equipos utilizados en procesos industriales.
- Un equipo averiado puede parar todo un proceso de producción.
- Reparar una máquina de ámbito industrial puede durar días incluso semanas o meses.

Por lo tanto, la oportunidad que brinda la simulación de reflejar en un dispositivo o pantalla los posibles fallos que pueda tener un sistema ofrece a la industria la ocasión de cambiar por completo la filosofía a la hora de realizar cualquier tarea de verificación, y se plantea una solución como alternativa a tareas como:

- Verificación previa a la puesta en marcha de un sistema.
- Pruebas de calidad de alguna fase de un proceso industrial.
- Pruebas de seguridad de alguna fase de un proceso industrial.
- Verificar posibles modificaciones en una línea de producción.
- Etc.

De esta manera, se presenta una parte del sector industrial con un muy amplio margen de mejora, en el que métodos como la simulación de fallos pueden contribuir a mejorar notablemente tanto la calidad como la efectividad con la que se ejecutan los procesos industriales en la actualidad.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo principal del proyecto es identificar, analizar, simular y finalmente controlar los posibles fallos de funcionamiento de la Estación 1 de la Célula FMS-200 (ver *ilustración 3*), en aras de obtener un control íntegro de la actividad de un proceso industrial.



Ilustración 3. Estación 1 de la Célula FMS-200

El primero de los pasos a seguir es identificar los fallos potenciales que pueda tener la estación. Este primer paso es muy importante, puesto que definirá la cantidad y el tipo de fallos que se analizarán posteriormente. Además de ello, y teniendo en cuenta la complejidad de todos y cada uno de los elementos que forman un proceso industrial, cabe destacar la importancia de establecer un orden de prioridades a la hora de definir los fallos, teniendo en cuenta la gravedad de los mismos.

Una vez definidos los fallos, se procederá a su análisis, donde se definirá el tipo de fallo y se clasificarán las averías según criterios concretos, que contribuirán a su posterior simulación y control.

El tercer paso es la simulación de los fallos. El papel que desempeña la simulación en el proyecto es fundamental, puesto que servirá para obtener una referencia visual de los posibles fallos de la Estación 1 que se han identificado y analizado previamente. De este modo, se habrá conseguido aplicar la simulación con el fin de analizar el funcionamiento de un proceso industrial, concretamente analizando las posibles averías del proceso.

El último paso servirá para alcanzar el objetivo principal del proyecto. Una vez simulados los posibles fallos que pueda tener el sistema, se modificará la programación con el fin de establecer un control sobre todos y cada uno de ellos. El control de una avería consiste en primero detectar que se ha dado una avería en el sistema, y posteriormente ofrecer una solución que resuelva la situación de fallo. De esta manera, se mejorará la calidad del código de control y se verificará un correcto funcionamiento de la Estación.

Además del objetivo principal, se han establecido también objetivos secundarios que ayudarán a obtener un proyecto mejor desarrollado, más completo y trabajado:

- Modificar el modelo 3D actual de la Estación para mejorar la simulación del funcionamiento del sistema.
- Añadir elementos al gemelo digital para poder realizar la simulación de fallos.
- Crear una interfaz humano-máquina (HMI) para facilitar y dinamizar el control de fallos.
- Utilizar el HMI para visualizar un esquema del proceso y así obtener una mayor información del funcionamiento del sistema.

De este modo, se completará un proyecto que tiene como finalidad aplicar la simulación para establecer un control sobre los posibles fallos de un proceso industrial.

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL PROYECTO

La simulación de fallos se presenta como una alternativa a distintos procesos de verificación que se realizan tanto en la puesta en marcha como durante el funcionamiento de un proceso industrial. Todas las tareas de este tipo tienen sus inconvenientes desde un punto de vista técnico y económico, por lo que plantear otra opción como puede ser la simulación ofrece una suma de beneficios que se ven reflejados tanto en los costes como en el producto final.

En la actualidad, cualquier proceso industrial está formado por máquinas e instrumentos eléctricos, electrónicos y mecánicos de coste elevado y un funcionamiento complejo y específico. Por lo tanto, y para evitar incidencias, es necesaria una coordinación entre todos los elementos que forman el conjunto, y parte de esa coordinación consiste en verificar que el sistema actúe correctamente el 100 % del tiempo de funcionamiento. Por ello, las empresas invierten una gran cantidad de dinero, tiempo y espacio todos los años en llevar a cabo pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de procesos industriales.

Desde un punto de vista económico, cabe destacar que las tareas de verificación de puesta en marcha y de funcionamiento de un proceso suponen un coste muy elevado para las empresas que poseen un proceso industrial automatizado. En la actualidad, son empresas homologadas y especializadas cada una en su sector las que acreditan que un proceso funciona correctamente y puede ser utilizado para su función. Todo ello se debe a que existe una amplia normativa a nivel europeo que garantiza la seguridad a la hora de utilizar cualquier tipo de instrumental eléctrico o mecánico que pone en peligro la salud de un ser humano. Además, las empresas realizan también tareas de verificación a nivel local para garantizar que no ocurran averías en su proceso de producción, que suponen también un gasto significativo para la compañía.

Por lo tanto, el integrar un método de detección de fallos implicaría un gran ahorro en los gastos de cualquier empresa, y es que la gran ventaja de aplicar una metodología basada en la simulación es que los costes variables son casi inapreciables. Además de poder evitar realizar tareas de verificación, el hecho de poder simular un proceso industrial contribuye también a establecer un primer contacto previo a un ensayo homologado para así garantizar el aprobado de la prueba. Al igual que en otros muchos aspectos de la economía actual, un cambio de filosofía poniendo en práctica una transición hacia lo moderno y lo tecnológico supone un gran ahorro e innovación.

Desde un punto de vista técnico, los beneficios que aporta el integrar un método de gestión de fallos son los siguientes:

- Poder establecer un método de detección en tiempo real de los fallos del sistema. El sistema avisará cuando detecte un fallo, indicando el tipo de fallo y los pasos a seguir para resolverlo.
- Conseguir la solución en tiempo real para cualquier situación de fallo. Además, ofrece la posibilidad de tratar cada avería de manera diferente y ofrecer una solución distinta para cada una de ellas.
- Permite la intervención del operario en el caso de que fuera necesario, mediante el uso de una interfaz hombre-máquina (HMI).
- Hacer uso de un HMI para visualizar el estado del sistema en cada momento; es decir, el HMI reflejará en qué etapa se encuentra el proceso (ver ilustración 4).

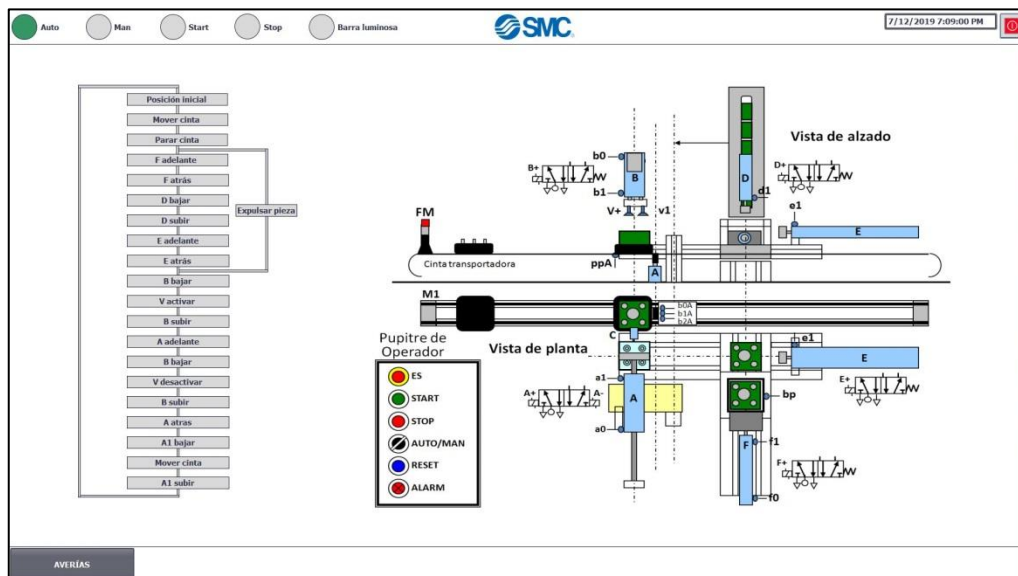


Ilustración 4. Interfaz del HMI

En definitiva, una vez aplicado este método se obtiene un control total sobre el funcionamiento del sistema, que ofrece tanto a la empresa como al cliente una garantía de seguridad y calidad que revaloriza el sistema de producción y el producto.

5. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 INTRODUCCIÓN

La metodología seguida para el desarrollo de la simulación de fallos se puede dividir en diferentes apartados, y se debe realizar bajo un orden establecido. Para comenzar, se realizará una breve descripción del software y el método empleados para poder obtener y ejecutar el gemelo digital del sistema, y se analizará el funcionamiento de la Estación. A continuación se efectuará el análisis de los fallos del sistema, y antes de comenzar con el procedimiento de simulación de fallos, habrá que modificar parte del modelo para poder realizar la simulación de manera correcta. Una vez realizada la simulación, el último paso será modificar el código de control para realizar el control de los fallos provocados en el sistema.

5.2 SIMULACIÓN. SOFTWARE IN THE LOOP

Para poder realizar la simulación de un proceso industrial mediante su gemelo digital, es necesaria la combinación de diferentes software. Esto se debe a que, técnicamente hablando, la metodología está dividida en distintos apartados que tienen una relación directa entre sí y que se desarrollan empleando distintos programas, cada uno especializado en su tarea.

El laboratorio del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática en el que se ha desarrollado el proyecto cuenta con el paquete de software de Siemens, que contiene los software Siemens NX, Siemens TiaPortal y PLCSim Advanced. La gran manejabilidad, flexibilidad y capacidad de interconexión que tienen estos tres programas hacen que éste conjunto de software de Siemens sea una opción idónea para realizar un proyecto de estas características. Además de ello, todos los PLC y el material didáctico relacionado con la programación de PLCs con el que se trabaja en las asignaturas del Grado de Ingeniería en Tecnología Industrial de la escuela es de Siemens, por lo que no sería ni siquiera necesario un análisis de alguna otra alternativa de mercado.

A continuación se realizará una breve descripción de los paquetes de software utilizados:

- Siemens NX_MCD: Parte del software Siemens NX, utilizado para implementar el modelo de la Estación 1 de la Célula FMS-200. Además de ser el software utilizado para visualizar la simulación del funcionamiento del gemelo digital (*ver ilustración 5*), también permite crear y modificar todas las características que tengan algo que ver con el funcionamiento sistema:
 - Diseño 3D de todos y cada uno de los elementos que forman la Estación. El programa permite modificar dimensiones, posiciones, restricciones, y también crear nuevos complementos y objetos.
 - Propiedades físicas de cada elemento: Peso, material, velocidades...
 - Creación de señales digitales. Ésta característica es fundamental para poder llevar a cabo la simulación, puesto que permite simular el funcionamiento real de elementos como sensores y actuadores.

Además de estas funcionalidades, Siemens NX_MCD brinda también la posibilidad de realizar tareas de análisis, ensamblaje o diseño gráfico que lo convierten en un software realmente potente y versátil.

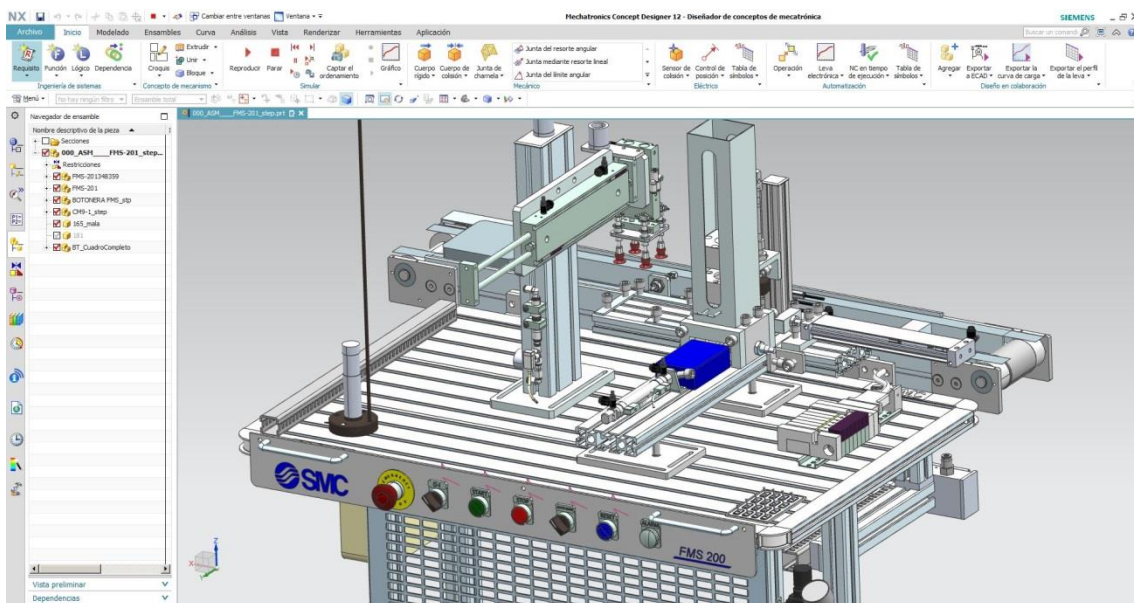


Ilustración 5. Interfaz del software Siemens NX

- Siemens TiaPortal: Software de ingeniería utilizado para desarrollar proyectos de automatización en PLCs. La herramienta TiaPortal permite generar el proyecto de control del sistema y sus posteriores modificaciones para poder realizar el control de las averías (*ver ilustración 6*). En resumen, es el software utilizado para realizar el proyecto y el control lógico del autómatas.

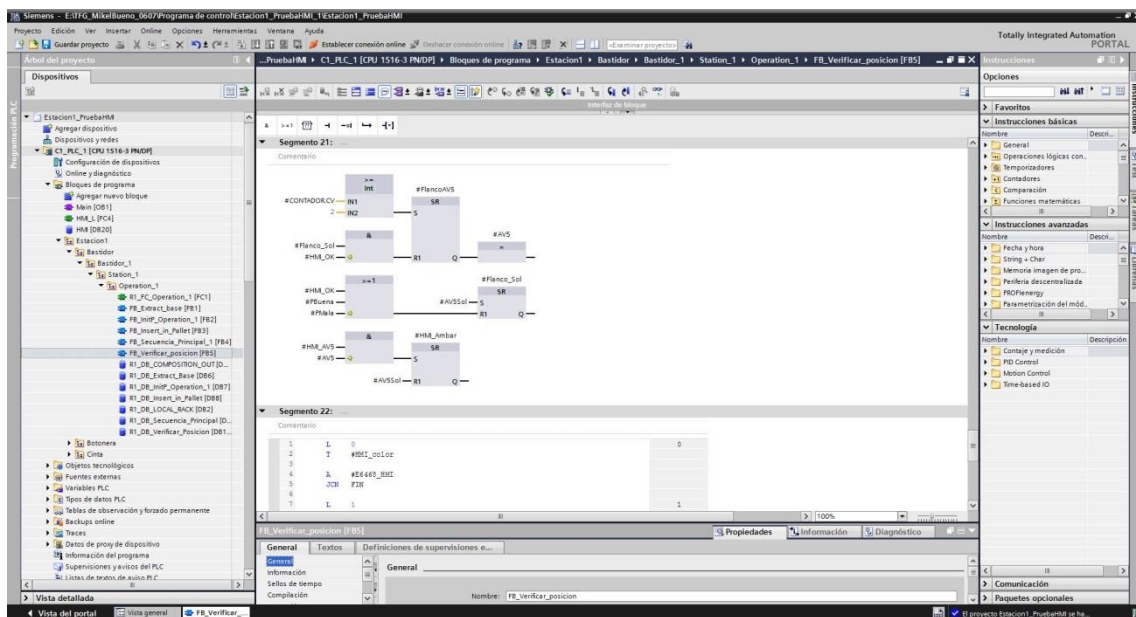


Ilustración 6. Interfaz del software Siemens TiaPortal

- PLCSim Advanced: Cuando se trata de un PLC real, es la herramienta TiaPortal la que se encarga de realizar la conexión entre el PLC y el programa de control. Sin embargo, en este caso se utiliza el gemelo digital del proceso, por lo que no se hace uso de un PLC real. Por lo tanto, hace falta un software que ejecute en NX_MCD el programa de control generado en TiaPortal (*ver ilustración 7*). El software PLCSim Advanced es un programa que crea un PLC virtual, y que por lo tanto permite realizar dicha ejecución.

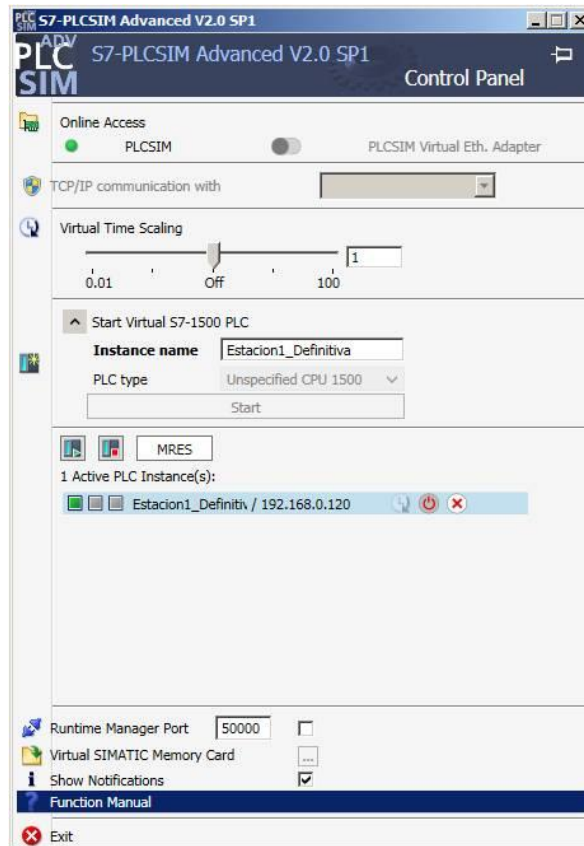


Ilustración 7. Interfaz del software PLCSim Advanced

El proceso de simulación mediante un PLC virtual se conoce en la actualidad como *Software In the Loop (SIL)*. Todo el software mencionado anteriormente es de la empresa Siemens, algo que facilita mucho todo el proceso de conexión entre programas y que resulta realmente cómodo y efectivo a la hora de realizar la simulación (ver ilustración 9). El procedimiento para aplicar el método SIL es el siguiente:

1. Crear y poner en marcha un PLC Virtual mediante el PLCSim Advanced.
2. Abrir tanto el modelo en NX_MCD como el código de control en TiaPortal.
3. El software NX_MCD ofrece la posibilidad de realizar un mapeo de conexiones (ver ilustración 8), mediante el que se establece la unión entre las señales generadas en el modelo y en el código.
4. Establecer la conexión entre el software TiaPortal y el PLC virtual.
5. Cargar el código de control en el PLC virtual.
6. Simular el proceso en NX_MCD.

Mapeo de señales

Tipo de señal externa
 Tipo
 Copias de PLCSIMAdv

Señales
 Señales mapeadas

Nombre de la conexión	Nombre de la señal ...	Dirección	Nombre de la señal ex...	Componente propie...	Mensaje
PLCSIM avanzado, Estacion1_Definitiva					
Global_S1_A_menos_1_R1_A_menos	S1_A_menos_1	←	R1_A_menos		
Global_S1_bp_R1_bp	S1_bp	→	R1_bp		
Global_S1_C_1_R1_C	S1_C_1	←	R1_C		
Global_S1_D_1_R1_D	S1_D_1	←	R1_D		
Global_S1_F_1_R1_F	S1_F_1	←	R1_F		
Global_S1_f0_2_R1_f0	S1_f0_2	→	R1_f0		
Global_S1_RESET_1_O1_RESET	S1_RESET_1	→	O1_RESET		
Global_S1_STOP_1_O1_STOP	S1_STOP_1	→	O1_STOP		
Global_SIT_A_1_T1_A	SIT_A_1	←	T1_A		
Global_SIT_b0A_1_T1_b0A	SIT_b0A_1	→	T1_b0A		
Global_SIT_b1A_1_T1_b1A	SIT_b1A_1	→	T1_b1A		
Global_SIT_b2A_1_T1_b2A	SIT_b2A_1	→	T1_b2A		
Global_SIT_M1_1_T1_M1	SIT_M1_1	←	T1_M1		
Global_SIT_ppA_1_T1_ppA	SIT_ppA_1	→	T1_ppA		
Global_S1_START_AV1_O1_START	S1_START_AV1	→	O1_START		
Global_S1_AUTO_MAN_AV2_O1_AU...	S1_AUTO_MAN_AV2	→	O1_AUTO_MAN		
Global_S1_f1_AV3_R1_f1	S1_f1_AV3	→	R1_f1		
Global_S1_v1_AV4_R1_v1	S1_v1_AV4	→	R1_v1		
Global_S1_d1_AV5_R1_d1	S1_d1_AV5	→	R1_d1		
Global_S1_e1_AV7_R1_e1	S1_e1_AV7	→	R1_e1		
Global_S1_b0_AV11_R1_b0	S1_b0_AV11	→	R1_b0		
Global_S1_B_1_R1_B	S1_B_1	←	R1_B		
Global_S1_E_1_R1_E	S1_E_1	←	R1_E		
Global_S1_V_1_R1_V	S1_V_1	←	R1_V		
Global_S1_A_mas_1_R1_A_mas	S1_A_mas_1	←	R1_A_mas		
Global_S1_b1_AV8_R1_b1	S1_b1_AV8	→	R1_b1		
Global_S1_a1_AV9_R1_a1	S1_a1_AV9	→	R1_a1		
Global_S1_a0_AV10_R1_a0	S1_a0_AV10	→	R1_a0		
Global_S1_ALARM_1_O1_ALARM	S1_ALARM_1	←	O1_ALARM		
Global_S1_FM_3_R1_FM	S1_FM_3	←	R1_FM		

Buscar N->1 mapeo

Aceptar Cancelar

Ilustración 8. Mapeo de conexiones entre software

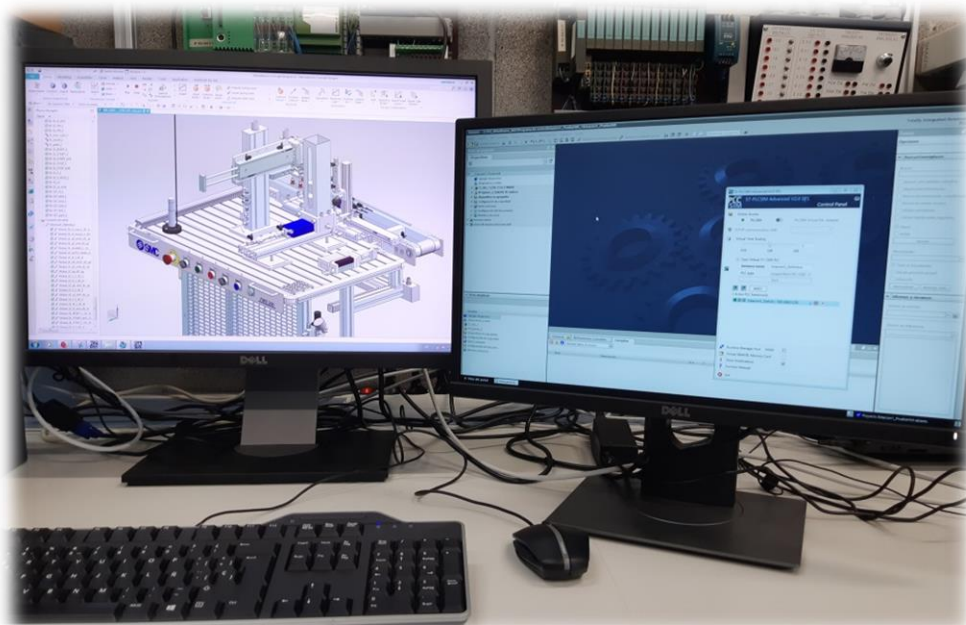


Ilustración 9. Estación de trabajo

5.3 CÉLULA FMS-200. ESTACIÓN 1

La célula FMS-200 es un sistema didáctico modular de ensamblaje flexible creado por la compañía japonesa SMC. La célula fue creada con un objetivo didáctico, de carácter modular y con características que hacen que su automatización sea totalmente flexible y adaptable a las necesidades de cualquier centro de formación o empresa. En cuanto a su proceso en sí, la célula está diseñada para fabricar un mecanismo de giro, y lleva a cabo el montaje de los diferentes componentes en distintos puntos o estaciones. El sistema puede componerse de hasta diez estaciones (*ver ilustración 10*):



Ilustración 10. Célula FMS-200

Fuente: <https://www.smctraining.com/webpage/indexpage/287>

- Estación 1 (FMS-201): Alimentación de la base.
- Estación 2 (FMS-202): Inserción del rodamiento.
- Estación 3 (FMS-203): Prensado hidráulico del rodamiento.
- Estación 4 (FMS-204): Inserción del eje.
- Estación 5 (FMS-205): Inserción de la tapa.
- Estación 6 (FMS-206): Inserción de tornillos.
- Estación 7 (FMS-207): Ensamblaje/desensamblaje y atornillado robotizado.
- Estación 8 (FMS-208): Almacén automático.
- Estación 9 (FMS-209): Secado de pintura en el horno.
- Estación 10 (FMS-210): Control de calidad por visión artificial.
- Sistema de transporte.

El sistema incluye toda una serie de operaciones de alimentación, manipulación, carga, transporte, etc. realizados mediante componentes de diferentes tecnologías:

- Neumática.
- Hidráulica.
- Sensórica.
- Robótica.

Por todas estas características, la Célula FMS-200 de SMC es la herramienta idónea para realizar un proyecto relacionado con la simulación de fallos en un proceso industrial, puesto que contiene todo el material necesario para llevar a cabo dicho proyecto [5].

La Célula FMS-200 utilizada para realizar el proyecto está situada en el laboratorio de investigación del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingeniería de Bilbao, y contiene 5 de las 10 estaciones que puede tener un sistema de este tipo:

- Estación 1 (FMS-201): Alimentación de la base.
- Estación 2 (FMS-202): Inserción del rodamiento.
- Estación 4 (FMS-204): Inserción del eje.
- Estación 5 (FMS-205): Inserción de la tapa.
- Estación 8 (FMS-208): Almacén automático.
- Sistema de transporte.

Tal y como se ha ido mencionando, en el presente proyecto se realizará la simulación de fallos de la Estación 1 de la célula (*ver ilustración 11*). Esta estación realiza el proceso de alimentación de la base que sirve como soporte al mecanismo de giro (el producto), verifica la posición de la misma y si es correcta realiza su desplazamiento hasta el pallet situado en el sistema de transporte. En caso de que la posición de la base sea la incorrecta, la base es rechazada [6].



Ilustración 11. Estación 1 de la Célula FMS-200

Fuente: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/293>

El funcionamiento de la estación se puede resumir en seis breves pasos (ver ilustraciones 12, 13 y 14):

1. Se coloca la base en el almacén vertical situado en el centro de la estación.
2. El cilindro de inserción empuja la base y la sitúa debajo del mecanismo de verificación, un cilindro denominado palpador.
3. Si la base está colocada correctamente, el palpador se insertará en el hueco de la base; sin embargo, si la base está dada la vuelta el cilindro chocará con el cuerpo sin poder bajar hasta abajo.
4. El cilindro de traslado moverá la base hasta colocarla debajo del mecanismo manipulador del cuerpo, una vez comprobado el estado de la base y que el palpador regrese a su posición de inicio. El mecanismo manipulador del cuerpo está formado por un cilindro vertical, otro horizontal y un cabezal con ventosas que sirve para agarrar la base.
5. Si la posición de la base es incorrecta, el cuerpo será expulsado por la rampa situada justo al lado. Si la posición es correcta, el mecanismo manipulador del cuerpo se encargará de colocar la base en el pallet. Posteriormente, el mecanismo volverá a su posición inicial.
6. Finalmente, la cinta transportadora traslada el pallet que contiene la base a la próxima estación, finalizando así el proceso de la Estación 1.

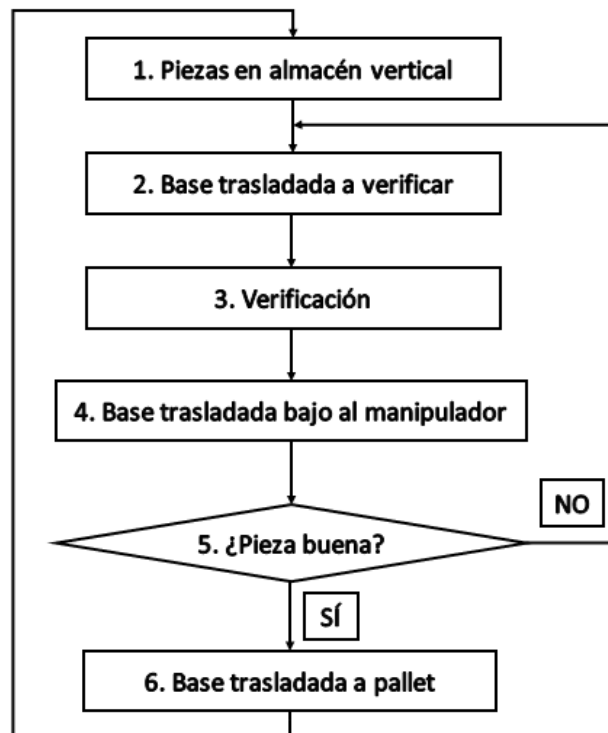


Ilustración 12. Diagrama de flujo del proceso

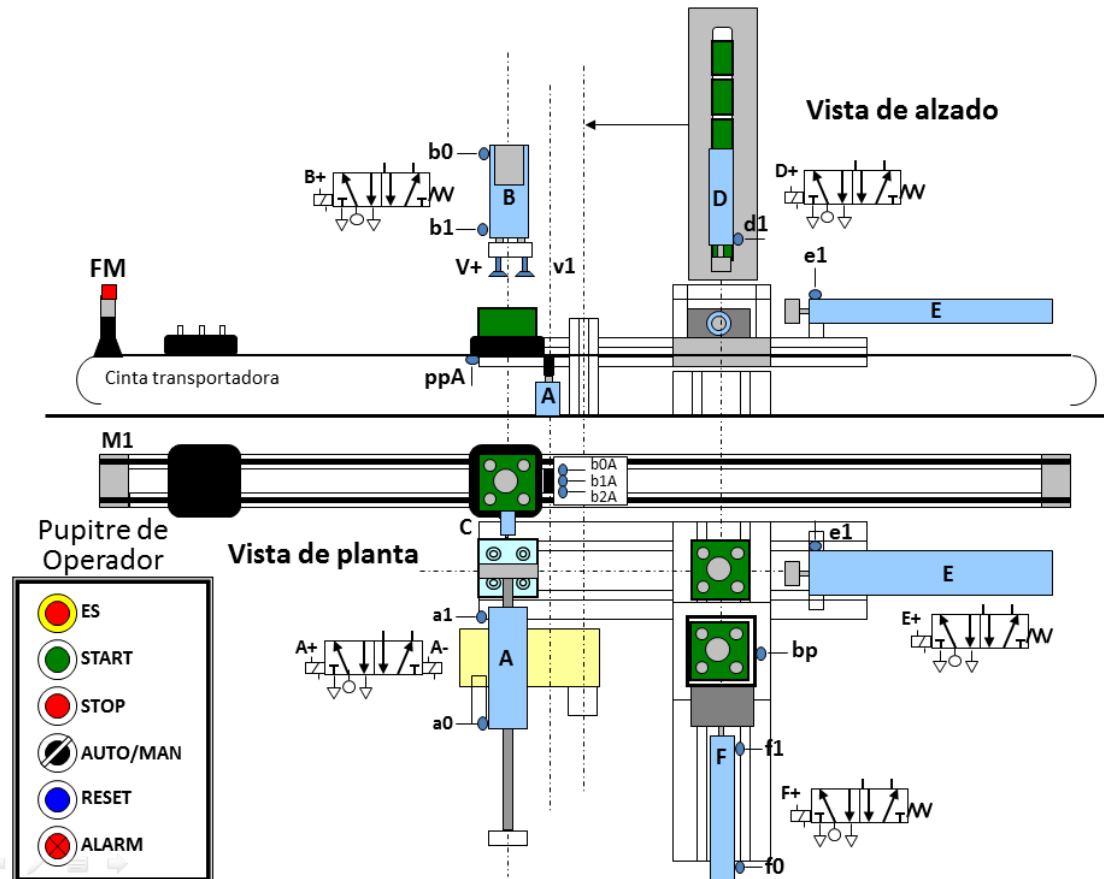


Ilustración 13. Esquema gráfico del sistema

Elementos de la Estación 1 (ver ilustración 13):

- Almacén vertical donde se colocan las piezas, con sensor bp para verificar si hay pieza.
- Cilindro alimentador F, con sensores de comienzo y fin de carrera f0 y f1.
- Cilindro de traslado E, con un sensor de fin de carrera e1.
- Cilindro palpador D, con un sensor de fin de carrera d1.
- Elemento C, encargado de expulsar las piezas defectuosas.
- Manipulador de inserción del cuerpo, formado por dos cilindros (A y B), cada uno con un sensor de comienzo y fin de carrera (a0, a1, b0, b1) y unas ventosas (V) con su propio detector (v1, vacuostato).
- Una cinta transportadora, con un sensor (ppA) que verifica si el pallet está colocado al junto al manipulador del cuerpo.

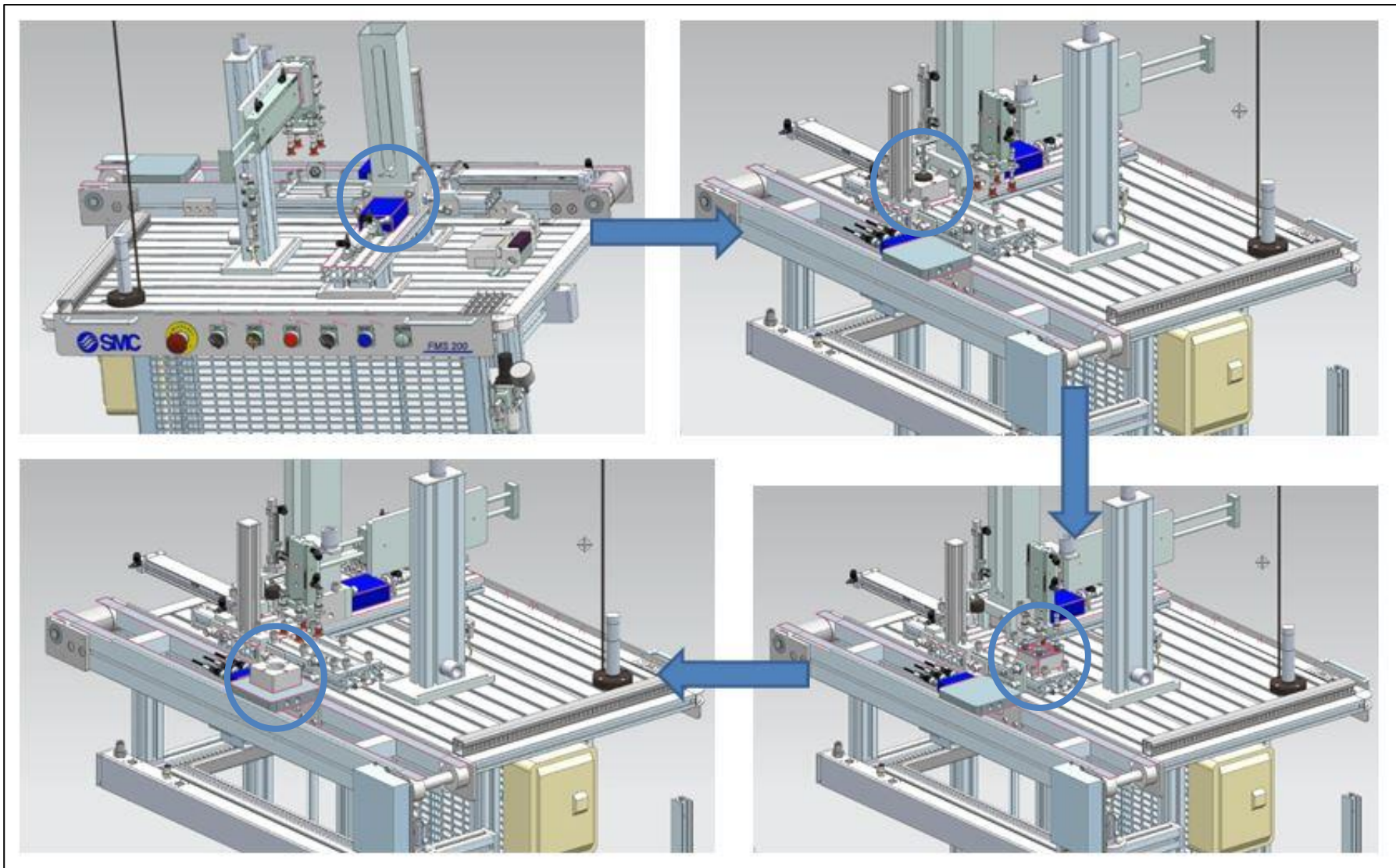


Ilustración 14. Visualización secuencial del transcurso del proceso en simulación

5.4 ANÁLISIS DE LOS FALLOS DEL SISTEMA

En este apartado se realizará el análisis de los posibles fallos que puedan ocasionarse en la Estación 1 de la Célula FMS-200. En primer lugar, se describirá una metodología para poder establecer una clasificación y gestión clara y ordenada de las averías, y posteriormente se procederá a la descripción de las mismas.

5.4.1 PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE FALLOS

Todo proceso de simulación de fallos de un sistema o proceso industrial debe estar correctamente ordenado y estandarizado, con el objetivo de establecer una uniformidad a la hora de actuar ante cualquier fallo o error. Por ello, se ha establecido un plan de tratamiento de fallos donde se identifican, analizan y evalúan los fallos que pueden producirse en el proceso [7].

Para analizar correctamente cada situación de fallo se deben realizar los siguientes pasos:

Paso 1 – Detección de fallo: El primer paso será identificar la forma de detectar la situación de fallo. El sistema deberá identificar cualquier anomalía que pueda suceder durante el proceso, mediante elementos de programación como:

- Temporizadores que marcan el tiempo límite o una mínima duración para la realización de ciertas tareas.
- Contadores que detecten un exceso de producción de cierta pieza, o que detecten que cierto elemento del sistema está siendo accionado las veces que no debería.
- Sensores que detectan estados de error.

Paso 2 – Aviso de fallo: Una vez detectado el fallo, el sistema deberá avisar de que el mismo se ha producido. Por lo tanto, en el paso 2 se identificará la forma de señalar el fallo, mediante cualquiera de los siguientes elementos:

- Señales luminosas, tanto en el panel de operación como en la misma zona donde se ha dado el fallo.
- Señales de sonido que alerten de la situación de fallo.
- Mensajes en el panel de operación (HMI).

Teniendo en cuenta la gravedad o el tipo de fallo, se podrá manipular la intensidad tanto de la señal luminosa como la del sonido con el objetivo de dar más información sobre la situación de fallo.

Paso 3 – Diagnóstico de fallo: Realizar el diagnóstico del fallo para establecer el tipo de fallo. Se pueden dar dos tipos de fallo:

- **Fallo solucionable:** El fallo se puede solucionar, y una vez solucionado el proceso podrá volver a funcionar con normalidad (Paso 4).
- **Fallo no solucionable:** El fallo no se puede solucionar. Dependiendo la gravedad del fallo, y de cómo afecte éste al proceso y a la producción, se establecen tres tipos de fallos no solucionables:
 - Paro a fin de ciclo (Paso 5).
 - Paro de emergencia (Paso 6).
 - Seguir en producción con fallo (Paso 7).

Paso 4 – Tratamiento fallo solucionable: Una vez diagnosticado el fallo como solucionable, el primer paso será establecer las acciones para preparar el proceso en el área afectada. Se deberá actuar de manera que el proceso pueda seguir funcionando de manera correcta, mediante distintas acciones como por ejemplo:

- Detener el proceso en una zona para facilitar su reparación.
- Realizar un paro en caliente.
- Activar algún accionamiento para liberar sujeciones.
- Mover o recolocar algún dispositivo o pieza para facilitar el acceso o permitir el movimiento de algún elemento del sistema.
- Etc.

Asimismo, y teniendo la situación de fallo bajo control, habrá que identificar las acciones a realizar para solventar el fallo:

- Cambiar el funcionamiento de modo automático a modo manual.
- Realizar un tratamiento específico.
- Etc.

Cuando se precise de 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 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 una degradación del proceso superado un tiempo.

3. Establecer la forma de desactivar el paro en caliente y retomar el correcto funcionamiento del sistema.

En el caso de un paso a funcionamiento manual para solucionar el fallo, se deberá considerar la forma de cambiar de modo automático a manual, y el posterior cambio de manual a automático (si precisa) una vez solucionado el fallo.

Paso 5 – Tratamiento fallo no solucionable – Paro de fin de ciclo: Antes de proceder, conviene analizar si se debe realizar alguna acción previa a la solicitud del paro a fin de ciclo, para así poder evitar cualquier consecuencia que afecte al sistema o a su funcionamiento:

- Retirada de alguna pieza en curso.
- Finalización de algún proceso previo.
- Etc.

Una vez realizado todo el tratamiento previo al paro de fin de ciclo, se deberá establecer la forma de activarlo.

Paso 6 – Tratamiento fallo no solucionable – Paro de emergencia: Analizar si se debe realizar alguna acción previa a la solicitud del paro de emergencia, para así poder evitar cualquier consecuencia que afecte al sistema o a su funcionamiento. Posteriormente se deberá establecer la forma de activar el paro de emergencia.

Paso 7 – Tratamiento fallo no solucionable – Seguir en producción con fallo: Cuando se trata de un fallo no solucionable y se continúa la producción con la zona de fallo tanto activa como anulada (sin haber solucionado el fallo), se deben realizar los siguientes pasos:

• **Paso 7.1 – Aceptar producción con fallo:** Evaluar la necesidad de aceptar el modo de funcionamiento de producción con fallo, dado que puede suponer una degradación de la calidad o pérdida total del producto, o puede afectar al funcionamiento del sistema ralentizándolo de manera considerable o afectando directamente a la salud de cualquier elemento necesario para la producción. Una vez aceptada la producción con fallo, habrá que identificar los controles para realizar dicha validación.

• **Paso 7.2 – Marcha de preparación para la producción con fallo:** Evaluar si es necesario realizar alguna acción previa antes de comenzar con este modo de funcionamiento:

- Detener alguna parte del proceso, como puede ser la zona de fallo, para evitar cualquier efecto negativo que pueda tener en el mismo.
- Modificar la ruta del sistema de transporte.

- Aprovisionar algún almacén.
- Etc.

Además, se deben identificar las señales necesarias para comunicar las medidas tomadas previamente explicadas.

- **Paso 7.3 – Marcha del sistema auxiliar por fallo:** En aquellos casos que sea necesario, diseñar y establecer cómo poner en marcha un nuevo proceso auxiliar o alternativo.
- **Paso 7.4 – Solicitud de parada de producción con fallo:** Determinar la forma de parar este modo de funcionamiento una vez solventada la situación de fallo.

Una vez finalizado correctamente este séptimo paso, se habrá conseguido solucionar la situación de fallo modificando el proceso nominal de producción durante solamente un periodo de tiempo limitado.

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.

El hecho de respetar un orden y una filosofía establecida a la hora de clasificar y de hacer frente a las situaciones de fallo contribuye a que su posterior simulación y control sean mucho más cómodos y claros. Por ello, durante todo el desarrollo de simulación de fallos se seguirán las pautas indicadas en este apartado. Se clasificarán los fallos haciendo uso de la terminología descrita, y se procederá a la simulación y el control siguiendo las indicaciones ofrecidas, completando de esta manera una metodología clara y ordenada.

5.4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS FALLOS

Con el fin de identificar y analizar una avería del proceso de forma adecuada, se deberán seguir los pasos planteados en el anterior apartado:

- Realizar una breve descripción de la avería, e identificar el componente averiado.
- Definir el método de detección de fallo.
- Decretar el tipo de fallo acorde a sus características.
- El tratamiento del fallo y la posterior puesta en marcha del sistema se realizarán en el apartado de control de fallos.

En este apartado se realizará la descripción de los fallos, se determinará el método de detección de fallo para cada avería y se introducirán los distintos métodos de resolución de fallo que se analizarán con más detalle en el siguiente apartado.

A la hora de registrar fallos potenciales de la Estación 1 de la Célula FMS-200 se han identificado 15 posibles casos, procurando conseguir averías de distintos tipos y de distinto tratamiento, con el fin de abarcar la mayor variedad posible (*ver tabla 1*):

Avería 1

Síntoma de la avería: La estación no se puede poner en marcha en modo independiente.

Componente averiado: Cableado del pulsador de marcha (m) (*ver ilustración 15*).

Esta primera avería se centra en el pulsador “Start” de la botonera de la célula FMS-200. El hecho de que el cableado del pulsador de marcha (m) esté estropeado significa que la señal correspondiente a dicha acción sea siempre falsa; por lo tanto, el programa de control no recibirá nunca la señal de activación del sistema.

El fallo lo detectará la persona encargada de poner en marcha la célula, si se da el caso de que al pulsar el pulsador “Start” el sistema no se activara. En este caso se podría prescindir del aviso de fallo, puesto que sería el mismo responsable de poner en marcha el sistema el que avisara de la avería.

La avería 1 se podría considerar como un fallo solucionable, puesto que trata de una avería previa a la puesta en marcha del sistema y no tiene ninguna consecuencia negativa en el proceso. Por lo tanto, no será necesario ni detener el proceso ni realizar un paro en caliente para su reparación.

Avería 2

Síntoma de la avería: La estación solo funciona en modo automático.

Componente averiado: Cableado del selector paso-paso/automático (a/m) (*ver ilustración 15*).

El selector automático/manual funciona de tal manera que si está en modo automático la señal que recibe el programa de control es un “false”, y si está en modo manual la señal que recibe es un “true”. Por esta razón, esta segunda avería trata de un fallo parecido al de la avería 1. La avería trata de que el selector, sin tener en cuenta la posición que se le ha adjudicado manualmente, mandaría siempre una señal “false” al

programa de control. Por lo tanto, la estación funcionará en modo automático sin tener en cuenta si la posición del selector “a/m” está en modo manual o automático.

Al igual que en la anterior avería, el fallo lo detectará el operario encargado de poner en marcha el sistema, si la estación se pone en marcha en modo automático estando el selector en modo manual. No hará falta ningún elemento de control que avise del fallo, puesto que será la misma empleada la que dé el aviso en el instante posterior al fallo.

La avería 1 se podría considerar como un fallo solucionable, puesto que trata de una avería en el cableado del selector a/m que no afecta al correcto funcionamiento del sistema. Sin embargo, y debido a que el diagnóstico de fallo se daría una vez puesta en marcha la célula, habría que considerar una de las siguientes opciones:

- Realizar un paro a fin de ciclo que permita resolver el problema con el proceso parado.
- Esperar a que termine el proceso y, sin comenzar el siguiente y con el sistema parado, resolver el problema en el cableado.

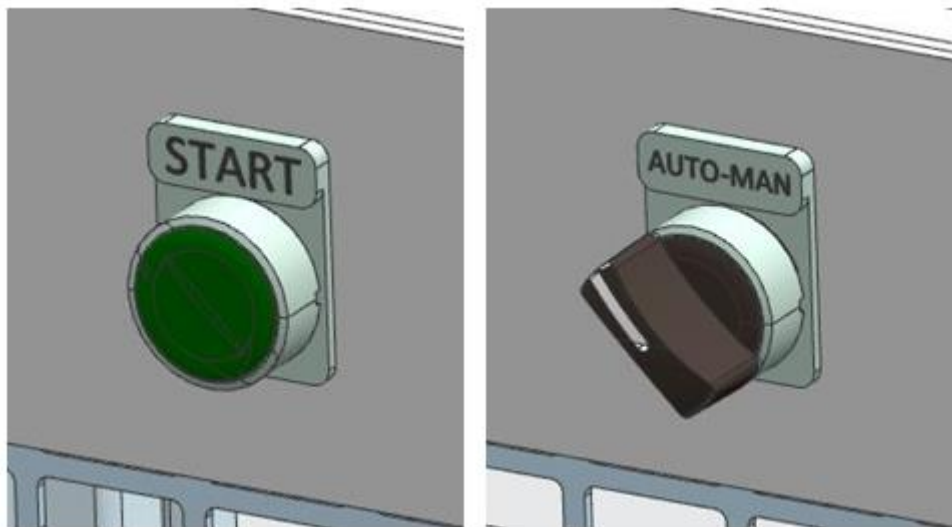


Ilustración 15. Pulsador "START" y selector automático/manual

Avería 3

Síntoma de la avería: El palpador no desciende.

Componente averiado: Detector magnético del alimentador (f1).

El alimentador F es el elemento que da comienzo a todo el proceso de la estación. Su función es mover la pieza que se coloca en el almacén vertical del centro de la estación empujándola hacia la zona donde se encuentra el palpador, para que éste determine el tipo de pieza del que se trata. El alimentador F está formado por un actuador F que mueve el cilindro sobre un eje lineal, y dos sensores de posición, uno de comienzo de carrera (f_0) y otro de final de carrera (f_1). La avería 3 trata de un fallo en el sensor f_1 ; éste es un sensor normalmente abierto (NA), que se activa (señal “true”) cuando el cilindro F llega a fin de carrera colocando la pieza justo debajo del palpador. Por lo tanto, el fallo provoca que el sensor de siempre la señal de “false”, impidiendo al programa de control detectar si la pieza está colocada debajo del palpador para su posterior evaluación.

En este caso, puesto que el elemento que falla es un sensor, la forma de detectar la avería no es tan sencilla como en los dos casos anteriores. El sistema deberá detectar el fallo automáticamente, mediante un temporizador que se programará en paralelo a la etapa en la que el cilindro F hace avanzar la pieza. Se ha calculado que en un funcionamiento correcto del proceso el cilindro F tarda poco menos de 2 segundos en colocar la pieza debajo del palpador, por lo que se puede considerar unos 5 segundos como el tiempo límite para que el temporizador detecte si hay avería o no.

Puesto que la avería trata de un fallo de sensor y la detección se daría en el transcurso del proceso, el procedimiento de aviso de fallo será completamente distinto a los dos anteriores casos. El temporizador se programará para que cada vez que se detecte un fallo en el sensor se active una señal, que se utilizará para activar los siguientes mecanismos de aviso de fallo:

- Una señal luminosa en la barra indicadora.
- Una señal luminosa en el HMI.

Al ser una avería en un sensor, la avería 3 se debería considerar como un fallo solucionable, puesto que no se altera ni el funcionamiento de la estación ni el estado del producto. Para el posterior control de la avería, se consideran dos opciones:

- Seguir en modo automático, y que el operador intervenga mediante el uso del HMI para confirmar que la pieza está correctamente posicionada y se salte la etapa para seguir funcionando.
- Pasar a modo manual, y hacer progresar el proceso mediante la intervención del operador.

Avería 4

Síntoma de la avería: El cilindro vertical del manipulador del cuerpo no asciende.

Componente averiado: Detector del vacuostato (v).

La avería 4 trata de un fallo en el detector del vacuostato (v) que se sitúa en la cabeza del cilindro vertical del manipulador (B). Una vez colocada la pieza justo debajo del cilindro vertical del manipulador, el cilindro desciende hasta la pieza, y utilizando el vacío de las ventosas situadas en la parte inferior sujeta la pieza para su posterior colocación en el pallet. Sin embargo, el programa de control necesita recibir la señal del vacuostato (para certificar que la pieza está sujeta correctamente) para hacer ascender al cilindro B, y el hecho de que el vacuostato esté averiado impide realizar dicha acción. El vacuostato funciona como un sensor normalmente abierto (NA), que se activa cuando la pieza está sujeta correctamente por las ventosas (señal “true”). Por lo tanto, el fallo provoca que la señal “v” sea “false” todo el tiempo.

Al igual que en la avería 3, puesto que el elemento que falla es un sensor, el sistema deberá detectar el fallo automáticamente, mediante un temporizador que se programará en paralelo a la etapa en la que el cilindro B desciende y sujeta la pieza con las ventosas. Se ha calculado que en un funcionamiento correcto del proceso el cilindro B tarda 1 segundo en descender, por lo que se puede considerar unos 3 segundos como el tiempo límite para que el temporizador detecte si hay avería o no.

Para el procedimiento de aviso de fallo, el temporizador se programará para que cada vez que se detecte un fallo en el sensor se active una señal, que se utilizará para activar los siguientes mecanismos de aviso de fallo:

- Una señal luminosa en la barra indicadora.
- Una señal luminosa en el HMI.

Al ser una avería en un sensor, la avería 4 se debería considerar como un fallo solucionable, puesto que no se altera ni el funcionamiento de la estación ni el estado del producto. Para el posterior control de la avería, se consideran dos opciones:

- Seguir en modo automático, y que el operador intervenga mediante el uso del HMI para confirmar que la pieza está correctamente posicionada y se salte la etapa para seguir funcionando.
- Pasar a modo manual, y hacer progresar el proceso mediante la intervención del operador.

Avería 5

Síntoma de la avería: Se expulsa la base siempre aunque su posición sea correcta.

Componente averiado: Detector magnético del palpador (d1).

La avería 5 trata de un fallo en el sensor d1 del cilindro palpador (D). Éste elemento funciona de tal manera que, si la pieza situada debajo está colocada correctamente, el cilindro puede introducirse dentro de la misma y activar el detector d1, algo que no sucede en caso de tener una pieza colocada del revés (*ver ilustración 16*). El detector d1 es un sensor normalmente abierto (NA) que se activa al introducirse el palpador dentro de la pieza (señal “true”). Por lo tanto, al estar el sensor estropeado, la señal emitida será un “false” en todo momento, y el sistema determinará que la pieza está colocada del revés en cualquier caso.

Esta avería trata de un caso particular, puesto que la detección de fallo se hace mediante un contador. El hecho de que la pieza esté colocada del revés es consecuencia de un fallo humano a la hora de colocar la pieza en el almacén vertical del comienzo del proceso; por lo tanto, se ha establecido un número de piezas defectuosas consecutivas que no está permitido superar: 2. De esta manera, el contador activará una señal de aviso cuando detecte que dos piezas consecutivas han sido colocadas del revés. Por supuesto, este hecho puede producirse bien por un fallo humano (no es habitual), o bien porque el detector d1 está estropeado y el sistema detecta piezas defectuosas de manera continua. Al activarse la señal, se activarán las señales luminosas del HMI y de la barra indicadora.

Ésta avería se puede considerar como un fallo solucionable, puesto que no altera ni daña el funcionamiento de la estación y se puede resolver mediante:

- Pasar a modo manual, y hacer progresar el proceso mediante la intervención del operador.
- En cuanto al funcionamiento en modo automático, habría que realizar una modificación extra para este caso. La señal del sensor d1 no es una condición necesaria para pasar de etapa, por lo que el sistema seguiría funcionando y expulsaría las piezas de manera ininterrumpida. Por lo tanto, es necesario forzar un paro en caliente del sistema para evitar este problema. En este caso el operador debería también definir si la pieza introducida está colocada de manera correcta y transmitirlo al sistema mediante el HMI, puesto que el sistema no está capacitado debido a la avería. De esta manera, se habría resuelto el problema mediante intervención de operador estando en modo automático.

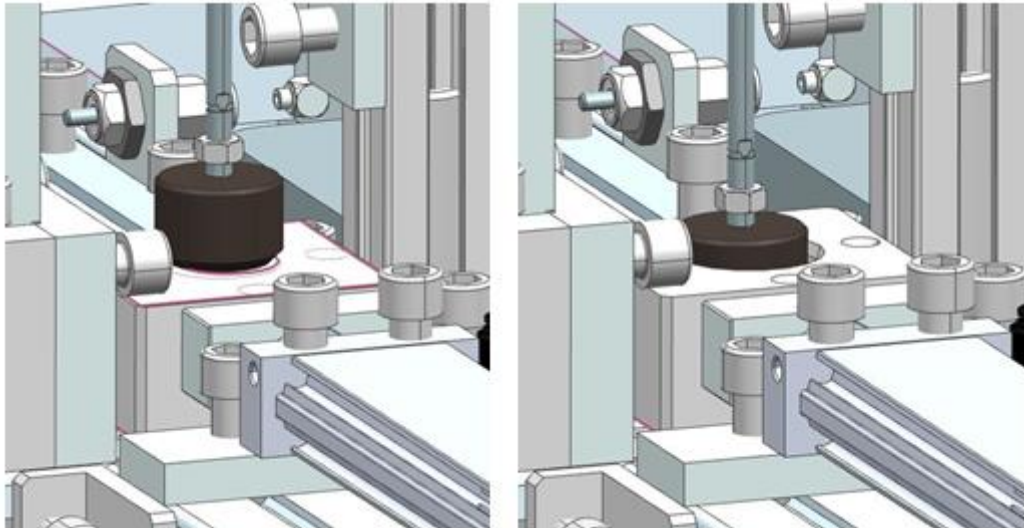


Ilustración 16. Posición del palpador en caso de pieza mala y pieza buena

Avería 6

Síntoma de la avería: La estación no se puede poner en marcha en modo automático.

Componente averiado: Cableado del pulsador de paro (p).

Esta avería se centra en el pulsador “Stop” de la botonera de la célula FMS-200. El hecho de que el cableado del pulsador de paro (p) esté estropeado significa que la señal correspondiente a dicha acción sea siempre verdadera; por lo tanto, el sistema nunca cumplirá con las condiciones iniciales que son necesarias para iniciar el proceso.

El fallo lo detectará la persona encargada de poner en marcha la célula, si se da el caso de que, en modo automático, al pulsar el botón “Start” el sistema no se activara. En este caso se podría prescindir del aviso de fallo, puesto que sería el mismo responsable de poner en marcha el sistema el que avisara de la avería.

La avería 6 se podría considerar como un fallo solucionable, puesto que trata de una avería previa a la puesta en marcha del sistema y no tiene ninguna consecuencia negativa en el proceso. Por lo tanto, no será necesario ni detener el proceso ni realizar un paro en caliente para su reparación.

Avería 7

Síntoma de la avería: El cilindro de traslado no retorna.

Componente averiado: Detector magnético del cilindro de traslado (e1).

El cilindro de traslado (E) es el elemento encargado de desplazar la pieza desde la zona del palpador hasta el manipulador. El sensor e1 es un detector de fin de carrera normalmente abierto (NA), que se activa cuando la pieza se posiciona debajo del manipulador. Ésta condición es necesaria para que el proceso continúe, por lo tanto una avería en el sensor (señal “false”) provoca un paro en el sistema.

Al igual que en las averías 3 y 4, puesto que el elemento que falla es un sensor, el sistema deberá detectar el fallo automáticamente, mediante un temporizador que se programará en paralelo a la etapa en la que el cilindro E avanza y coloca la pieza. Se ha calculado que en un funcionamiento correcto del proceso el cilindro E tarda 3 segundos en avanzar, por lo que se puede considerar unos 6 segundos como el tiempo límite para que el temporizador detecte si hay avería o no.

Para el procedimiento de aviso de fallo, el temporizador se programará para que cada vez que se detecte un fallo en el sensor se active una señal, que se utilizará para activar los siguientes mecanismos de aviso de fallo:

- Una señal luminosa en la barra indicadora.
- Una señal luminosa en el HMI.

Al ser una avería en un sensor, la avería 7 se debería considerar como un fallo solucionable, puesto que no se altera ni el funcionamiento de la estación ni el estado del producto. Para el posterior control de la avería, se consideran dos opciones:

- Seguir en modo automático, y que el operador intervenga mediante el uso del HMI para confirmar que la pieza está correctamente posicionada y se salte la etapa para seguir funcionando.
- Pasar a modo manual, y hacer progresar el proceso mediante la intervención del operador.

Avería 8

Síntoma de la avería: Se suelta el cuerpo desde arriba sin bajar.

Componente averiado: Detector magnético inferior del cilindro vertical del manipulador de inserción (b1).

Esta avería trata de un fallo en uno de los 4 sensores del manipulador de inserción de la pieza en el pallet. El detector b1 es un sensor normalmente abierto (NA) que determina que el cilindro B ha llegado hasta la posición de fin de carrera (abajo). Por lo tanto, el hecho de que esté estropeado provoca que la señal b1 sea siempre verdadera, y el sistema detecte que la pieza ha llegado hasta la posición del pallet

cuando en la realidad el manipulador se sitúa a la altura del eje del cilindro A. Cuando esto sucede el sistema da la orden de soltar la pieza, y ésta cae desde una altura provocando una avería que no se asemeja a las antes analizadas.

Ésta avería trata de un caso particular, puesto que se utilizará un temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa para detectar el fallo. De esta manera, el temporizador dará una señal de aviso cuando la etapa en la que el cilindro B baja dure menos de los 2 segundos que dura en un funcionamiento correcto del proceso. Al activarse dicha etapa, sistema tarda un ciclo en soltar la pieza; por lo tanto, se ha establecido el tiempo de 0,5 segundos como tiempo de estancia mínimo en la etapa, para así detectar la avería lo antes posible.

Al activarse la señal de aviso, la barra luminosa y el HMI advertirán al operario de la situación de fallo.

La avería 8 no es solucionable, debido a que las consecuencias de que la pieza caiga son irreversibles. Por lo tanto, se deberá realizar un paro de emergencia para habilitar que el operador devuelva el sistema a la posición inicial, retire el pallet y la pieza defectuosa y se proceda a poner en marcha de nuevo la estación.

Avería 9

Síntoma de la avería: El manipulador de inserción desciende antes de llegar adelante.

Componente averiado: Detector magnético delantero del cilindro horizontal del manipulador de inserción (a1).

Esta avería trata de un fallo en otro de los 4 sensores del manipulador de inserción de la pieza en el pallet. El detector a1 es un sensor normalmente abierto (NA) que determina que el cilindro A ha llegado hasta su posición de fin de carrera (adelante). Por lo tanto, la avería provoca que la señal del detector sea siempre verdadera, y el cilindro B comience a bajar en el mismo momento que comienza la etapa en la que A avanza. Debido al fallo, la pieza choca con el elemento encargado de expulsar las piezas defectuosas que está situado debajo del manipulador.

Al igual que en la anterior avería se utilizará un temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa para detectar el fallo. De esta manera, el temporizador dará una señal de aviso cuando la etapa en la que el cilindro A avanza dure menos de los 3 segundos que dura en un funcionamiento correcto del proceso. Al activarse dicha etapa, sistema tarda un ciclo en activar el cilindro B; por lo tanto, se ha establecido el

tiempo de 0,5 segundos como tiempo de estancia mínimo en la etapa, para así detectar la avería lo antes posible.

Al activarse la señal de aviso, la barra luminosa y el HMI advertirán al operario de la situación de fallo.

En este caso sería posible evitar un choque realizando un paro en caliente en el momento en el que se detecta la avería. Sin embargo, esta solución no es efectiva al 100% ya que la posterior puesta en marcha sería muy complicada, por lo que se ha considerado que la mejor solución es un paro de emergencia que habilite que el operador devuelva el sistema a la posición inicial, retire el pallet y la pieza defectuosa y se proceda a poner en marcha de nuevo la estación. Como consecuencia de esta decisión, la avería trata de un fallo no solucionable.

Avería 10

Síntoma de la avería: La entrada a0 del PLC está siempre activa, el cilindro A no retrocede.

Componente averiado: Detector magnético trasero del cilindro horizontal del manipulador de inserción (a0).

El detector a0 es el sensor de comienzo de carrera del cilindro A, normalmente abierto (NA). La avería 10 provoca que la señal a0 sea verdadera durante todo el proceso, y a consecuencia de ello, el cilindro A no retrocede después de que el cilindro B suba habiendo dejado la pieza en el pallet (*ver ilustración 17*).

Al igual que en las anteriores averías se utilizará un temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa para detectar el fallo. De esta manera, el temporizador dará una señal de aviso cuando la etapa en la que el cilindro A retrocede dure menos de los 3 segundos que dura en un funcionamiento correcto del proceso. Al activarse dicha etapa, sistema tarda un ciclo en hacer avanzar el pallet; por lo tanto, se ha establecido el tiempo de 0,5 segundos como tiempo de estancia mínimo en la etapa, para así detectar la avería lo antes posible. Al activarse la señal de aviso, la barra luminosa y el HMI advertirán al operario de la situación de fallo.

En este caso, la avería altera solamente el correcto funcionamiento del manipulador de inserción, ya que la pieza se coloca correctamente en el pallet y éste avanza hacia la siguiente estación. Sin embargo, se trata de un fallo no solucionable puesto que para que un proceso industrial funcione de manera correcta, todos y cada uno de sus elementos deben funcionar correctamente.

La avería se debe tratar de manera distinta a las anteriores, ya que el pallet avanza de manera correcta al siguiente puesto. Por lo tanto, se realizará un paro a fin de ciclo que permita que eso suceda, y que posteriormente habilite que el operador lleve el sistema a posición inicial para su puesta en marcha.

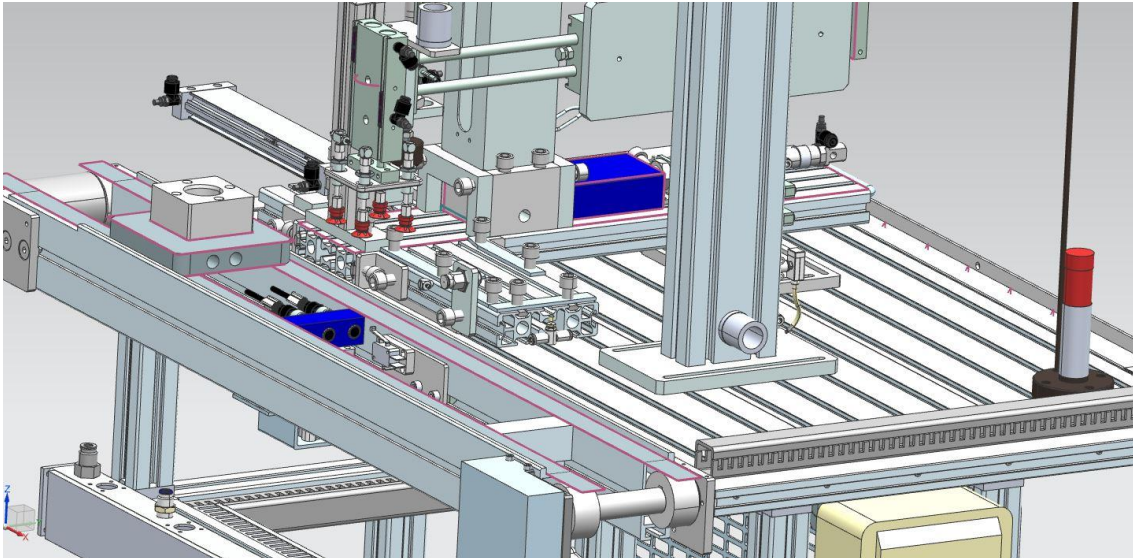


Ilustración 17. Visualización de la avería 10. Pallet alejándose y manipulador bloqueado

Avería 11

Síntoma de la avería: El cilindro horizontal del manipulador del cuerpo avanza antes de tiempo.

Componente averiado: Detector superior del cilindro vertical del manipulador del cuerpo (b0).

El detector b0 es el sensor de comienzo de carrera del cilindro B, normalmente abierto (NA). La avería 11 provoca que la señal b0 sea verdadera durante todo el proceso, y a consecuencia de ello, el cilindro A avance antes de que el cilindro B, justo después de coger la pieza, no llegue hasta su posición inicial. Debido al fallo, la pieza choca con el elemento encargado de expulsar las piezas defectuosas que está situado debajo del manipulador.

La avería se podría detectar mediante un temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa, pero se empleará un método diferente:

- Una señal de alarma que se activa por la simultaneidad de la activación de los cilindros A y B. La avería provoca que esto suceda, por lo que éste método resulta efectivo en cuanto a la detección del fallo.

Al activarse la señal de aviso, la barra luminosa y el HMI advertirán al operario de la situación de fallo.

Al igual que en la avería 9, sería posible evitar un choque realizando un paro en caliente en el momento en el que se detecta la avería. Sin embargo, se ha considerado que la mejor solución es un paro de emergencia que habilite que el operador devuelva el sistema a la posición inicial, retire el pallet y la pieza defectuosa y se proceda a poner en marcha de nuevo la estación. Como consecuencia de esta decisión, la avería trata también de un fallo no solucionable.

Avería 12

Síntoma de la avería: No se enciende el indicador del detector trasero del cilindro alimentador.

Componente averiado: Cableado del detector (f0).

Esta avería afecta al cableado de la barra indicadora (*ver ilustración 18*), y provoca que no reciba ninguna señal que la active o desactive. Por lo tanto, ésta se mantendrá apagada durante todo el proceso y no podrá servir de indicador.

El fallo lo detectará el operario, si se da el caso de que al darse una avería el HMI lo notifica pero la barra indicadora no. La avería se puede considerar como un fallo solucionable, puesto que no tiene ninguna consecuencia negativa en el proceso y la barra es un complemento, no se trata de un elemento necesario.

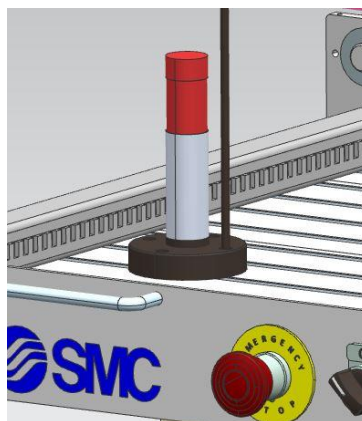


Ilustración 18. Señal luminosa de la estación

Avería 13

Síntoma de la avería: No se traslada el cuerpo y desciende el cilindro vertical del manipulador.

Componente averiado: Cableado de las electroválvulas (B+ & E+).

La avería 13 sucede en el caso de que el cableado de las electroválvulas (B & E) se cruzara. Esto provocaría que al activarse la señal del cilindro B el cilindro E se moviera, y viceversa.

El método de detección es el mismo que el empleado en la avería 11. Se utilizará una señal que se activa por la simultaneidad de la activación de dos señales. En esta ocasión no se activan los dos cilindros a la vez, por lo que la señal de alarma se daría en caso de que:

- Se activaran la etapa en la que el cilindro E avanza y el cilindro B a la vez.
- Se activaran la etapa en la que el cilindro B baja y el cilindro E a la vez.

Al activarse la señal de aviso, la barra luminosa y el HMI advertirán al operario de la situación de fallo.

De este modo, se podrá realizar un paro de emergencia que permita al operario llevar el sistema a su posición inicial y retirar el pallet y la pieza. Por lo tanto, la avería trata de un fallo no solucionable.

Avería 14

Síntoma de la avería: No avanza el cilindro horizontal.

Componente averiado: Electroválvula del cilindro horizontal del manipulador del cuerpo (A+ & A-).

La avería 14 es consecuencia de un fallo en la electroválvula del cilindro A del manipulador de inserción. Por lo tanto, si la electroválvula no funciona, el cilindro A no puede avanzar y el proceso se para.

El sistema deberá detectar el fallo automáticamente, mediante un temporizador de tiempo de vigilancia que se programará en paralelo a la etapa en la que el cilindro A avanza. Se ha calculado que en un funcionamiento correcto del proceso el cilindro A tarda 3 segundos en avanzar, por lo que se puede considerar unos 6 segundos como el tiempo límite para que el temporizador detecte si hay avería o no.

Para el procedimiento de aviso de fallo, el temporizador se programará para que cada vez que se detecte un fallo en el sensor se active una señal, que se utilizará para activar los siguientes mecanismos de aviso de fallo:

- Una señal luminosa en la barra indicadora.
- Una señal luminosa en el HMI.

La avería 14 es un fallo no solucionable que demanda realizar un parlo de emergencia que permita al operario llevar el sistema a su posición inicial y retirar el pallet y la pieza.

Avería 15

Síntoma de la avería: No se hace vacío en las ventosas.

Componente averiado: Electroválvula de las ventosas (V+).

La avería 15 es consecuencia de un fallo en la electroválvula de las ventosas (V+). Por lo tanto, si la electroválvula no funciona, no se podrá sujetar la pieza, no se podrá proceder a su traslado y el proceso se parará.

El sistema deberá detectar el fallo automáticamente, mediante un temporizador que se programará en paralelo a la etapa en la que las ventosas sujetan la pieza y el cilindro B sube. Se ha calculado que en un funcionamiento correcto del proceso el cilindro B tarda 2 segundos en subir, por lo que se puede considerar unos 4 segundos como el tiempo límite para que el temporizador detecte si hay avería o no.

Para el procedimiento de aviso de fallo, el temporizador se programará para que cada vez que se detecte un fallo en el sensor se active una señal, que se utilizará para activar los siguientes mecanismos de aviso de fallo:

- Una señal luminosa en la barra indicadora.
- Una señal luminosa en el HMI.

La avería 15 es un fallo no solucionable que demanda realizar un parlo de emergencia que permita al operario llevar el sistema a su posición inicial y retirar el pallet y la pieza.

AVERÍA	COMPONENTE AVERIADO	DETECCIÓN	AVISO	DIAGNÓSTICO	RESOLUCIÓN
1 - La estación no se puede poner en marcha en modo independiente	Cableado del pulsador de marcha (m)	Mediante operador	Mediante operador	Fallo solucionable	
2 - La estación solo funciona en modo automático	Cableado del selector paso-paso/automático (M/A)	Mediante operador	Mediante operador	Fallo solucionable	
3 - El palpador no desciende	Detector magnético del alimentador (f1)	Temporizador de tiempo de vigilancia	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo solucionable	1. Seguir en automático. Intervención de operador para saltar la etapa. 2. Pasar a modo manual e intervención de operador.
4 - El cilindro vertical del manipulador del cuerpo no asciende	Detector del vacuostato (v)	Temporizador de tiempo de vigilancia	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo solucionable	1. Seguir en automático. Intervención de operador para saltar la etapa. 2. Pasar a modo manual e intervención de operador.
5 - Se expulsa el cuerpo siempre aunque éste sea correcto	Detector magnético del palpador (d1)	Contador de piezas consecutivas defectuosas	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo solucionable	1. Seguir en automático. Intervención de operador para saltar la etapa. 2. Pasar a modo manual e intervención de operador.
6 - La estación no se puede poner en marcha, en modo automático	Cableado del pulsador de paro	Mediante operador	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo solucionable	
7 - El cilindro de traslado no retorna	Detector magnético del cilindro de traslado (e1)	Temporizador de tiempo de vigilancia	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo solucionable	1. Seguir en automático. Intervención de operador para saltar la etapa. 2. Pasar a modo manual e intervención de operador.

8 - Se suelta el cuerpo desde arriba sin bajar	Detector magnético inferior del cilindro vertical del manipulador de inserción (b1)	Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo no solucionable	Paro de emergencia. Intervención de operador para llevar el sistema a posición inicial.
9 - El manipulador de inserción desciende antes de llegar adelante	Detector magnético delantero del cilindro horizontal del manipulador de inserción (a1)	Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo no solucionable	Paro de emergencia. Intervención de operador para llevar el sistema a posición inicial.
10 - La entrada a0 del PLC está siempre activa, el cilindro A no retrocede	Detector magnético trasero del cilindro horizontal del manipulador de inserción (a0)	Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo solucionable.	Paro a fin de ciclo. Intervención de operador para llevar el cilindro A (por lo tanto, el sistema) a posición inicial.
11 - El cilindro horizontal del manipulador del cuerpo avanza antes de tiempo	Detector superior del cilindro vertical del manipulador del cuerpo (b0)	Simultaneidad de señales activas	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo no solucionable	Paro de emergencia. Intervención de operador para llevar el sistema a posición inicial.
12 - No se enciende el indicador del detector trasero del cilindro alimentador	Cableado del detector (f0)	Mediante operador	Mediante operador y HMI	Fallo solucionable	
13 - No se traslada el cuerpo y desciende el cilindro vertical del manipulador	Cableado de las electroválvulas (B+ & E+)	Simultaneidad de señales activas	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo no solucionable	Paro de emergencia. Intervención de operador para cambiar el cableado y llevar el sistema a posición inicial.
14 - No avanza el cilindro horizontal	Electroválvula del cilindro horizontal del manipulador del cuerpo (A+ & A-)	Temporizador de tiempo de vigilancia	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo no solucionable	Paro de emergencia. Intervención de operador para cambiar la electroválvula y llevar el sistema a posición inicial.
15 - No se hace vacío en las ventosas	Electroválvula de las ventosas (V+)	Temporizador de tiempo de vigilancia	Barra luminosa indicadora y HMI	Fallo no solucionable	Paro de emergencia. Intervención de operador para cambiar la electroválvula y llevar el sistema a posición inicial.

Tabla 1. Fallos de la Estación 1 de la Célula FMS-200

5.5. PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN DE FALLOS

Una vez analizados tanto el sistema (Estación 1 de la Célula FMS-200) como los fallos, se puede proceder a su simulación. El proceso de la ejecución de la simulación se puede dividir en dos apartados, puesto que para poder simular los fallos es necesaria su implementación en el gemelo digital. Por ello, previamente se analizarán las modificaciones realizadas al modelo y posteriormente se procederá a la simulación.

5.5.1. MODIFICACIONES EN EL MODELO

El concepto del gemelo digital se basa en realizar una aproximación de un proceso real y reflejarlo de manera virtual. Por esta simple razón, para poder simular los fallos del sistema no sería suficiente solamente con el modelo, pues es necesaria la implementación de los fallos en el mismo. Es decir, hace falta reflejar en el modelo virtual las propiedades físicas que implican todas las situaciones de fallo.

En el presente proyecto se ha realizado la implementación de los 15 fallos previamente analizados, y se utilizará el ejemplo de la avería 3 para realizar una breve descripción de la implementación de las averías en el gemelo digital. Este proceso cuenta con 4 diferentes pasos:

1. Reconocer el elemento del sistema sobre el cual se provoca la avería. En este caso, el elemento averiado es el sensor f1, situado en el cilindro alimentador. En la *ilustración 19* se puede apreciar cómo se realiza la parametrización de los sensores en el gemelo digital. Se emplean esferas de tamaño reducido y posteriormente se les da las características correspondientes para poder realizar la simulación. Al realizar la modelización, la herramienta NX_MCD ofrece la posibilidad al usuario de detectar cuándo una pieza o elemento ha establecido algún tipo de contacto con el sensor.

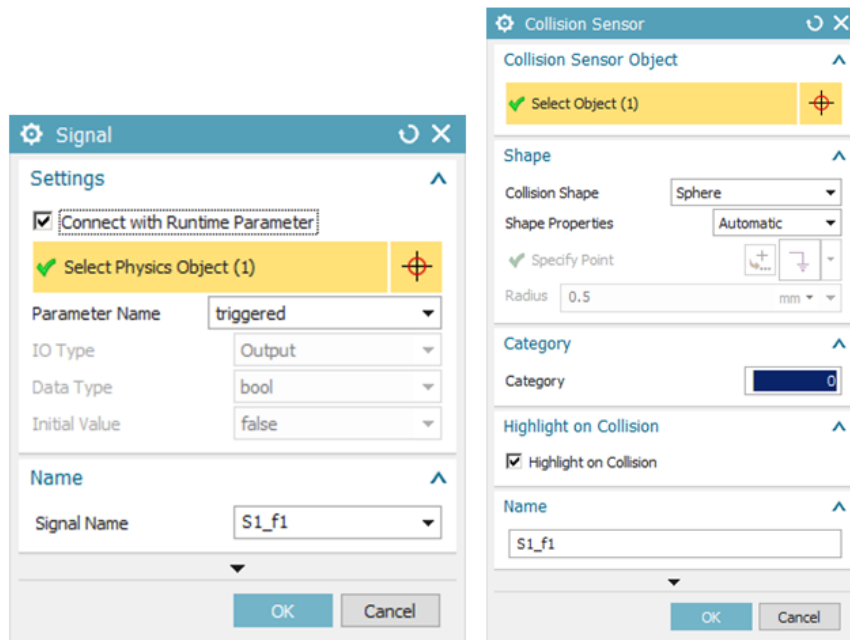


Ilustración 19. Modelización de un sensor

2. Diseñar un modelo que permita activar averías en pleno proceso de simulación, e implementarlo en el gemelo digital (ver ilustraciones 20 y 21). Para ello, se ha diseñado una botonera formada por selectores que activan todas las averías. Además de diseñar, es necesaria también la parametrización de cada selector con el fin de que active una señal cada vez que se seleccione una avería.

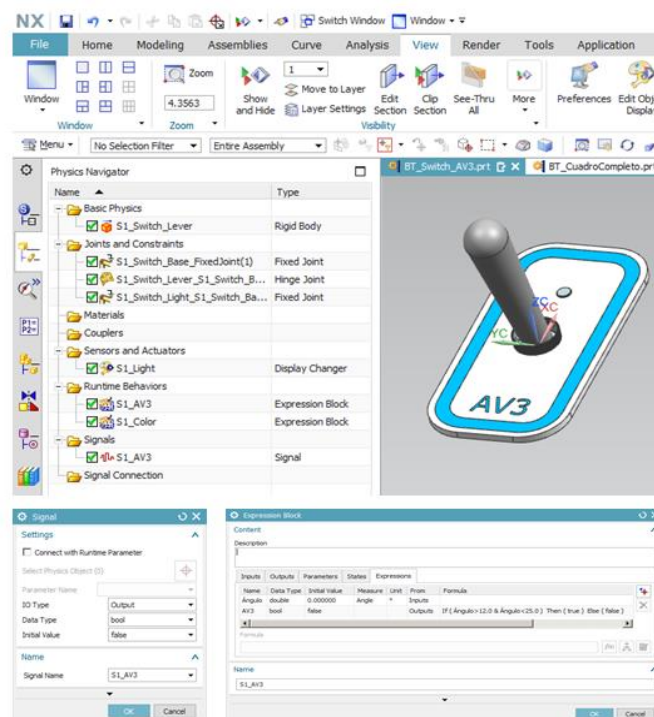


Ilustración 20. Modelización del selector de avería

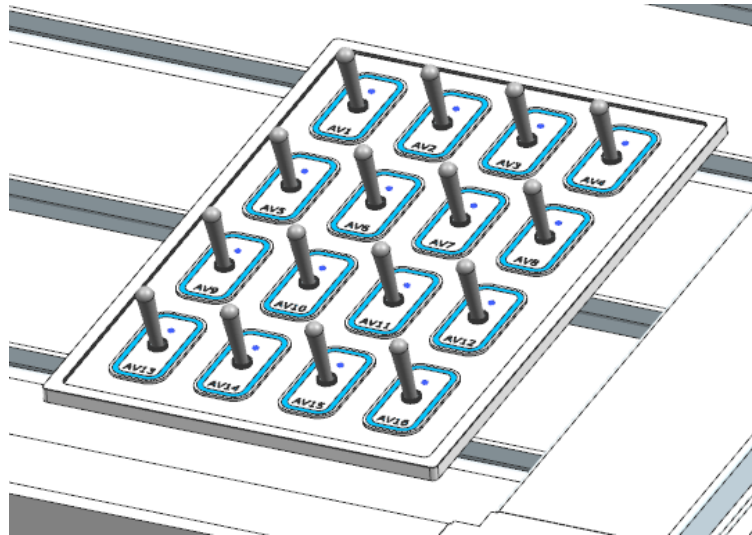


Ilustración 21. Conjunto de selectores de avería

- Para finalizar con la parametrización de la avería, es necesaria la creación de un bloque de lógica que provoque la situación de fallo cuando la señal del selector está activa (*ver ilustración 22*). Este procedimiento se lleva a cabo aplicando ciertas condiciones que limitan el funcionamiento del sistema en caso de que la avería esté activa.

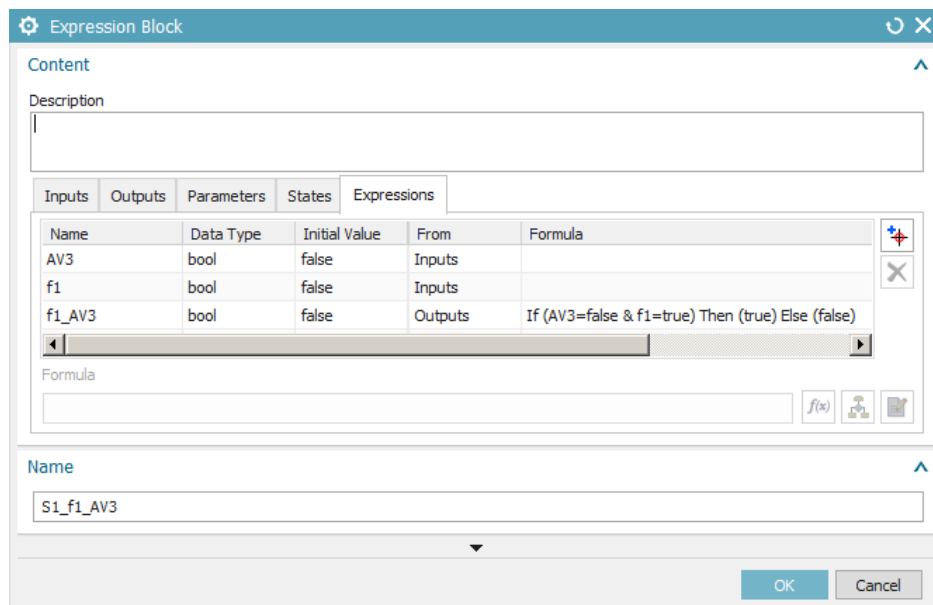


Ilustración 22. Parametrización de la avería

- Para finalizar, se procede a modificar el mapeo de conexiones (ver ilustración 23), en el cual se sustituye la señal del sensor por la del bloque de lógica creado anteriormente. El mapeo de conexiones consiste en realizar una conexión entre softwares para que el código de control generado en la herramienta TiaPortal pueda ejecutarse en NX_MCD. De esta manera, se define qué señal generada en el código de control corresponde a la generada en NX_MCD.

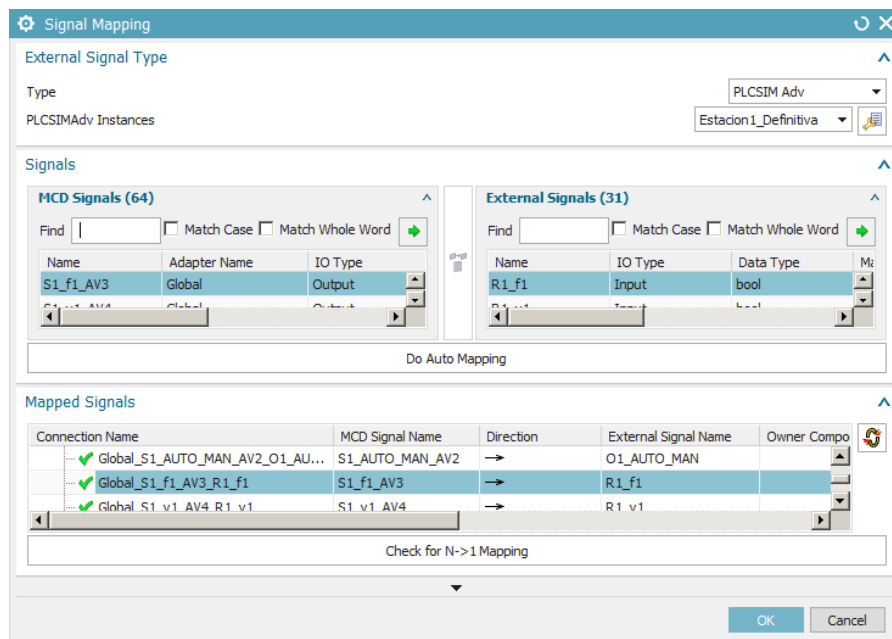


Ilustración 23. Mapeo de conexiones de la avería

De esta manera, se habrá conseguido modificar el gemelo digital para poder realizar la simulación de los fallos de la estación.

5.5.2. EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

El objetivo de este apartado es mostrar los resultados obtenidos a la hora de simular los fallos. Se ha realizado la simulación de 4 averías distintas, con el fin de mostrar una avería de cada modalidad y así abarcar todos los tipos de fallo.

Avería 4

Síntoma de la avería: El cilindro vertical del manipulador del cuerpo no asciende.

Componente averiado: Detector del vacuostato (v).

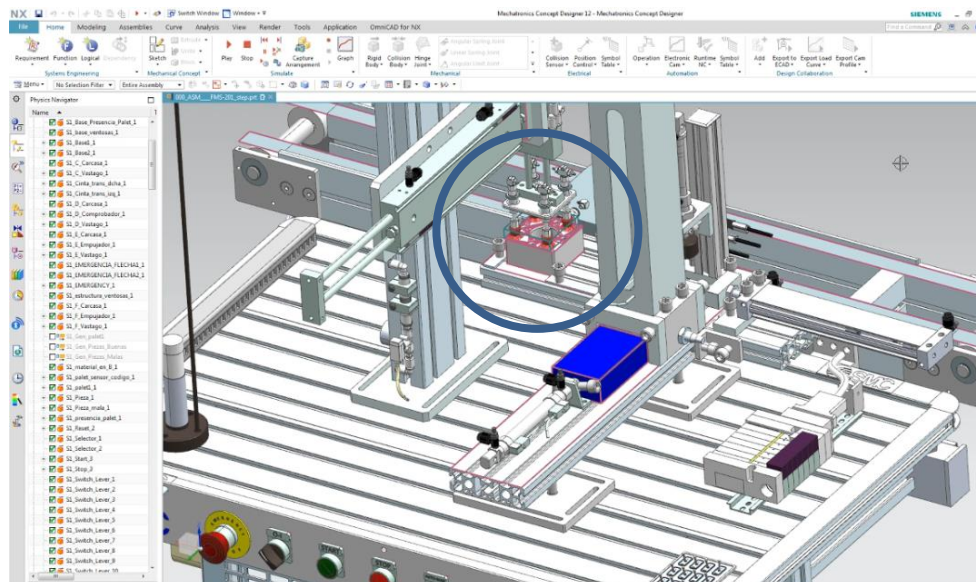


Ilustración 24. Simulación de la avería 4

Resultado: En el proceso de simulación las ventosas han sujetado la pieza correctamente tal y como se aprecia en la ilustración, pero como el sensor v1 no funciona el proceso no puede continuar y el cilindro B no asciende (*ver ilustración 24*).

Avería 5

Síntoma de la avería: Se expulsa el cuerpo siempre aunque éste sea correcto.

Componente averiado: Detector magnético del palpador (d1).

En este caso, para poder comprobar la avería se han introducido 3 piezas malas en el cajetín colocado en mitad de la estación.

Resultado: En los 3 casos el selector se ha introducido de manera correcta dentro de la pieza, pero como el detector d1 no funciona, las 3 piezas han sido expulsadas (ver ilustración 25).

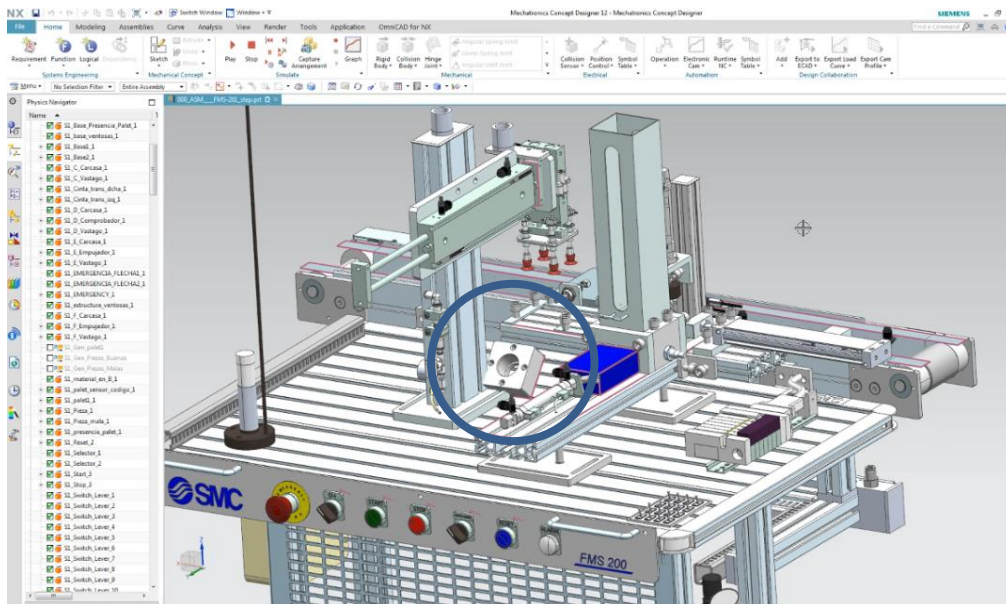


Ilustración 25. Simulación de la avería 5

Avería 8

Síntoma de la avería: Se suelta el cuerpo desde arriba sin bajar.

Componente averiado: Detector magnético inferior del cilindro vertical del manipulador de inserción (b1).

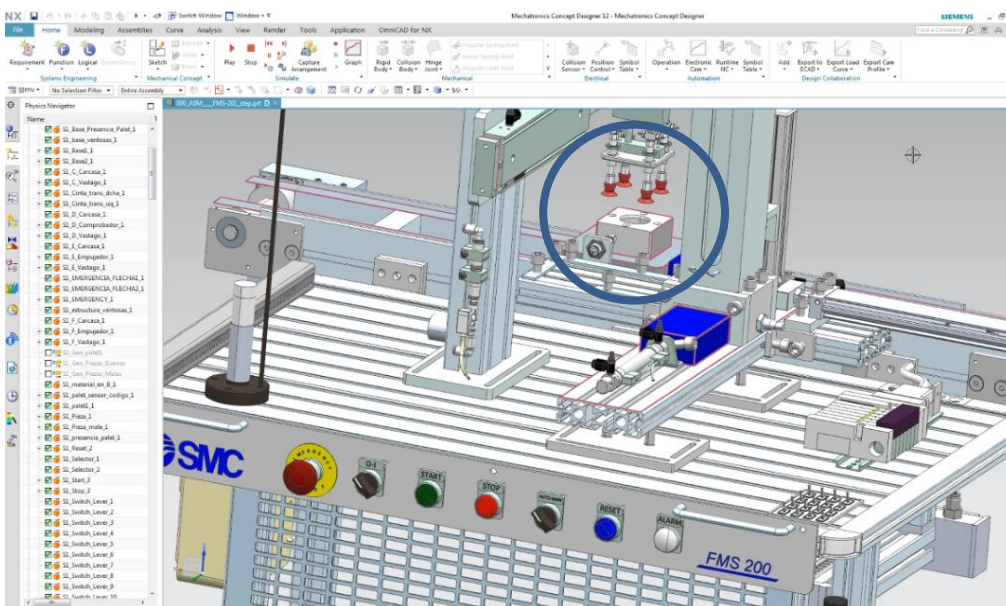


Ilustración 26. Simulación de la avería 8

Resultado: El manipulador de inserción del cuerpo ha soltado la pieza en el momento en el que el cilindro A ha llegado adelante, provocando la caída de la pieza (ver ilustración 26).

Avería 11

Síntoma de la avería: El cilindro horizontal del manipulador del cuerpo avanza antes de tiempo.

Componente averiado: Detector superior del cilindro vertical del manipulador del cuerpo (b0).

Resultado: El cilindro a ha comenzado a avanzar justo en el instante en el que el cilindro B ha empezado a subir, y ha provocado la colisión de la pieza con el elemento situado junto a ella, que es el encargado de expulsar las piezas incorrectas (ver ilustración 27).

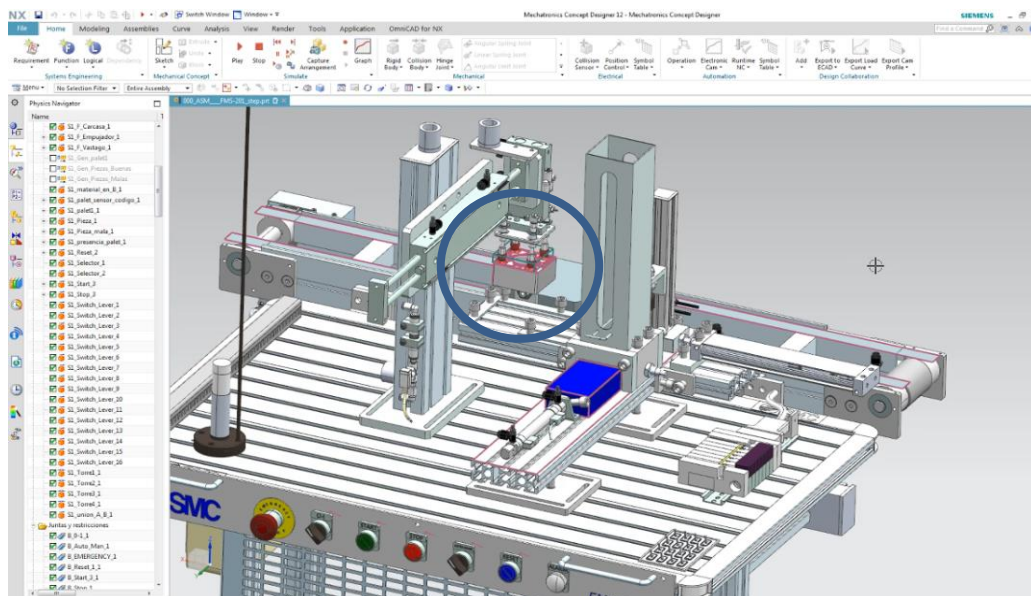


Ilustración 27. Simulación de la avería 11

Para dar fin al apartado de simulación de fallos, se puede afirmar que, tal y como se ha podido apreciar en las anteriores ilustraciones, el método de Software In the Loop mediante software de Siemens aplicado en este proyecto es totalmente efectivo y eficaz a la hora de simular los fallos de la Estación 1 de la Célula FMS-200.

5.6. CONTROL DE FALLOS

La ejecución del control de los fallos previamente analizados y simulados supone una garantía y un gobierno total sobre el funcionamiento de la estación. Por ello, en este apartado se describirá el proceso de adaptación del código y la creación de una interfaz humano-máquina (HMI) para la posterior ejecución del control de las averías del sistema.

5.6.1 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FALLO

Tal y como se ha determinado en el apartado del análisis de las averías del sistema, se han establecido 4 métodos distintos para la detección de averías, obteniendo la máxima flexibilidad posible y consiguiendo adaptarse a todas y cada una de las situaciones de fallo del sistema:

- Temporizador de tiempo de vigilancia.
- Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa.
- Contador de piezas consecutivas defectuosas.
- Simultaneidad de señales activas.

A continuación se describirá la funcionalidad de cada método de detección de fallo, y posteriormente en la ejecución del control se describirá la aplicación de cada uno sobre el código de control de la estación.

Temporizador de tiempo de vigilancia

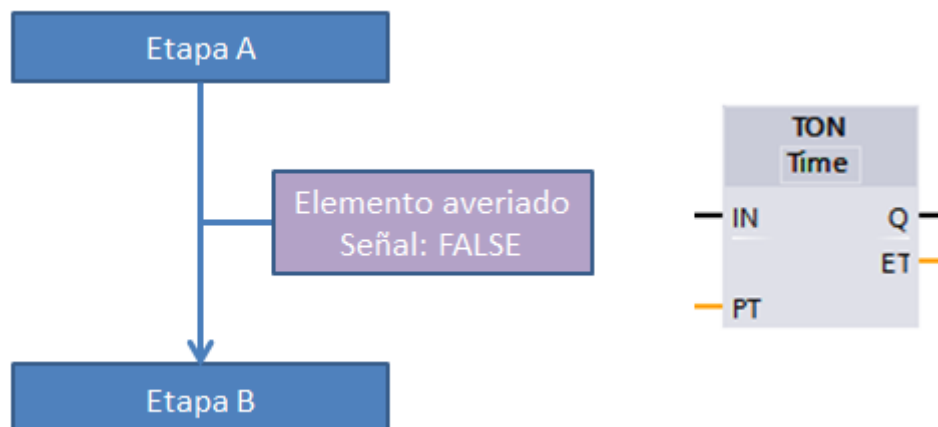


Ilustración 28. Método por temporizador de tiempo de vigilancia

La función de un temporizador de tiempo de vigilancia es activar una señal cuando una etapa supere el tiempo máximo establecido para cumplir con su tarea. Para ello se ha utilizado el temporizador TON de TiaPortal, temporizador que funciona de tal manera que si su señal de entrada se mantiene activa más tiempo del establecido, se activa su señal de salida (ver ilustración 28).

En una situación de fallo en la que el elemento que falla es un sensor, el sistema se para en la etapa anterior, por lo que la entrada de temporizador en este caso sería la “Etapa A” de la ilustración. El tiempo de vigilancia se establece según el criterio del programador una vez calculado el tiempo de transcurso de la etapa.

Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa

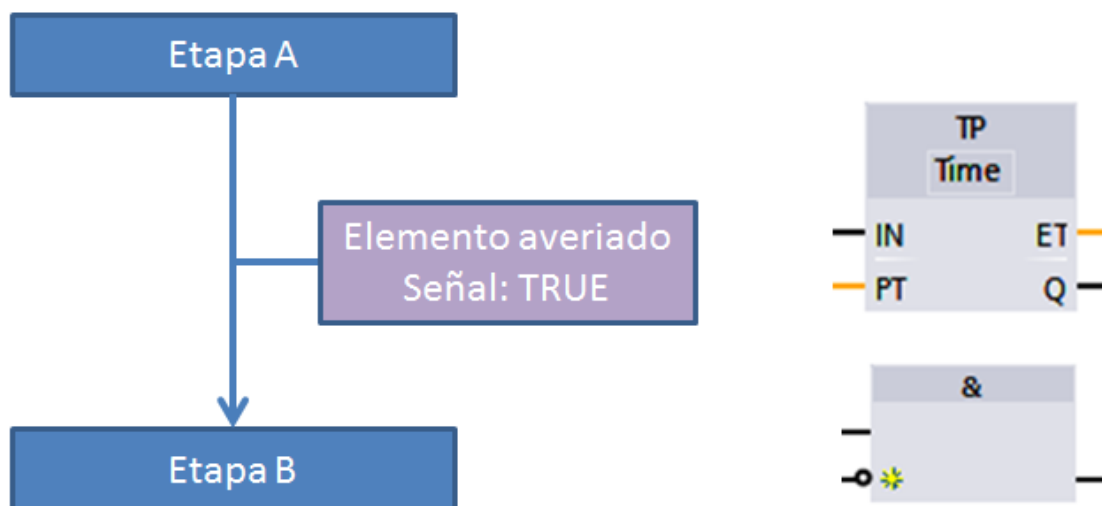


Ilustración 29. Método por temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa

Este método de detección de fallo se utiliza en aquellas situaciones en las que un sensor que cumple con la condición necesaria para pasar de etapa está continuamente activado, y provoca que, por ejemplo, en el caso de la ilustración anterior, se pase de la “Etapa A” a la “Etapa B” sin haberse ejecutado la “Etapa A” completamente (ver ilustración 29).

Para la ejecución se aplica el siguiente método. La “Etapa A” activa un temporizador TP de TiaPortal que está programado para que se desactive una vez haya transcurrido el tiempo de estancia mínimo; si se da la avería, para cuando la salida del temporizador se desactive ya se habrá pasado de etapa, por lo que el bloque “AND” dará el aviso de fallo ya que sus señales de entrada son la salida del temporizador y la señal de la “Etapa A” negada.

El tiempo de estancia mínimo en la etapa lo establecerá el programador, pero conviene que sea un tiempo reducido con el fin de realizar la detección con la mayor brevedad posible. El salto de etapa transcurre en tan solo un ciclo, por lo que medio segundo sería suficiente para detectar la avería de manera eficaz.

Contador de piezas consecutivas defectuosas

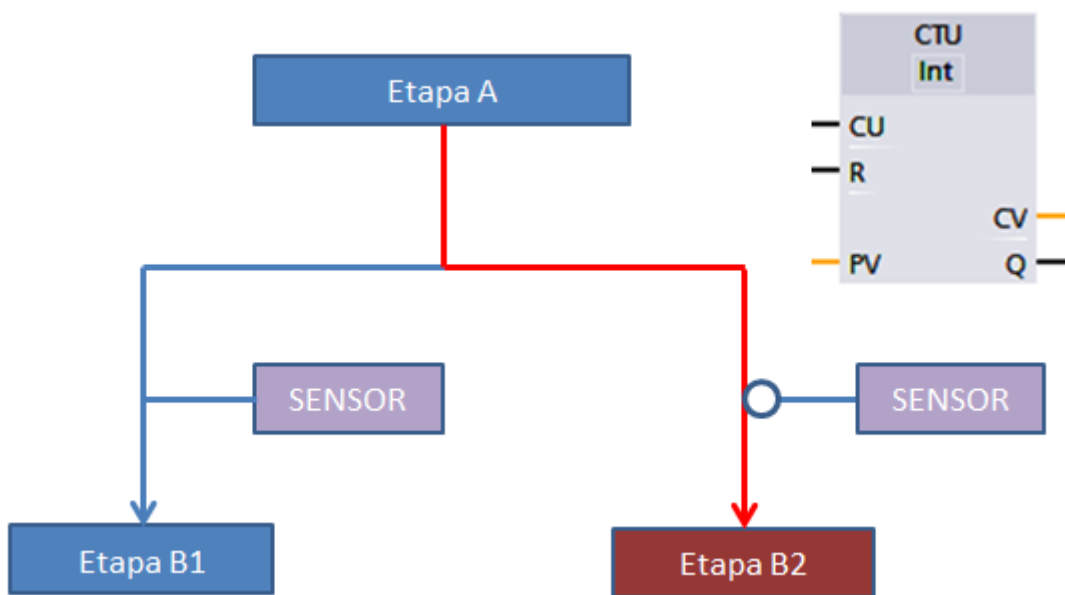


Ilustración 30. Método por contador de piezas consecutivas defectuosas

El método de detección que se describirá a continuación sirve para detectar averías como las de la ilustración, en las que se aprecia que el estado de un sensor sirve para decidir si el proceso irá por un camino u otro. Por lo tanto, el hecho de que el sensor esté estropeado significa que el proceso progresará siempre por la misma rama (*ver ilustración 30*).

Para detectar la situación de fallo se utiliza un contador CTU de TiaPortal, que suma 1 cada vez que se active la “Etapa B2” de la ilustración. De esta manera, y mediante código de control que sea capaz de comparar la salida del contador con un valor límite, se puede generar una señal de aviso que alerte de la situación de fallo.

Simultaneidad de señales activas

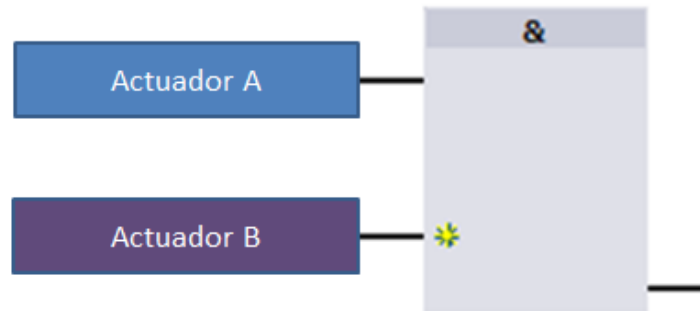


Ilustración 31. Método por simultaneidad de señales activas

La estación cuenta con actuadores monoestables y biestables. La única diferencia entre estos dos casos es que los actuadores monoestables tienen una única señal que provoca el movimiento del cilindro hacia un lado u otro dependiendo de su valor, y los biestables cuentan con dos señales, una para cada dirección de movimiento.

Por lo tanto, existen casos en los que sucede la activación de un actuador monoestable y un biestable a la vez a causa de la no desactivación del primero, cuando algún sensor no funciona correctamente. Por lo tanto, esta avería se detecta mediante un código muy sencillo: la simultaneidad de señales activas. Se utiliza un bloque AND de TiaPortal que activa la señal de aviso cuando las dos señales están activas a la vez (*ver ilustración 31*).

5.6.2 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI)

El HMI es un panel de control diseñado para poder conseguir una interacción entre operario y equipo de control, que le permite al operador interactuar con el proceso. El principal objetivo de implantar un HMI en la estación es poder transmitir órdenes al sistema y visualizar gráficamente el estado real del proceso.

El generar mediante TiaPortal un HMI supone conseguir una simulación mucho más interactiva, en la que se obtiene un mayor control sobre el proceso. Para ello, se ha diseñado un HMI virtual mediante el programa TiaPortal en el que se pueden distinguir 3 pantallas:

- Pantalla inicial.
- Pantalla de averías.
- Pantalla de mando.

Pantalla inicial

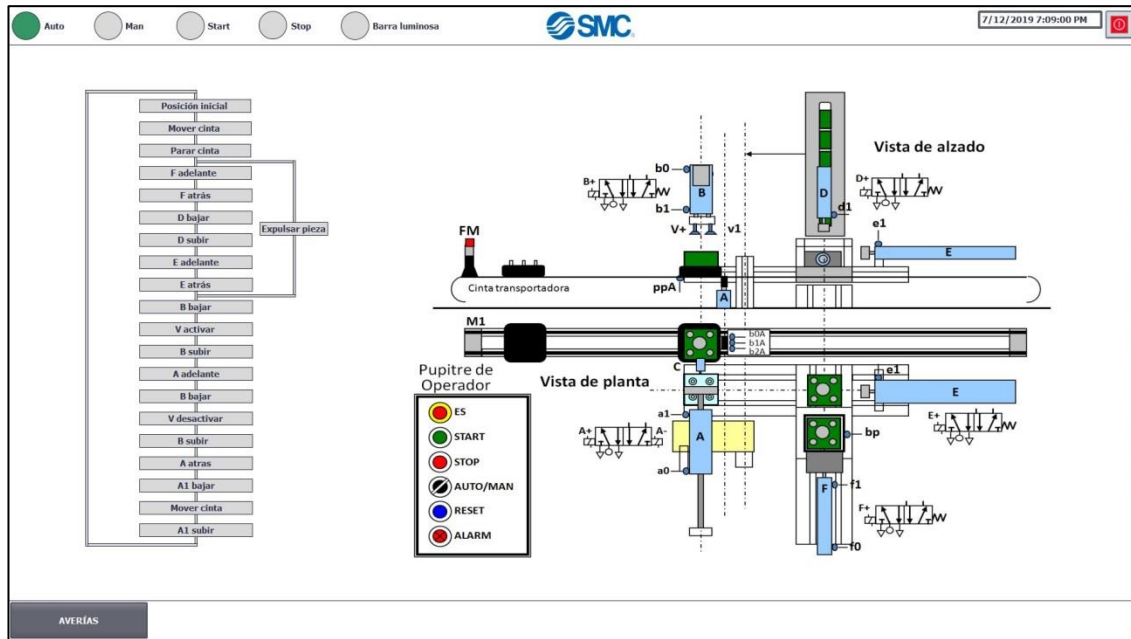


Ilustración 32. Pantalla inicial del HMI

La pantalla inicial es la imagen que se visualiza al abrir la interfaz. En ella se pueden distinguir los siguientes elementos (*ver ilustración 32*):

- Diagrama de flujo que refleja el estado del proceso a tiempo real.
- Esquema gráfico de la estación, en la que se pueden reconocer todos y cada uno de los elementos del proceso y sirve para obtener una primera referencia visual del sistema.
- Pulsador “AVERÍAS”, que abre la pantalla de averías y se pulsará en caso de situación de fallo.
- Señales luminosas que reflejan el estado de la botonera y la barra luminosa.

Pantalla de averías

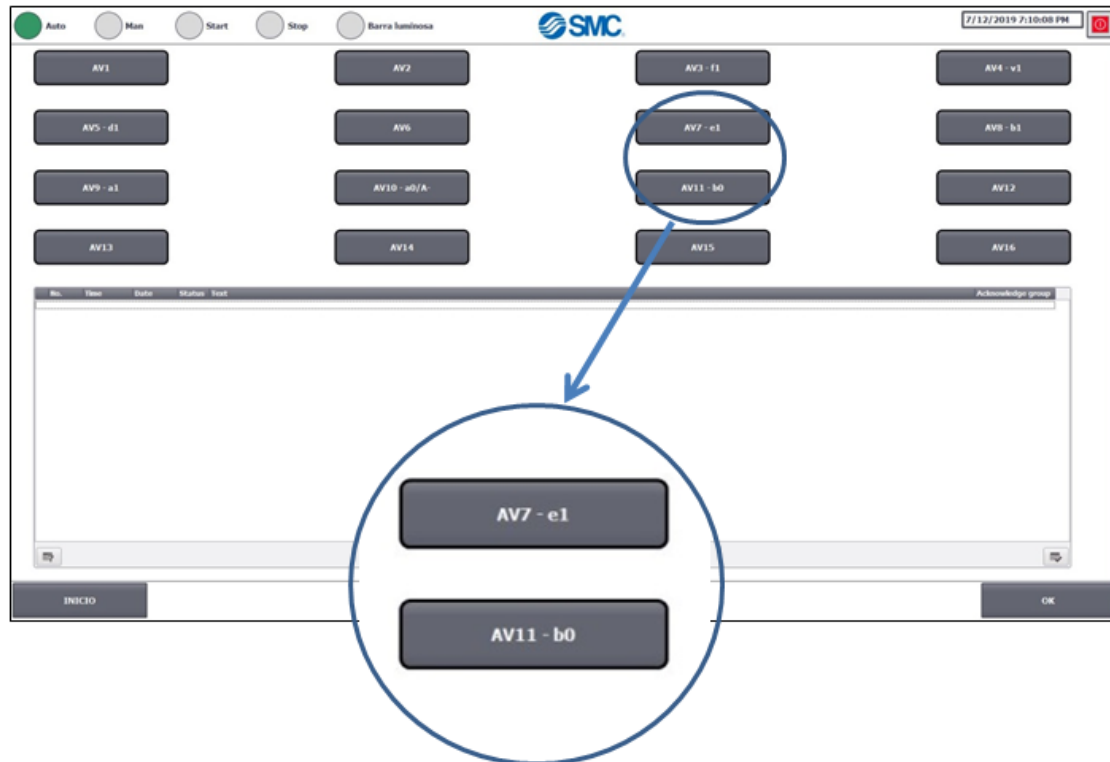


Ilustración 33. Pantalla de averías del HMI

En el momento en el que sucede una situación de fallo, tanto la barra indicadora como el HMI alertan al operario del estado de alarma. El HMI está diseñado para que el operario pueda empezar a interactuar con la avería pulsando el botón “AVERÍAS” de la pantalla inicial, y para que identifique la avería nada más pulsar el botón, puesto que el botón del fallo acontecido se iluminará en rojo. Además de ello, en la parte inferior de la pantalla aparecerá un texto de alarma informando sobre el tipo de alarma y cómo solucionarlo. De esta manera, se consigue que el trabajador tenga toda la información necesaria para hacer frente a la situación de fallo (*ver ilustración 33*).

Pantalla de mando

En la metodología de control de fallos se han descrito situaciones en las que es necesario un paro en caliente, paro a fin de ciclo o paro de emergencia. Todas ellas se realizan con el objetivo de devolver el sistema a su posición inicial, y por lo tanto, se ha diseñado el HMI para poder realizar dicha acción.

La pantalla de mando es la visualización del esquema gráfico del sistema que se visualiza también en la imagen inicial, pero con un detalle extra. Todos los cilindros sobre los que es necesario actuar para devolver el sistema a su posición actual han sido modificados, de tal manera que pueden ser manipulados de forma manual mediante los pulsadores que aparecen en la pantalla. Esta nueva funcionalidad que permite el HMI no sólo se puede aplicar en situaciones de avería, sino que puede ser utilizada también según el criterio del operario en cualquier instante del proceso. De este modo y gracias al HMI, se obtiene un control total que garantiza la seguridad del funcionamiento de la estación (*ilustración 34*).

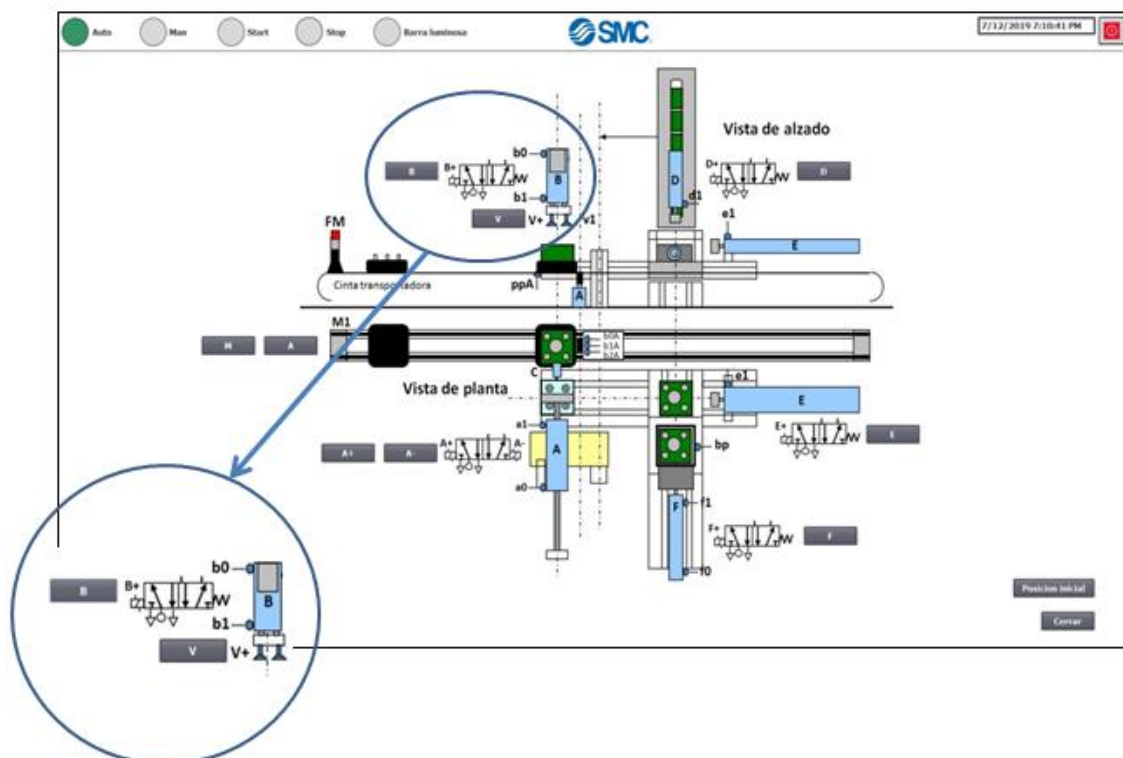


Ilustración 34. Pantalla de mando del HMI

5.6.3 EJECUCIÓN DEL CONTROL DE FALLOS

La función de este último apartado de la metodología del proyecto es hacer uso de tanto los métodos de detección de fallo como el HMI con el objetivo de ejecutar el control sobre las averías 4, 5, 8 y 11.

Avería 4

Método de detección: Temporizador de tiempo de vigilancia.



Ilustración 35. Temporizador de tiempo de vigilancia en el código

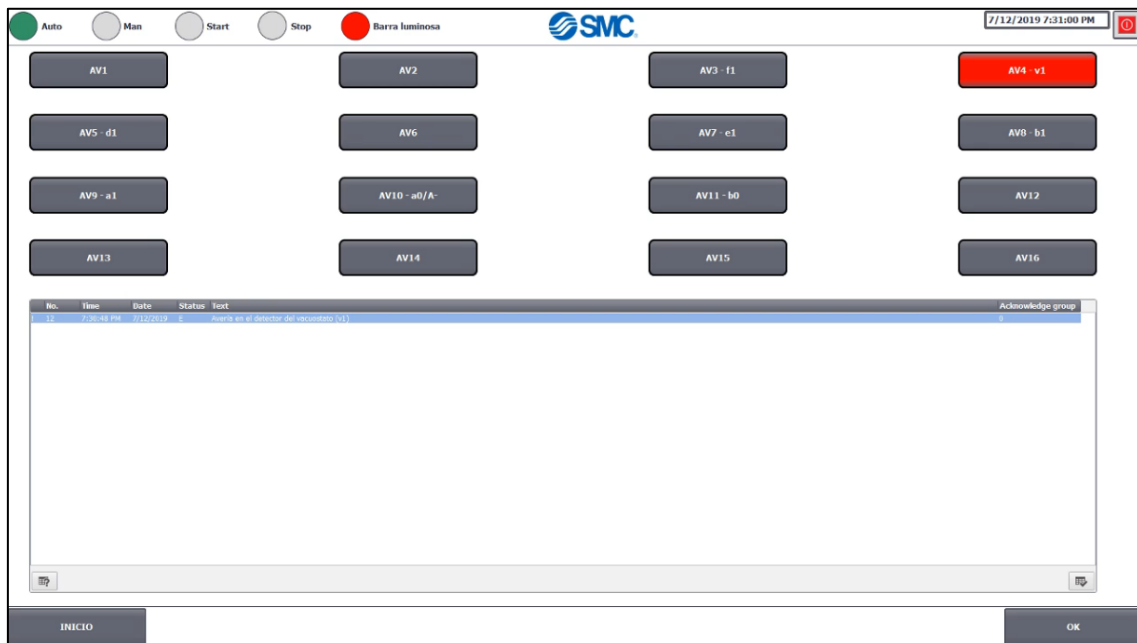


Ilustración 36. Control de la avería 4

Mediante el método del temporizador de tiempo de vigilancia, el código de control genera la señal de alerta en el momento que el sensor v1 tarda más de 2 segundos en detectar que se ha sujetado la pieza. En ese instante, el pulsador de la avería 4 del HMI se pone en rojo (ver ilustraciones 35 y 36).

A partir de este instante, el procedimiento a seguir para la ejecución del control es el siguiente:

1. Verificar que la pieza se ha sujetado correctamente y que por lo tanto el sensor v1 está estropeado.
2. Pulsar el botón de la avería, y éste se pondrá en verde.
3. Cuando el botón se ponga en verde, pulsar OK para saltar a la siguiente etapa.

El pulsador OK se ha creado como medida de seguridad para que el HMI no dé la orden de saltar de etapa sin el consentimiento del operario. Para ello se ha tenido que modificar el código de control (*ver ilustración 37*):



Ilustración 37. Implementación del pulsador "OK" en el código

Tal y como se puede apreciar, a la condición del sensor se le ha sumado la del pulsador de la avería (HMI_v1) y la del OK (HMI_OK).

Al haber aplicado este método, se ha conseguido resolver el fallo mediante la intervención del operador para provocar el salto de etapa. A la hora de simular, justo después de pulsar el botón OK el cilindro B ha comenzado a subir y el proceso ha continuado correctamente.

Avería 5

Método de detección: Contador de piezas consecutivas defectuosas.

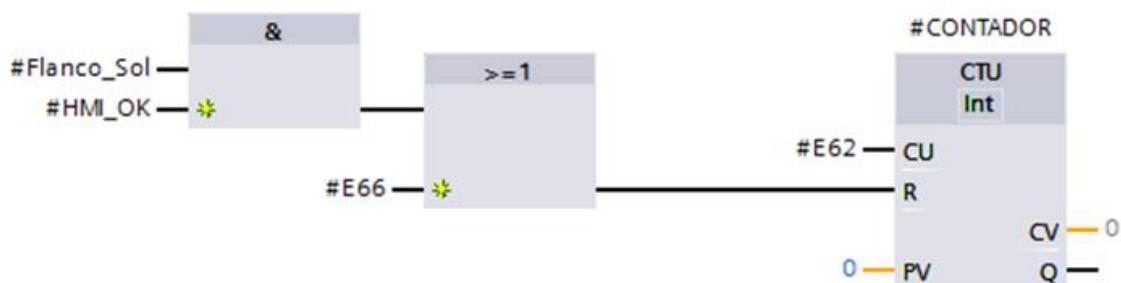


Ilustración 38. Contador de piezas consecutivas defectuosas en el código

El contador funciona de tal manera que suma cada vez que se decide expulsar una pieza (Etapa 62), y se reinicia cuando se detecta una pieza correcta o se pulsan los botones OK y Sol (HMI_Sol) del HMI (ver ilustración 38).

Procedimiento para realizar el control de la avería 5, una vez el HMI haya advertido de la situación de fallo:

1. Verificar que se expulsan piezas buenas, por lo que el detector d1 funciona mal.
2. Pulsar el botón de la avería. Se pondrá en color ámbar, y a su lado aparecerán 3 pulsadores: PBuena, PMala y Sol.
3. El código de control se ha modificado de manera que, si la situación de fallo no se ha resuelto, el sistema realice un paro en caliente cada vez que el palpador se sitúe en la posición de detectar si la pieza es buena o mala. De este modo será el operario el encargado de decidir si la pieza se posicionará en el pallet o será expulsada, pulsando PBuena o PMala. Posteriormente se pulsará OK para que el proceso continúe. Si el sensor d1 se arreglara, cabe la posibilidad de cederle la autoridad mediante el pulsador Sol, la situación de fallo se eliminaría y se dejaría de ejecutar el paro en caliente. Mientras la situación de fallo esté activa se mantendrá el color ámbar, y cuando se solucione se cambiará a color verde (ver ilustración 39).



Ilustración 39. Control de la avería 5 en HMI

Merced a este procedimiento el operario tiene el control total de la situación, y se verifica que las piezas buenas se trasladan al pallet y las defectuosas son expulsadas.

Avería 8

Método de detección: Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa.

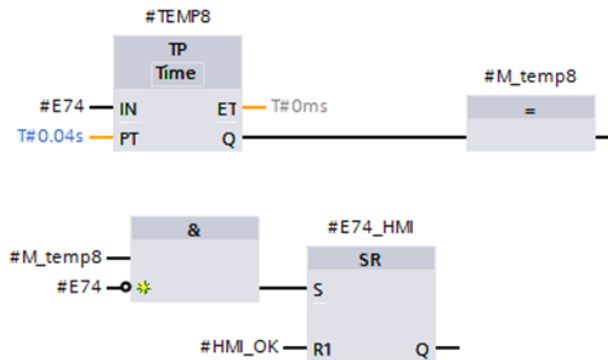


Ilustración 40. Temporizador de tiempo de estancia mínimo en la etapa en el código

El temporizador TP se activa a la vez que la Etapa 74, y si esta se desactiva un ciclo después a causa del fallo en el sensor b1 se activa la señal de alarma (E74_HMI). En cuanto se detecta la avería, el sistema realiza un paro de emergencia.

Procedimiento para realizar el control de la avería 8, una vez el HMI haya advertido de la situación de fallo (ver ilustraciones 40 y 41):

1. Verificar que el sistema se ha parado correctamente, y retirar la pieza y el pallet.
2. Pulsar el botón de la avería. Se abrirá la pantalla de mando.
3. Colocar los cilindros A y B en su posición inicial utilizando los pulsadores A- y B. A continuación, pulsar el botón Posición Inicial para que el código de control reconozca también la situación, cerrar la página de mando y pulsar OK para poder empezar el siguiente proceso.

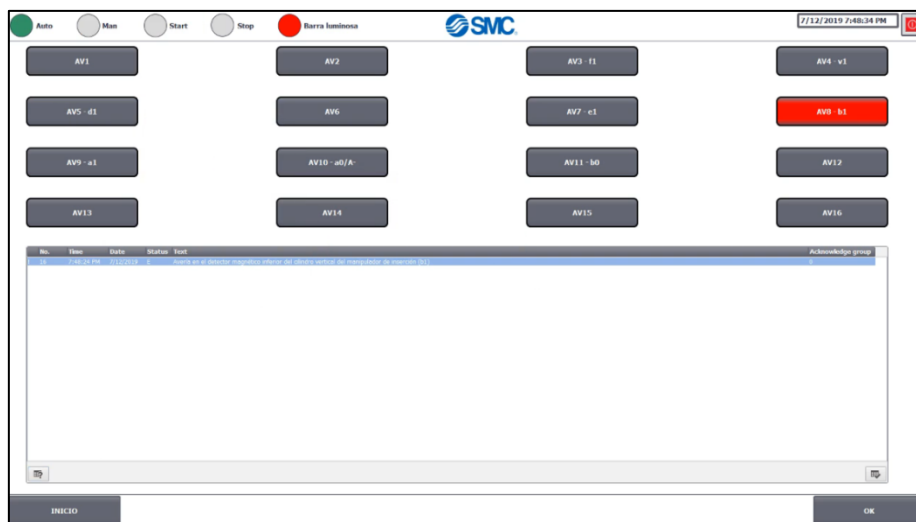


Ilustración 41. Control de la avería 8

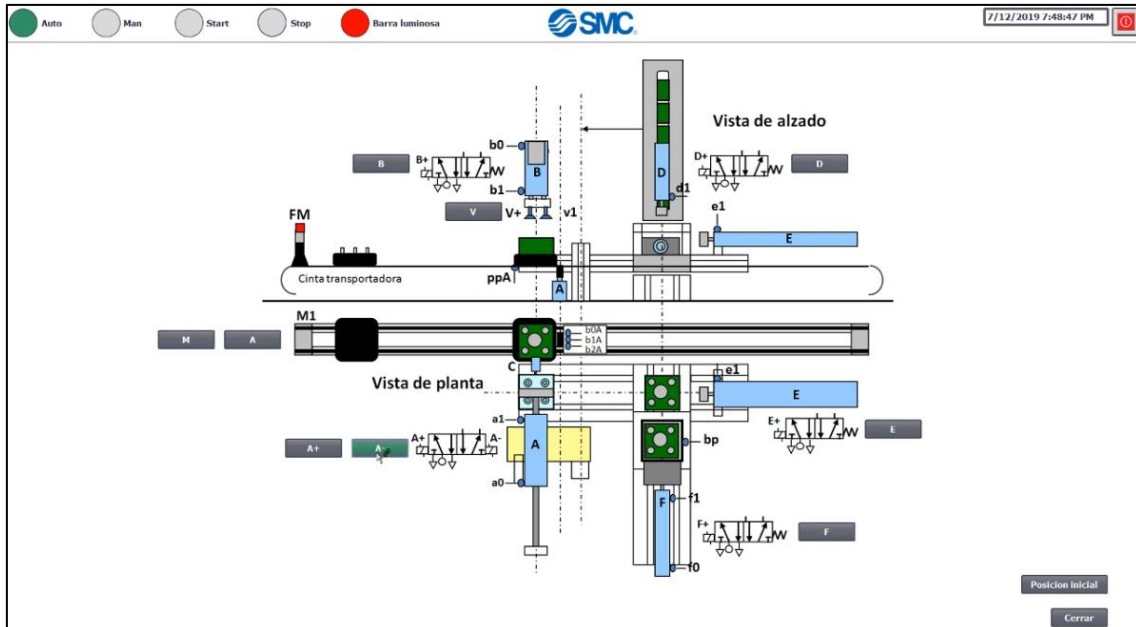


Ilustración 42. Uso de la pantalla de mando para el control de la avería 8

Al haber aplicado este procedimiento se ha logrado solventar la situación de fallo sin que ningún elemento del sistema resultara dañado, y permitiendo volver a iniciar el proceso tan solo unos segundos después (*ver ilustración 42*).

Avería 11

Método de detección: Simultaneidad de señales activas.

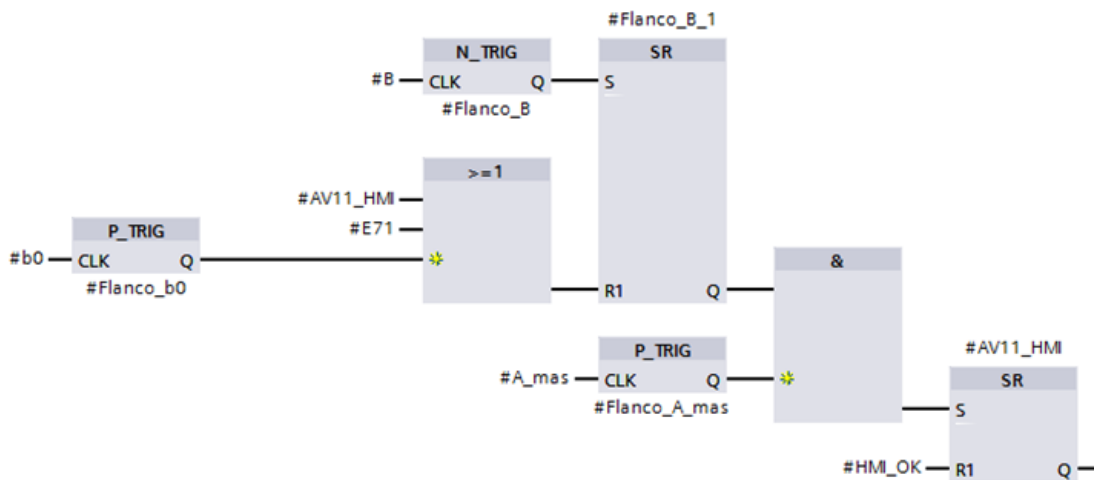


Ilustración 43. Simultaneidad de señales activas en el código

El planteamiento del código de control es más complejo que el descrito en el apartado 5.6.1, puesto que ha sido necesario modificar el código para evitar que el aviso de alarma se activara en otros puntos del proceso en los que no fuera necesario. Los actuadores A y B se activan también en otros instantes del proceso, por lo que se ha complementado el bloque AND con los elementos de la ilustración con el fin de evitar cualquier problema a la hora de detectar la avería 11 (*ver ilustración 43*).

El procedimiento para realizar el control del fallo es el mismo que el planteado para la avería 8, pero mediante el pulsador de la avería 11 (*ver ilustración 44*).

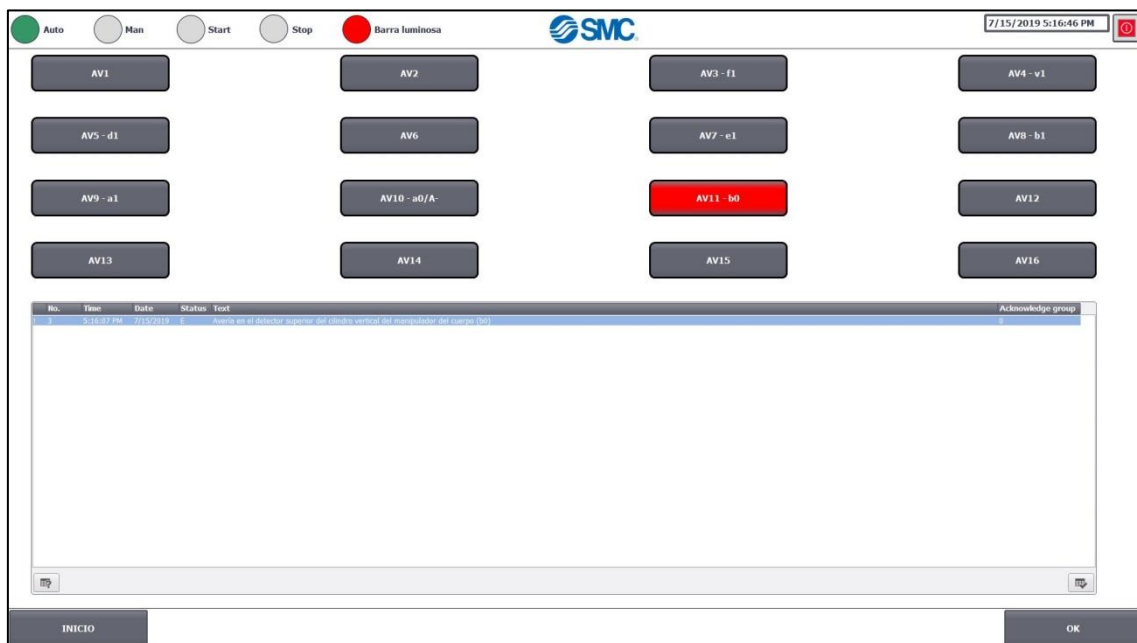


Ilustración 44. Control de la avería 11

6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

6.1. PLAN DE PROYECTO

Con el fin de realizar un proyecto claro y ordenado en el que se definen con claridad todos y cada uno de los pasos a seguir, se ha realizado la planificación dividiendo el trabajo en 5 principales tareas (*ver gráfico 1*):

Tarea 1: Ingeniería

El proyecto comienza con la propuesta del TFG al tutor, en la que se establece un primer contacto con la materia. Posteriormente, se realizan las tareas de recopilación de información para poder realizar el diseño y planteamiento del proyecto.

Tarea 2: Contrataciones y compras

Antes de comenzar con la metodología, es necesaria la contratación de los servicios de software y hardware que van a ser utilizados en el proyecto. En esta tarea se realiza la búsqueda de herramientas y su posterior contratación.

Tarea 3: Trabajos previos

La tarea 3 consiste en la puesta a punto de la herramienta contratada en la tarea 2. Se instalará y se comprobará el correcto funcionamiento del hardware y software utilizados en el proyecto.

Tarea 4: Metodología

La tarea 4 abarca todo el proceso de análisis, simulación y control de fallos. Se establece un orden de prioridades a la hora de realizar todas las subtareas, con el fin de llevar a cabo la metodología con la mayor eficacia posible. Una vez finalizada la metodología, es necesaria la validación del trabajo.

Tarea 5: Documentación

El proyecto se comenzará a redactar una vez realizado el procedimiento de gestión y análisis de los fallos, puesto que ya se tiene suficiente información como para comenzar a documentarlo. De esta manera, se ahorrará tiempo y se evitarán retrasos de entrega. Se entregará la documentación y se dará por finalizado el proyecto.

6.2. DIAGRAMA DE GANTT

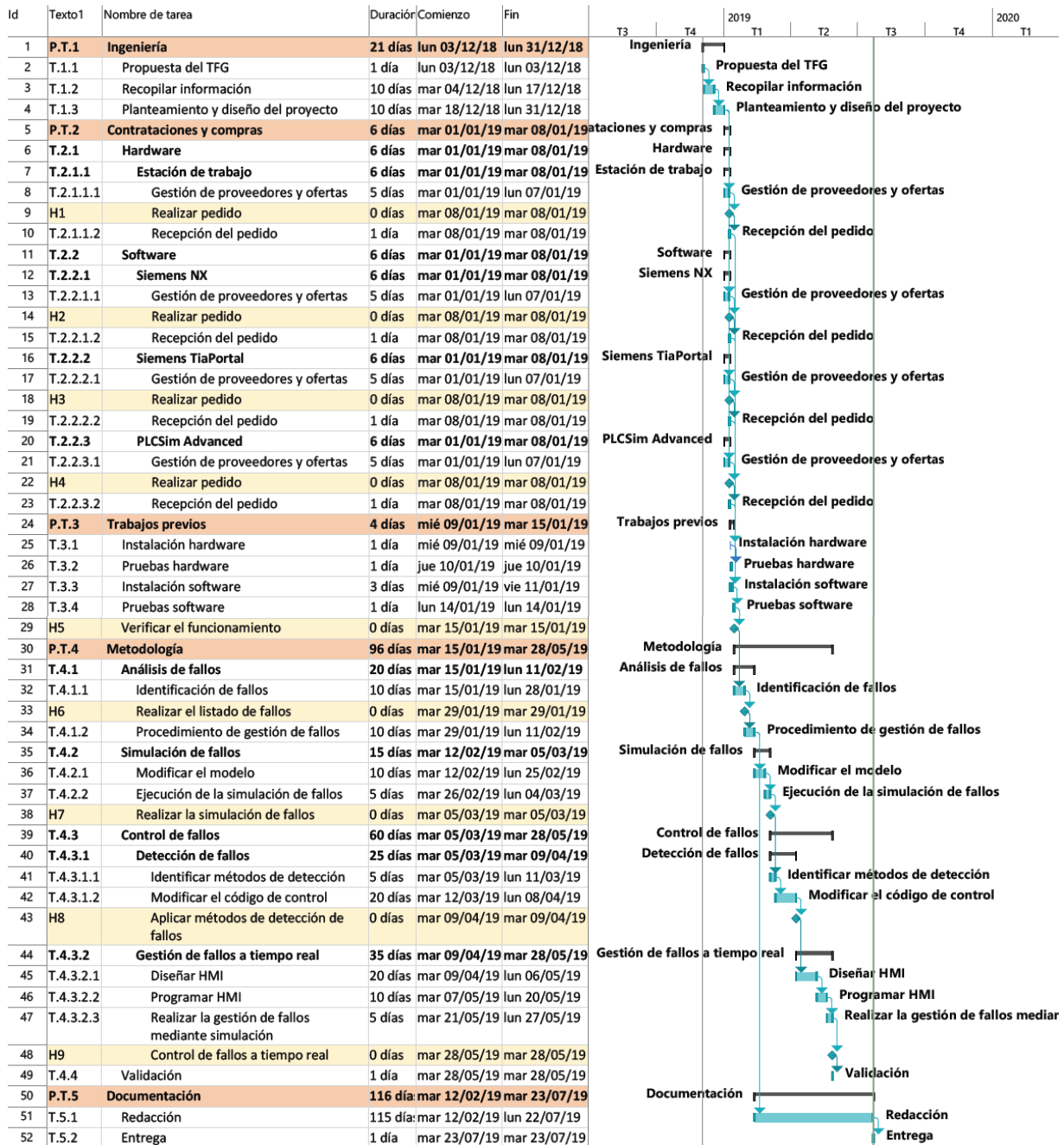


Gráfico 1. Diagrama de Gantt

7. ASPECTOS ECONÓMICOS. PRESUPUESTO

En el siguiente apartado se determinará el valor del presupuesto requerido para la realización del proyecto. A continuación se muestran todos y cada uno de los aspectos a tener en cuenta a la hora de realizar el cálculo del presupuesto:

Horas internas

Las horas internas son calculadas en base al número de horas que cada trabajador ha dedicado a la realización del proyecto. Por lo tanto, se tendrán en cuenta las horas que tanto el director como el alumno han dedicado al proyecto (*ver tabla 2*).

Las horas internas hacen un total de 7.600,00 €.

HORAS INTERNAS			
CONCEPTO	CANTIDAD HORAS (h)	COSTE (€/h)	SUBTOTAL
Director	40	40	1.600,00 €
Alumno	300	20	6.000,00 €
		TOTAL	7.600,00 €

Tabla 2. Presupuesto. Horas internas

Amortizaciones

Las amortizaciones son calculadas en base al tiempo de uso de las herramientas empleadas para la realización del proyecto. Por lo tanto, se han tenido en cuenta el uso del ordenador y las licencias de los software (*ver tabla 3*).

Las amortizaciones hacen un total de 6.375,00 €.

AMORTIZACIONES			
CONCEPTO	CANTIDAD HORAS (h)	COSTE (€/h)	SUBTOTAL
Estación de trabajo	250	0,5	125,00 €
Lic. Siemens Tia Portal	100	15	1.500,00 €
Lic. PLCSim Advanced	100	10	1.000,00 €
Lic. Siemens NX	150	25	3.750,00 €
		TOTAL	6.375,00 €

Tabla 3. Presupuesto. Amortizaciones

Gastos

Se ha estimado un total de 100,00 € para cubrir los gastos de material de oficina.

Costes directos

Los costes directos son la suma de las horas internas, amortizaciones y gastos. Hacen un total de 14.075,00 € (ver gráfico 2).

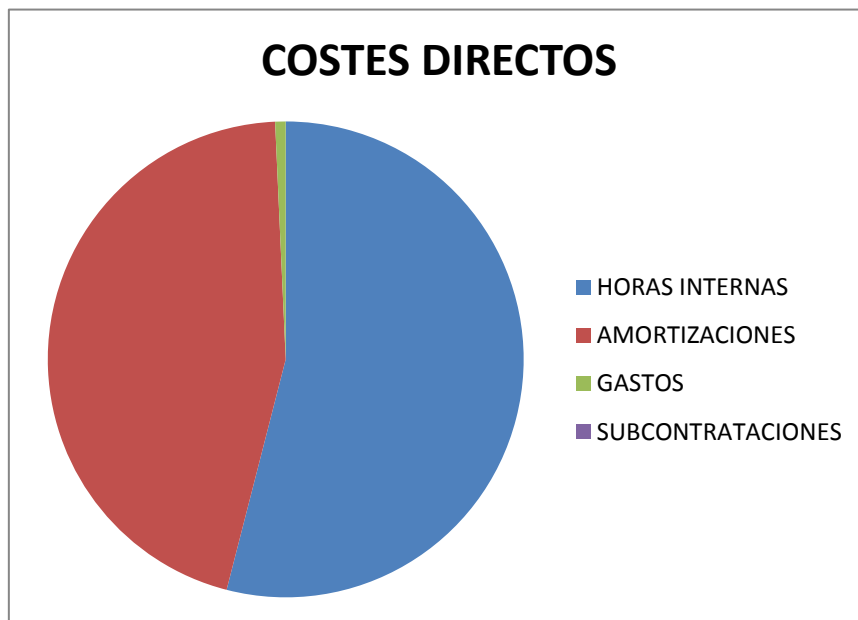


Gráfico 2. Presupuesto. Costes directos

Costes indirectos

Los costes indirectos se calculan en base a un porcentaje de los costes directos, y se establecen con el fin de cubrir gastos de consumo de electricidad, seguridad y limpieza. Se ha establecido un 5% de los costes directos. Por lo tanto, hacen un total de 703,75 €.

Imprevistos

Se estima un coste del 4% del total para los posibles imprevistos que puedan suceder durante el transcurso del proyecto. Hacen un total de 591,15 €.

Costes totales

Sumando todos y cada uno de los apartados calculados previamente, el presupuesto hace un total de 15.369,90 € (ver tabla 4).

COSTES TOTALES				
CONCEPTO	CANTIDAD HORAS (h)	COSTE (€/h)	SUBTOTAL	TOTAL
HORAS INTERNAS				7.600,00 €
Director	40	40	1.600,00 €	
Alumno	300	20	6.000,00 €	
AMORTIZACIONES				6.375,00 €
Estación de trabajo	250	0,5	125,00 €	
Lic. Siemens Tia Portal	100	15	1.500,00 €	
Lic. PLCSim Advanced	100	10	1.000,00 €	
Lic. Siemens NX	150	25	3.750,00 €	
GASTOS				100,00 €
Material de oficina			100,00 €	
SUBCONTRATACIONES				0,00 €
COSTES DIRECTOS				14.075,00 €
COSTES INDIRECTOS		5%		703,75 €
SUBTOTAL				14.778,75 €
IMPREVISTOS		4%		591,15 €
TOTAL				15.369,90 €

Tabla 4. Presupuesto. Costes totales

8. ANÁLISIS DE RIESGOS

En este apartado se evaluarán los posibles riesgos a tener en cuenta antes y durante el proyecto. En primer lugar se identificarán los riesgos y se evaluará su probabilidad y el impacto sobre el trabajo, y posteriormente se ordenarán siguiendo el criterio de la matriz de probabilidad-impacto, para poder determinar el plan de contingencia. De esta manera, todos los riesgos serán evaluados y clasificados según su relevancia (ver *tabla 5*).

Riesgos previos a la puesta en marcha del proyecto

- A. Alta formación necesaria para realizar el proyecto.
Probabilidad: ALTA. El controlar tanto el software utilizado como el hardware que se simula requiere un nivel de formación elevado y un conocimiento amplio de la materia.
Impacto: ALTO. El proyecto no se podría completar sin el trabajo de un programador experto en generar un código de control que se adapte a cada proceso industrial. Las modificaciones de modelado en NX requieren también la labor de un profesional especializado.

- B. Hardware o software no compatibles.
Probabilidad: BAJA. Todas las empresas encargadas de realizar este tipo de proyectos están dotadas de herramientas actualizadas y de última generación.
Impacto: ALTO. Tanto el hardware como el software son estrictamente necesarios para llevar a cabo el proyecto.

- C. Errores en el gemelo digital.
Probabilidad: ALTA. Elementos del gemelo digital utilizado para la simulación de fallos pueden no adaptarse a todas las situaciones de simulación.
Impacto: MODERADO. Todos los errores del modelo pueden ser modificados y arreglados.

Riesgos durante el transcurso del proyecto

- D. Incompatibilidad de archivos por actualizaciones de software.
Probabilidad: ALTA. Todas las herramientas utilizadas están en desarrollo y nuevas actualizaciones salen a mercado constantemente.

Impacto: BAJO. La única consecuencia negativa de actualizar versiones de software es que no se puedan abrir archivos por incompatibilidad de formato.

E. Problemas a la hora de realizar la conexión entre los software.

Probabilidad: BAJA. La conexión entre software que permite llevar a cabo el método de SIL se realiza mediante protocolos de comunicación, por lo que pueden acontecer malinterpretaciones y errores de direccionamiento.

Impacto: BAJO. Los problemas a nivel comunicativo aplicados a la escala del proyecto no son complicados de resolver, puesto que no hay una gran cantidad de dispositivos conectados a la vez.

Matriz de probabilidad-impacto

		IMPACTO				
		MUY BAJO (0,05)	BAJO (0,1)	MODERADO (0,2)	ALTO (0,4)	MUY ALTO (0,8)
PROBABILIDAD	MUY BAJA (0,1)	BAJO (0,005)	BAJO (0,01)	BAJO (0,02)	MODERADO (0,04)	MODERADO (0,08)
	BAJA (0,3)	BAJO (0,015)	BAJO (0,03)	MODERADO (0,06)	MODERADO (0,12)	ALTO (0,24)
	MODERADA (0,5)	BAJO (0,025)	MODERADO (0,005)	MODERADO (0,1)	ALTO (0,2)	ALTO (0,4)
	ALTA (0,7)	BAJO (0,035)	MODERADO (0,007)	MODERADO (0,14)	ALTO (0,28)	ALTO (0,56)
	MUY ALTA (0,9)	MODERADO (0,045)	MODERADO (0,009)	ALTO (0,18)	ALTO (0,36)	ALTO (0,72)

Tabla 5. Matriz de probabilidad-impacto

Mediante el uso de la matriz de probabilidad-impacto se han clasificado los riesgos identificados, por orden de mayor a menor prioridad:

1. A. Alta formación necesaria para realizar el proyecto (0,28). La dificultad de realizar un proyecto de este tipo hace que la formación sea un aspecto crítico a tener en cuenta, y el riesgo de mayor prioridad.

Plan de contingencia: Se evitará el riesgo poniendo al cargo del proyecto a una persona bien formada y especializada en modelado y programación.

2. C. Errores en el gemelo digital (0,14). La facilidad de cometer errores de modelado a la hora de crear el gemelo digital hacen de este caso un riesgo a tener en cuenta.

Plan de contingencia: En caso de que suceda, se controlará el riesgo y se tomarán las medidas necesarias para solventar el problema.

3. B. Hardware o software no compatibles (0,12). Puede suceder que a la hora de comenzar el proyecto no se disponga de las versiones compatibles de software y hardware.

Plan de contingencia: Se delegará el riesgo en caso de no contar con la última versión del hardware o software necesarios. Para ello se contratará a un especialista encargado en software de este tipo.

4. D. Incompatibilidad de archivos por actualizaciones de software (0,007). Los software y hardware utilizados se actualizan a su última versión constantemente, provocando incompatibilidades a la hora de abrir archivos con versiones distintas.

Plan de contingencia: Al igual que el riesgo anterior, se delegará y será un especialista el encargado de resolver el problema.

5. E. Problemas a la hora de realizar la conexión entre los software (0.03). Este riesgo es provocado por errores a la hora de realizar las interconexiones mediante protocolos de comunicación.

Plan de contingencia: En caso de que suceda, se controlará el riesgo y se tomarán las medidas necesarias para solventar el problema.

9. CONCLUSIONES

Al comienzo del proyecto se estableció como objetivo principal el identificar, analizar, simular y finalmente controlar los posibles fallos de funcionamiento de la Estación 1 de la Célula FMS-200.

En primer lugar se puede afirmar con rotundidad que se ha cumplido el objetivo, creando y aplicando una metodología para el análisis, simulación y control de las averías. Mediante el procedimiento seguido durante el proyecto ha sido posible el control y la neutralización de los fallos de la Estación 1 de la Célula FMS-200.

Además de ello, cabe destacar que se ha reforzado e incluso mejorado el alcance del proyecto gracias a la implementación de la pantalla de mando del HMI, puesto que añade una nueva funcionalidad garantizando un control mayor sobre la estación.

Por lo tanto, el TFG realizado se puede considerar como un punto de partida para realizar futuros proyectos de simulación y control de fallos en procesos industriales reales.

En cuanto al desarrollo del proyecto se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La Célula FMS-200 es una herramienta muy útil para realizar proyectos de investigación en el ámbito de la simulación de fallos, puesto que cuenta con toda la maquinaria y el instrumental necesario para desarrollar todos y cada uno de los aspectos de un trabajo del ámbito de la automatización industrial.
- En un proyecto de ámbito industrial en el que están presentes tanto la programación como el modelado es totalmente imprescindible documentar todo el trabajo que se hace en el momento, puesto que se realizan muchas modificaciones en periodos muy cortos de tiempo y es muy complicado recordar todo el trabajo realizado.
- La simulación es una herramienta muy importante de cara a futuro para empresas del ámbito industrial, por los numerosos beneficios que aporta a nivel técnico y económico. Por esta simple razón se justifica el hecho de que la virtualización sea una de las tecnologías en auge en la actualidad, ya que casi todas las empresas punteras del sector la están implementando en su día a día.
- Hace años la automatización se desarrollaba adaptándose a los procesos industriales. En la actualidad, y debido al peso y a la gran utilidad de esta tecnología, son las empresas las que adaptan sus procesos industriales a la automatización.

Líneas futuras

Tras haberse comprobado mediante la Estación 1 de la Célula FMS-200 la viabilidad de realizar con éxito un proyecto basado en la simulación y el control de fallos en procesos industriales, el siguiente paso sería aplicar la misma metodología en procesos industriales reales, en los cuales se verificaría el potencial real del trabajo realizado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Blog Infaimon. (2017). [en línea] Disponible en:
<https://blog.infaimon.com/produccion-en-cadena-evolucion-ventajas/>
- [2] Aldakin. (2017). [en línea] Disponible en:
<http://www.aldakin.com/automatizacion-industrial-robotica-claves-exito/>
- [3] EHU/UPV, “El PLC” (2000). [en línea] Disponible en:
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm>
- [4] Direct Industry, “Softwares de simulación”. (2019). [en línea] Disponible en:
<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/software-simulacion-64379.html>
- [5] SMC International Training, “FMS-200 - Sistema didáctico modular de ensamblaje flexible”. (2010). [en línea] Disponible en:
<https://www.smctraining.com/webpage/indexpage/287>
- [6] SMC International Training, “FMS-201 - Alimentación de la base”. (2010). [en línea] Disponible en: <https://www.smctraining.com/webpage/indexpage/293>
- [7] UPV/EHU OCW Consortium, “MeiA, Metodología para la ingeniería de Automatización. ()”. [en línea] Disponible en:
https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/12754/mod_resource/content/4/Metodologia%20MeiA%20OCW%202106-05-6.pdf