



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de automatización de una planta industrial para la
elaboración de aceite de oliva

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Vidal Stuyck, Guillermo

Tutor/a: Bernabeu Soler, Enrique Jorge

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



AGRADECIMIENTOS

“A mi familia

A mi tutor

Al técnico de laboratorio

A mi novia

Y a mis compañeros”



RESUMEN

En este TFG se explicarán los pasos a seguir en el proceso de automatización de una planta de elaboración de aceite de oliva, realizándose un estudio del proceso y una representación gráfica del mismo mediante la realización de un GRAFCET, para finalmente realizar una maqueta representativa en el laboratorio empleando un autómata industrial programable. Además, se quiere usar un sistema SCADA para poder controlar en tiempo real y de forma remota el funcionamiento de la planta mediante una pantalla táctil.

Palabras clave: automatización, industrial, GRAFCET, aceite, proceso, SCADA, centrifugadora, AGVs.



SUMMARY

The steps to follow in the automation process of an olive oil production plant will be explained in this TFG, carrying out an analysis of the process and creating a visual representation using GRAFCETs, finally making a representative model in the laboratory using a programmable industrial automation. Ultimately, it's wanted to use a SCADA system to be able to control the operation of the plant remotely and in real time through a touch screen.

Keywords: automation, industrial, GRAFCET, oil, process, SCADA, centrifuge, AGVs.



RESUM

En aquest TFG s'explicaran els passos a seguir en el procés d'automatització d'una planta d'elaboració d'oli d'oliva, realitzant-se un estudi del procés i una representació gràfica del mateix mitjançant la realització d'un GRAFCET, per a finalment realitzar una maqueta representativa en el laboratori emprant un autòmat industrial programable. A més, es vol utilitzar un sistema SCADA per a poder controlar en temps real i de manera remota el funcionament de la planta mitjançant una pantalla tàctil.

Paraules clau: automatització, industrial, GRAFCET, oli, procés, SCADA, centrifugadora, AGVs.



ÍNDICE DE DOCUMENTOS

MEMORIA DESCRIPTIVA.....	6
PRESUPUESTO	74



**DOCUMENTO I:
MEMORIA DESCRIPTIVA**



ÍNDICE DE LA MEMORIA

1	RESUMEN EJECUTIVO	14
2	OBJETIVO	14
3	MOTIVACIÓN	15
4	JUSTIFICACIÓN	15
5	INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	16
5.1	Historia Y Evolución De La Automatización	16
5.2	Importancia Del Aceite De Oliva En España	16
5.3	AGVs	17
5.4	Descripción Del Programa EcoStruxure Machine Expert	18
5.5	Diferencias Entre Sistema SCADA Y HMI	19
6	NORMAS Y CÓDIGOS	20
7	RETOS TECNOLÓGICOS, MEDIOAMBIENTALES Y SOCIALES	20
7.1	Retos Tecnológicos	20
7.2	Retos Medioambientales	21
7.3	Retos Sociales	21
7.4	Objetivos de Desarrollo Sostenibles	21
8	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	25
8.1	Descripción De La Maqueta	26
8.1.1	Descripción general	26
8.1.2	Descripción del contenido de la maqueta	27
8.1.3	Entradas y salidas	33
8.2	Descripción Del PLC	34
8.3	Conexiones	35
8.3.1	Conexión Ordenador-PLC	35
8.3.2	Conexión PLC-Maqueta	36
8.4	Descripción De Las Etapas	37
8.4.1	Etapa de transición desde la zona de lavado hasta el primer empujador	37
8.4.2	Etapa del primer empujador	38
8.4.3	Etapa de molienda	40
8.4.4	Etapa de batido	42
8.4.5	Etapa del segundo empujador	44
9	DESARROLLO DEL PROGRAMA	46



9.1	Creación Y Configuración Del Programa	46
9.2	Declaración De Variables	49
9.3	Desarrollo Del GRAFCET	51
9.4	Diagramas De Contactos (LD)	52
9.4.1	Init.....	55
9.4.2	Step0.....	56
9.4.3	Step1.....	57
9.4.4	Step2.....	58
9.4.5	Step3.....	58
9.4.6	Step4.....	59
9.4.7	Step5.....	60
9.4.8	Step6.....	60
9.4.9	Step7.....	61
9.4.10	Step8	62
9.4.11	Step9	62
9.5	Sistema HMI.....	63
9.6	Interacción Con El PLC	67
10	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	67
11	IMPACTO GLOBAL Y ALCANCE.....	70
12	CONCLUSIONES	71
13	BIBLIOGRAFÍA	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Aceite de oliva, [17].</i>	16
Figura 2. <i>Fotografía del AGV KARIS.</i>	17
Figura 3. <i>Controlador lógico Modicon M241.</i>	18
Figura 4. <i>Objetivos de Desarrollo Sostenible.</i>	21
Figura 5. <i>ODS 7.</i>	22
Figura 6. <i>ODS 8.</i>	22
Figura 7. <i>ODS 9.</i>	22
Figura 8. <i>ODS 12.</i>	23
Figura 9. <i>ODS 13.</i>	23
Figura 10. <i>Diagrama de las etapas.</i>	25
Figura 11. <i>Ilustración de la maqueta.</i>	27
Figura 12. <i>Vista superior de la maqueta.</i>	28
Figura 13. <i>Pieza de la maqueta.</i>	28
Figura 14. <i>Sensor fototransistor (izq) y emisor de luz LED apagado (dcha).</i>	29
Figura 15. <i>Emisor de luz LED encendido.</i>	29
Figura 16. <i>Sensor de posicionamiento de contacto.</i>	29
Figura 17. <i>Motor de la cinta transportadora.</i>	30
Figura 18. <i>Cinta transportadora.</i>	30
Figura 19. <i>Motor del empujador.</i>	31
Figura 20. <i>Empujador.</i>	31
Figura 21. <i>Representación de las cuchillas (izq) y de la batidora (dcha) en la maqueta.</i>	32
Figura 22. <i>Engranajes cilíndricos (izq) y engranajes cónicos (dcha).</i>	32
Figura 23. <i>Ubicación de las entradas y salidas en la maqueta.</i>	33
Figura 24. <i>Imagen del PLC en el laboratorio de la UPV.</i>	34
Figura 25. <i>Cable de conexión Ethernet/IP.</i>	35
Figura 26. <i>Conexión Ethernet del PLC.</i>	36

Figura 27. <i>Conexión PLC-Maqueta.</i>	36
Figura 28. <i>Cable de conexión DB37 hembra (izq) y macho (dcha).</i>	36
Figura 29. <i>SmartArt de las etapas a automatizar.</i>	37
Figura 30. <i>Representación gráfica del paso por la primera cinta.</i>	37
Figura 31. <i>Representación gráfica de la llegada de la caja al primer empujador.</i>	38
Figura 32. <i>Representación gráfica del primer empujador.</i>	39
Figura 33. <i>Representación gráfica de la acción del primer empujador.</i>	39
Figura 34. <i>Representación gráfica del paso de la caja por el tercer sensor fototransistor.</i>	40
Figura 35. <i>Representación gráfica de la llegada de la caja a la etapa de molienda.</i>	40
Figura 36. <i>Representación gráfica del giro de las cuchillas en la etapa de molienda.</i>	41
Figura 37. <i>Representación gráfica de la salida de la caja de la etapa de molienda.</i>	41
Figura 38. <i>Representación gráfica de la transición de la caja desde la cinta 2 hasta la cinta 3.</i>	42
Figura 39. <i>Representación gráfica de la llegada de la caja a la etapa de batido.</i>	42
Figura 40. <i>Representación gráfica de del giro de la batidora en la etapa de batido.</i>	43
Figura 41. <i>Representación gráfica de la salida de la caja de la etapa de batido.</i>	43
Figura 42. <i>Representación gráfica de la llegada de la caja al segundo empujador.</i>	44
Figura 43. <i>Representación gráfica del segundo empujador.</i>	44
Figura 44. <i>Representación gráfica de la acción del segundo empujador.</i>	45
Figura 45. <i>Representación gráfica de la llegada de la caja al último sensor fototransistor.</i>	45
Figura 46. <i>Icono EcoStruxure Machine Expert.</i>	46
Figura 47. <i>Pantalla de carga del EcoStruxure Machine Expert.</i>	47
Figura 48. <i>Ventana de creación de nuevo proyecto.</i>	47
Figura 49. <i>Selección MyController.</i>	48
Figura 50. <i>Pasos para la conexión del PLC al ordenador.</i>	48
Figura 51. <i>Selección del apartado “GVL”.</i>	49
Figura 52. <i>Declaración de variables en la lista de variables globales (GVL).</i>	50
Figura 53. <i>Declaración de variables en SR_Main.</i>	50
Figura 54. <i>GRAFSET del proceso.</i>	51
Figura 55. <i>Ventana para añadir acciones.</i>	52



Figura 56. Selección de contactos y bobinas.....	52
Figura 57. Ejemplo de contacto normal.....	53
Figura 58. Ejemplo de contacto negado.....	53
Figura 59. Ejemplo de bobina normal.....	53
Figura 60. Ejemplo de bobina negada.....	54
Figura 61. Selección de temporizadores y contadores.....	54
Figura 62. Declaración de un temporizador TON.....	54
Figura 63. Ejemplo de “TON”.....	55
Figura 64. Lógica de contactos Init.....	56
Figura 65. Lógica de contactos Step0.....	57
Figura 66. Lógica de contactos Step1.....	57
Figura 67. Lógica de contactos Step2.....	58
Figura 68. Lógica de contactos Step3.....	59
Figura 69. Lógica de contactos Step4.....	59
Figura 70. Lógica de contactos Step5.....	60
Figura 71. Lógica de contactos Step6.....	61
Figura 72. Lógica de contactos Step7.....	61
Figura 73. Lógica de contactos Step8.....	62
Figura 74. Lógica de contactos Step9.....	63
Figura 75. Tools tree.....	63
Figura 76. Ventana de selección de botones.....	64
Figura 77. Configuración del botón de encendido.....	64
Figura 78. Ventana de selección de luces.....	65
Figura 79. Configuración de la luz de encendido.....	65
Figura 80. Representación gráfica de los botones.....	66
Figura 81. Botón ON/OFF pulsado (izq) y luz de encendido activa (dcha).....	66
Figura 82. Botón de emergencia pulsado (izq) y luz de emergencia activa (dcha).....	66
Figura 83. Ventana de errores.....	67
Figura 84. Ejemplo de reinicio de temporizador.....	68



Figura 85. <i>Ejemplo de solución sin temporizador.</i>	69
Figura 86. <i>Ejemplo de solución con temporizador.</i>	69
Figura 87. <i>Ecuación del precio a amortizar.</i>	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Rúbrica ABET.</i>	14
Tabla 2. <i>Tabla de ODS.</i>	24
Tabla 3. <i>Entradas de la maqueta.</i>	33
Tabla 4. <i>Salidas de la maqueta.</i>	34
Tabla 5. <i>Ficha técnica del controlador.</i>	35
Tabla 6. <i>Cuadro de precios de los jornales.</i>	76
Tabla 7. <i>Tabla de datos de la maquinaria.</i>	77
Tabla 8. <i>Cuadro de precios de la maquinaria.</i>	78
Tabla 9. <i>Tabla de datos de los softwares.</i>	78
Tabla 10. <i>Cuadro de precios de los softwares.</i>	78
Tabla 11. <i>Cuadro de precios unitarios.</i>	79
Tabla 12. <i>Descripción de las unidades de obra.</i>	79
Tabla 13. <i>Cuadro de precios descompuestos de la unidad de obra nº 1.</i>	80
Tabla 14. <i>Cuadro de precios descompuestos de la unidad de obra nº 2.</i>	80
Tabla 15. <i>Cuadro de precios descompuestos de la unidad de obra nº 3.</i>	81
Tabla 16. <i>Presupuesto de ejecución y por contrata.</i>	82

1 RESUMEN EJECUTIVO

En este primer punto se va a mostrar una rúbrica perteneciente al resumen ejecutivo del trabajo para facilitar la rápida evaluación del cumplimiento del presente TFG con el criterio ABET, en ella se indican las páginas en las que se encuentra cada uno de los puntos de interés:

CONCEPT (ABET)	CONCEPTO (Traducción)	¿CUMPLE? (S/N)	¿Dónde? (Páginas)
1. IDENTIFY:	1. IDENTIFICAR:		
1.1. Problem statement and opportunity	1.1. Planteamiento del problema y oportunidad	S	16-17
1.2. Constraints (standards, codes, needs, requirements & specifications)	1.2. Restricciones (normas, códigos, necesidades, requisitos y especificaciones)	S	21-25
1.3. Setting of goals	1.3. Establecimiento de objetivos	S	15-16
2. FORMULATE:	2. FORMULAR:		
2.1. Creative solution generation (analysis)	2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)	S	38-47
2.2. Evaluation of multiple solutions and decision-making (synthesis)	2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)	S	68-70
3. SOLVE:	3. RESOLVER:		
3.1. Fulfilment of goals	3.1. Cumplimiento de objetivos	S	47-68
3.2. Overall impact and significance (contributions and practical recommendations)	3.2. Impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)	S	71-72

Tabla 1. Rúbrica ABET.

2 OBJETIVO

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado, en adelante TFG, es concretar la aplicación de algunos de los conocimientos que he ido adquiriendo durante los cuatro años de carrera, Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, en concreto los conocimientos relacionados con el ámbito de automatización industrial dados en asignaturas tales como Sistemas Automáticos y Tecnología Automática.



El presente documento muestra el proceso de automatización de la línea de producción de una planta de elaboración de aceite de oliva, tanto de forma teórica, describiendo el proceso que se seguiría en la planta, como de forma práctica, mediante la realización en los laboratorios de la Universitat Politècnica de València, en adelante UPV, de una maqueta que simula parte del proceso de automatización.

3 MOTIVACIÓN

Mi principal motivación en lo relativo al ámbito académico para la realización de este proyecto es terminar el grado que llevo cursando durante estos últimos cuatro años para poder continuar con mis estudios mediante la realización del máster de Ingeniería Industrial. Sumado a esto, también me motiva el hecho de aprender más acerca de la automatización industrial, pues es la rama que más he disfrutado durante mis estudios y la que más curiosidad me ha generado.

Además, también es una motivación extra el hecho de realizar un proyecto que pueda servir de base para solucionar una necesidad cada vez más frecuente en el mundo actual como es la automatización de un proceso industrial mediante la aplicación de los diferentes conocimientos que he ido aprendiendo durante mi carrera universitaria.

4 JUSTIFICACIÓN

A la hora de automatizar un proceso industrial tan grande como es la elaboración de aceite de oliva este no se puede aplicar directamente a la planta sin antes comprobar que el nuevo sistema funciona correctamente, pues existe un alto grado de incertidumbre y riesgos asociados a la implementación directa de estos sistemas en la planta.

Por ello, se ha decidido simular parte del proceso en una maqueta en miniatura que representa parte del proceso de elaboración real, asegurando así el correcto funcionamiento del sistema antes de ser aplicado en la planta.

Con esto se asegura la eficiencia, efectividad y seguridad del proceso, pues la maqueta permite detectar y resolver posibles problemas que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto, sin que estos causen ningún peligro. Además, sirve como representación didáctica para que los operarios de la planta puedan observar y aprender el funcionamiento de la maquinaria antes de utilizarla.

5 INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

5.1 Historia Y Evolución De La Automatización

La automatización nació en el siglo XVIII con la mecanización de la producción y el desarrollo de la máquina de vapor en la primera revolución industrial. Posteriormente, ya en el siglo XX, llegó el “fordismo” de la mano de Henry Ford con la implementación de la cadena de montaje, separando la producción de un determinado producto en distintas fases, haciendo que cada operario trabaje sólo en una de las fases, lo cual, aunque puede parecer una idea sencilla e incluso obvia a día de hoy, supuso una gran innovación y revolución en el sector, mejorando notablemente el rendimiento en la producción al poder especializarse cada trabajador en una tarea específica, sin necesidad de dominar el proceso entero de producción.

En los últimos años en lo que más se han centrado las empresas ha sido en mejorar el rendimiento y eficiencia en sus procesos productivos, ya que, a mayor rendimiento, mayor beneficio. Hoy en día, la manera más eficaz de mejorar la cadena de montaje es la automatización de la misma, reduciendo así el número de personas encargadas de hacer tareas repetitivas las cuales pueden resultar además un peligro para su integridad física.

Por todo ello, la automatización de un proceso de fabricación o elaboración de un producto hoy en día supone grandes ventajas tanto económicas, desde el punto de vista de la empresa, como relativas a la seguridad de los trabajadores.

Para la elaboración de este punto se ha consultado el artículo [1] de la **BIBLIOGRAFÍA**.

5.2 Importancia Del Aceite De Oliva En España

El aceite de oliva, también llamado “oro líquido”, ha tenido una notable importancia en la historia de España. Tanto es así que a día de hoy la elaboración de aceite de oliva en la península ibérica y sus islas supone un 70% de la producción europea y hasta un 45% de la producción mundial según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [2], por lo que es una parte muy importante de la economía española.



Figura 1. *Aceite de oliva, [17].*

5.3 AGVs

Los AGVs, cuyas siglas pertenecen a “Automatic Guided Vehicle”, son unos vehículos autónomos que se utilizan en entornos industriales y logísticos para el transporte de materiales y productos de forma automatizada. Los AGVs son capaces de moverse de manera autónoma siguiendo rutas predefinidas utilizando diferentes métodos de guiado, como son los sistemas de navegación por láser, el seguimiento de líneas magnéticas o el propio GPS.

Estos vehículos están diseñados para realizar tareas muy específicas (se programan para realizar un recorrido determinado, no tienen capacidad de improvisación) relativas al transporte, distribución y carga y descarga de productos en fábricas, almacenes, etc.

Los AGVs ofrecen varias ventajas si se comparan con los métodos tradicionales de transporte y distribución de materiales, incluyendo una mayor eficiencia en la operación, una reducción de los costes laborales y una mejora en la seguridad y precisión de las operaciones. Por todo ello, los AGVs son cada vez más útiles y populares en el ámbito industrial y por eso se ha decidido incluirlos de manera teórica en el proyecto.

La información de los párrafos anteriores ha sido extraída del artículo [3] de la **BIBLIOGRAFÍA**.

Tras una búsqueda del AGV que mejor se adapte a lo buscado en este proyecto, se ha seleccionado el siguiente vehículo de la marca alemana “GEBHARDT Intralogistics Group”, [4].

A continuación, se muestran las características básicas que presenta este AGV:

- Puesta en marcha sencilla con navegación basada en contornos y teach-in
- Planificación flexible del montaje
- Campo de visión de 360
- Escalabilidad con un principio modular
- Posibilidad de conexión directa a la tecnología de transporte de contenedores y palets
- Alta seguridad del vehículo

Además, soporta una carga de hasta 1500 kg, lo cual es más que suficiente para el transporte de las botellas de aceite por la planta. En la siguiente figura se muestra una imagen del mismo extraída de la página web de compra del vehículo mencionada anteriormente:



Figura 2. Fotografía del AGV KARIS.

5.4 Descripción Del Programa EcoStruxure Machine Expert

EcoStruxure Machine Expert es un software desarrollado por Schneider Electric el cual unifica el desarrollo, configuración y puesta en marcha de una máquina completa en un único entorno, integrando funciones lógicas, control de motores y automatización de red. Además, es compatible con una amplia gama de dispositivos de control flexible de máquinas, permite programar y optimizar el control para satisfacer prácticamente cualquier requisito de maquinaria.

Con esto, encontramos diversas plataformas de hardware como son: controladores lógicos (Modicon M241, M251 y M262), controladores de movimiento (Modicon M262 y PacDrive LMC Eco, Pro/Pro2), HMI (Magelis SCU HMI Controller), paneles gráficos HMI (XBTDGH, GK, GTO, GTU y GTUX), unidades de velocidad variable, servounidades, sensores y módulos de E/S distribuidas.

En el presente TFG se utilizará un controlador lógico Modicon M241, tal y como se muestra en la siguiente figura (En el apartado **8.2 Descripción Del PLC** se explican en detalle las características de este controlador):

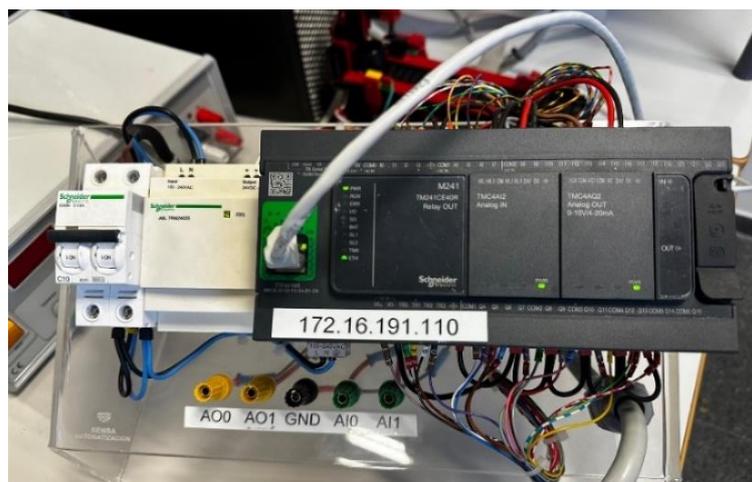


Figura 3. Controlador lógico Modicon M241.

El software dispone de un gran número de lenguajes guiados por la norma IEC 61131-3:

- **Ladder Diagram (LD):** Se trata de un lenguaje gráfico y visual el cual representa circuitos eléctricos mediante la utilización de contactos y bobinas, se le conoce como diagrama de escalera o diagrama de contactos y ha sido el elegido para la configuración de las etapas del programa realizado en el presente TFG.
- **Function Block Diagram (FBD):** Este lenguaje usa bloques funcionales para la representación de funciones u operaciones.
- **Structured Text (ST):** Es un lenguaje de texto el cual se considera útil para la programación de algoritmos y cálculos complejos.
- **Instruction List (IL):** Se trata de un lenguaje de texto de bajo nivel el cual se encuentra actualmente obsoleto, aunque sigue siendo compatible con versiones anteriores.



- **Sequential Function Chart (SFC):** Es un lenguaje gráfico el cual permite representar secuencias y transiciones entre diferentes estados, por lo que ha sido seleccionado para representar el GRAFCET del proceso en el programa.

Sumado a estos, el programa también dispone de un editor gráfico adicional disponible en CODESYS el cual no se encuentra definido en la norma IEC, el **Continuous Function Chart (CFC)**, el cual es muy parecido al FBD, pero con la opción de colocar y conectar bloques funcionales libremente por el espacio de trabajo.

Toda la información expuesta anteriormente se puede consultar con mayor detalle en la guía de funcionamiento del programa, la cual se encuentra referenciada en la **BIBLIOGRAFÍA, [5]**.

5.5 Diferencias Entre Sistema SCADA Y HMI

Un sistema HMI (Human Machine Interface) es una interfaz de usuario que mejora la comunicación entre una máquina y un operario, siendo esta su función principal y contribuyendo así a la realización de tareas más dinámicas y optimizadas. Las HMI suelen incluir un monitor o pantalla vinculada a una máquina, así como a su proceso de producción, y están conectados a un PLC, ubicado cerca de las máquinas que se quieren controlar.

Por otro lado, el sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es utilizado para supervisar y controlar remotamente grandes áreas de producción en tiempo real. Combina múltiples sistemas como sensores, PLC y RTU, enviando datos a una unidad SCADA central que incluye su propia HMI.

Las principales funciones de SCADA son controlar sistemas mediante software HMI, monitorear plantas enteras en tiempo real, recopilar datos de interés para la optimización del proceso y automatizar procesos productivos.

Con esto, las tecnologías HMI y SCADA son complementarias: Los sistemas SCADA son esenciales para grandes infraestructuras industriales y requieren tecnología HMI para visualizar la información de la cadena de producción (una HMI puede ser parte de un sistema SCADA, pero un SCADA no puede ser parte de una HMI).

Por todo ello, se ha decidido finalmente emplear un HMI en lugar de un sistema SCADA, ya que simplemente se han configurado dos botones, uno para encender y apagar la máquina y un botón de emergencia. En el caso en el que se automatizara la planta industrial completa sí que convendría utilizar un sistema SCADA que incorpore el HMI diseñado en el presente TFG.

Para la comparación entre el sistema SCADA y HMI se han consultado los artículos [6] y [7] de la **BIBLIOGRAFÍA**, respectivamente.



6 NORMAS Y CÓDIGOS

En este punto se presentan las normas y códigos que se han tenido en cuenta para la realización del proyecto, necesarios para poder automatizar el proceso de elaboración de aceite en una planta real:

En primer lugar, se debe cumplir la **IEC 61508**, la cual garantiza la seguridad funcional del sistema general y el sistema de emergencia. Se trata de una norma internacional que trata sobre la seguridad funcional de los sistemas eléctricos, electrónicos y programables tanto en condiciones normales como en situaciones de emergencia.

Además, para evitar interferencias electromagnéticas se debe cumplir la **IEC 61000**, la cual se enfoca en la compatibilidad electromagnética, asegurando que en entornos industriales con más de un dispositivo electrónico estos no causen interferencias entre ellos.

Por último, para poder realizar una correcta programación del PLC se debe tener en cuenta la **IEC 61131-3**, la cual define los lenguajes de programación estándar utilizados en los PLCs, asegurando así que el código de programación sea sencillo de leer e interpretar para cualquier persona que conozca los lenguajes que dicta la norma.

El cumplimiento de estas normas es importante para garantizar que el proyecto cumple con los estándares legales a nivel regional, nacional e internacional, mejorando además la fiabilidad, seguridad y eficiencia del sistema.

Todas las normas han sido consultadas en el BOE y añadidas a la **BIBLIOGRAFÍA**, [8], [9] y [10].

7 RETOS TECNOLÓGICOS, MEDIOAMBIENTALES Y SOCIALES

Para abordar el presente proyecto con éxito habrá que hacer frente a varios retos tecnológicos, medioambientales y sociales, los cuales son analizados a continuación:

7.1 Retos Tecnológicos

En primer lugar, encontramos la compatibilidad de sistemas, ya que los sistemas existentes pueden no ser compatibles con la nueva tecnología a desarrollar, por lo que se deberán adaptar al nuevo proceso. Sumado a esto, tenemos el elevado coste inicial que supone la transición a esta nueva forma de trabajar y el mantenimiento constante al que se deberá someter para asegurar que los sistemas funcionen correctamente.

La empresa se enfrenta a costes económicos muy elevados y a la falta de personal experto para abordar esta transición, por lo que habrá que contratar personal nuevo o formar a los empleados que ya trabajen en la empresa.

7.2 Retos Medioambientales

En el ámbito medioambiental, encontramos varios puntos positivos que se obtienen con la automatización del proceso de elaboración de aceite, como son la mejora de la eficiencia energética, la optimización de los recursos utilizados y la reducción de emisiones contaminantes, todo ello gracias a reducir los posibles errores de precisión que puedan surgir por el factor humano.

Sin embargo, también habrá que hacer frente a algunos retos medioambientales, como son el control del consumo adicional de energía y recursos proveniente de la nueva maquinaria a implementar en el proceso o la posible reutilización de estas máquinas una vez dejen de ser útiles, pudiendo buscarle una segunda vida a las máquinas o reciclar las distintas partes que las componen.

7.3 Retos Sociales

Socialmente, la automatización podría desembocar en una pérdida de empleo debido a la sustitución de la mano de obra encargada de hacer procesos repetitivos por máquinas programadas para hacer esas mismas tareas. Ante esta situación, la solución más lógica es la creación de nuevos puestos de trabajo, puesto que, aunque los operarios ya no tendrán que realizar los procesos manualmente, sí que deberá haber alguien que supervise el trabajo de las máquinas por si hubiera algún error o fallo durante el proceso.

Con esto, la automatización no supondría una pérdida de empleo masiva, sino una renovación de los trabajos tradicionales y repetitivos, adquiriendo los operarios nuevas habilidades y conocimientos para adaptarse a la gestión de las nuevas máquinas.

7.4 Objetivos de Desarrollo Sostenibles

Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenibles) conforman un grupo de un total de 17 objetivos globales que salieron de la Asamblea General de las Naciones Unidas [11], en el año 2015 en concordancia con la agenda 2030.



Figura 4. *Objetivos de Desarrollo Sostenible.*

En este punto se exponen y defienden los ODS en los que participa activa y pasivamente el presente proyecto de automatización de una planta de elaboración de aceite de oliva, objetivo final del trabajo realizado en el laboratorio.

Con esto, se procede a explicar en que colabora con cada ODS por separado:



Figura 5. ODS 7.

Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante

La automatización de una planta de elaboración de aceite de oliva lleva implícita una mejora en la eficiencia energética, ya que optimiza el proceso y los recursos utilizados reduciendo así las emisiones contaminantes, minimizando el desperdicio de energía y contribuyendo a una producción más sostenible.

Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico

Si bien es cierto que la automatización industrial puede conllevar la reducción de puestos de trabajo, también ayuda a generar nuevos empleos enfocados en el mantenimiento y supervisión de las máquinas promoviendo así la adquisición de nuevas habilidades y conocimientos para los trabajadores.

Así, se eliminan los empleos manuales y repetitivos dando lugar a nuevos puestos de trabajo relacionados con la gestión de nuevas tecnologías promocionando el crecimiento económico, el trabajo productivo y un empleo decente e inclusivo para todos.



Figura 6. ODS 8.



Figura 7. ODS 9.

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura

La implementación de tecnología avanzada y la automatización de procesos industriales suponen una gran innovación en el ámbito de la producción en cadena, fomentando además la construcción de infraestructuras que sean compatibles con las nuevas máquinas.

Objetivo 12: Producción y consumo responsables

En el presente TFG se destaca la importancia de optimizar los recursos y minimizar los desperdicios en el proceso de producción del aceite de oliva. La recolección de aceitunas y su tratamiento inmediato y eficaz para evitar la fermentación colaboran en la producción responsable del aceite de oliva, minimizando las pérdidas de energía y materia en el proceso de elaboración.



Figura 8. ODS 12.



Figura 9. ODS 13.

Objetivo 13: Acción por el clima

Al mejorar la eficiencia energética el proyecto contribuye a la lucha contra el cambio climático y sus consecuentes impactos. La automatización permite una mayor precisión y control en el uso de recursos, lo que resulta en un consumo más responsable de la energía empleada, reduciendo pérdidas y provocando por tanto una menor huella de carbono.

Estos ODS reflejan el compromiso del proyecto con el desarrollo sostenible, mostrando cómo la automatización y la tecnología pueden ser herramientas poderosas para mejorar tanto la eficiencia industrial como la sostenibilidad ambiental y social.

En la siguiente tabla se muestra el grado de relevancia de cada ODS en el desarrollo de este TFG, calificando su compromiso con los distintos objetivos en: Alto, Medio, Bajo o No procede, estando marcada con una "X" la casilla correspondiente:

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				×
ODS 2. Hambre cero.				×
ODS 3. Salud y bienestar.				×
ODS 4. Educación de calidad.				×
ODS 5. Igualdad de género.				×
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				×
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.			×	
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	×			
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	×			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				×
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				×
ODS 12. Producción y consumo responsables.	×			
ODS 13. Acción por el clima.			×	
ODS 14. Vida submarina.				×
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				×
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				×
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				×

Tabla 2. Tabla de ODS.

8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación, se explica de manera resumida el proceso seguido en la elaboración del aceite de oliva:

Previo al tratamiento en planta de las aceitunas, encontramos el proceso de recolección de las mismas mediante unas máquinas que agitan los árboles para hacer caer los frutos en una amplia red que evita que estas se pierdan por el terreno. De la red pasan directamente a un camión donde son cargadas y transportadas hasta la almazara en el menor tiempo posible para evitar que las aceitunas se fermenten.

Una vez llegan las aceitunas a la planta se pesan para comenzar el proceso, pues este no puede comenzar hasta que no haya unos 500 kilos de aceitunas aproximadamente, con el objetivo de optimizar el proceso y no malgastar recursos. Ya con la cantidad de aceitunas requeridas, estas se lavan para eliminar la tierra, hojas y ramitas que puedan venir del proceso de recolección. Posteriormente se tritura la aceituna con un tractor giratorio con cuchillas, produciendo así una pasta que es batida por otra máquina. Luego, esa pasta se bombea hasta una centrifugadora que separa el aceite de la piel, la pulpa, el agua y los huesos, para su posterior transporte a los tanques de almacenamiento.

Finalmente, después de unas dos semanas de almacenamiento, se embotella el aceite, se colocan las tapas y se sellan. También se añaden diferentes etiquetas dependiendo de la marca.

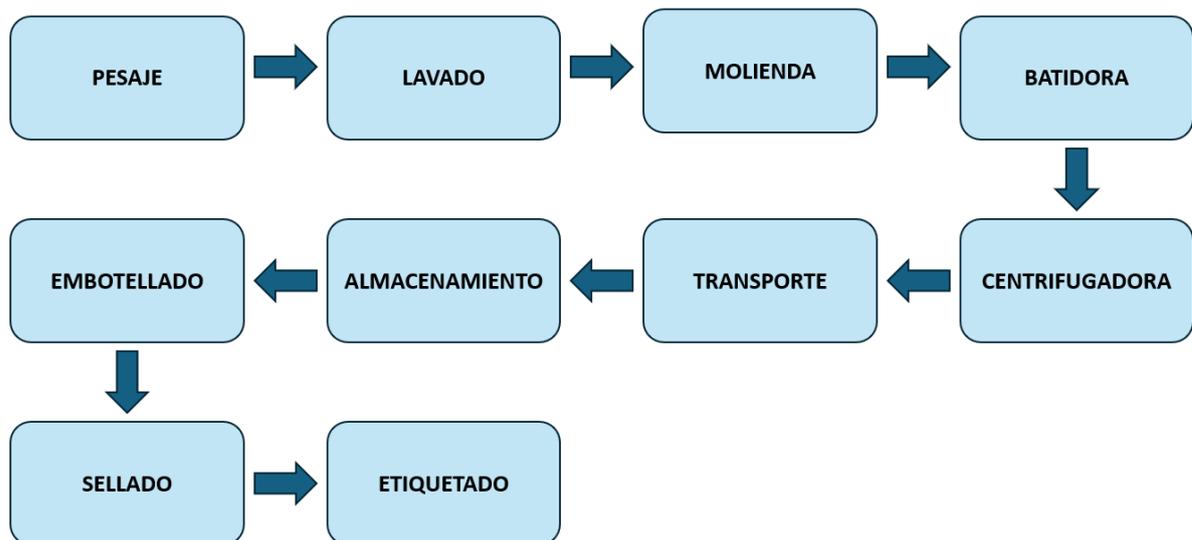


Figura 10. Diagrama de las etapas.

Como podemos ver en el diagrama, encontramos un total de 10 etapas que conforman el proceso completo de elaboración de aceite de oliva. A continuación, se procederá a describir cada una de las etapas en detalle:



- 1) **Etapa de pesaje:** Esta primera etapa es vital para el funcionamiento de la planta, ya que el proceso no debe comenzar hasta que no haya aproximadamente media tonelada de aceitunas preparadas. En esta etapa las aceitunas recolectadas se van almacenando en un gran recipiente hasta que se alcanza el peso requerido, momento en el cual se puede empezar con el proceso de elaboración en planta del aceite de oliva.
- 2) **Etapa de lavado:** Una vez tenemos las aceitunas en la caja, estas comenzarán a moverse por la cinta transportadora. Mientras la caja está en movimiento unas duchas situadas justo encima de la misma irán lavando las aceitunas para eliminar posibles residuos e impurezas de la etapa de recolección.
- 3) **Etapa de molienda:** Ya con las aceitunas limpias, se comenzará a su molienda mediante unas cuchillas giratorias que triturarán las aceitunas hasta formar una pasta.
- 4) **Etapa de batido:** La pasta molida en la etapa anterior será batida por otra máquina con el fin de separar el aceite y el agua del resto de componentes sólidos que dejan las aceitunas, como pueden ser los propios huesos de las aceitunas o la pulpa que aparece al moler las aceitunas.
- 5) **Etapa de centrifugadora:** Ya con la parte sólida de las aceitunas separada de la parte líquida, esta última pasa por una centrifugadora que separa el aceite del agua y de los restos sólidos que puedan haber quedado de la etapa anterior.
- 6) **Etapa de transporte:** En este punto ya tenemos el aceite de oliva producido, tan solo falta llevar el aceite a los tanques de almacenamiento. Esto se hará mediante AGVs, el aceite extraído de la centrifugadora se almacena en recipientes los cuales son transportados mediante AGVs hasta los tanques de almacenamiento.
- 7) **Etapa de almacenamiento:** El aceite de oliva se almacena en tanques de acero inoxidable y se deja reposar durante unas dos semanas.
- 8) **Etapa de embotellado:** El aceite almacenado se embotella en recipientes de plástico para poder distribuirlo.
- 9) **Etapa de sellado:** Las botellas se cierran con tapones de plástico enroscados.
- 10) **Etapa de etiquetado:** Esta es la última etapa antes de pasar a la comercialización de las botellas de aceite de oliva, en esta se pegan las distintas etiquetas a la botella, tanto la representativa con la marca como la de información nutricional.

8.1 Descripción De La Maqueta

8.1.1 Descripción general

Los procesos se van a simular en una “Línea de indexación con una estación de fresado y perforación y una cinta transportadora en forma de U con dos cambios de dirección”, artículo número 096790 de “Fischertechnik” cuya web se adjunta en la **BIBLIOGRAFÍA**, [12].

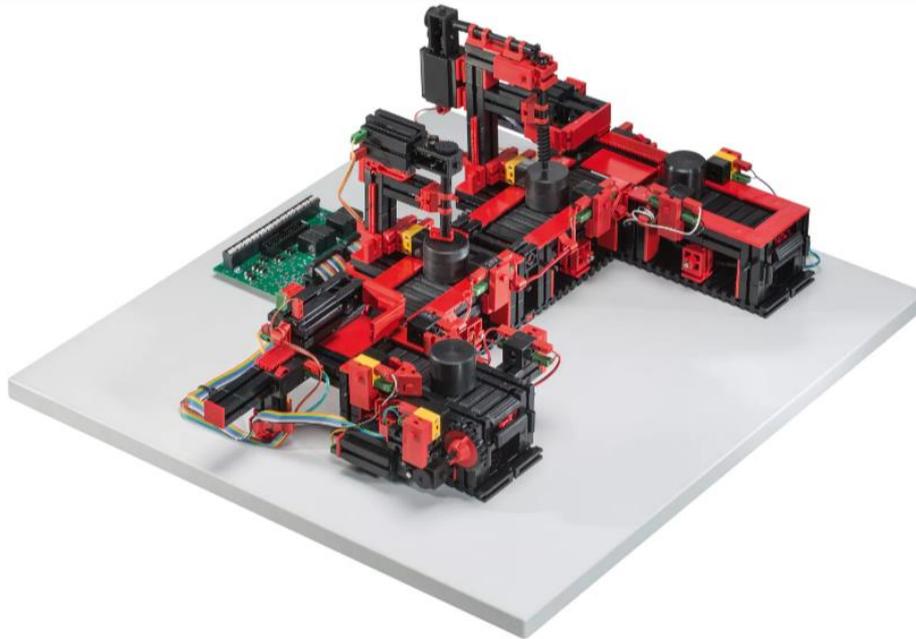


Figura 11. Ilustración de la maqueta.

La maqueta dispone de 9 entradas digitales (I) y 10 salidas de 24V (Q), todas ellas conectadas tanto a enchufes con encastre (26 polos, retícula 2,54mm), como a bornes con conexión a bornes de inserción. Además, tiene una placa de circuito impreso con relé para poder invertir la dirección de giro de los motores de los empujadores.

Aunque la maqueta realmente simule una estación de fresado y perforación, esta puede servir para simular la parte del proceso que se busca representar. Para ello tan solo hay que cambiar la representación de la “fresadora” por una representación de las “cuchillas” en la etapa de molienda y la “taladradora” por una “batidora” para la etapa de batido de la pasta de las aceitunas.

8.1.2 Descripción del contenido de la maqueta

La maqueta se compone de 4 cintas transportadoras, 8 motores de corriente continua, 4 pulsadores, 5 fototransistores, 5 barreras de luz LED y una pieza de plástico. A continuación, se explicará con más detalle el funcionamiento y utilidad de cada uno de los componentes:

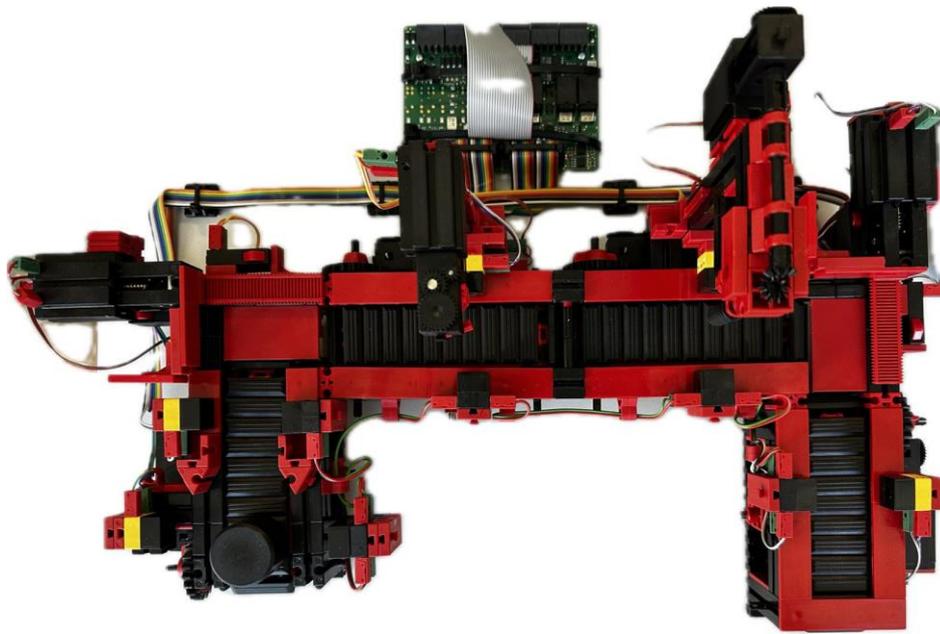


Figura 12. Vista superior de la maqueta.

En primer lugar, encontramos una pieza cilíndrica de plástico de color negro la cual se usa para simular la caja de aceitunas. La pieza tiene las medidas justas para poder realizar todo el recorrido de la máquina con fluidez.



Figura 13. Pieza de la maqueta.

A continuación, se van a describir todos los sensores de los que dispone la maqueta:

En primer lugar, se encuentran los sensores fototransistores, los cuales funcionan convirtiendo la luz que recibe el sensor en corriente eléctrica con el objetivo de determinar si la pieza se encuentra en esa posición o no. En la maqueta encontramos un emisor de luz con una pequeña bombilla LED por cada sensor fototransistor, los cuales se encienden al pulsar el botón de “ENCENDIDO”.



Figura 14. Sensor fototransistor (izq) y emisor de luz LED apagado (dcha).

Al encenderse el sistema, todos los emisores de luz se iluminan y los fototransistores reciben el haz de luz, por lo que en ese momento están enviando un “1” lógico al controlador constantemente, hasta que una pieza interfiere en la trayectoria del haz de luz, dejando de incidir luz en el fototransistor y enviando un “0” lógico al controlador. En resumen, si la pieza no se encuentra en la posición determinada por el sensor este envía un “1” y si la pieza se encuentra en dicha posición envía un “0”.



Figura 15. Emisor de luz LED encendido.

Sumado a esto, la maqueta dispone de 4 sensores de posicionamiento de contacto, los cuales funcionan como un botón que es presionado por el empujador cuando se encuentra en la posición determinada por el sensor. En la siguiente figura se puede observar uno de estos sensores, concretamente el sensor de final de carrera frontal del segundo empujador:



Figura 16. Sensor de posicionamiento de contacto.

El sensor de la figura se encuentra levantado, por lo que está enviando un “0” lógico al controlador, cuando el empujador avanza y se sitúa en la posición del sensor, este se presiona y comienza a enviar un “1” lógico al controlador.

Con esto, se proceden a describir los actuadores de la maqueta:

En primer lugar, se dispone de 4 cintas transportadoras, encargadas de conducir a la pieza a lo largo de toda la maqueta. Cada cinta dispone de su propio motor eléctrico compuesto por una batería y varios engranajes que permiten el movimiento de la cinta en un único sentido (la pieza solo puede avanzar por el recorrido, en ningún caso puede retroceder).

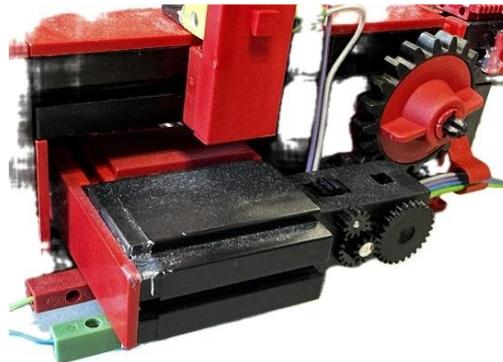


Figura 17. Motor de la cinta transportadora.

La primera cinta es la encargada de conducir la pieza desde su posición inicial hasta la zona del primer empujador, el cual sitúa la pieza en la segunda cinta, las cintas 2 y 3 se encuentran seguidas, la segunda cinta es la perteneciente a la etapa de molienda y la tercera cinta pertenece a la etapa de batido. Finalmente, esta tercera cinta deposita la pieza en la zona del segundo empujador, el cual la sitúa en la cuarta y última cinta para su salida de la maqueta.

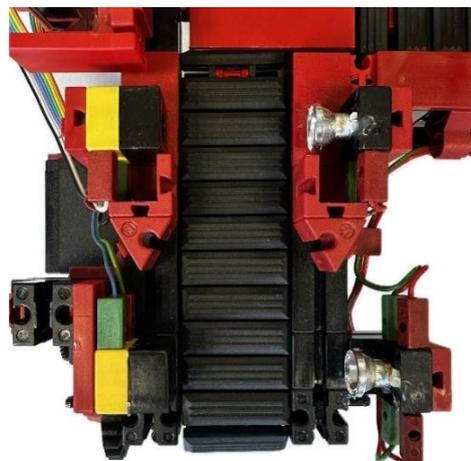


Figura 18. Cinta transportadora.

Sumado a estas cintas y debido a que la maqueta no mantiene siempre la misma dirección, sino que tiene dos giros de 90 °, se hace preciso el uso de empujadores para que la pieza pueda completar el recorrido, habiendo un total de 2 empujadores con 2 motores cada uno, uno para que el empujador avance y otro para que retroceda.

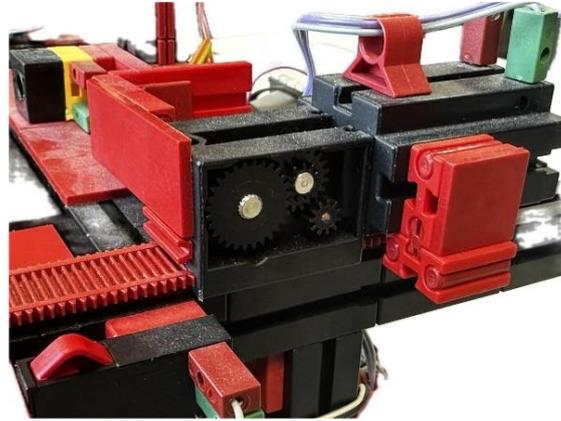


Figura 19. Motor del empujador.

El primer empujador es el encargado de mover la pieza de la “CINTA1” a la “CINTA2” y el segundo empujador mueve la pieza de la “CINTA3” a la “CINTA4”, posibilitando así el avance de la pieza por el recorrido de la maqueta.



Figura 20. Empujador.

Por último, la maqueta dispone de dos motores que provocan el giro de las hipotéticas cuchillas y de la batidora, funcionando ambos motores de manera similar, cuando se ponen en marcha producen el giro de los engranajes, los cuales trasladan este giro a unas piezas de plástico que simulan tanto las cuchillas como la batidora.



Figura 21. Representación de las cuchillas (izq) y de la batidora (dcha) en la maqueta.

La única diferencia en el funcionamiento de estos se encuentra en los engranajes, ya que el resultado es exactamente el mismo. Mientras que las “cuchillas” funcionan con un mecanismo de engranajes cilíndricos, la “batidora” funciona mediante engranajes cónicos.



Figura 22. Engranajes cilíndricos (izq) y engranajes cónicos (dcha).

8.1.3 Entradas y salidas

En este apartado se muestran las tablas realizadas tanto de las entradas como de las salidas, así como su ubicación en la maqueta.

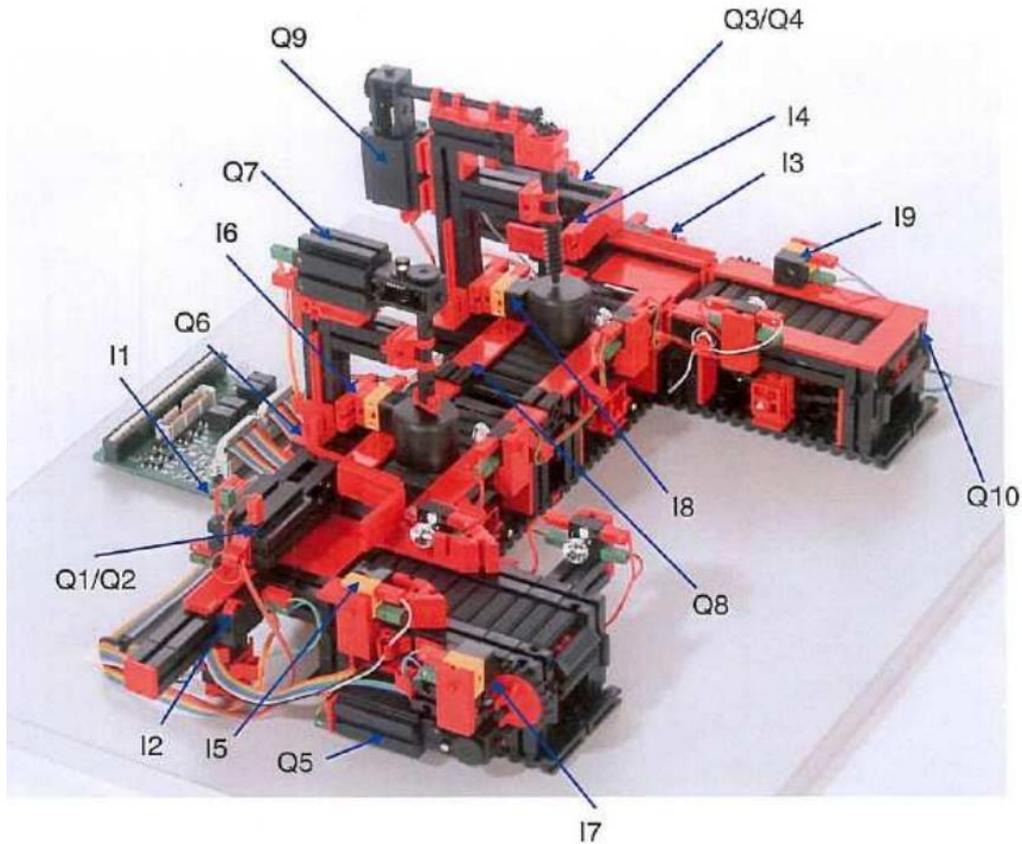


Figura 23. Ubicación de las entradas y salidas en la maqueta.

ENTRADA	DESCRIPCIÓN	VARIABLE	DIRECCIÓN
I1	Final de carrera frontal del empujador 1	FRONT_1	%IX0.0
I2	Final de carrera trasera del empujador 1	TRAS_1	%IX0.1
I3	Final de carrera frontal del empujador 2	FRONT_2	%IX0.2
I4	Final de carrera trasera del empujador 2	TRAS_2	%IX0.3
I5	Fototransistor empujador 1	SENSOR2	%IX0.4
I6	Fototransistor cuchillas	SENSOR3	%IX0.5
I7	Fototransistor estación de carga	SENSOR1	%IX0.6
I8	Fototransistor batidora	SENSOR4	%IX0.7
I9	Fototransistor empujador 2	SENSOR5	%IX1.0

Tabla 3. Entradas de la maqueta.

SALIDA	DESCRIPCIÓN	VARIABLE	DIRECCIÓN
Q1	Motor avance empujador 1	AVANZA_1	%QX0.4
Q2	Motor retroceso empujador 1	RETROCEDE_1	%QX0.5
Q3	Motor avance empujador 2	AVANZA_2	%QX0.6
Q4	Motor retroceso empujador 2	RETROCEDE_2	%QX0.7
Q5	Motor cinta transportadora de alimentación	CINTA1	%QX1.0
Q6	Motor cinta transportadora cuchillas	CINTA2	%QX1.1
Q7	Motor cuchillas	CUCHILLAS	%QX1.2
Q8	Motor cinta transportadora batidora	CINTA3	%QX1.3
Q9	Motor batidora	BATIDORA	%QX1.4
Q10	Motor cinta transportadora salida	CINTA4	%QX1.5
Q11	Encendido de los sensores y actuadores	ENCENDIDO	%QX1.6

Tabla 4. Salidas de la maqueta.

8.2 Descripción Del PLC

El controlador utilizado en este TFG, tal y como se ha comentado anteriormente, es el Modicon M241. Este controlador tiene un alto rendimiento gracias a su buen procesador y su tiempo de ciclo reducido, soporta conexiones con Modbus TCP, HTTP y Ethernet/IP, siendo esta última la elegida en el presente trabajo. Además, tiene puertos de serie RS232/RS485, los cuales le permiten conectarse con dispositivos más antiguos.



Figura 24. Imagen del PLC en el laboratorio de la UPV.

Dentro de los modelos disponibles, se ha utilizado concretamente el controlador “M241-40IO Relay Ethernet”, cuyas características técnicas sacadas de la hoja de datos de la página web de venta del controlador (adjuntada en la **BIBLIOGRAFÍA**, [14]) se muestran en la siguiente tabla:

Gama De Producto	Modicon M241
Tipo De Producto O Componente	Controlador lógico
[Us] Tensión De Alimentación Nominal	100 ... 240 V CA
Número De Entrada Digital	24, entr. discreta 8 entrada rápida conforme a IEC 61131-2 tipo 1
Tipo De Salida Digital	Relé Transistor
Número De Salida Digital	4 transistor 4 salida rápida 12 relé
Tensión De Salida Digital	5 ... 125 V CC para salida de relé 5 ... 250 V CA para salida de relé 24 V CC para salida transistor
Corriente De Salida Digital	0.1 A para salida rápida (modo PTO) (TR0 ... TR3) 2 A para salida de relé (Q4 ... Q15) 0.5 A para salida transistor (TR0 ... TR3)

Tabla 5. Ficha técnica del controlador.

8.3 Conexiones

Este punto describe las comunicaciones físicas que se deben realizar entre el ordenador, el PLC y la maqueta.

8.3.1 Conexión Ordenador-PLC

La conexión entre el ordenador y el autómatas programable Modicon M241 del laboratorio se ha realizado mediante la red Ethernet/IP.



Figura 25. Cable de conexión Ethernet/IP.

Así, basta con conectar el ordenador a la red y utilizar la red Ethernet/IP para el PLC, conectando el cable en el lugar reservado para ello en el propio PLC.



Figura 26. Conexión Ethernet del PLC.

8.3.2 Conexión PLC-Maqueta

La conexión del autómatas con la maqueta se realiza mediante un conector del tipo DB37, tal y como se muestra en la siguiente figura:

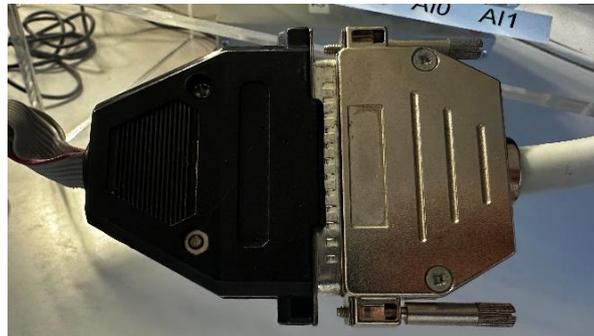


Figura 27. Conexión PLC-Maqueta.

Así, basta con conectar el cable de conexión DB37 hembra, (el cual se encuentra ya conectado y configurado en los laboratorios de la universidad), con el cable de conexión DB37 macho el cual pertenece a la maqueta.



Figura 28. Cable de conexión DB37 hembra (izq) y macho (dcha).

8.4 Descripción De Las Etapas

Con esto, la parte del proceso que se va a automatizar es la formada por las etapas de **molienda y batidora**, desde la llegada de la caja de aceitunas ya lavada hasta instantes antes de su paso por la centrifugadora.

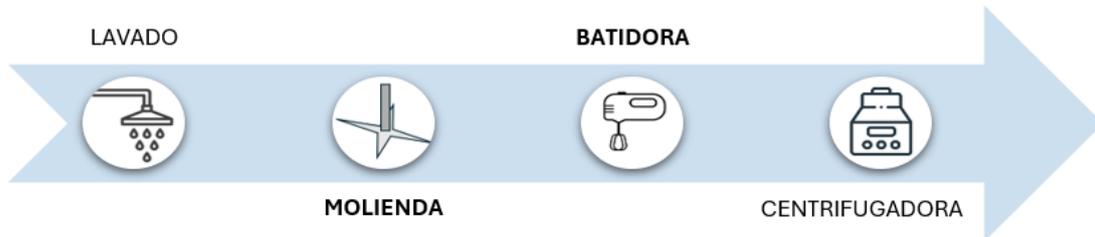


Figura 29. SmartArt de las etapas a automatizar.

Para facilitar la comprensión de las etapas se han realizado varias representaciones gráficas en las que el cubo representa la caja de aceitunas y los sensores están claramente indicados, representados en negro cuando están desactivados y en rojo cuando se activan (Cabe recordar que los sensores funcionan con lógica inversa, por lo que cuando están representados en negro están enviando un 1 lógico y un 0 cuando están en rojo). Además, para representar la posición en la que se encuentra la caja en cada momento esta se ha pintado de amarillo.

8.4.1 Etapa de transición desde la zona de lavado hasta el primer empujador

Se usará una cinta transportadora para simular desde la llegada de las aceitunas tras el lavado, hasta la zona de las cuchillas y batido. Una vez las aceitunas han sido pesadas y lavadas, estas comenzarán la etapa de molienda y batido, empezando por el transporte de la caja de aceitunas hasta la zona de molienda.

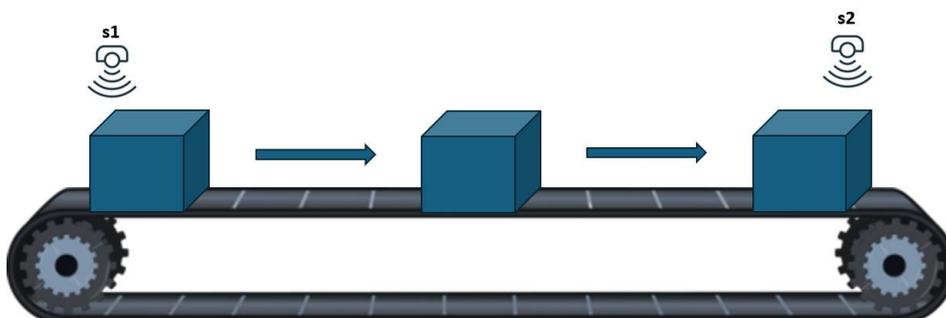


Figura 30. Representación gráfica del paso por la primera cinta.

Una vez la caja de aceitunas sea detectada por el sensor “**sensor1**”, se iniciará un temporizador “**TEMP_INICIO**” con un tiempo establecido de 1 segundo con el fin de evitar movimientos bruscos que puedan desembocar en un problema de producción, la caja comenzará a moverse por la cinta y no se detendrá hasta 1.4 segundos (“**TEMP_CINTA1**”) después de haber iniciado su marcha para asegurar que la caja llegue hasta la zona del primer empujador.

8.4.2 Etapa del primer empujador

La caja de aceitunas viene desde la “**CINTA1**” y se detiene en la zona habilitada para el empujador, representada por un cuadrado color salmón.

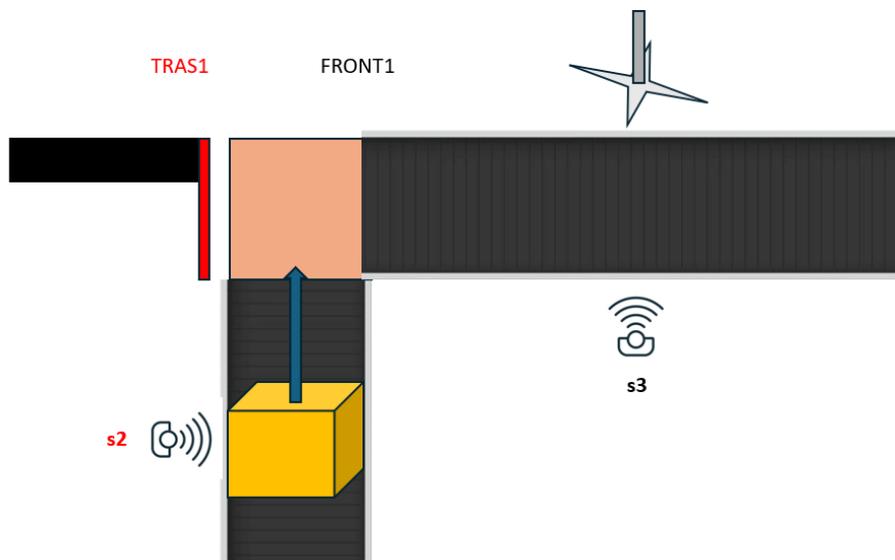


Figura 31. Representación gráfica de la llegada de la caja al primer empujador.

Una vez la caja se encuentre en la posición establecida se iniciará simultáneamente el avance del “**EMPUJADOR1**” y el movimiento de la “**CINTA2**”, siempre y cuando el “**sensor2**” no detecte ninguna pieza. (Esto se ha implementado como medida de seguridad, ya que en el caso en el que la caja de aceitunas se quede atascada entre la “**CINTA1**” y la zona habilitada para el “**EMPUJADOR1**” ni el empujador ni la cinta comenzarán a moverse, evitando así posibles accidentes).

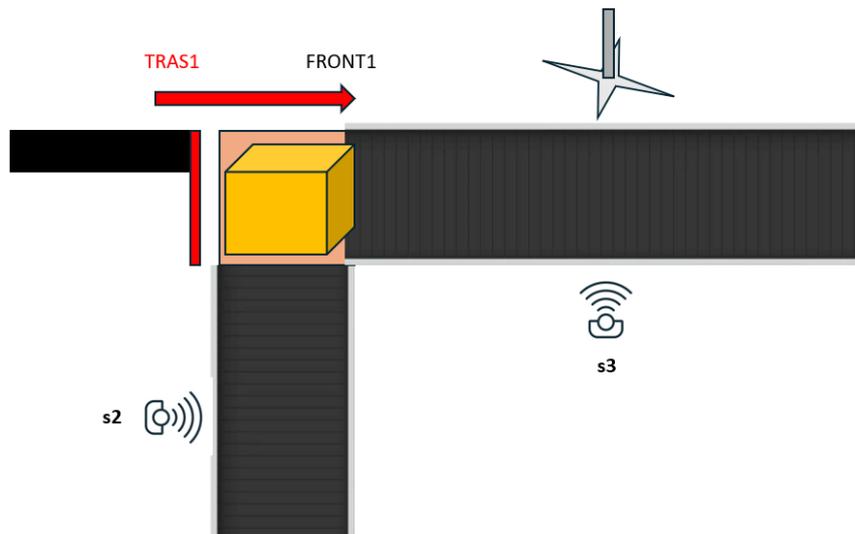


Figura 32. Representación gráfica del primer empujador.

Una vez el “EMPUJADOR1” alcance la posición “FRONT_1”, este comenzará a retroceder hasta volver a su posición inicial “TRAS_1” y la caja de aceitunas comenzará a moverse por la “CINTA2”.

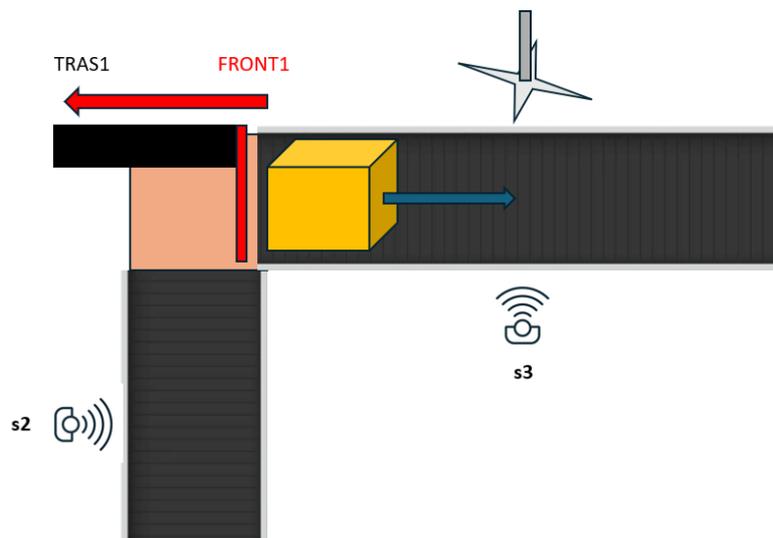


Figura 33. Representación gráfica de la acción del primer empujador.

Finalmente, el “EMPUJADOR1” continúa retrocediendo hasta llegar al sensor “TRAS_1” y la “CINTA2” continúa en movimiento hasta que la caja de aceitunas llega al sensor “sensor3”.

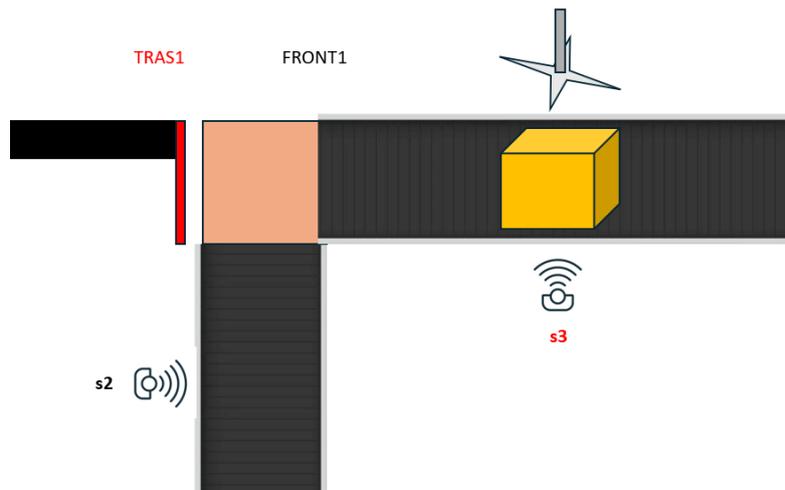


Figura 34. Representación gráfica del paso de la caja por el tercer sensor fototransistor.

Ya con la caja de aceitunas en la posición determinada por el “sensor3” se da pie a la etapa de molienda.

8.4.3 Etapa de molienda

De forma resumida, en esta etapa la caja de aceitunas se detendrá con un sensor de movimiento y, una vez detenida, las cuchillas estarán en contacto con la caja de aceitunas simulando la molienda. Mediante el “TEMP_CUCHILLAS”, se simularán 5 segundos de molienda en los cuales las cuchillas estarán girando para cortar las aceitunas, pasado este tiempo las cuchillas dejarán de girar y se pondrá de nuevo en marcha tanto la “CINTA2” como la “CINTA3” simultáneamente. A continuación, se explica más en detalle el proceso descrito:

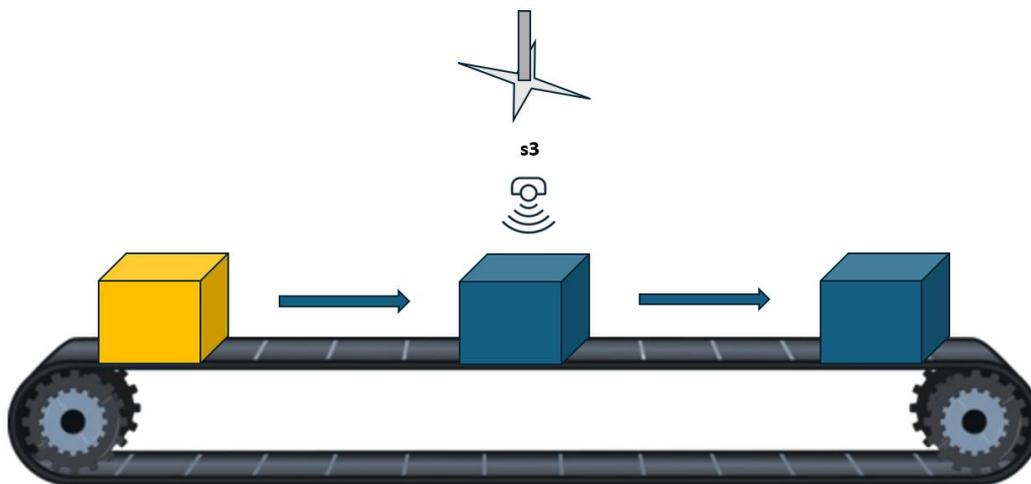


Figura 35. Representación gráfica de la llegada de la caja a la etapa de molienda.

Esta nueva etapa proviene del final de la etapa anterior, relativa al funcionamiento del "EMPUJADOR1". Una vez la caja se monta en la segunda cinta, las aceitunas se desplazan por esta cinta hasta encontrarse con el sensor "sensor3", el cual para la cinta e inicia el proceso de molienda mediante las cuchillas.

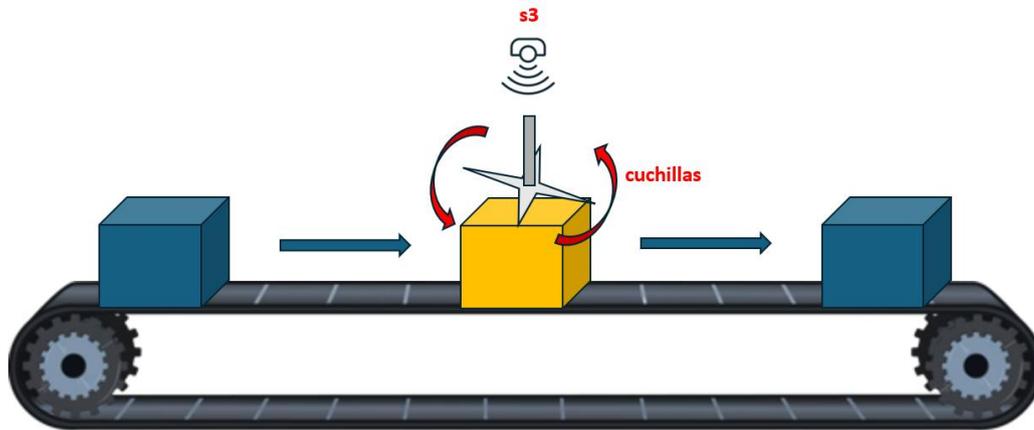


Figura 36. Representación gráfica del giro de las cuchillas en la etapa de molienda.

Las cuchillas se encuentran inicialmente quietas, una vez la cinta se encuentra parada las cuchillas comenzarán a girar durante un tiempo establecido por el "TEMP_CUCHILLAS" de 5 segundos tras los cuales las cuchillas se detendrán y la cinta ("CINTA2") volverá a moverse. Además, la "CINTA3" también se activará al finalizar este temporizador.

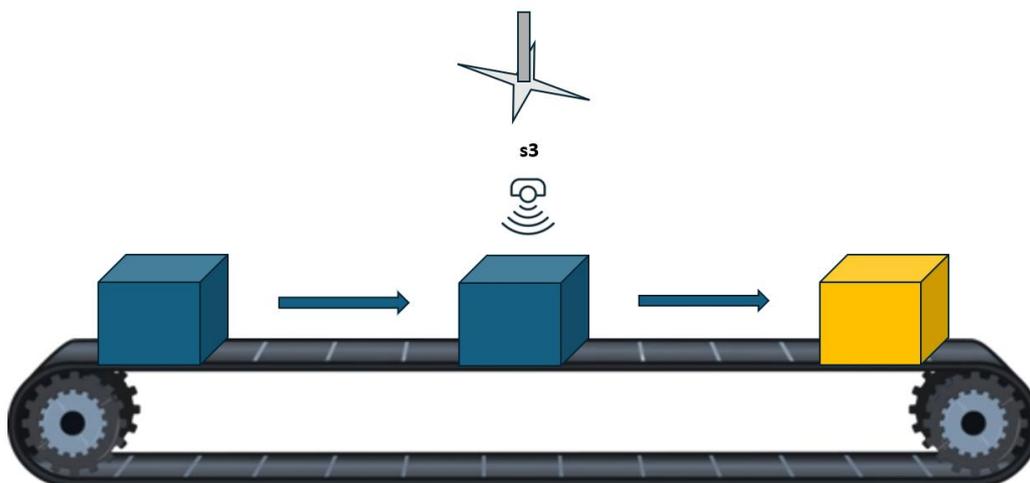


Figura 37. Representación gráfica de la salida de la caja de la etapa de molienda.

Por último, ambas cintas continuarán en movimiento hasta llegar al “**sensor4**”, perteneciente ya a la etapa de batido.

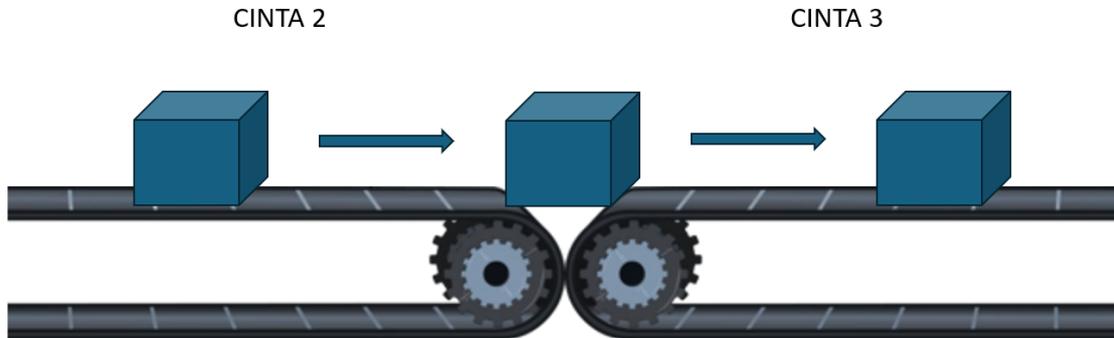


Figura 38. Representación gráfica de la transición de la caja desde la cinta 2 hasta la cinta 3.

8.4.4 Etapa de batido

Esta etapa es muy similar a la etapa anterior, sustituyendo las cuchillas por una batidora. Una vez la caja de aceitunas se encuentra en la “**CINTA3**” esta continuará por ella hasta toparse con el “**sensor4**”, el cual detendrá tanto la “**CINTA2**” como la “**CINTA3**” y pondrá en marcha el motor “**BATIDORA**”.

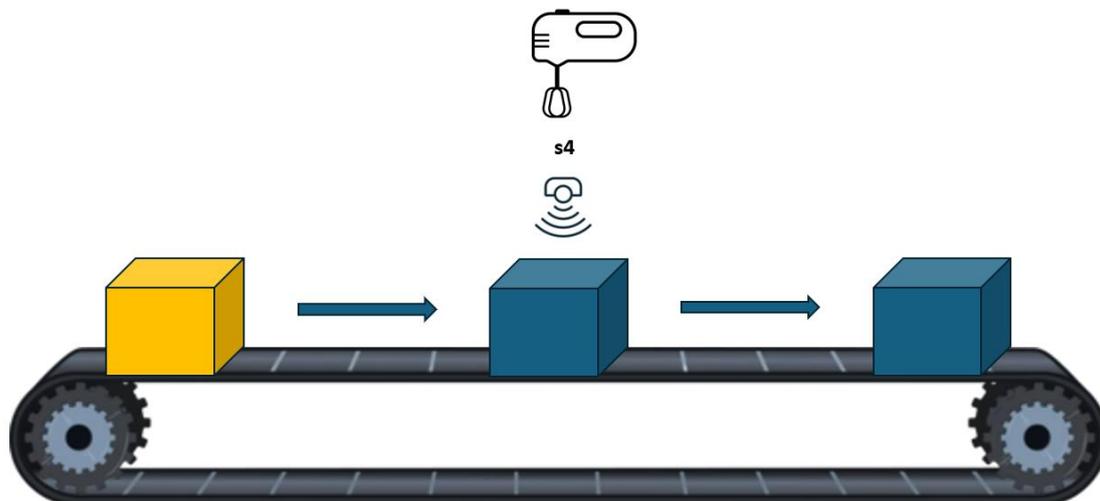


Figura 39. Representación gráfica de la llegada de la caja a la etapa de batido.

Ya con la caja detenida en la posición determinada por el “**sensor4**”, la “**BATIDORA**” comenzará a girar durante 5 segundos, contabilizados mediante el temporizador “**TEMP_BATIDORA**”.

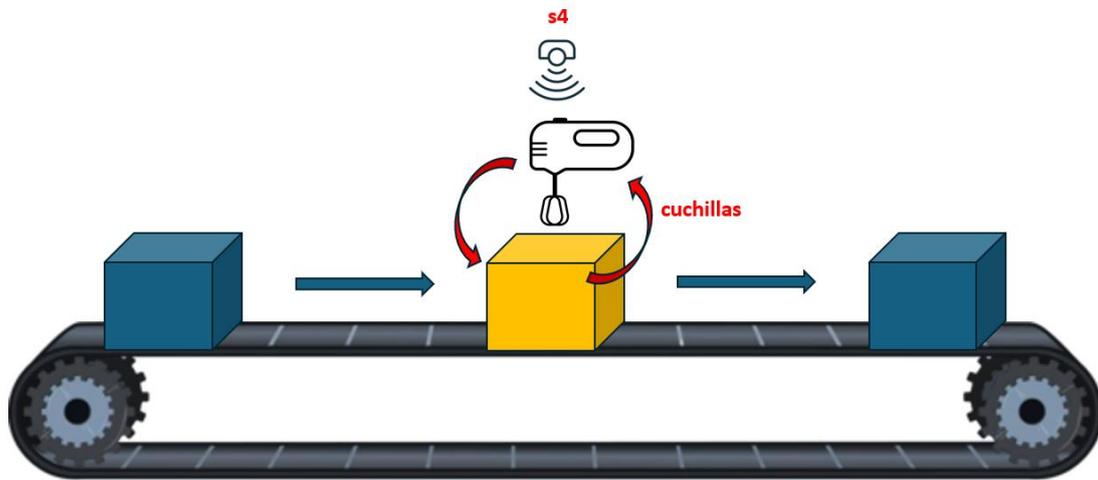


Figura 40. Representación gráfica de del giro de la batidora en la etapa de batido.

Por último, cuando hayan transcurrido los 5 segundos la “BATIDORA” se detendrá y la “CINTA3” se volverá a poner en marcha durante un tiempo establecido por el “TEMP_CINTA3” de 0,9 segundos que asegurará que la caja de aceitunas llegue hasta la zona del “EMPUJADOR2”.

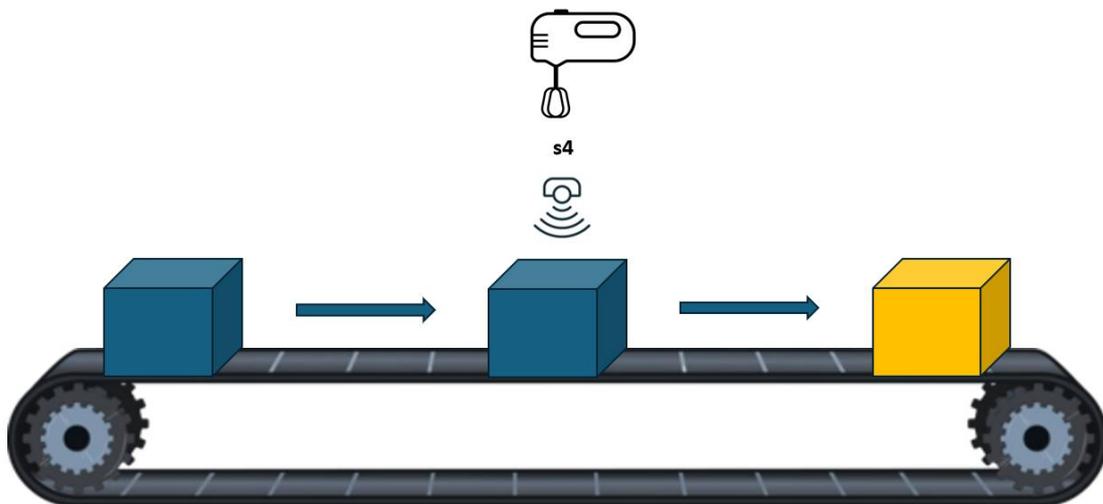


Figura 41. Representación gráfica de la salida de la caja de la etapa de batido.

8.4.5 Etapa del segundo empujador

Esta última etapa comienza con la caja de aceitunas en la zona del empujador.

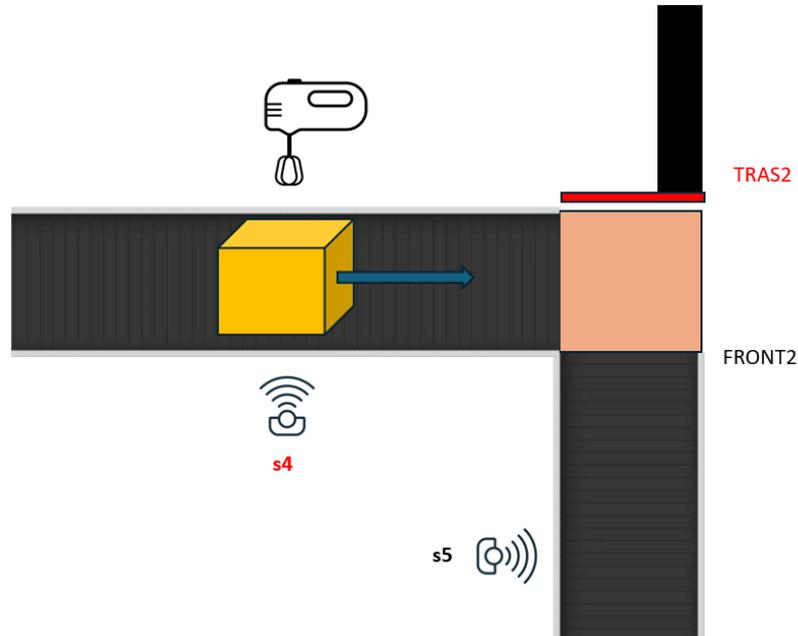


Figura 42. Representación gráfica de la llegada de la caja al segundo empujador.

Una vez la caja de aceitunas llega a esta zona la “CINTA3” se para y se activan tanto la “CINTA4” como el actuador “AVANZA_2”, que provocará que el “EMPUJADOR2” avance desplazando la pieza.

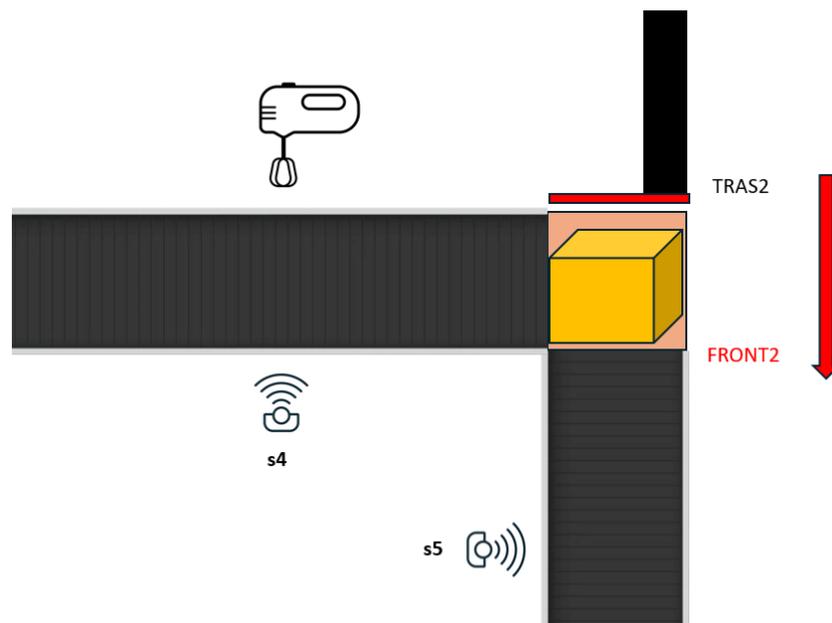


Figura 43. Representación gráfica del segundo empujador.

El empujador continuará avanzando hasta toparse con el sensor “FRONT_2”, el cual iniciará el actuador “RETROCEDE_2” para devolver el empujador a su posición inicial determinada por el sensor “TRAS_2”, deteniéndose en esa posición.

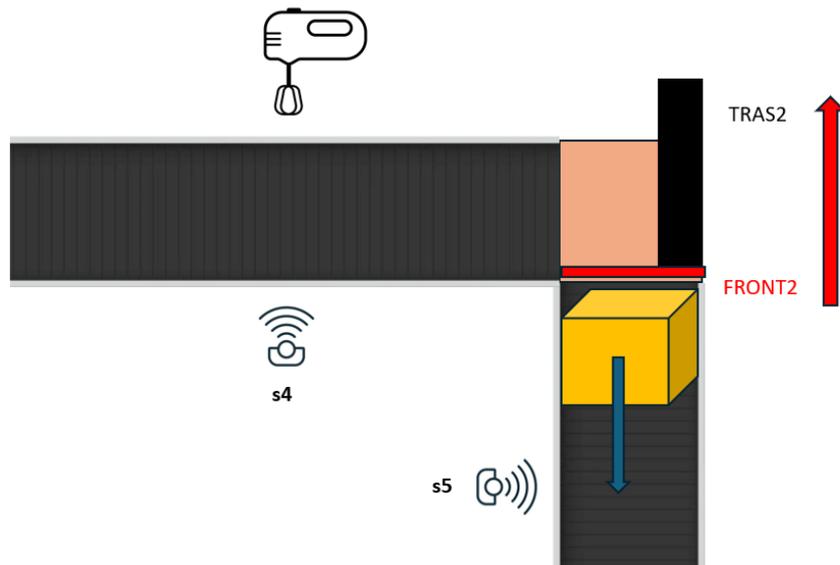


Figura 44. Representación gráfica de la acción del segundo empujador.

La “CINTA4” se detendrá cuando la caja de aceitunas llegue al último sensor fototransistor “sensor5” y el programa finalizará una vez este último sensor y “TRAS_2” se encuentren activos, asegurando así que la caja ha llegado a su posición final y el empujador se encuentra en su posición inicial.

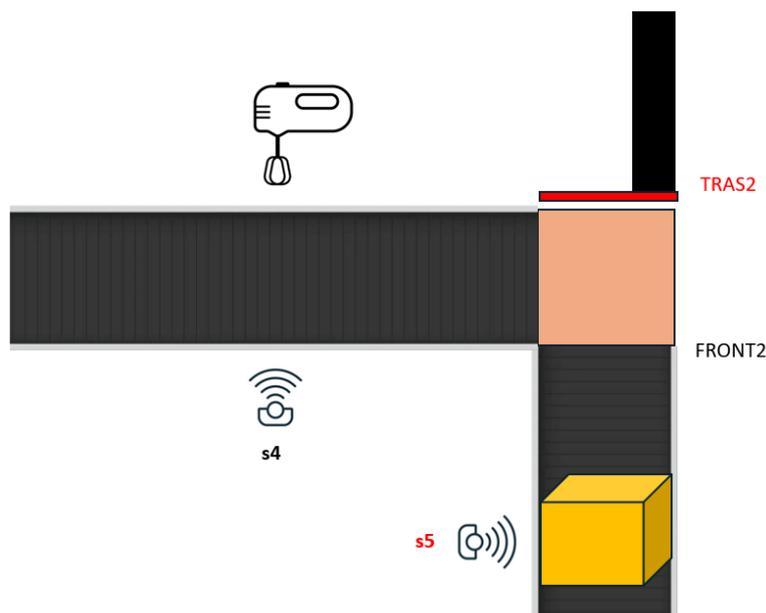


Figura 45. Representación gráfica de la llegada de la caja al último sensor fototransistor.

Sumado a esto, con el fin de asegurar el correcto y seguro funcionamiento de la maquinaria, también habrá un botón que permitirá el funcionamiento, apagando la maquinaria al finalizar el proceso en marcha si es pulsado de nuevo, y un botón de emergencia que paralizará todo el proceso al instante, cuyas especificaciones se muestran a continuación:

- **Botón de Encendido/Apagado:** Una vez pulsado, todo se pone en su posición inicial y está listo para su inicialización, se sabe que se encuentra en el modo encendido por una luz que se ilumina cuando el botón se encuentra pulsado. Cuando se vuelve a pulsar, ya no se admiten más procesos, aunque lleguen nuevas cajas de aceitunas, pero si hay un proceso en marcha este se terminará, pasando por todas las etapas que le falten. Una vez terminen todas las etapas se apagará todo hasta que se vuelva a pulsar el botón.
- **Botón de emergencia:** Cuando se pulse se detendrá todo al instante sin importar si hay un proceso en marcha, en el caso en el que se pulse cuando las cuchillas o la batidora se encuentren en funcionamiento, estas volverán a empezar el proceso desde el principio, asegurando así la correcta molienda y batido de las aceitunas. Además, cuando se pulse este botón se iluminará una luz amarilla, la cual indica que el proceso se encuentra parado por una circunstancia de emergencia. Para volver a iniciar el proceso se deberá volver a pulsar el botón de emergencia.

9 DESARROLLO DEL PROGRAMA

9.1 Creación Y Configuración Del Programa

Tal y como se ha explicado anteriormente, el programa utilizado ha sido el EcoStruxure Machine Expert. A continuación, se va a describir punto por punto el proceso seguido en la elaboración del programa.

El primer paso, como resulta evidente, es abrir el programa desde la aplicación de escritorio.



Figura 46. Icono EcoStruxure Machine Expert.

Al pulsar en el icono, se abre el programa mostrándose la siguiente pantalla de carga:



Figura 47. Pantalla de carga del EcoStruxure Machine Expert.

Una vez abierto, se debe crear el nuevo programa, para lo que hay que seleccionar: File → New Project → Ok.

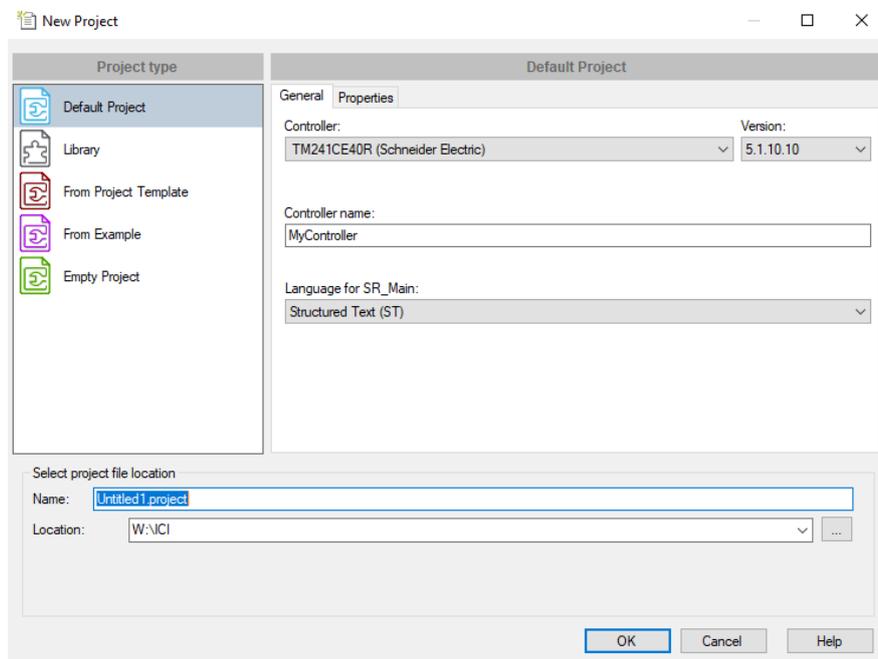


Figura 48. Ventana de creación de nuevo proyecto.

Ya con el programa creado, lo primero que hay que hacer es conectar el ordenador al PLC. Para ello, hay que clicar en la pestaña “Devices tree” que se puede encontrar en la parte inferior izquierda de la pantalla y hacer doble click en “MyController”.

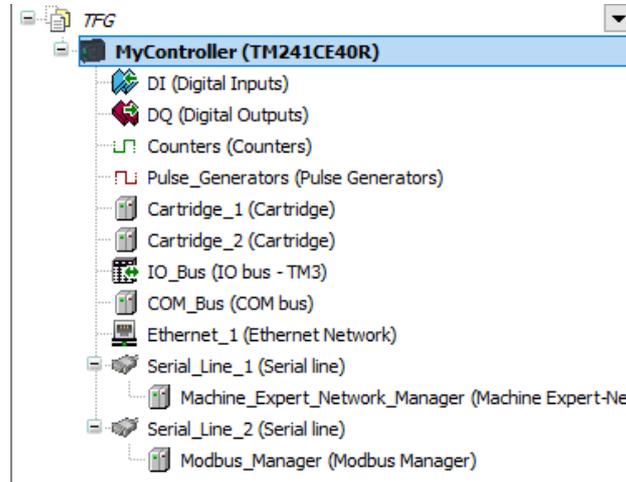
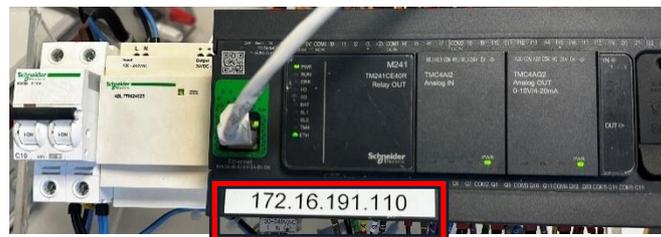


Figura 49. Selección MyController.

Para conectarse al PLC, la forma más sencilla es mediante la dirección IP: Para ello, simplemente hay que cambiar el apartado “Connection Mode”, seleccionar “IP Address” e introducir la dirección IP del PLC al que se quiere conectar.



Connecti...	Controller	ProjectName	IP_Address	TimeSinceBoot	NodeName	ProjectAuthor	FW_Version
ETA	TM241CE40R	TFG	172.16.191.110	03h 07m 10s	TM241CE40R...	gvidstu	V5.1.10.10

Figura 50. Pasos para la conexión del PLC al ordenador.

Cabe recalcar que para poder establecer esta conexión el PLC debe estar conectado a Ethernet, tal y como se ha explicado en el apartado **8.3.1 Conexión Ordenador-PLC**.

9.2 Declaración De Variables

Con el PLC ya conectado, el siguiente paso sería la declaración de las variables, las cuales se ha decidido describir en el apartado que el programa reserva para ello: "GVL", siglas de "Global Variable List".

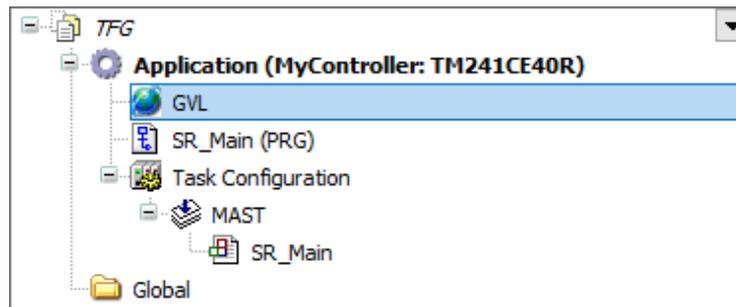


Figura 51. Selección del apartado "GVL".

Así, se han creado diferentes variables para las entradas y salidas del sistema, asignando cada variable a la dirección correspondiente de la salida que se buscaba controlar según la tabla de variables y direcciones del apartado **8.1.3 Entradas y salidas**, así como dos variables de tipo booleana para los botones de encendido ("POWER") y de emergencia ("EMERGENCIA"), tal y como se puede observar en la siguiente figura:

```
GVL x
1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3
4 // Finales de carrera
5 FRONT_1 AT %IX0.0: BOOL;
6 TRAS_1 AT %IX0.1: BOOL;
7 FRONT_2 AT %IX0.2: BOOL;
8 TRAS_2 AT %IX0.3: BOOL;
9
10 // Sensores fotoeléctricos
11 sensor1 AT %IX0.6: BOOL;
12 sensor2 AT %IX0.4: BOOL;
13 sensor3 AT %IX0.5: BOOL;
14 sensor4 AT %IX0.7: BOOL;
15 sensor5 AT %IX1.0: BOOL;
16
17 // Empujadores
18 AVANZA_1 AT %QX0.4: BOOL;
19 RETROCEDE_1 AT %QX0.5: BOOL;
20 AVANZA_2 AT %QX0.6: BOOL;
21 RETROCEDE_2 AT %QX0.7: BOOL;
22
23 // Cintas transportadoras
24 CINTA1 AT %QX1.0: BOOL;
25 CINTA2 AT %QX1.1: BOOL;
26 CINTA3 AT %QX1.3: BOOL;
27 CINTA4 AT %QX1.5: BOOL;
```

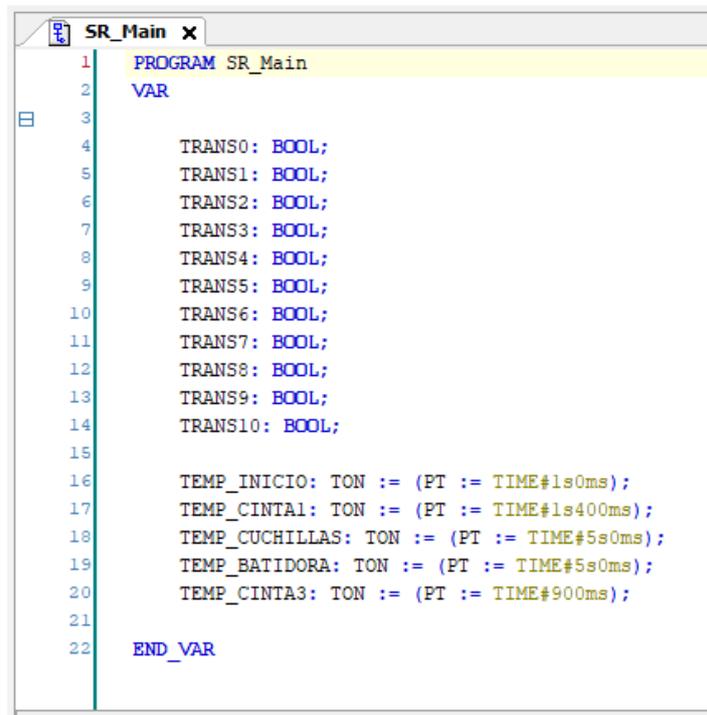
```

28
29 // Motores
30 CUCHILLAS AT %QX1.2: BOOL;
31 BATIDORA AT %QX1.4: BOOL;
32
33 // Iniciador del sistema
34 ENCENDIDO AT %QX1.6: BOOL;
35
36 // Botón de encendido
37 POWER: BOOL;
38
39 // Botón de emergencia
40 EMERGENCIA: BOOL;
41
42 END_VAR

```

Figura 52. Declaración de variables en la lista de variables globales (GVL).

Sumado a esto, las variables pertenecientes a las transiciones (tipo BOOL) y temporizadores (TON) se han declarado en la propia función SR_Main, puesto que estas se han ido creando conforme se iba desarrollando el proyecto.



```

SR_Main x
1 PROGRAM SR_Main
2 VAR
3
4 TRANS0: BOOL;
5 TRANS1: BOOL;
6 TRANS2: BOOL;
7 TRANS3: BOOL;
8 TRANS4: BOOL;
9 TRANS5: BOOL;
10 TRANS6: BOOL;
11 TRANS7: BOOL;
12 TRANS8: BOOL;
13 TRANS9: BOOL;
14 TRANS10: BOOL;
15
16 TEMP_INICIO: TON := (PT := TIME#1s0ms);
17 TEMP_CINTA1: TON := (PT := TIME#1s400ms);
18 TEMP_CUCHILLAS: TON := (PT := TIME#5s0ms);
19 TEMP_BATIDORA: TON := (PT := TIME#5s0ms);
20 TEMP_CINTA3: TON := (PT := TIME#900ms);
21
22 END_VAR

```

Figura 53. Declaración de variables en SR_Main.

9.3 Desarrollo Del GRAFCET

Ya con las variables declaradas, se ha procedido a la creación de un GRAFCET en la función principal, el cual consta 10 etapas, más una etapa inicial la cual asegura el correcto funcionamiento de la maqueta:

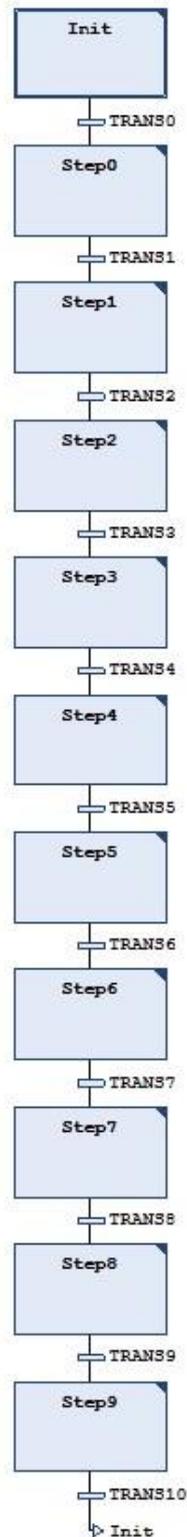


Figura 54. GRAFCET del proceso.

9.4 Diagramas De Contactos (LD)

En cada etapa o “Step” del GRAFCET se ha creado una acción en lenguaje LD (Diagrama de contactos) para programar las acciones que se deben realizar en cada una. Para la creación de estas acciones hay que hacer doble clic en el “Step” del GRAFCET en el que se quiera añadir la acción, mostrándose la siguiente ventana emergente:

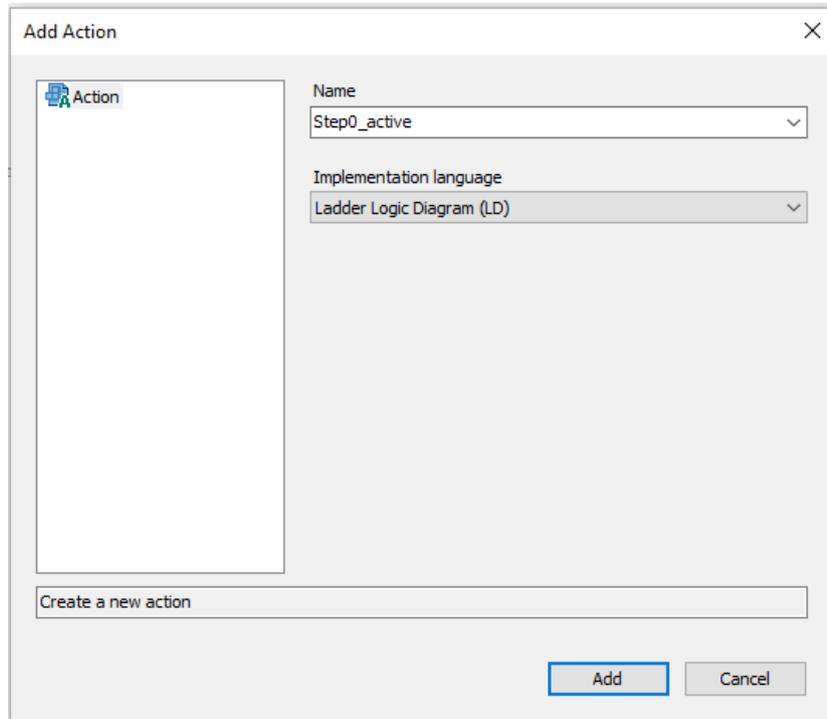


Figura 55. Ventana para añadir acciones.

En esta ventana se selecciona el lenguaje requerido, en este caso LD, y se pulsa en “Add” para añadir la acción a la etapa.

Tal y como se ha explicado anteriormente, este lenguaje funciona mediante contactos y bobinas, los cuales se añaden desde la barra de herramientas tal y como se puede ver en la siguiente figura:



Figura 56. Selección de contactos y bobinas.

A continuación, se muestran las herramientas utilizadas en este proyecto:

En primer lugar encontramos los contactos, los cuales pueden ser normales o negados. Los contactos normales se añaden pulsando en el icono “” y funcionan dejando pasar corriente si se cumple la función que tienen asociada. Por ejemplo, si a este contacto se le asocia la variable “POWER”, este dejará pasar corriente si la variable “POWER” envía un “1” lógico, es decir, si está activa, y cerrará la corriente cuando la variable envíe un “0” lógico.

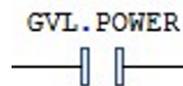


Figura 57. Ejemplo de contacto normal.

Por otro lado, encontramos los contactos negados, los cuales funcionan de manera inversa a los contactos normales y se añaden pulsando en el icono “”. Por ejemplo, si a este contacto se le asocia la variable “EMERGENCIA”, este dejará pasar corriente mientras la variable “EMERGENCIA” envíe un “0” lógico, es decir, mientras no haya emergencia, y se cerrará cuando la variable envíe un “1” lógico.

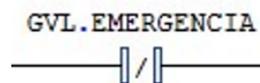


Figura 58. Ejemplo de contacto negado.

Cabe recalcar que existen más tipos de contactos que no han sido utilizados en este proyecto, pero que pueden ser útiles en otro tipo de programas.

En segundo lugar, encontramos las bobinas, las cuales también pueden ser normales o negadas (existen más tipos de bobinas que no se utilizan en este proyecto). Las bobinas normales se seleccionan mediante el icono “” y lucen de la siguiente forma:

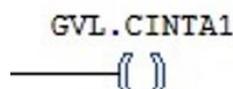


Figura 59. Ejemplo de bobina normal.

El funcionamiento de estas bobinas es muy sencillo, cuando les llega corriente activan la variable que tengan asignada (en este caso “CINTA1”), es decir, ponen la variable a “1” mientras a la bobina le llega corriente.

Por otro lado, encontramos las bobinas negadas, las cuales funcionan al contrario que las bobinas normales: cuando les llega corriente desactivan la variable que tienen asignada, es decir, ponen la variable a “0” cuando a la bobina le está llegando corriente. En la siguiente figura se puede ver un ejemplo de bobina negada:

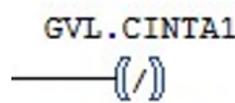


Figura 60. Ejemplo de bobina negada.

Estas bobinas negadas se seleccionan pulsando en el icono “” de la barra de herramientas.

Además de los contactos y bobinas, para conseguir un correcto funcionamiento del programa se hace necesario el uso de temporizadores, los cuales se encuentran en la misma barra de herramientas que los contactos y bobinas, justo al lado de los contadores:

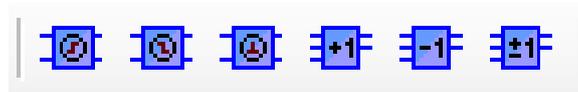


Figura 61. Selección de temporizadores y contadores.

De entre las opciones de temporizadores, el seleccionado ha sido el temporizador “TON” identificado por el siguiente icono: “”. Se trata de un temporizador de encendido el cual no deja pasar la corriente hasta que no se haya completado el tiempo establecido.

Para su uso, se debe configurar primero un tiempo preestablecido (PT), el cual comienza a contar cuando la entrada “IN” se pone a “1”, es decir, cuando el contacto o los contactos de entrada cambian de “0” a “1”. A continuación, se muestra un ejemplo de declaración de un temporizador “TON”:

```
TEMP_INICIO: TON := (PT := TIME#1s0ms);
```

Figura 62. Declaración de un temporizador TON.

Con esto, cuando la entrada “IN” se pone a “1” comienza a correr el tiempo de “ET” (tiempo transcurrido) hasta que “ET” es igual que “PT”, momento en el cual la salida “Q” del temporizador cambia de “0” a “1” y deja pasar corriente por el mismo.

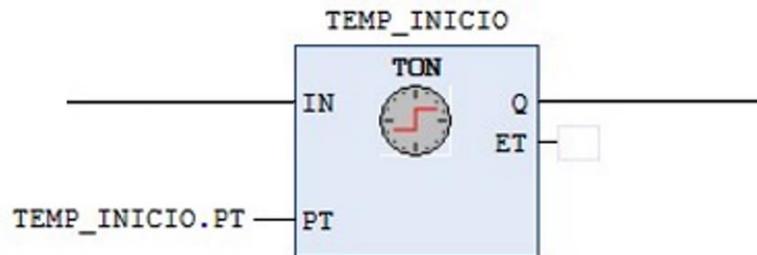


Figura 63. Ejemplo de “TON”.

Una vez se cumple el tiempo establecido, la salida “Q” queda activada hasta que se reinicia el temporizador.

Con esto se ha creado un diagrama de contactos para cada uno de los “Steps” o etapas del GRAFCET mostrado, las cuales se explican con detalle a continuación:

9.4.1 Init

“Init” es la etapa inicial, esta etapa fuerza que las cuchillas, batidora y cintas se encuentren paradas antes de pasar al “Step0”, el cual da inicio al proceso. Además, en esta primera etapa “Init” todas las transiciones (menos “TRANS0” se ponen a “0” y, en el caso en el que los empujadores no se encuentren en su posición inicial, estos se mueven hasta posicionarse correctamente. Una vez los empujadores están en su posición y las cintas y motores se encuentran parados, la maqueta se encuentra lista para dar comienzo al proceso y se pasa a la siguiente etapa.

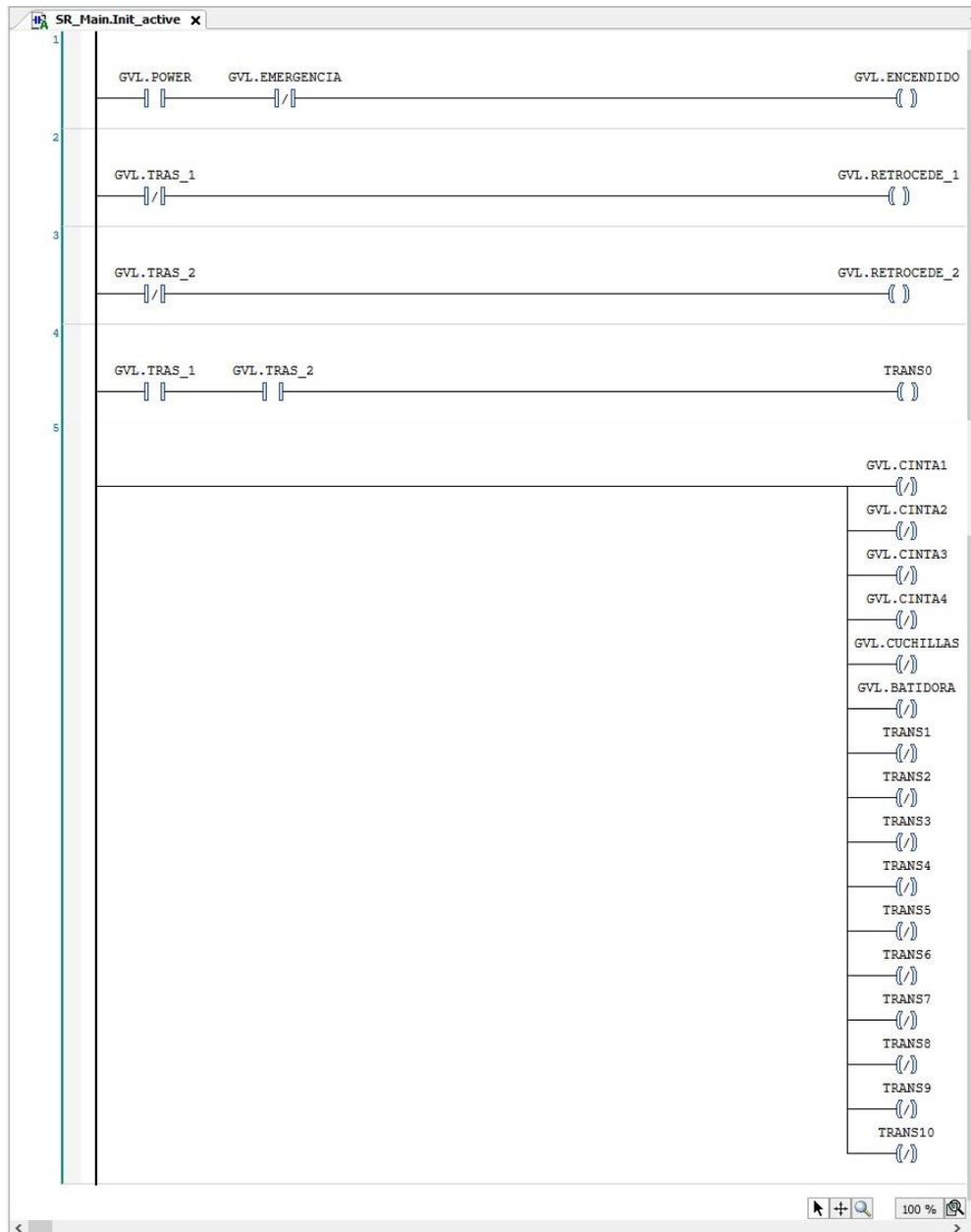


Figura 64. Lógica de contactos Init.

9.4.2 Step0

En esta primera etapa, la maqueta se enciende si el botón “ON/OFF” se encuentra pulsado y mientras no esté el botón de emergencia presionado. Cuando una pieza es detectada por el sensor 1, se inicia un temporizador de encendido (TON) de 1 segundo por motivos de seguridad, de modo que cuando transcurre ese tiempo la variable “TRANS1” se activa y se avanza a la siguiente etapa. Si se pulsa el botón de emergencia o se apaga la máquina antes de que haya transcurrido el tiempo, el temporizador se reinicia.

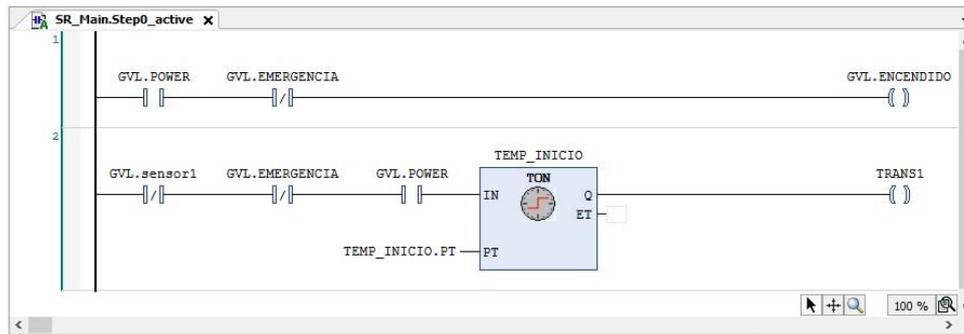


Figura 65. Lógica de contactos Step0.

9.4.3 Step1

A partir de esta etapa, el botón de “ON/OFF” ya no tiene efecto sobre el proceso, ya que si se pulsa la pieza continuará por toda la maqueta hasta llegar al final del recorrido, tal y como se ha explicado anteriormente. En esta etapa el motor de la “CINTA1” comienza a girar, desplazando la pieza. Una vez el “sensor1” deja de detectar la pieza, siempre y cuando no esté el botón de emergencia pulsado, se iniciará un temporizador de 1.4 segundos, el cual asegura que la pieza llegue a la zona del primer empujador antes de que el tiempo se acabe (en caso de que ocurriera algún imprevisto, se ha implantado una medida de seguridad la cual se muestra en el “Step2”).

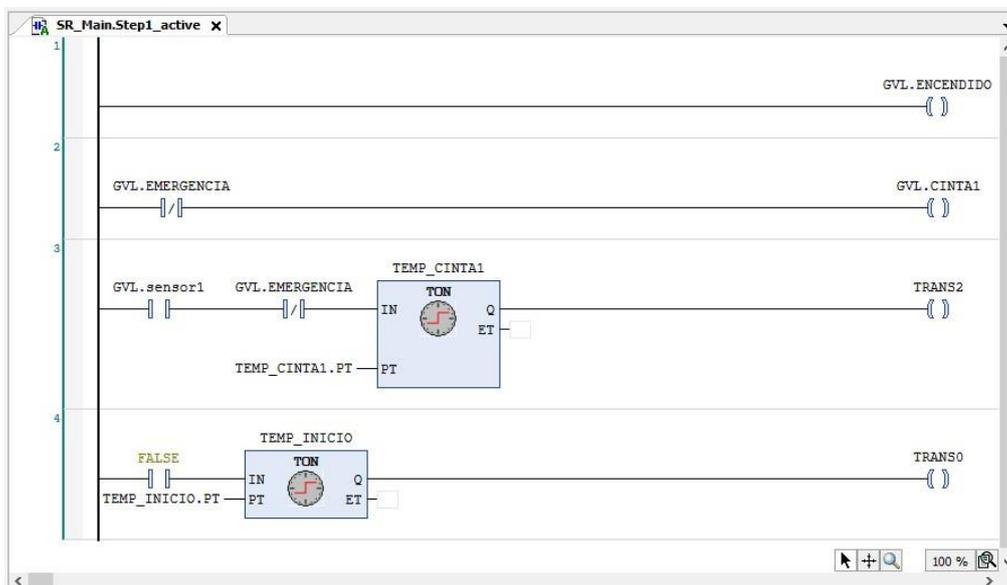


Figura 66. Lógica de contactos Step1.

Finalmente, en la cuarta línea del código se reinicia el primer temporizador. Esto se hace para facilitar la producción en cadena, así cuando la pieza llega al final del recorrido se puede colocar de nuevo en el inicio sin necesidad de apagar y encender la máquina.

9.4.4 Step2

Esta etapa comienza cuando el “TEMP_CINTA1” termina, momento en el cual la “CINTA1” se para y comienza a avanzar tanto el “EMPUJADOR1” como la “CINTA2” (la cinta comienza a moverse antes de la llegada de la pieza a la misma con el objetivo de que el proceso sea más fluido, ya que si se espera a que la caja esté en la cinta para comenzar a moverla se produce un movimiento más brusco), siempre y cuando no esté pulsado el botón de emergencia y el “sensor2” no esté detectando ninguna pieza, con el fin de evitar posibles accidentes. Además, el “TEMP_CINTA1” se reinicia por los motivos expuestos anteriormente.

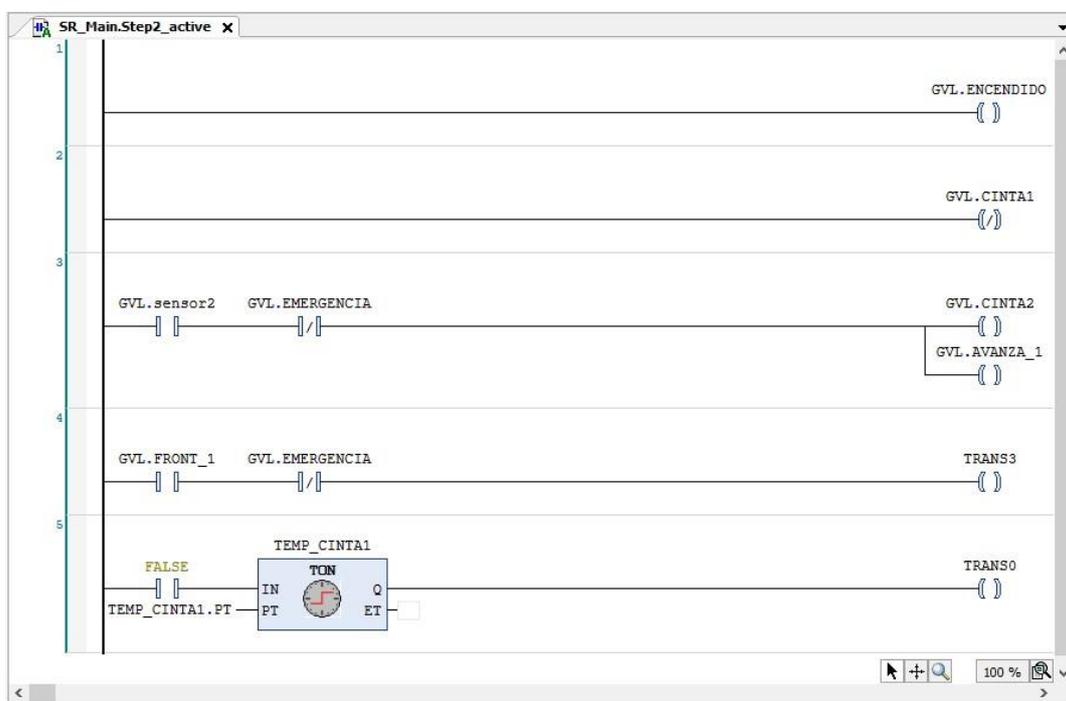


Figura 67. Lógica de contactos Step2.

La etapa finaliza cuando el empujador llega a la posición determinada por el sensor de posición “FRONT_1”.

9.4.5 Step3

Una vez el “EMPUJADOR1” activa el “FRONT1”, el empujador deja de avanzar y comienza a retroceder al mismo tiempo que la “CINTA2” sigue en movimiento para llevar la pieza hasta las cuchillas, siempre y cuando no se encuentre en una situación de emergencia.



Figura 68. Lógica de contactos Step3.

La “CINTA2” sigue avanzando hasta que la pieza se topa con el “sensor3”, el cual activa la “TRANS4” y pasa a la siguiente etapa.

9.4.6 Step4

Con la pieza en la posición determinada por el “sensor3”, la “CINTA2” se detiene y las cuchillas comienzan a girar mientras no haya una situación de emergencia. Simultáneamente, el “EMPUJADOR1” sigue retrocediendo hasta toparse con el sensor “TRAS_1”.

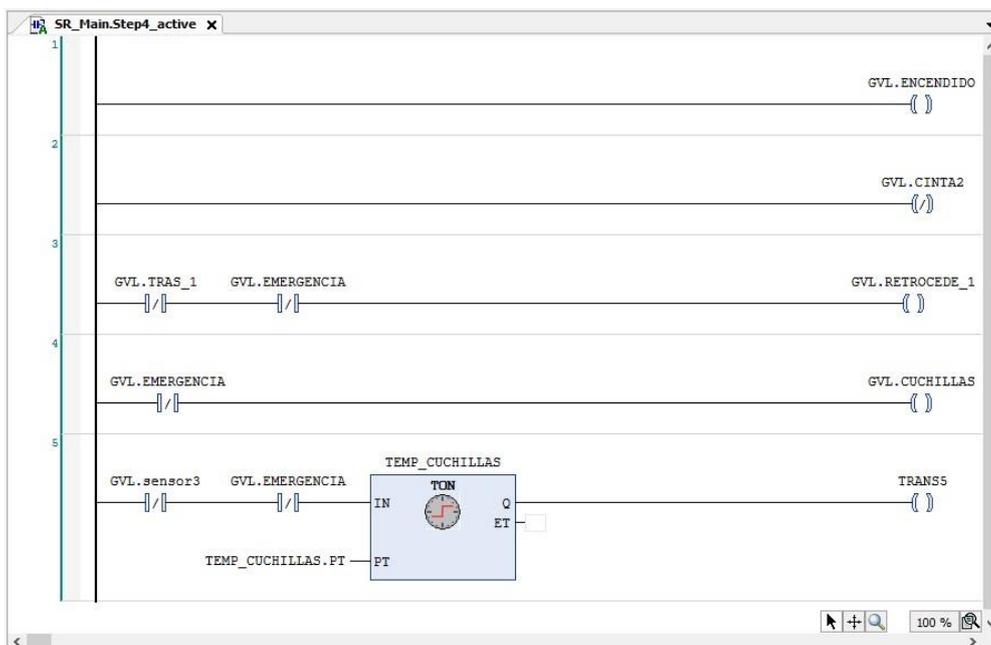


Figura 69. Lógica de contactos Step4.

Finalmente, cuando se cumple el tiempo establecido por “TEMP_CUCHILLAS” de 5 segundos, se activa la “TRANS5” y se pasa a la siguiente etapa. Sin embargo, si antes de cumplirse los 5 segundos se aprieta el botón de emergencia, una vez se desactive y se vuelva al funcionamiento normal, el “TEMP_CUCHILLAS” volverá a comenzar desde 0 segundos, asegurando así la correcta molienda de las aceitunas.

9.4.7 Step5

Esta etapa comienza con la desactivación del motor de las cuchillas y la simultánea activación de las cintas “CINTA2” y “CINTA3”, las cuales se detienen en caso en que se entre en una situación de emergencia. Una vez la pieza se tope con el “sensor4”, se activa la “TRANS6” y se pasa de etapa. En esta etapa también se reinicia el “TEMP_CUCHILLAS”.

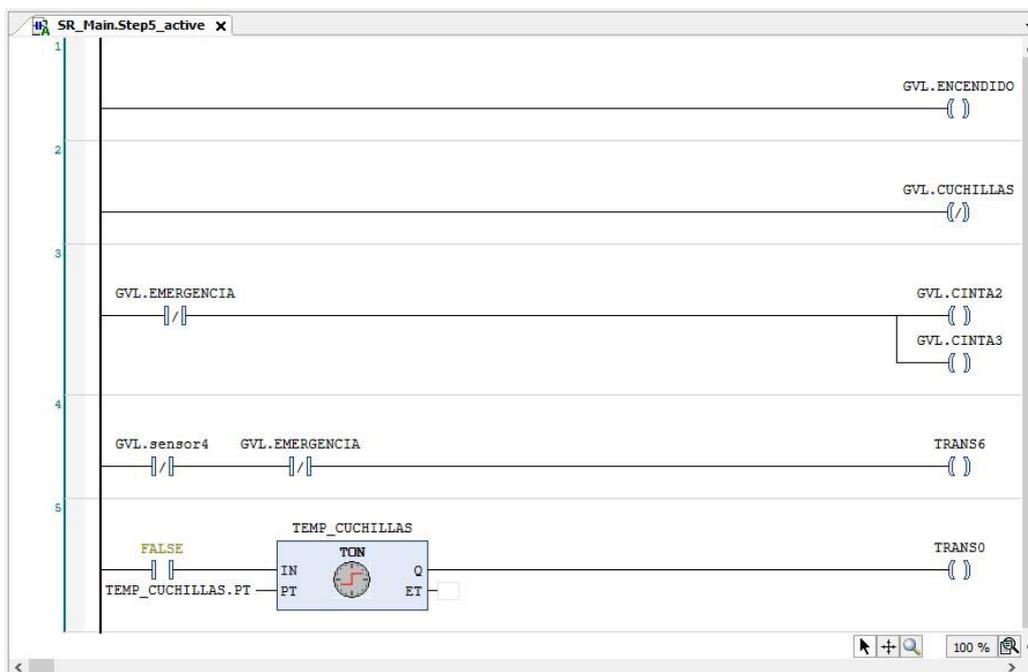


Figura 70. Lógica de contactos Step5.

9.4.8 Step6

Esta etapa es la perteneciente al batido de las aceitunas, cuando el “sensor4” detecta que la pieza se encuentra en la posición se detienen las cintas “CINTA2” y “CINTA3” y simultáneamente se activa el motor de la batidora durante un tiempo establecido por el “TEMP_BATIDORA” de 5 segundos, el cual al igual que el “TEMP_CUCHILLAS”, vuelve a empezar desde los 0 segundos en caso de que se pulse el botón de emergencia con el fin de garantizar el correcto funcionamiento

de la batidora, asegurando que la pasta de aceitunas sea totalmente batida antes de llegar a la centrifugadora.

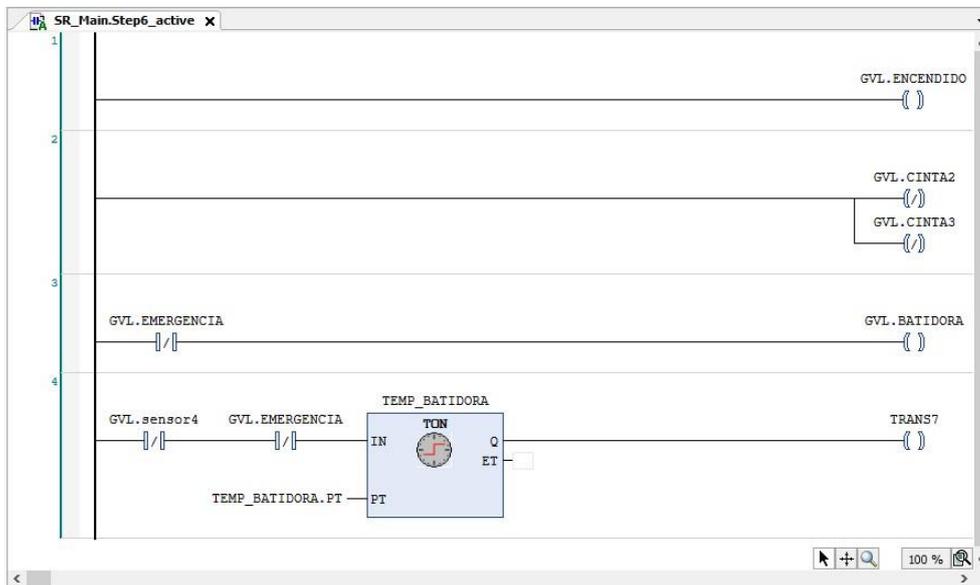


Figura 71. Lógica de contactos Step6.

9.4.9 Step7

Con los 5 segundos de “TEMP_BATIDORA” cumplidos, el motor de la batidora se apaga y la “CINTA3” vuelve a ponerse en movimiento. En el momento en el que el “sensor4” deja de detectar la pieza se inicia un temporizador de 0,9 segundos “TEMP_CINTA3”, el cual asegura que la pieza llegue a la zona del segundo empujador.

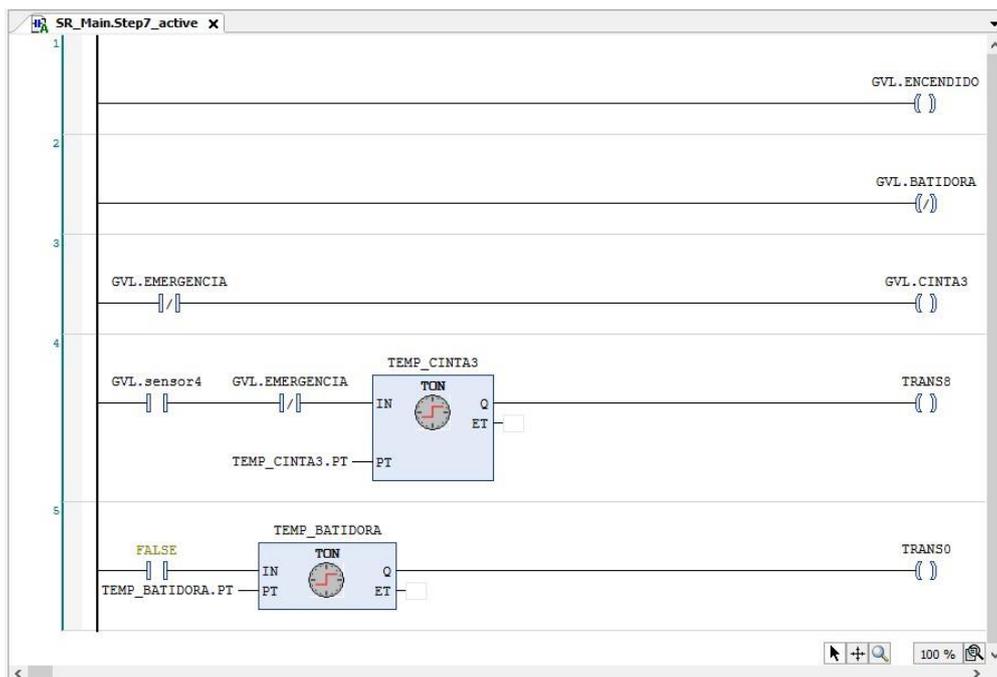


Figura 72. Lógica de contactos Step7.

Si se pulsa el botón de emergencia estando en esta etapa, la “CINTA3” se detiene y el “TEMP_CINTA3” se reinicia, con el objetivo de garantizar la llegada de la pieza a la zona del empujador. Además, en esta etapa se reinicia el “TEMP_BATIDORA”.

9.4.10 Step8

Esta etapa comienza con la llegada de la pieza a la zona del empujador, la “CINTA3” se detiene y el “EMPUJADOR2” comienza a avanzar a la vez que el motor de la “CINTA4” se pone en marcha hasta llegar al sensor “FRONT_2”, el cual activa la “TRANS9”.

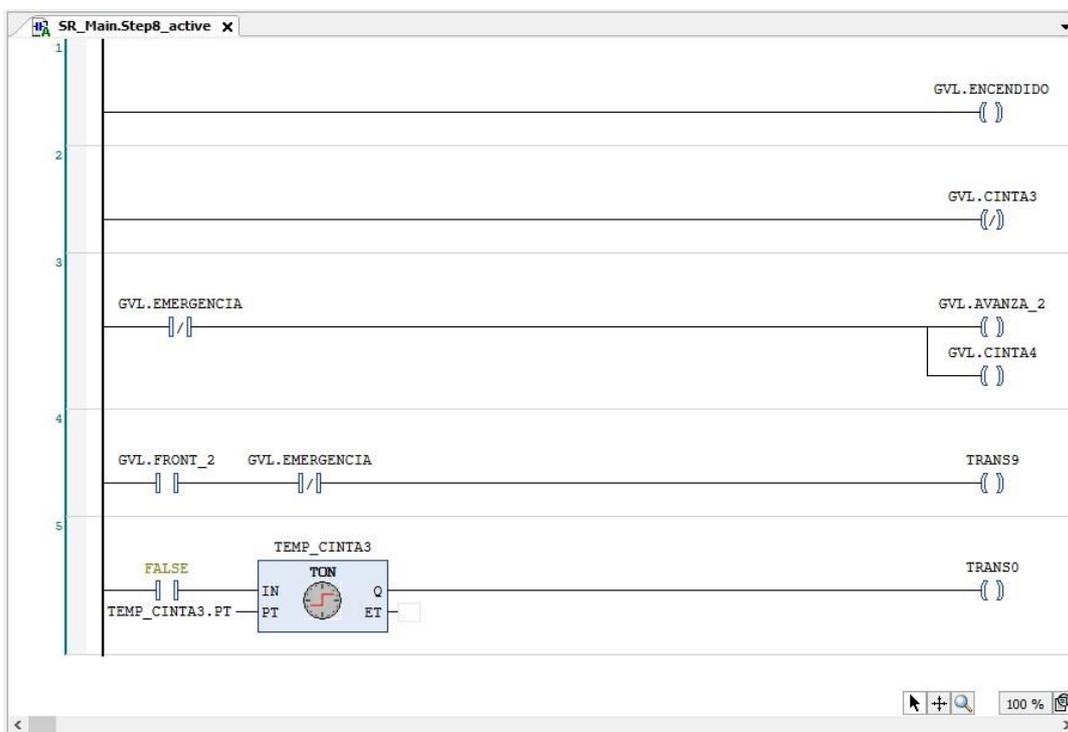


Figura 73. Lógica de contactos Step8.

Sumado a esto, en esta etapa también se reinicia el “TEMP_CINTA3”.

9.4.11 Step9

Se trata de la última etapa del proceso y representa el paso de la pieza por la “CINTA4” hasta su llegada al “sensor5”, el cual detiene el motor de la “CINTA4” cuando detecta que la pieza ha llegado a su posición. Al mismo tiempo, mientras la pieza avanza por la cinta el “EMPUJADOR2” comienza su retroceso, mientras no se pulse el botón de emergencia, hasta la posición determinada por el sensor “TRAS_2”.

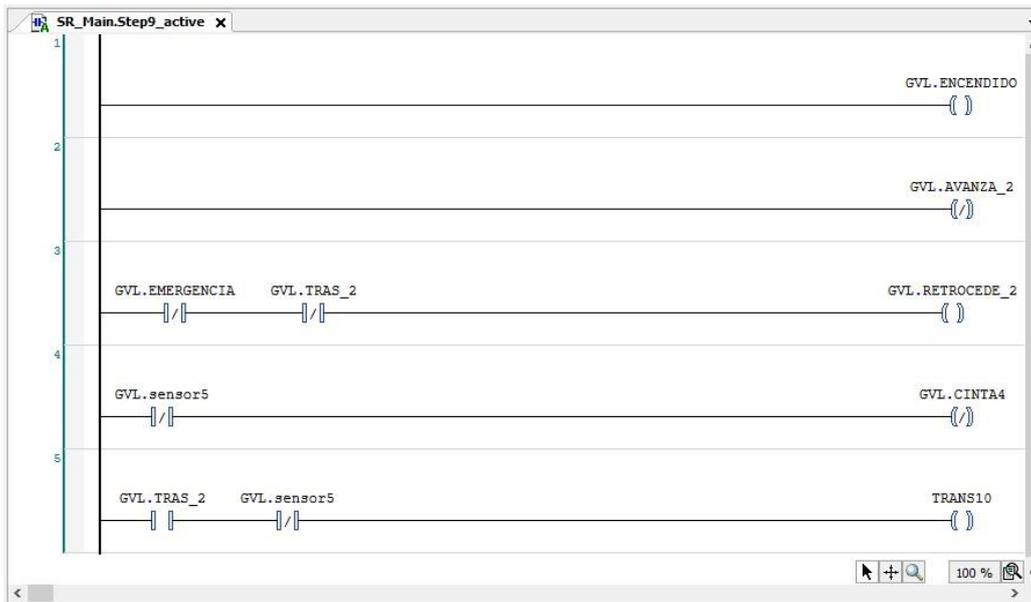


Figura 74. Lógica de contactos Step9.

Finalmente, una vez la pieza se encuentra en la posición determinada por el “sensor5” y el “EMPUJADOR2” se encuentra en su posición inicial, determinada por el sensor “TRAS_2”, se activa la “TRANS10”, la cual conduce de nuevo a la etapa inicial “Init”, pudiendo comenzar el proceso con una nueva pieza.

9.5 Sistema HMI

En este punto se muestra el proceso a seguir para poder simular correctamente los botones de encendido y emergencia, para lo que se ha creado una pantalla “human-machine interface”.

En primer lugar, hay que seleccionar la opción “Visualization”, la cual se encuentra dentro de “Application” en el apartado de “Tools tree”.

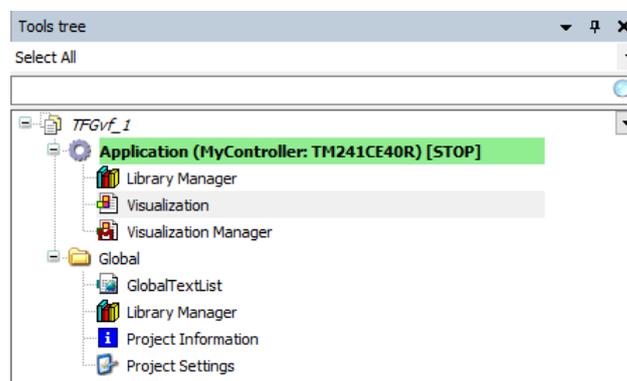


Figura 75. Tools tree.

Con esto, el siguiente paso es la creación de los botones, la cual se realiza desde la “Toolbox”.

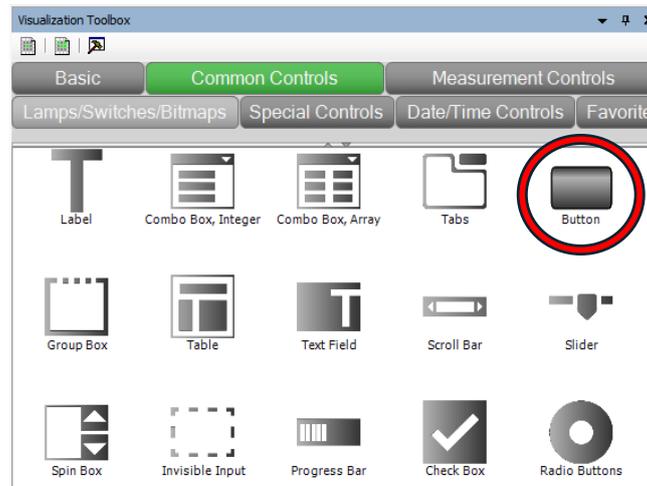


Figura 76. Ventana de selección de botones.

Para la creación de los botones se ha seleccionado de entre todas las opciones que proporciona el programa la opción de “Button”, pues es la que mejor representaba la función que se buscaba para los botones. A continuación, se muestra cómo se ha configurado el botón de encendido, pues se ha seguido el mismo proceso para ambos, cambiando únicamente la variable que modifica el botón:

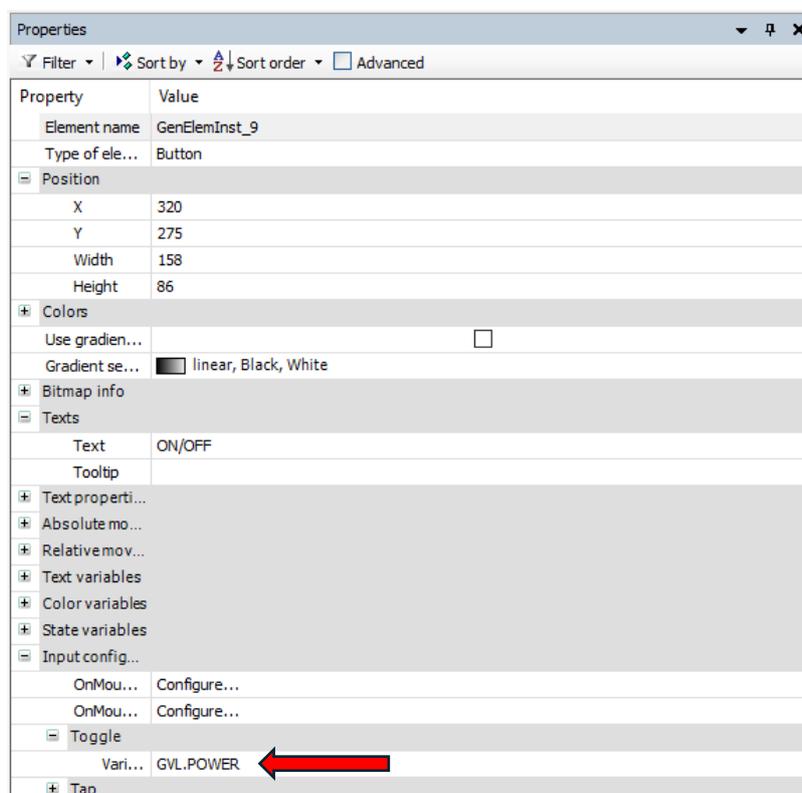


Figura 77. Configuración del botón de encendido.

Tras la configuración de los botones, se ha decidido configurar también unas luces que indiquen el estado en el que se encuentran los botones a modo de información para la persona que esté operando con la máquina.

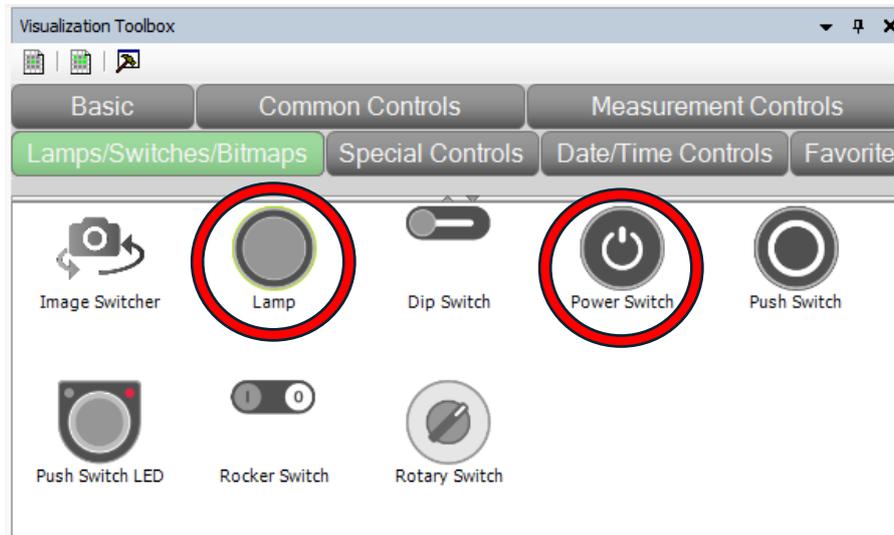


Figura 78. Ventana de selección de luces.

En este caso se ha decidido utilizar dos tipos de luces, cada una para un botón. Se ha elegido la opción “Lamp” para la luz de emergencia y la opción “Power Switch” para el botón de encendido. Con esto, se va a mostrar el procedimiento seguido a la hora de configurar la luz asociada al botón de encendido, pues ambas luces se configuran de la misma forma, cambiando únicamente las variables y los colores del botón.

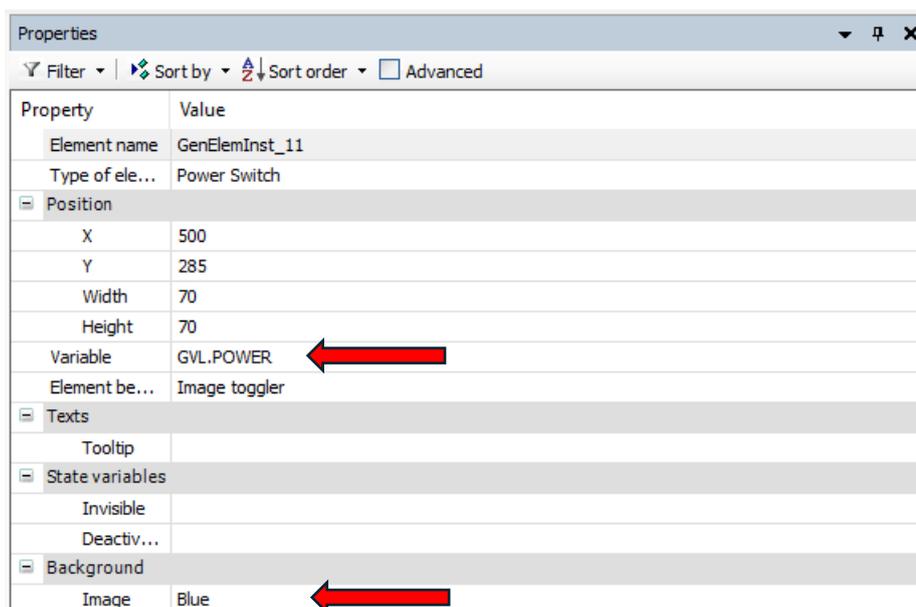


Figura 79. Configuración de la luz de encendido.

Con esto, los botones y sus respectivas luces se han distribuido de la siguiente forma en la pantalla de visualización:

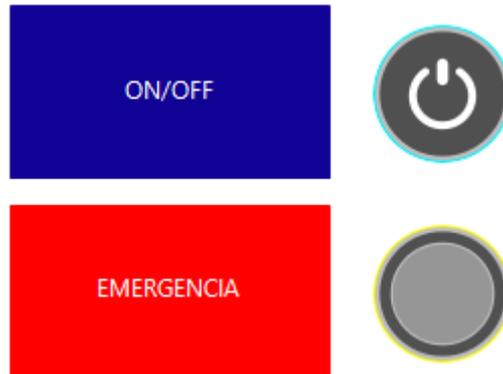


Figura 80. Representación gráfica de los botones.

Quando se pulsa el botón de encendido, este se vuelve de color gris para indicar que ha sido pulsado y la luz de encendido se ilumina de un color azul celeste, tal y como se puede ver en la siguiente figura:



Figura 81. Botón ON/OFF pulsado (izq) y luz de encendido activa (dcha).

Lo mismo ocurre con el botón de emergencia, cuando este se pulsa se vuelve de un color grisáceo que indica que se encuentra pulsado y se enciende la luz amarilla de emergencia, la cual indica la existencia de una situación de emergencia. Esta luz permanece encendida hasta que se vuelve a pulsar el botón de emergencia, tal y como se ha explicado anteriormente.



Figura 82. Botón de emergencia pulsado (izq) y luz de emergencia activa (dcha).

9.6 Interacción Con El PLC

Finalmente, para “dar vida” al programa realizado y poder ver los resultados en el mundo físico hay que conectar el programa al PLC. Para ello, primero hay que comprobar que el programa no tiene errores de ningún tipo mediante el botón “” el cual analiza el código en busca de problemas. En el caso en el que todo esté correcto, emerge en la pantalla una ventana como la de la siguiente figura:



Figura 83. Ventana de errores.

Si no se han detectado errores, el siguiente paso es la conexión al PLC pulsando el botón representado por el icono “”.

Una vez la conexión se ha realizado correctamente, disponemos de dos botones mientras el PLC se encuentre conectado. Con esto, si se pulsa el botón “” se pone en marcha el programa, deteniéndose al pulsar el botón “”.

Por último, para desconectarse del PLC y poder realizar modificaciones en el programa se debe pulsar el botón “”. Cabe recalcar que mientras no se pulse este botón y el PLC siga conectado no se puede realizar ninguna modificación en el código.

10 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En este punto se van a exponer las decisiones que se han ido tomando para resolver los problemas que han ido surgiendo a la hora de realizar el programa de automatización del proceso:

- **Inicio desde la posición inicial:** Para evitar posibles accidentes debido a un mal posicionamiento de los actuadores al iniciar el proceso se ha creado la etapa “Init”, tal y como se ha mostrado anteriormente, evitando así que el proceso comience sin antes estar cada actuador en su sitio.

La función de la etapa “Init” es asegurar que todos los actuadores se encuentren en su posición inicial antes de dar comienzo al proceso, apagando todos los motores de las cintas, cuchillas y batidora y forzando el retroceso de los empujadores en el caso en el que no se encuentren en su posición inicial.

- **Retardo al iniciar el proceso:** Con el objetivo de evitar un inicio demasiado brusco al posicionar la pieza en el inicio de la “CINTA1”, se ha añadido un temporizador (“TEMP_INICIO”) el cual retrasa el encendido del motor de la primera cinta 1 segundo.

- **Activación simultánea de cintas y empujadores:** Con el mismo objetivo que el punto anterior, se ha decidido que las cintas “CINTA2” y “CINTA4” se activen antes de que la pieza se deposite en ella, comenzando a moverse al mismo tiempo que los motores de avance de ambos empujadores (“AVANZA_1” para la “CINTA2” y “AVANZA_2” para la “CINTA4”) se activan, evitando así un arranque brusco de la cinta que pueda provocar el vuelco de la pieza.
- **Molienda y batido correctos:** En el supuesto en el que se deba pulsar el botón de emergencia mientras se está realizando la molienda o batido de las aceitunas, se detiene todo el proceso al instante. Una vez se haya resuelto la situación de emergencia, tanto si la pieza se encuentra en la etapa de molienda como si se encuentra en la etapa de batido esta volverá a empezar el proceso, asegurando que las aceitunas queden bien trituradas por las cuchillas y la pasta bien batida en el caso de la batidora. Por ejemplo, si la pieza se encuentra en la etapa de molienda y las cuchillas llevan 3 segundos girando cuando se pulsa el botón de emergencia, una vez se vuelva al funcionamiento normal las cuchillas volverán a girar durante 5 segundos, dando un total de 8 segundos de molienda.
- **Reinicio de los temporizadores:** El programa consta de un total de 5 temporizadores de encendido (TON), los cuales se han programado para que una vez se cumpla el tiempo establecido se pase de etapa. El problema surge cuando se quiere comenzar el proceso con otra pieza una vez ha acabado la primera, ya que los temporizadores ya han llegado al tiempo establecido y no se reinician solos. La solución que se ha encontrado es el reiniciar todos los temporizadores en la etapa posterior a la suya, poniendo un contacto que se encuentra siempre abierto (“FALSE”) el cual no da pie a que se complete de nuevo el temporizador y se quede atascado en 0 segundos, tal y como podemos ver en la siguiente figura:



Figura 84. Ejemplo de reinicio de temporizador.

La bobina de salida activa la “TRANS0”, pero no es relevante puesto que al tener un “FALSE” delante el temporizador nunca se va a completar y por lo tanto nunca se va a activar esa salida.

- **Indicadores de luz para los botones de encendido y emergencia:** Para saber si la máquina se encuentra encendida o apagada y si se encuentra en el modo de emergencia o en el modo de funcionamiento normal se han añadido unas luces. La luz de encendido

se ilumina de color azul cuando la máquina está encendida y se apaga cuando no, la luz de emergencia se ilumina de amarillo para indicar el estado de emergencia y se apaga al volver a pulsar el botón.

- **Sensores de luz siempre encendidos:** Por último, existe una incompatibilidad con la parada de emergencia y los sensores fototransistores, ya que como se ha comentado anteriormente estos funcionan por lógica inversa, enviando un “1” si no se detecta pieza y un “0” cuando se detecta, por lo que si se apaga la luz del sensor es como si se detectara que hay una pieza en la posición.

La solución lógica podría parecer forzar que se pase de etapa únicamente cuando el sensor no detecte luz y mientras el modo de emergencia no esté activado, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 85. Ejemplo de solución sin temporizador.

El problema viene con el ligero retraso que surge al activar el modo de emergencia, ya que durante unos milisegundos ambas situaciones son ciertas (la luz está apagada pero el modo de emergencia todavía no se ha activado). Con esto, surge la opción de poner un temporizador, siendo esta una solución mediocre, puesto que, si se establece un tiempo muy pequeño, como podrían ser 100 ms, no se resuelve el problema ya que sigue habiendo un instante en el que ambas situaciones coinciden, y si se establece un tiempo más alto, como podrían ser 300 ms, la pieza no se detiene justo en la posición de las cuchillas o del batido, sino que continua unos pocos centímetros más y no queda centrada.

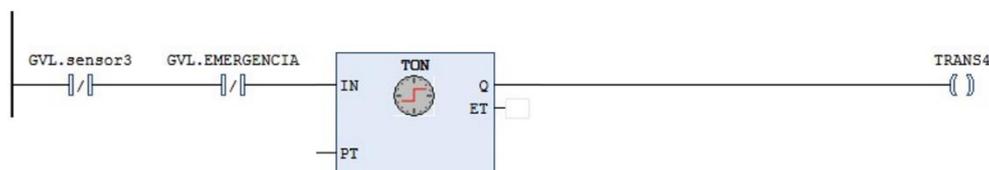


Figura 86. Ejemplo de solución con temporizador.

Con esto, la solución final adoptada ha sido la de dejar encendidas las luces de los sensores fototransistores, aunque se pulse el botón de emergencia, puesto que al ser sensores pueden permanecer encendidos sin suponer ningún riesgo para los operarios ni la maquinaria.



11 IMPACTO GLOBAL Y ALCANCE

La programación de la maqueta ha permitido desarrollar un sistema de control preciso y eficiente que puede servir de base para automatizar una planta de producción de aceite de oliva real. Esta automatización garantiza que las operaciones sean más eficaces y controladas, mejorando así la calidad del aceite de oliva producido, haciendo que cada etapa del proceso sea monitoreada y manipulable en tiempo real, reduciendo posibles errores humanos y optimizando así el uso de recursos.

Además, la experiencia adquirida durante la programación de la maqueta ha permitido identificar y solucionar potenciales problemas antes de su implementación en el entorno real, como son la integración de sensores y actuadores, la comunicación entre diferentes componentes del sistema, y la optimización de los algoritmos de control.

La programación de la maqueta también ha demostrado ser una herramienta educativa valiosa, permitiendo a los operadores y técnicos familiarizarse con el sistema en un entorno seguro y controlado antes de trabajar con la maquinaria de la planta real. Con esto, se reduce el riesgo de errores operativos y asegura que el personal esté bien cualificado para manejar el sistema final de manera eficiente.

En conclusión, el proyecto de automatización y la programación de la maqueta han demostrado un gran potencial para ser implementados en una planta real, proporcionando numerosas ventajas relativas a la seguridad, costes y eficacia. Además, este proyecto no solo mejora la producción actual de aceite de oliva, sino que también establece una base sólida para futuras innovaciones y expansiones de la automatización en la industria a nivel regional, nacional e incluso internacional.



12 CONCLUSIONES

Con la finalización de este Proyecto de Fin de Grado y tras todo el esfuerzo realizado se puede afirmar que este cumple con los objetivos iniciales propuestos, habiendo sido un proyecto que ha ido evolucionando con el tiempo al requerir de soluciones creativas que, como resulta evidente, no se suelen lograr con el primer intento, sino que hay que ir innovando y aprendiendo conforme se va avanzando con el trabajo.

El desarrollo del proyecto ha ayudado a adquirir y reforzar una amplia gama de conocimientos y habilidades relacionadas con la automatización de procesos, incluyendo la síntesis, diseño, implementación y programación de sistemas de automatización como es la programación de controladores lógicos, especialmente mediante el uso del lenguaje GRAFCET y diagramas de contactos, que han sido los utilizados en el proyecto.

Conforme se avanzaba con el proyecto iban surgiendo diferentes retos y desafíos técnicos, como la configuración de los sistemas de comunicación entre los distintos componentes del sistema o la correcta programación de los contactos, temporizadores y bobinas, los cuales se han ido resolviendo satisfactoriamente hasta haber logrado el objetivo principal de representar en una maqueta parte del proceso de automatización de una planta de elaboración de aceite de oliva.

Este proyecto, además de haber cumplido con los objetivos propuestos, sirve de base para futuras aplicaciones y posibles mejoras en el ámbito industrial.

En resumen, este proyecto demuestra el inmenso potencial de la automatización industrial en la mejora de procesos industriales y las soluciones obtenidas podrían tener un impacto positivo en la eficiencia y productividad en la industria del aceite de oliva.



13 BIBLIOGRAFÍA

Historia Y Evolución De La Automatización:

[1] <https://www.firgelliauto.com/es/blogs/actuators/what-is-the-evolution-and-history-of-automation> (Último acceso: 23/03/2024)

Historia Y Evolución Del Proceso De Elaboración De Aceite De Oliva:

[2] www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx (Último acceso: 25/03/2024)

AGVs:

[3] <https://handling.com/guide/what-is-an-automatic-guided-vehicle/> (Último acceso: 01/04/2024)

Página Web De Venta Del AGV Seleccionado:

[4] www.directindustry.es/prod/gebhardt-intralogistics-group/product-4597711-2668523.html (Último acceso: 02/04/2024)

EcoStruxure Machine Expert:

[5] "EcoStruxure Machine Expert - Basic, Guía de funcionamiento"

Sistema SCADA:

[6] <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/> (Último acceso: 04/04/2024)

Sistema HMI:

[7] <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/> (Último acceso: 04/04/2024)

Normas:

- [8] IEC 61508: <https://www.boe.es/boe/dias/2011/04/28/pdfs/BOE-A-2011-7603.pdf> (Último acceso: 10/04/2024)
- [9] IEC 61000: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-3856 (Último acceso: 10/04/2024)
- [10] IEC 61131-3: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-13919 (Último acceso: 10/04/2024)

ODS:

[11] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (Último acceso: 03/06/2024)



Página Web De La Maqueta:

[12] www.fischertechnik.de/es-es/productos/industria-y-universidades/modelos-de-entrenamientos/96790-cadena-de-produccion-con-2-estaciones-de-mecanizado-24v-simulacion (Último acceso: 02/05/2024)

Página Web De Compra De La Maqueta:

[13] <https://www.ro-botica.com/Producto/Linea-indexada-controladora-ROBO-TX-Fischertechnik/> (Último acceso: 24/05/2024)

Página Web Del Controlador:

[14] www.se.com/ar/es/product/TM241CE40R/controller-m24140io-relay-ethernet/?range=62129-modicon-m241&selectedNodeId=12692219234 (Último acceso: 02/05/2024)

Presupuesto:

[15] Apuntes de Proyectos (2015, Ref. 370, PublicacionesUPV)

[16] Cuadernos de Ingeniería de proyectos II. Del diseño de detalle a la realización. Serv. Publ. UPV-2000.4057

Fotografía De Aceite De Oliva:

[17] [https://media.istockphoto.com/id/464433694/es/foto/aceite-deoliva.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=tzLqSUKqSj9Veli5KASnx4T1R7I0rbZbVHorc8MLwhk=\)](https://media.istockphoto.com/id/464433694/es/foto/aceite-deoliva.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=tzLqSUKqSj9Veli5KASnx4T1R7I0rbZbVHorc8MLwhk=)) (Último acceso: 25/03/2024)



DOCUMENTO II: PRESUPUESTO



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1	INTRODUCCIÓN	76
2	CUADRO DE PRECIOS DE LOS JORNALES	76
3	CUADRO DE PRECIOS DE LOS MATERIALES	77
3.1	Maquinaria.....	77
3.2	Software.....	78
4	CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS	79
5	CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS	79
5.1	P.U.D. 1. Planteamiento De La Solución A Desarrollar	80
5.2	P.U.D. 2. Desarrollo De La Solución En El Laboratorio.....	80
5.3	P.U.D. 3. Redacción Del Informe De Resultados.....	81
6	PRESUPUESTO FINAL	81



1 INTRODUCCIÓN

En este punto se exponen los presupuestos relacionados con la representación de la automatización de la parte del proceso de elaboración de aceite de oliva que se ha realizado en los laboratorios de la UPV. No se tienen en cuenta los gastos reales que supondría la transición de toda una planta de elaboración de aceite de oliva al automatizar todo el proceso debido a la gran incertidumbre e inexactitud que tendrían los presupuestos finales al tratarse de una planta ficticia.

Por ello, con el objetivo de realizar una confección del presupuesto lo más realista posible se ha decidido enfocarla a la parte experimental del trabajo, la cual abarca la mayor parte del contenido del mismo, dejando de lado suposiciones teóricas a la hora de traspasar los ensayos y programas realizados en el trabajo a una planta real de elaboración de aceite.

Además, para el desarrollo de este presupuesto se han tenido en cuenta los apuntes de la asignatura de "Proyectos" realizada durante el grado, los títulos de los cuales se pueden consultar en la **BIBLIOGRAFÍA**, [15] y [16].

Con esto, se ha dividido la estructura del presupuesto en diferentes cuadros de precios:

- Cuadro de precios de los jornales
- Cuadro de precios del material
- Cuadro de precios unitarios
- Cuadro de precios descompuestos

Finalmente, se ha expuesto un presupuesto final a partir de los cuadros de precios elaborados, los cuales se muestran en detalle a continuación:

2 CUADRO DE PRECIOS DE LOS JORNALES

En este punto se exponen los precios por hora de las distintas personas implicadas en el proyecto, los datos monetarios que se muestran en la siguiente tabla se han calculado a partir del salario medio de cada profesión.

Descripción de la mano de obra	Precio (€/h)
Ingeniero Técnico Industrial	16,61
Tutor	20,00
Técnico de laboratorio	11,54

Tabla 6. Cuadro de precios de los jornales.

3 CUADRO DE PRECIOS DE LOS MATERIALES

En este punto se muestran los precios asociados a la maquinaria y el software empleados en el presente TFG.

3.1 Maquinaria

En primer lugar, se ha investigado acerca de los precios iniciales de cada producto y se han adjuntado las páginas web de compra de los mismos en la **BIBLIOGRAFÍA**, [13] y [14]. (No se ha adjuntado la web de compra del ordenador al servir cualquier ordenador capaz de soportar el programa utilizado en el trabajo, por lo que este queda a gusto de consumidor).

Para poder realizar correctamente los presupuestos del proyecto hay que calcular los precios a amortizar de cada uno de los productos en los que es necesario invertir, obteniendo el valor del precio a amortizar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Precio a amortizar} = \frac{\text{Precio inicial} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil}}$$

Figura 87. Ecuación del precio a amortizar.

Siendo el precio inicial el precio que se paga por el producto, el valor residual el precio al que puedes vender dicho producto tras su vida útil como un producto de segunda mano o las piezas del mismo por separado. La vida útil del producto hace referencia a las horas útiles que ese producto es capaz de proporcionar.

Con esto, se ha procedido al cálculo de cada precio a amortizar y se han recopilado los datos en la siguiente tabla:

Descripción de la maquinaria	Precio inicial (€)	Valor residual (€)	Vida útil (años)
Ordenador	799,03	170,00	4
Maqueta de "Fischertechnik"	1020,00	200,00	3
PLC Modicon M241	546,05	150,00	10

Tabla 7. Tabla de datos de la maquinaria.

Así, con los valores recopilados en la tabla de arriba y haciendo uso de la ecuación mostrada anteriormente, suponiendo que la vida útil de los productos solo se puede aprovechar en horario laboral, se obtiene la siguiente tabla de precios a amortizar:

Descripción de la maquinaria	Precio a amortizar (€/h)
Ordenador	0,08
Maqueta de "Fischertechnik"	0,14
PLC Modicon M241	0,02

Tabla 8. Cuadro de precios de la maquinaria.

3.2 Software

Del mismo modo que con la maquinaria, se ha investigado acerca de los precios de compra de los softwares que se precisan para la realización del proyecto. La duración de la licencia de Microsoft Office es de un año, mientras que la del programa EcoStruxure Machine Expert es de un pago único, no utiliza un sistema de membresía, por lo que se ha decidido ponerle la misma vida útil que la del ordenador, tal y como se puede ver en la siguiente tabla:

Descripción del software	Precio inicial (€)	Valor residual (€)	Vida útil (años)
EcoStruxure Machine Expert	200,00	0,00	4
Licencia de Microsoft Office	69,00	0,00	1

Tabla 9. Tabla de datos de los softwares.

Con esto, al igual que con la maquinaria, se ha procedido al cálculo del precio a amortizar para cada software, mostrándose los resultados en la siguiente tabla:

Descripción del software	Precio (€/h)
EcoStruxure Machine Expert	0,03
Licencia de Microsoft Office	0,04

Tabla 10. Cuadro de precios de los softwares.

4 CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS

En la siguiente tabla se pueden observar los precios unitarios de cada una de las fases del proyecto:

Descripción de la unidad de obra	Precio (€)
P.U.D. 1. Planteamiento de la solución a desarrollar	925,56
P.U.D. 2. Desarrollo de la solución en el laboratorio	3518,35
P.U.D. 3. Redacción del informe de resultados	1553,62

Tabla 11. Cuadro de precios unitarios.

5 CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

Primeramente, se describen cada una de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto, asignándolas a una unidad de trabajo determinada.

Nº Orden	Unidades	Descripción de la unidad de obra
P.U.D. 1.	h	Planteamiento de la solución a desarrollar Investigación y aprendizaje de las técnicas y programas necesarios para la automatización de la planta, además de la creación y el planteamiento del proceso, incluyendo el diseño del GRAFCET.
P.U.D. 2.	h	Desarrollo de la solución en el laboratorio Programación del autómat M241 mediante el software de programación EcoStruxure Machine Expert, así como la puesta a punto de la maqueta, el desarrollo del sistema HMI y la comprobación de su correcto funcionamiento.
P.U.D. 3.	h	Redacción del informe de resultados Elaboración de los documentos finales, incluyendo la memoria descriptiva y los presupuestos.

Tabla 12. Descripción de las unidades de obra.

Con esto, se muestran los precios descompuestos pertenecientes a cada una de las unidades de obra por separado:

5.1 P.U.D. 1. Planteamiento De La Solución A Desarrollar

Descripción de la unidad de obra	Unidades	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe (€)
Ingeniero Técnico Industrial	h	50,00	16,61	830,5
Tutor	h	4,00	20,00	80,00
Ordenador	h	50,00	0,08	4,00
Licencia de Microsoft Office	h	50,00	0,04	2,00
Costes directos				916,5
Costes indirectos complementarios				9,17
Coste TOTAL				925,67

Tabla 13. Cuadro de precios descompuestos de la unidad de obra nº 1.

5.2 P.U.D. 2. Desarrollo De La Solución En El Laboratorio

Descripción de la unidad de obra	Unidades	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe (€)
Ingeniero Técnico Industrial	h	170,00	16,61	2823,70
Tutor	h	2,00	20,00	40,00
Técnico de laboratorio	h	5,00	11,54	577,00
Ordenador	h	170,00	0,08	13,6
Maqueta de "Fischertechnik"	h	150,00	0,14	21,00
PLC Modicon M241	h	150,00	0,02	3,00
EcoStruxure Machine Expert	h	170,00	0,03	5,10
Costes directos				3483,4
Costes indirectos complementarios				34,83
Coste TOTAL				3518,23

Tabla 14. Cuadro de precios descompuestos de la unidad de obra nº 2.

5.3 P.U.D. 3. Redacción Del Informe De Resultados

Descripción de la unidad de obra	Unidades	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe (€)
Ingeniero Técnico Industrial	h	80,00	16,61	1328,8
Tutor	h	10,00	20,00	200,00
Ordenador	h	80,00	0,08	6,40
Licencia de Microsoft Office	h	80,00	0,04	3,20
Costes directos				1538,40
Costes indirectos complementarios				15,38
Coste TOTAL				1553,78

Tabla 15. Cuadro de precios descompuestos de la unidad de obra nº 3.**6 PRESUPUESTO FINAL**

El presupuesto final o presupuesto de ejecución y por contrata se ha calculado sumando en primer lugar el presupuesto total de ejecución material (PEM), es decir, sumando todos los presupuestos parciales. A este, hay que añadirle un porcentaje de gastos generales (Entre el 12% y el 20% del PEM. En este caso se ha elegido el 13%, pues es el más común) y un 6% del PEM como beneficio industrial, obteniendo así el presupuesto de ejecución por contrata (PEC), al cual hay que sumarle el 21% de I.V.A. para obtener el presupuesto final o presupuesto base de licitación.

En la siguiente tabla se muestra el importe en euros de cada uno de los presupuestos calculados para el presente proyecto, así como la suma total de capital que se requiere en este proyecto:



Descripción de la unidad de obra	Importe (€)
P.U.D. 1. Planteamiento de la solución a desarrollar	925,67
P.U.D. 2. Desarrollo de la solución en el laboratorio	3518,23
P.U.D. 3. Redacción del informe de resultados	1553,78
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	5997,53
Gastos Generales 13%	779,68
Beneficio Industrial 6%	359,85
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	7137,06
I.V.A. 21%	1498,78
Presupuesto base de licitación	8635,84
Asciende el presente presupuesto a la expresa cantidad de: OCHO MIL SEISCIENTOS TREINTA Y CINCO EUROS CON OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS	

Tabla 16. Presupuesto de ejecución y por contrata.