



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Modelado y análisis de una línea robotizada para la
producción de álbumes fotográficos mediante el software
de simulación de robots RobotStudio

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Besa Sanchis, Ana

Tutor/a: Valera Fernández, Ángel

Cotutor/a: Vallés Miquel, Marina

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

AGRADECIMIENTOS

Cuando entré en Hofmann, no esperaba el cariño que iba a cogerle. La confianza que tuvieron Laura y Patri en mí desde el primer día me ha permitido crecer mucho como profesional, y pasar los primeros meses apoyando a Xavier me ha permitido crecer mucho también, como persona.

Con el paso del tiempo se fue uniendo gente al equipo: Sergio, gracias por restaurar la confianza en mí misma y por ayudarme, tanto en este proyecto como allí en la planta. Eres un compañero increíble (y me flipa tu trabajo). Nadia, tienes un aura de emoción que es imposible estar triste cerca tuya, gracias por todo, no sé qué habríamos hecho estos últimos meses sin ti. Ángela, hablar contigo me da mucha paz. Gracias por no dejar que me hunda los días que el estrés podía conmigo. David, sé que te vino todo de golpe, pero gracias por apoyarnos y confiar en nosotros.

Y gracias también al resto de gente de la planta, tanto producción como oficinas, por ayudarme tanto en mis primeras semanas, y soportarme en las siguientes. No puedo nombrar a todos porque llenaría esta página entera, pero os estoy muy agradecida por la acogida que me habéis dado. Ya se va la pesada de las muestras jajaja.

También quiero dedicar unas palabras a tres personas que conocí más tarde, pero me llevo en el alma: Quique, por permitirme delegar en ti los álbumes, eres un profesional y una persona de diez (por cierto, me debes una partida de ping pong algún día). Carlota! Mi compi de coffee! Desde que entraste, tener ese momento de descanso ha sido lo mejor de cada día. Y Abel, el tiempo que pasamos con las muestras fue uno de los más estresantes y a la vez más divertidos que he vivido allí, todo gracias a ti y a Quique. Perdón por tirar para atrás tantos libros, pero quedaron bien al final jeje....

Fuera de la empresa, hay mucha gente que me ha estado apoyando, directa o indirectamente:

Muchísimas gracias a mis amigas, Andreea, Ionela, Aitana... por darme ánimos y despejarme cuando más lo necesitaba.

Por supuesto agradecer a mis tutores, Ángel y Marina, tanto por el tiempo dedicado a este proyecto, como por sus clases, ya que han sido de los mejores profesores que he tenido en la carrera.

No me puedo olvidar de mis padres y mi hermano, los que más han sufrido mi paso por la universidad. Me han visto crecer y superar las dificultades que iban apareciendo en el camino, estando siempre a mi lado.

Y, por último, mil gracias a mi pareja, Javi. Has sido mi roca durante todo este tiempo. Sin ti, habría podido hacerlo, pero habría sido infinitamente más complicado.

Muchas gracias a todos...

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la modelización y análisis de una línea de producción de álbumes fotográficos mediante el uso de RobotStudio, con el fin de comparar la eficiencia de una línea de producción parcialmente manual frente a una más automatizada. El estudio se centrará en evaluar la rentabilidad y la viabilidad de incluir un robot en una etapa del proceso de producción. Se hipotetiza que esta adición permitirá mejorar la calidad del producto y reducir mermas, al limitar la manipulación humana.

Para llevar a cabo este proyecto, se desarrollará un modelo virtual de la línea de producción utilizando RobotStudio, un software especializado en la simulación y programación de robots industriales. Se representarán dos escenarios: uno que equivaldrá a la situación actual de la línea, en el que ciertas tareas serán realizadas manualmente, y otro en el que se implementará un robot en la etapa más crítica del proceso. Ambos modelos serán evaluados en términos de tiempo de ciclo y costo de producción.

Se espera que los resultados de las simulaciones indiquen que la línea automatizada con un robot presenta una mejora notable en la eficiencia. Asimismo, los costos de producción, aunque inicialmente más altos debido a la inversión en el robot y su instalación, se espera que se amorticen a medio plazo gracias a la reducción de errores y, por consiguiente, de retrabajos.

En conclusión, la modelización de la línea en RobotStudio espera demostrar que la inclusión de robots industriales no solo es viable desde un punto de vista técnico, sino también rentable y beneficiosa en términos de eficiencia y calidad del producto. Este estudio respaldaría la transición hacia una mayor automatización en la industria, proponiendo un camino claro para la modernización y mejora continua de los procesos de producción.

Palabras Clave: Robótica industrial; Programación de robots; Automatización industrial; Simulación de procesos.

RESUM

El present treball té com a objectiu la modelització i l'anàlisi d'una línia de producció d'àlbums fotogràfics mitjançant l'ús de RobotStudio, amb la finalitat de comparar l'eficiència d'una línia de producció parcialment manual amb una més automatitzada. L'estudi se centrarà en avaluar la rendibilitat i la viabilitat d'incloure un robot en una etapa del procés de producció. Es planteja la hipòtesi que esta addició permetrà millorar la qualitat del producte i reduir les minves, en limitar la manipulació humana.

Per a dur a terme este projecte, es desenvoluparà un model virtual de la línia de producció utilitzant RobotStudio, un programa especialitzat en la simulació i programació de robots industrials. Es representaran dos escenaris: un que equivaldrà a la situació actual de la línia, en el qual algunes tasques seran realitzades manualment, i un altre en què s'implementarà un robot en l'etapa més crítica del procés. Tots dos models seran avaluats en termes de temps de cicle i cost de producció.

S'espera que els resultats de les simulacions indiquen que la línia automatitzada amb un robot presenta una millora notable en l'eficiència. Així mateix, els costos de producció, encara que inicialment més alts a causa de la inversió en el robot i la seua instal·lació, s'espera que s'amortitzen a mitjà termini gràcies a la reducció d'errors i, per consegüent, de reprocessaments.

En conclusió, la modelització de la línia en RobotStudio espera demostrar que la inclusió de robots industrials no sols és viable des d'un punt de vista tècnic, sinó també rendible i beneficiosa en termes d'eficiència i qualitat del producte. Este estudi recolzaria la transició cap a una major automatització en la indústria, proposant un camí clar per a la modernització i millora contínua dels processos de producció.

Paraules clau: Robòtica industrial; Programació de robots; Automatització industrial; Simulació de processos.

ABSTRACT

The present work aims to model and analyze a photo album production line using RobotStudio, to compare the efficiency of a partially manual production line versus a more automated one. The study will focus on evaluating the cost-effectiveness and feasibility of incorporating a robot at one stage of the production process. It is hypothesized that this addition will enhance product quality and reduce waste by minimizing human handling.

To carry out this project, a virtual model of the production line will be developed using RobotStudio, a software specialized in the simulation and programming of industrial robots. Two scenarios will be represented: one reflecting the current situation of the line, where certain tasks are performed manually, and another where a robot is implemented in the most critical stage of the process. Both models will be evaluated in terms of cycle time and production cost.

The simulation results are expected to show that the automated line with a robot significantly improves efficiency. Although initial production costs may be higher due to the investment in the robot and its installation, these costs are expected to be offset in the medium term through a reduction in errors and, consequently, rework.

In conclusion, the modeling of the line in RobotStudio aims to demonstrate that the inclusion of industrial robots is not only technically feasible, but also cost-effective and beneficial in terms of efficiency and product quality. This study supports the transition toward greater automation in industry, offering a clear path for the modernization and continuous improvement of production processes.

Keywords: Industrial robotics; Robot programming; Industrial automation; Process simulation.

RESUMEN EJECUTIVO

1. IDENTIFICAR

1.1. Planteamiento del problema y oportunidad

El planteamiento del problema se desarrolla tanto en la introducción, situada en las páginas 2 y 3, como en los primeros párrafos del apartado “2.2. Propuesta de automatización de la línea”, ubicado en la página 5.

1.2. Restricciones (normas, códigos, necesidades, requisitos y especificaciones)

Las restricciones se mencionan a lo largo del apartado “3.1.2. Modelado de elementos de la línea” y corresponden a las especificaciones referentes a la velocidad de producción de la maquinaria a utilizar. Se encuentran entre las páginas 9 y 11.

1.3. Establecimiento de objetivos

Los objetivos se desarrollan en la introducción, concretamente en el apartado “1.2. Objetivo del documento”, localizado en la página 3.

2. FORMULAR

2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)

La propuesta de solución se introduce en el apartado “2.2. Propuesta de automatización de la línea”, ubicado en la página 5.

2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)

El análisis de los resultados se introduce en el punto “4.1. Medida de los tiempos de producción”, situado en la página 54 del documento y se desarrolla, junto a la toma final de decisiones, en el apartado “4.2. Comparación entre la línea manual y la automatizada”, en las páginas 54 y 55.

3. RESOLVER

3.1. Cumplimiento de objetivos

El cumplimiento de los objetivos se desarrolla en el apartado “4.2. Comparación entre la línea manual y la automatizada”, ubicado en las páginas 54 y 55.

3.2. Impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)

El impacto global y alcance se describen en el punto “5. Conclusiones y trabajos futuros”, localizado en la página 56.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Anexos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Introducción	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Objetivo del documento.....	3
1.3. Motivación.....	3
2. Situación actual y propuesta para la mejora de la línea	4
2.1. Descripción de la línea de producción.....	4
2.2. Propuesta de automatización de la línea	5
3. Digitalización de la línea en Robotstudio.....	7
3.1. Modelado de la línea	7
3.1.1. Creación de la estación.....	7
3.1.2. Modelado de elementos de la línea	7
3.1.2.1. Modelado de maquinaria	9
3.1.2.2. Modelado del álbum	12
3.1.2.3. Modelado de otros elementos de la estación.....	13
3.1.3. Construcción de la línea.....	14
3.2. Desarrollo de la lógica de la estación	16
3.2.1. Diseño de los componentes inteligentes.....	16
3.2.1.1. Cinta_1	17
3.2.1.2. Cinta_2	17
3.2.1.3. Cinta_3	19
3.2.1.4. Cinta_4	21

3.2.1.5. Cinta_6	23
3.2.1.6. Cinta_7	25
3.2.1.7. Cinta_8	27
3.2.1.8. Cinta_0.1	29
3.2.1.9. Cinta_0.2	31
3.2.1.10. Cinta_9	33
3.2.1.11. Operario	35
3.2.1.12. M.4.Prensa	37
3.2.1.13. Ventosa_1.....	39
3.2.2. Lógica de estación.....	41
3.3. Programación de los robots industriales.....	48
3.3.1. Entradas y salidas	48
3.3.2. Objetivos y trayectorias.....	49
3.3.3. Código empleado.....	50
3.3.3.1. Introducción a elementos básicos de RAPID.....	50
3.3.3.2. Explicación del script	52
4. Análisis de resultados	54
4.1. Medida de los tiempos de producción	54
4.2. Comparación entre la línea manual y la automatizada.....	54
5. Conclusiones y trabajos futuros.....	56

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Introducción	58
2. Contenido del presupuesto	58
2.1. Mano de obra	58
2.2. Maquinaria y licencias	58
3. Resumen del presupuesto	59

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Código RAPID	61
1.1. Robot 1. Controlador IRB140_6_81.....	61
1.2. Robot 2. Controlador IRB140_6_81_C_4.....	62
2. Alineación con los ODS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Herramientas de posicionamiento.	14
Tabla 2. Terminología de componentes inteligentes.....	16
Tabla 3. Entradas y salidas Cinta_1.	17
Tabla 4. Entradas y salidas Cinta_2.	17
Tabla 5. Entradas y salidas Cinta_3.	18
Tabla 6. Entradas y salidas Cinta_4.	20
Tabla 7. Entradas y salidas Cinta_6.	22
Tabla 8. Entradas y salidas Cinta_7.	24
Tabla 9. Entradas y salidas Cinta_8.	26
Tabla 10. Entradas y salidas Cinta_0.1.	28
Tabla 11. Entradas y salidas Cinta_0.2.	30
Tabla 12. Entradas y salidas Cinta_9.	32
Tabla 13. Entradas y salidas Operario.	34
Tabla 14. Entradas y salidas M.4.Prensa.	36
Tabla 15. Entradas y salidas Ventosa_1.	38
Tabla 16. Componentes que intervienen en la lógica de estación.	40
Tabla 17. Entradas y salidas Lógica de estación.	43
Tabla 18. Entradas y salidas Robot 1.	49
Tabla 19. Entradas y salidas Robot 2.	49
Tabla 20. Presupuesto Parcial Mano de Obra.....	59
Tabla 21. Presupuesto Parcial Maquinaria y Licencias.....	59
Tabla 22. Presupuesto de Ejecución Material.....	60
Tabla 23. Presupuesto de Ejecución por Contrata.....	60
Tabla 24. Presupuesto de Base de Licitación	60
Tabla 25. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la línea original.....	5
Figura 2. Diagrama de flujo de la línea automatizada.....	6
Figura 3. Herramientas de selección	8
Figura 4. Modelado de la impresora.	9
Figura 5. Modelado de la dobladora.	9
Figura 6. Modelado de la boquilla y el apilador.....	10
Figura 7. Modelado de la prensa.....	10
Figura 8. Modelado de la trilateral.....	11
Figura 9. Modelado de la encuadernadora.	11
Figura 10. Modelado del álbum en cada una de las etapas de producción.....	12
Figura 11. Modelado de la cinta transportadora.	13
Figura 12. Modelado de los soportes de los robots.....	13
Figura 13. Modelado de las mesas.....	14
Figura 14. Plano de la planta y línea modelada en Robotstudio.....	15
Figura 15. Componentes inteligentes de la simulación.	16
Figura 16. Diseño Componente Inteligente “Cinta_1”	17
Figura 17. Diseño Componente Inteligente “Cinta_2”	17
Figura 18. Diseño Componente Inteligente “Cinta_3”	19
Figura 19. Diseño Componente Inteligente “Cinta_4”	21
Figura 20. Diseño Componente Inteligente “Cinta_6”	23
Figura 21. Diseño Componente Inteligente “Cinta_7”	25
Figura 22. Diseño Componente Inteligente “Cinta_8”	27
Figura 23. Diseño Componente Inteligente “Cinta_10”	27
Figura 24. Diseño Componente Inteligente “Cinta_0.1”	29
Figura 25. Diseño Componente Inteligente “Cinta_0.2”	31
Figura 26. Diseño Componente Inteligente “Cinta_9”	33
Figura 27. Diseño Componente Inteligente “Operario”	35
Figura 28. Diseño Componente Inteligente “M.4.Prensa”	37
Figura 29. Diseño Componente Inteligente “Ventosa_1”	39
Figura 30. Diseño Lógica de Estación.	41
Figura 31. Escritura en el FlexPendant.....	43

Figura 32. Componente “Repeater”	44
Figura 33. Lectura de tapa y creación de hojas.....	45
Figura 34. Proceso de prensado.....	46
Figura 35. Robot 2 recogiendo una tapa.....	47
Figura 36. Tapa y tripa en la entrada de la mitabook	48

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de disminución del tiempo de producción.....	55
Ecuación 2. Máximo de producción de álbumes al día	55
Ecuación 3. Coste de maquinaria y licencias.....	58

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES
FOTOGRAFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

PARTE I

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La industria 4.0 ha revolucionado los sistemas de producción mediante la integración de la inteligencia artificial, la robótica, sensores, comunicaciones inalámbricas y el Internet de las Cosas (IoT). Este avance permite que las distintas etapas del proceso productivo asuman funciones inteligentes, antes reservadas a trabajadores especializados, y se comuniquen automáticamente (Garrell & Guilera, 2019).

La capacidad de modelar y analizar líneas de producción robotizadas se ha convertido en una herramienta fundamental para optimizar el rendimiento y reducir costos en la fabricación de productos. A través del modelado y la simulación, las empresas pueden anticipar el comportamiento de sus líneas de producción, identificar cuellos de botella y optimizar el flujo de trabajo antes de realizar cambios costosos en la realidad. Esto les permite adaptarse rápidamente a las demandas del mercado y a la personalización masiva, características de la Industria 4.0.

En el sector de la producción de productos personalizados, Hofmann es una empresa que ha destacado por su capacidad de innovación y adaptación a las tendencias tecnológicas. Dentro del amplio catálogo de productos que ofrece la empresa, este trabajo se centrará en la línea de producción de álbumes fotográficos, uno de sus productos estrella.

El objetivo de este trabajo es modelar y analizar una línea robotizada para la producción de álbumes fotográficos utilizando el software de simulación de robots RobotStudio. Esto proporcionará los datos necesarios para calcular el beneficio que la optimización de este proceso puede suponer.

La Industria 4.0 ofrece pues grandes oportunidades para empresas como Hofmann, que están dispuestas a adoptar las nuevas tecnologías para mejorar sus procesos. Este trabajo demuestra, a través del modelado y simulación de una línea robotizada, cómo la digitalización y automatización pueden generar mayores beneficios, mejorando tanto la eficiencia operativa como la satisfacción del cliente.

1.2. OBJETIVO DEL DOCUMENTO

Este trabajo tiene como objetivo modelar y analizar una línea de producción de álbumes fotográficos utilizando RobotStudio, con el propósito de comparar la eficiencia entre una línea de producción parcialmente manual y una más automatizada.

Para llevar a cabo este objetivo se exploran las diferentes funcionalidades del programa, como el modelado de las distintas geometrías, la utilización de componentes inteligentes para simular el funcionamiento real de cada uno de los elementos de la línea o la programación en lenguaje RAPID de los movimientos de cada uno de los robots.

La simulación mediante RobotStudio permitirá obtener una visión detallada de cómo los robots y otros sistemas interactúan dentro de la línea de producción. Este enfoque permitirá no solo mejorar la eficiencia del proceso, sino también garantizar que la calidad del producto final cumpla con los altos estándares que los clientes esperan de Hofmann.

1.3. MOTIVACIÓN

Después de haber trabajado en el departamento de calidad de una empresa como Hofmann, he podido comprobar la necesidad de automatizar sus líneas de producción.

Durante mis prácticas, pude comprobar la excesiva cantidad de mermas que se producen, especialmente en las líneas de producción de álbumes, donde las pérdidas llegaban a casi el 50% durante el pico de producción que ocurre en la temporada de invierno.

Gran parte de estas mermas se debían a errores humanos. En la “peak”, término que utilizan para referirse a la temporada alta, la plantilla se triplica o incluso cuadruplica, lo que limita el tiempo de formación de los operarios.

En la última “peak” se implementó un sistema que minimiza la rotación de los trabajadores por diferentes áreas, permitiéndoles especializarse en tareas concretas. Esta medida logró una reducción significativa en las mermas; sin embargo, desde el departamento de calidad, el objetivo sigue siendo reducirlas al máximo.

Otra estrategia para disminuir los desperdicios fue la implantación de un robot en una parte de la línea de producción. Con esta medida se busca reducir las tareas repetitivas, permitiendo que los operarios se enfoquen en actividades más estratégicas y con menor riesgo, tanto para ellos como para el producto final.

Este proyecto se enfoca en desarrollar esta propuesta, justificando la adquisición del equipo mediante el incremento de la productividad, lo cual se traduce en beneficios para la empresa. Además, permite la redistribución de los trabajadores hacia tareas más especializadas y contribuye al logro de uno de los principales objetivos del departamento: la reducción de mermas.

CAPÍTULO 2. SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA

PARA LA MEJORA DE LA LÍNEA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

El primer paso del proyecto fue realizar una inspección visual a la línea. Resultado de la revisión se realizó un esquema del funcionamiento de esta, representado en la Figura 1.

Primeramente, llegan las tapas creadas en otra línea (Figura 1A) y se apilan en una mesa, donde la entapadora, simulada en este proyecto mediante el robot 1 (Figura 1B), se encarga de leer los códigos de barras de cada una y mandar a la impresora (“Xerox”, Figura 1C) el correspondiente pdf de ese álbum.

En paralelo, esos pdf están siendo impresos en la impresora, generando hojas tamaño A3, que pasan a la dobladora (“Córdoba”, Figura 1D), para ser dobladas por la mitad.

Posteriormente esas hojas pasan por la boquilla (figura 1E), donde se encolan para luego formar la tripa del álbum en el apilador (Figura 1F).

Al salir de éste, la tripa pasa por la prensa (Figura 1G), para seguidamente ser cortada a su tamaño correspondiente por la trilateral (Figura 1H).

A continuación, en función del tipo de álbum, vertical o cuadrado, este pasaría a una línea u otra. En cualquiera de estas bifurcaciones, el producto llegaría a un operario (figura 1I), que sería el encargado de comprobar que tapa y tripa pertenecen al mismo pedido, y retirar la tapa a la zona de rechazo (Figura 1J) en caso de que la tapa y la tripa no coincidan. En el supuesto caso de que no se encontrara la tapa correspondiente, se revisaría manualmente la zona de rechazo, por si hubiera sido apartada anteriormente, y, si no aparece, se mandaría a refabricar el pedido completo.

Una vez realizada la comprobación, el operario colocaría tapa y tripa en la encuadernadora (“Mitabook”, Figura 1K), donde se unirían para formar el álbum. Éste sería recogido por otro operario (Figura 1L) para su posterior lectura, embalaje y envío.

Al finalizar el turno, se escanearían las tapas restantes de la zona de rechazo para refabricar las tripas en el turno siguiente.

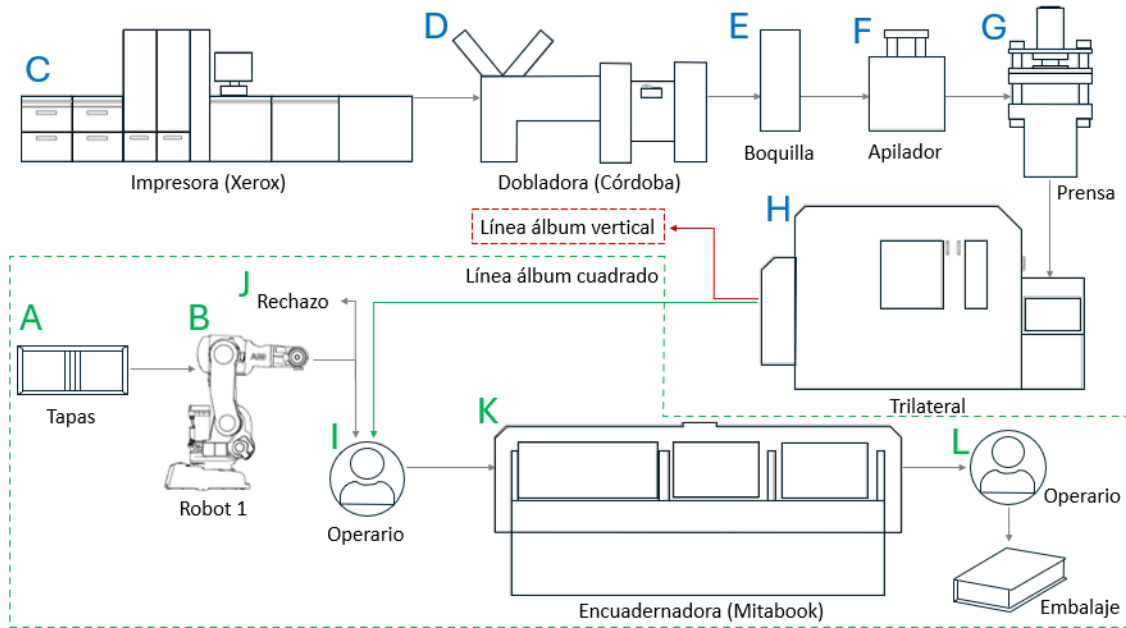


Figura 1. Diagrama de flujo de la línea original.

2.2. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA

En origen la empresa contaba con un final de línea para la producción de los álbumes fotográficos manual, en el que varios operarios eran los encargados de aplicar cola a la tapa del álbum con una brocha, para posteriormente unirlo a la tripa.

Con el paso de los años, la empresa ha decidido realizar inversiones para automatizar los procesos manuales y repetitivos, siendo uno de ellos el descrito anteriormente y objetivo de este trabajo.

Esta automatización comenzó con la compra de una encuadradora ("Mitabook", Figura 1K). Sin embargo, aunque la compra de esta máquina permitió aumentar considerablemente el volumen de producción, continuaba siendo un proceso parcialmente manual, ya que precisaba de un operario encargado de suministrarle las tapas y las tripas a la Mitabook, así como de retirar el álbum una vez montado.

En los meses posteriores a la compra de ésta, se automatizó la entrada de tripas a la encuadradora, así como la retirada de los álbumes, mediante cintas transportadoras y sensores de posición, llegando a finales de 2023 la propuesta de automatizar también la entrada de tapas y eliminar casi por completo la manipulación humana de la línea.

Esta propuesta se ha llevado a cabo a mediados de este año, 2024, mediante la implantación de un robot (Figura 2I) encargado de coger las tapas de la entapadora y suministrárselas a la Mitabook.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTográficos MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

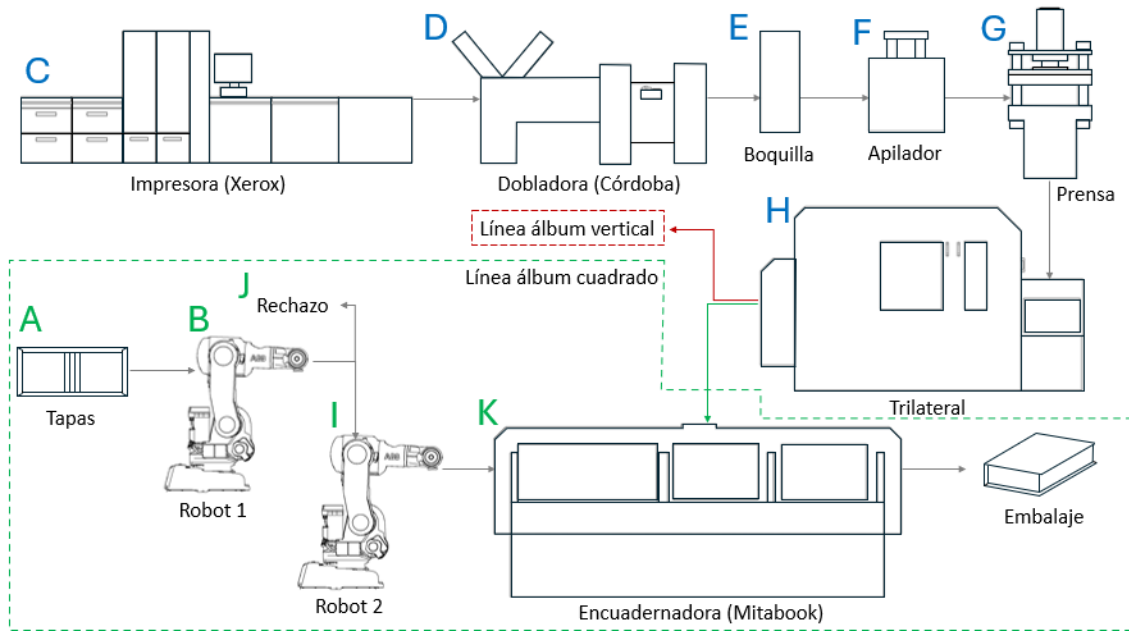


Figura 2. Diagrama de flujo de la línea automatizada.

CAPÍTULO 3. DIGITALIZACIÓN DE LA LÍNEA EN ROBOTSTUDIO

3.1. MODELADO DE LA LÍNEA

3.1.1. Creación de la estación

El software utilizado para realizar la digitalización de la línea es Robotstudio, un programa especializado en la simulación y programación de robots industriales.

Para comenzar el proyecto, debe crearse una estación. Es posible tanto crear una estación vacía, como comenzar con un robot. En este caso, se ha utilizado la segunda opción.

Para ello, se selecciona "Proyecto" y, después de nombrar y seleccionar la ubicación donde se va a guardar la estación, se selecciona la casilla "Incluir un Robot y un Controlador virtual" y se elige el modelo de robot a utilizar, en este caso, un IRB 140 6kg 0.81m.

3.1.2. Modelado de elementos de la línea

Para realizar una simulación de la línea acorde con la realidad, se han modelado la mayoría de los elementos que la componen.

Existen multitud de programas que disponen de las herramientas necesarias para el modelado de geometrías 3D, sin embargo, para profundizar más en Robotstudio y debido a que las geometrías no son de excesiva complejidad, se ha decidido utilizar esta misma plataforma para realizar el modelado de los elementos de la estación.

Se han utilizado dos herramientas, "Crear tetraedro" y "Crear cilindro". Ambas pueden encontrarse dentro de la pestaña Modelado, en el apartado de "Sólido".

Crear tetraedro

Esta herramienta permite crear prismas rectangulares (se alude la disonancia entre nombre y función de la pestaña "Crear tetraedro" a un error de traducción del programa).

Al seleccionar esta opción, se deben rellenar una serie de parámetros, siendo el primero el sistema de referencia que va a utilizarse, en este caso se ha utilizado el propio de la estación.

A continuación, se debe seleccionar el punto de esquina a partir del cual se generará el prisma rectangular. Para ello, resultan muy útiles las herramientas de selección de puntos indicadas en la Figura 3B.

Principalmente se han utilizado la segunda, que selecciona el punto central de una superficie; la tercera, que selecciona el punto medio de una arista; la cuarta, que selecciona las esquinas, y la quinta, que selecciona cualquier punto a lo largo de una arista.



Figura 3. Herramientas de selección

Seguidamente, se introduce la orientación. En la mayoría de los casos este campo se rellena automáticamente con ceros, a no ser que se desee girar el prisma, como, por ejemplo, para la creación de la dobladora (Figura 5), en ese caso se deben introducir los grados en el eje sobre el que desea girarse.

Por último, se escribe el tamaño del prisma, indicando longitud (eje X), anchura (eje Y) y altura (eje Z).

Crear cilindro

Como su nombre indica, esta herramienta nos permite crear cilindros.

Es muy similar a la anterior, manteniendo los parámetros de sistema de referencia, orientación y altura, sin embargo, tiene un par de diferencias.

En lugar de seleccionar el punto de esquina, en este caso se genera el cilindro a partir del punto central de la base.

Por otro lado, en lugar de longitud y anchura, se deben especificar el radio y el diámetro del cilindro.

Estas geometrías pueden unirse o restarse para crear otras más elaboradas. Para ello, se utilizan las operaciones de CAD incluidas en la pestaña de “Modelado”.

Principalmente se ha utilizado “Restar”, que crea un nuevo cuerpo sustrayendo el cuerpo del otro, y “Unión”, que crea un nuevo cuerpo a partir de la unión de otros dos.

En ambos casos existe la opción de conservar los cuerpos originales.

Para hacer más visuales los elementos de la estación, puede modificarse el color de éstos haciendo clic derecho y escogiendo la opción de “Seleccionar color...”. Para ello, puede seleccionarse tanto la pieza completa, como los cuerpos que la componen, además de una o varias caras de ésta. Estas opciones de selección de cuerpos se encuentran en la propia interfaz del programa, y corresponden a las indicadas en la Figura 3A.

3.1.2.1. Modelado de maquinaria

IMPRESORA

En la planta se utilizan multitud de modelos diferentes de impresoras para ajustarse a las especificaciones de cada material. En este caso, para los álbumes fotográficos, se utilizan dos modelos de impresoras de la marca Xerox, Iridesse (Figura 4A) e iGen5 (Figura 4B). Siendo muy similares entre ellos, el primero tiene geometrías más simples, por lo que se ha decidido utilizarlo como modelo.

Este modelo de impresora tiene capacidad de imprimir hasta 120 páginas por minuto (Prensa Digital Xerox Iridesse | SD, s. f.).



Figura 4. Modelado de la impresora.

DOBLADORA

La dobladora que utilizan todas las líneas de producción de álbumes fotográficos es la Córdoba 3 (Figura 5), de la marca Petratto.

Este modelo de dobladora realiza tanto el hendido como el posterior plegado de la hoja, a una velocidad máxima de 14000 piezas/h (MÁQUINA HENDIDORA PLEGADORA Y ENCOLADORA CORDOBA3 formato 52 x 120 cm, s. f.).

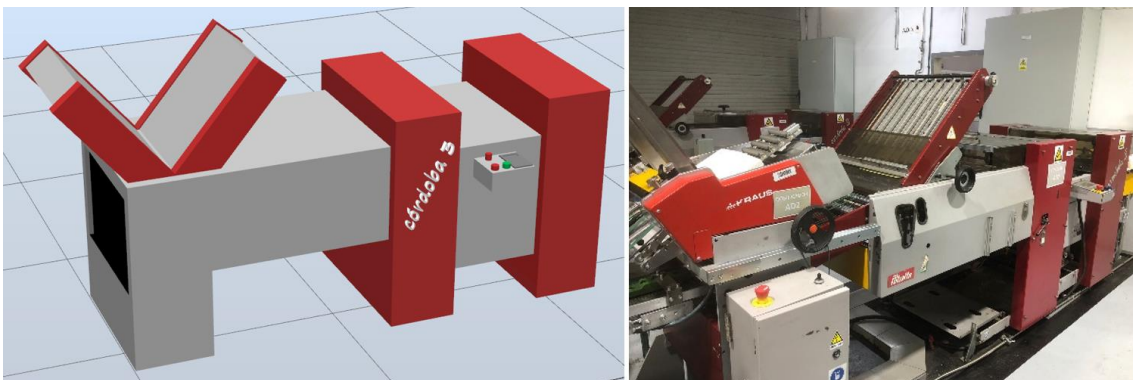


Figura 5. Modelado de la dobladora.

BOQUILLA Y APILADOR

Se han simplificado considerablemente las geometrías de estos elementos, modelando únicamente la carcasa exterior.

La boquilla aplica cola a la hoja a la misma velocidad a la que va la cinta, por lo tanto, no afectaría al cálculo de tiempos.

El apilador tarda dos segundos en sacar el álbum una vez apilado.

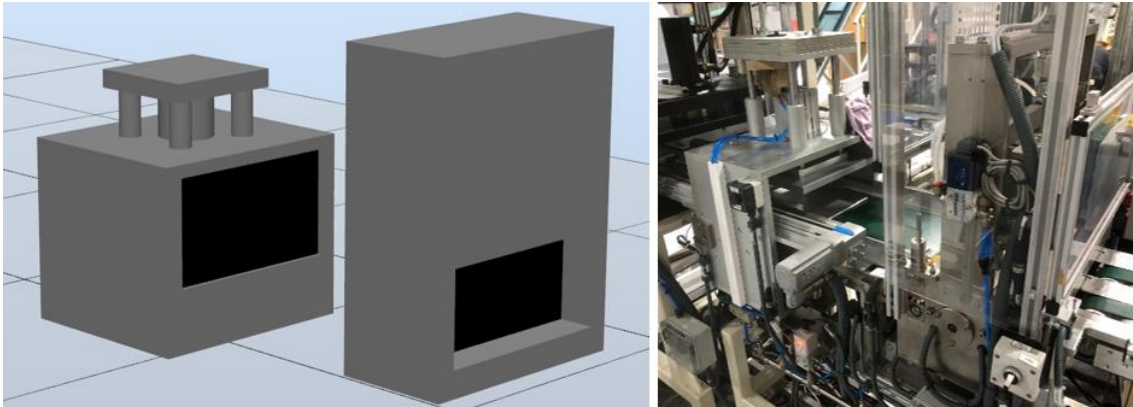


Figura 6. Modelado de la boquilla y el apilador.

PRENSA

El modelado de este elemento es más complejo. Se deben modelar por separado cada una de las partes móviles, para posteriormente juntarlas creando un mecanismo.

Dentro de la estructura del mecanismo, esas piezas se denominan eslabones. Los distintos eslabones de un mecanismo se mueven a lo largo de ejes o alrededor de ellos.

Para poder distinguir mejor su funcionamiento, se ha prescindido de modelar la carcasa de protección que la envuelve.

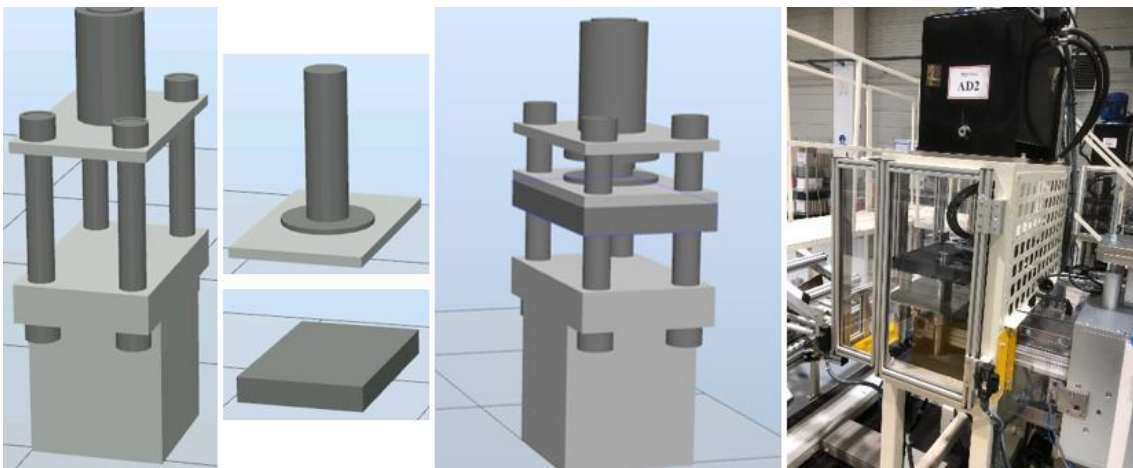


Figura 7. Modelado de la prensa.

TRILATERAL

Todas las líneas confluyen en la misma cortadora, la HT-1000V (Figura 8), de la marca Horizon.

Esta cortadora es una guillotina trilateral, que permite ajustarse a los diferentes tamaños y espesores de libros tanto manualmente desde una pantalla táctil, como mediante la lectura de un código QR impreso en el álbum.

Hace un máximo de entre 400 y 1000 libros/h, dependiendo de las condiciones en las que trabaje. Las variaciones de tamaño y espesor a la entrada, junto con los distintos tamaños requeridos para el producto final, reducen considerablemente la velocidad de producción (Horizon | Products, s. f.).

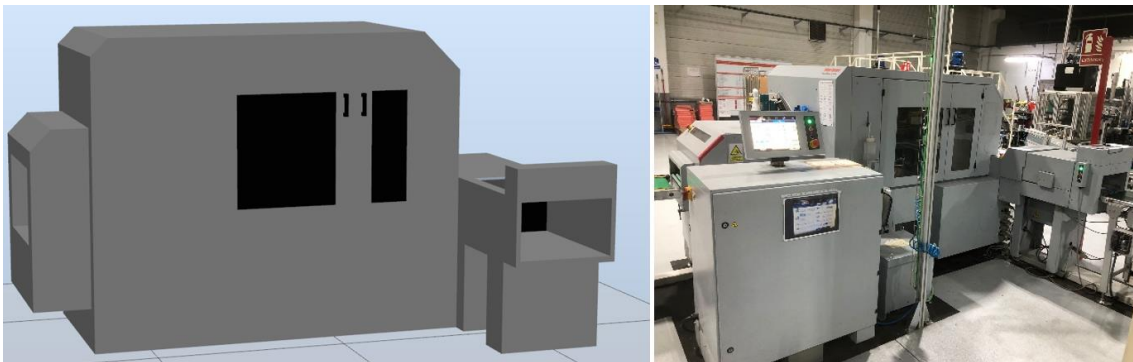


Figura 8. Modelado de la trilateral.

ENCUADERNADORA

Las dos encuadernadoras que se utilizan en las líneas finales de producción son ambas el modelo denominado mitabook (Figura 9), de la marca digibook technology.

En este caso, la única forma de cambiar de formato sería a través de la pantalla táctil, motivo por el cual la empresa ha decidido tener varios ejemplares de esta máquina. Esto permite producir a la vez dos modelos diferentes de álbum sin necesidad de tener un operario cambiando constantemente el formato.

La mitabook tiene una velocidad máxima de 7 libros/min (Mitabook | Digibook Technology, s. f.).

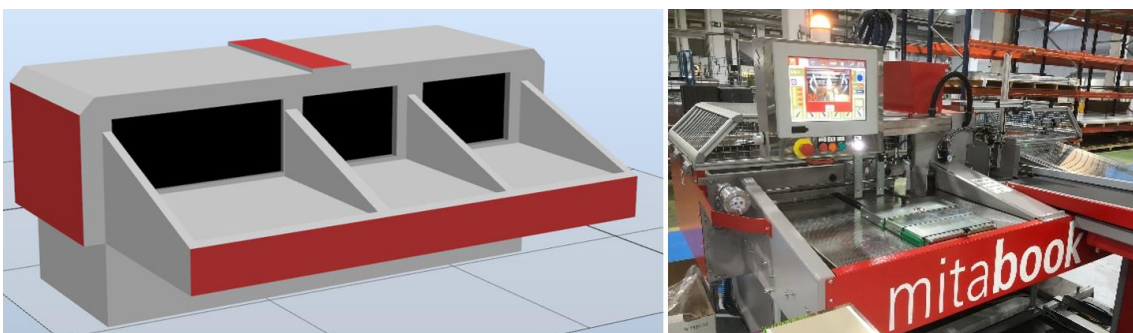


Figura 9. Modelado de la encuadernadora.

3.1.2.2. Modelado del álbum

Se han simplificado las geometrías de cada uno de los elementos que conforman el álbum en las diferentes etapas de su producción.

Primeramente, se ha modelado el papel tamaño A3 (Figura 10A) que sale de la impresora.

A continuación, se ha creado el papel tamaño A4 (Figura 10B), que correspondería al resultado de doblar el papel A3 por la mitad mediante la Córdoba.

Siguiendo con el proceso, se ha creado la tripa sin cortar (Figura 10C) que saldría del apilador al juntar el número de páginas que contenga el álbum.

A partir de esta tripa, se han creado la tripa del álbum cuadrado (Figura 10D) y la tripa del álbum vertical (Figura 10G), resultado de cortar la tripa original en la trilateral.

Asimismo, se han creado las tapas para ambos tipos de álbum: la tapa para el álbum cuadrado (Figura 10E) y la tapa para el álbum vertical (Figura 10H). A estas tapas se les ha aplicado un color marrón para simular los tres cartones que las forman, que proporcionan rigidez al álbum.

Por último, se han modelado los álbumes acabados, tanto el cuadrado (Figura 10F) como el vertical (Figura 10I), que serían el producto de juntar las tapas con las tripas correspondientes.

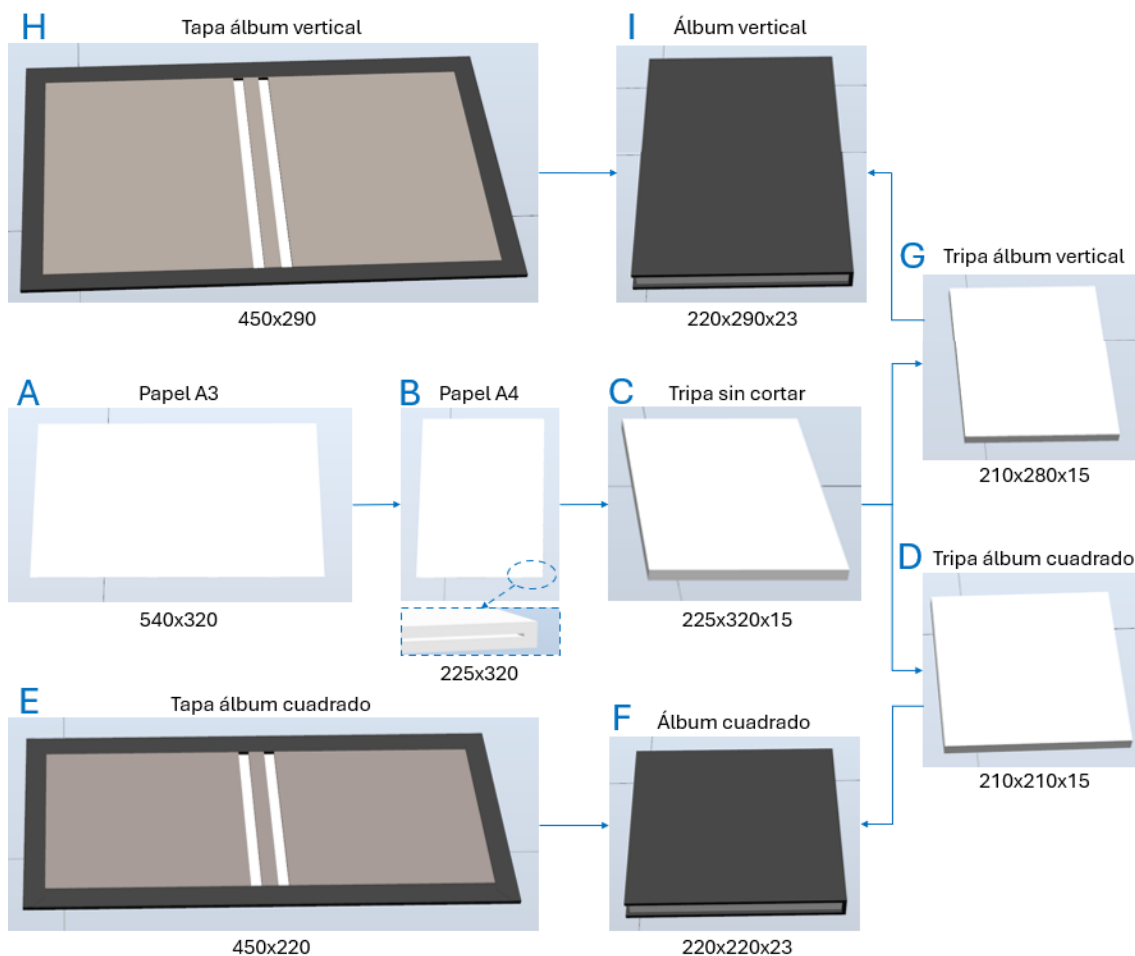


Figura 10. Modelado del álbum en cada una de las etapas de producción.

3.1.2.3. Modelado de otros elementos de la estación

TRANSPORTADORA

En la línea se utilizan tanto transportadoras de banda como de rodillos, sin embargo, para la simulación se ha modelado únicamente la segunda, ya que la utilización de una u otra no afecta al desarrollo del trabajo.

Se ha creado una pieza base de 75 x 48 x 13 cm (Figura 11) a partir de las medidas tomadas en planta, que serviría de elemento modular para la creación de cintas de mayores dimensiones.

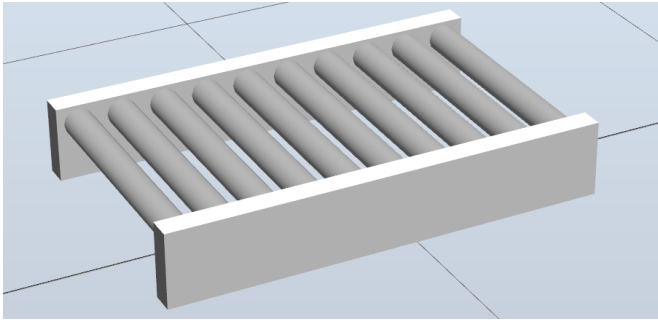


Figura 11. Modelado de la cinta transportadora.

SOPORTES DE LOS ROBOTS

Para situar los robots a la altura correspondiente se han modelado unos soportes genéricos.

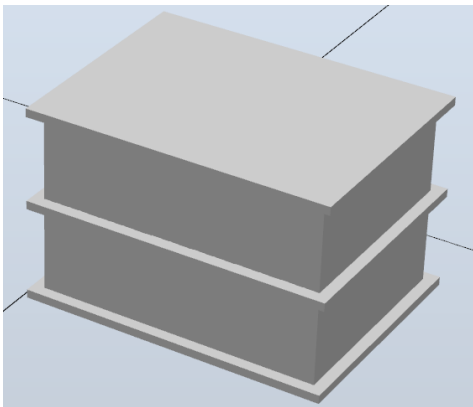


Figura 12. Modelado de los soportes de los robots

MESAS DE TAPAS Y MESA DE RECHAZO

Para simular la entapadora, se ha utilizado el robot 1 junto a un par de mesas (Figura 13A y 13B).

A su vez, se ha modelado la zona de rechazo de tapas mediante otra mesa de menores dimensiones (Figura 13C).

Por último, se ha creado la mesa utilizada en la línea manual, que cumple las funciones de las otras tres, permitiendo colocar tapas para su lectura en el centro de la mesa, tapas leídas en la parte izquierda (indicada en color verde en la figura 13D) y tapas rechazadas por error en la parte izquierda, que actuaría como zona de rechazo (indicada en color rojo en la figura 13D).

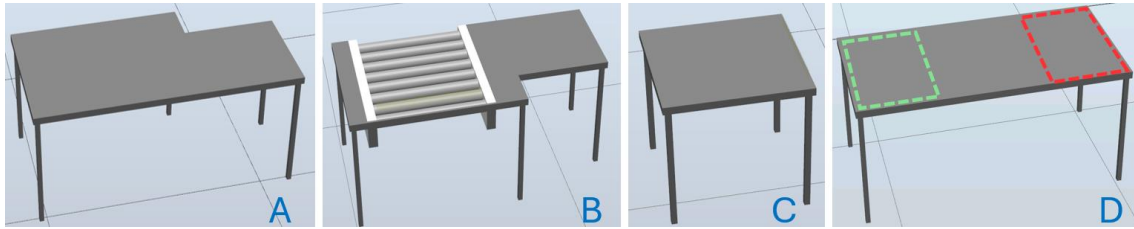


Figura 13. Modelado de las mesas.

3.1.3. Construcción de la línea

Para definir la ubicación de cada elemento, se han utilizado varias herramientas de posición ofrecidas por Robotstudio.

Para acceder a ellas, se debe hacer clic derecho sobre el elemento deseado. Se abrirá un cuadro de diálogo en el que seleccionar “Posición”, y a continuación se abrirá un segundo cuadro de diálogo con todas las opciones de posicionamiento (Tabla 1).

Tabla 1. Herramientas de posicionamiento.

Herramienta		Explicación
Fijar posición		Establece la posición de un objeto con respecto al sistema de coordenadas especificado.
Posición de offset		Mueve un grupo de objetos según la distancia especificada
Girar		Hace rotar el elemento seleccionado
Situar	Un punto	Mover un grupo de objetos desde un punto al otro
	Dos puntos	Mover objetos según la relación entre los planos
	Tres puntos	Mueva los objetos según la relación entre los tres puntos
	Base de coordenadas	Mover los objetos al marco seleccionado
	Dos bases de coordenadas	Mover los objetos al segundo marco usando el primer marco como referencia

En este caso, se ha utilizado “Fijar posición” para la maquinaria, “Situar Un punto” para las cintas transportadoras, concretamente para situarlas una a continuación de la otra; y finalmente “Fijar posición” junto a “Posición de offset” para las partes del álbum (hojas, tripa y tapa).

Las ubicaciones de cada elemento se han definido según el plano actual de la planta (Figura 14), ajustando la línea manual para garantizar que ambas operen bajo las mismas condiciones (igual longitud de las cintas), de modo que no influya en la toma de tiempos de producción.

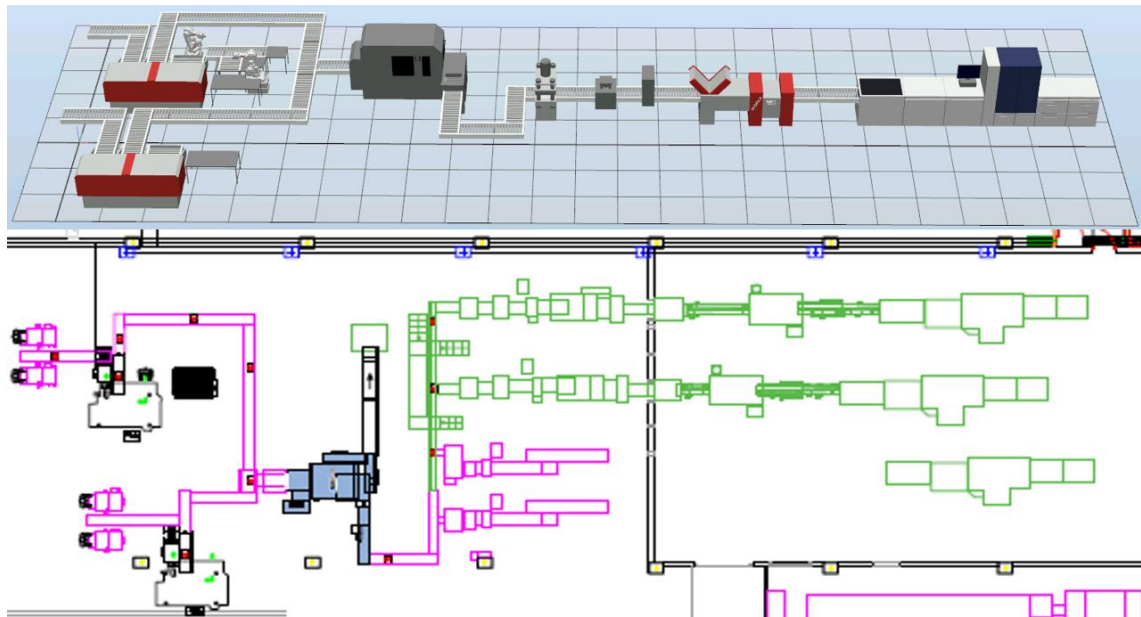


Figura 14. Plano de la planta y línea modelada en Robotstudio.

3.2. DESARROLLO DE LA LÓGICA DE LA ESTACIÓN

Con el objetivo de realizar la simulación de la línea, se han creado una serie de componentes inteligentes que corresponden a los indicados en la Figura 15.

Estos son los encargados de realizar las copias de los distintos elementos del álbum, simular el movimiento de estos elementos, controlar tiempos, recrear el funcionamiento de sensores...

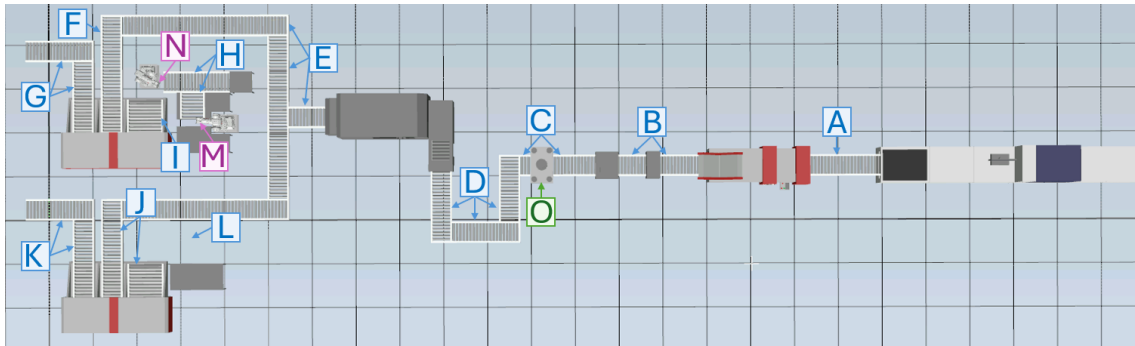


Figura 15. Componentes inteligentes de la simulación.

3.2.1. Diseño de los componentes inteligentes

Los componentes inteligentes son elementos de simulación que permiten realizar interacciones complejas en RobotStudio, permitiendo simular elementos del mundo real, tales como sensores y actuadores. Además, pueden comunicarse y coordinarse con otros componentes inteligentes o con el sistema en general, lo que permite la creación de simulaciones complejas y realistas.

A continuación, se incluye una tabla con los principales términos que se han empleado en el desarrollo de los componentes inteligentes (*Operating Manual - RobotStudio, s. f.*).

Tabla 2. Terminología de componentes inteligentes

Término	Definición
Propiedad	Un objeto conectado a un componente inteligente que tiene un valor, tipo y otras características concretas. El valor de la propiedad es utilizado para controlar el comportamiento de componente inteligente.
Enlazamientos de [propiedad]	Conecta el valor de una propiedad al valor de otra propiedad.
Señal de [E/S]	Un objeto conectado a un componente inteligente que tiene un valor y una dirección (entrada/salida), de forma similar a las señales de E/S de un controlador de robot. El valor de la señal es utilizado para controlar el comportamiento del componente inteligente.
Conexión de [E/S]	Conecta el valor de una señal al valor de otra señal.

3.2.1.1. Cinta_1

La Cinta_1 (Figura 15A) se encarga de transportar las hojas A3 desde la salida de la impresora hasta la entrada de la dobladora.

Este componente inteligente consta de una entrada y una salida digitales (Tabla 3). La entrada "di_papelA3_s.xerox" indica que debe crearse una hoja en la impresora, mientras que la salida "do_papelA3_e.cordoba" señala que esta hoja ha llegado a la dobladora.

Tabla 3. Entradas y salidas Cinta_1.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_papelA3_s.xerox	do_papelA3_e.cordoba

El funcionamiento del componente Cinta_1 es el siguiente: al activarse la entrada, se crea una copia del objeto "O.1.Papel A3" gracias al componente básico "Source". Para ello, en las propiedades del componente se coloca dentro de "Source" el objeto deseado, y se enlaza "Copy" a la propiedad "Back" del componente "Queue". Gracias a esto, esta copia entra en una cola de objetos, que se mueve gracias al componente "LinearMover" a 1000mm/s en la dirección de la cinta, simulando el movimiento de las hojas sobre ella. Al final de la cinta hay un sensor, creado con el componente "PlaneSensor", que detecta el objeto y lo saca de la cola a la vez que lo elimina mediante el componente "Sink", y activa la señal de salida.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 16.

3.2.1.2. Cinta_2

La Cinta_2 (Figura 15B) se encarga de transportar las hojas A4, resultado de pasar las hojas A3 por la dobladora, hasta el apilador, pasando antes por la boquilla.

Este componente, al igual que el anterior, consta de una entrada y una salida digitales (Tabla 4). La entrada "di_papelA4_s.cordoba" indica que una hoja A4 puede salir de la dobladora, mientras que la salida "do_papelA4_e.apilador" señala que esta hoja ha llegado al apilador.

Tabla 4. Entradas y salidas Cinta_2.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_papelA4_s.cordoba	do_papelA4_e.apilador

El diseño del componente Cinta_2 (Figura 17) sigue la misma estructura que el componente Cinta_1, por lo que no se va a entrar en detalle sobre su funcionamiento.

La principal diferencia entre ambos, restando las posiciones de los sensores, se haya en el objeto a copiar mediante el componente "Source". En este caso, al activarse la entrada se creará una copia del objeto "O.2.Papel A4".

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

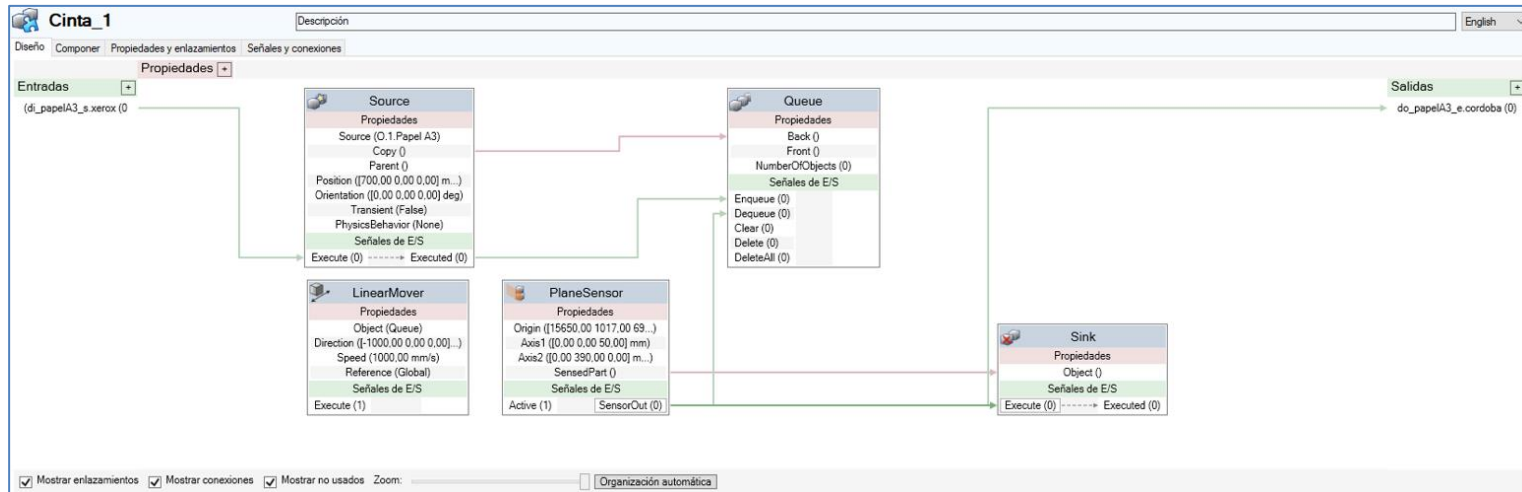


Figura 16. Diseño Componente Inteligente “Cinta_1”

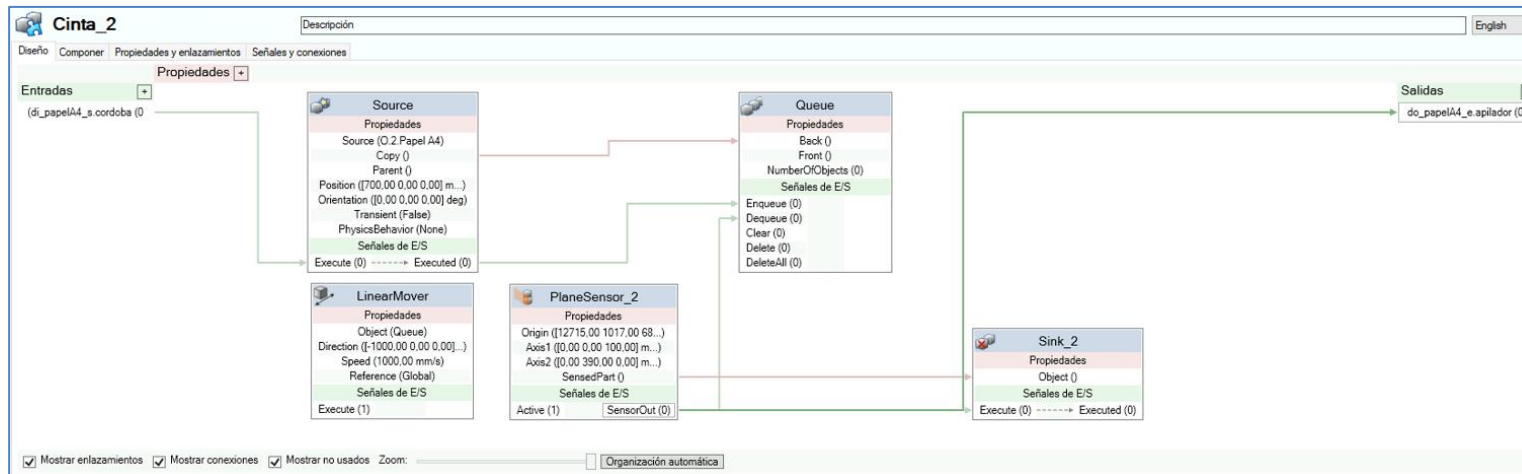


Figura 17. Diseño Componente Inteligente “Cinta_2”

3.2.1.3. Cinta_3

La Cinta_3 (Figura 15C) se encarga de transportar las tripas formadas en el apilador hasta la salida de la prensa.

Este componente inteligente, a diferencia de los dos anteriores, consta de dos entradas y una salida digitales (Tabla 5). La entrada “di_Tripasin_s.apilador” indica que ha finalizado el proceso de apilado y puede salir una tripa del apilador. Por otro lado, la entrada y salida restantes están relacionadas con el componente inteligente M.4.Prensa, siendo la entrada “di_prensado_finalizado” la indicadora de la finalización de la simulación del prensado de la tripa, mientras que la salida “do_iniciar_prensa” muestra la posibilidad de comenzar esta simulación al estar la tripa posicionada en la prensa.

Tabla 5. Entradas y salidas Cinta_3.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_prensado_finalizado	do_iniciar_prensa
	di_Tripasin_s.apilador	

Este componente inteligente tiene un diseño basado en la repetición de la misma estructura de componentes, uno para cada parte de cinta. En total quedaría dividida la cinta en 3 partes separadas por sensores: previa a la prensa, en el interior de la prensa, y posterior a la prensa.

La estructura de componentes está formada por un sensor, “PlaneSensor”, que detecta la tripa al entrar a la cinta, y la mete en una cola de objetos creada por el componente “Queue”, que se mueve gracias al componente “LinearMover” a 1000mm/s en la dirección de la cinta. Al encontrarse la tripa otro sensor, lo saca de la cola, a la vez que lo mete en la cola del siguiente componente “Queue”, convirtiéndose en el primer sensor de la segunda estructura.

Se ha añadido además una expresión lógica, “((NOT A) AND B) OR C”, para evitar que una tripa entre a la prensa habiendo otra ya dentro.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 18.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

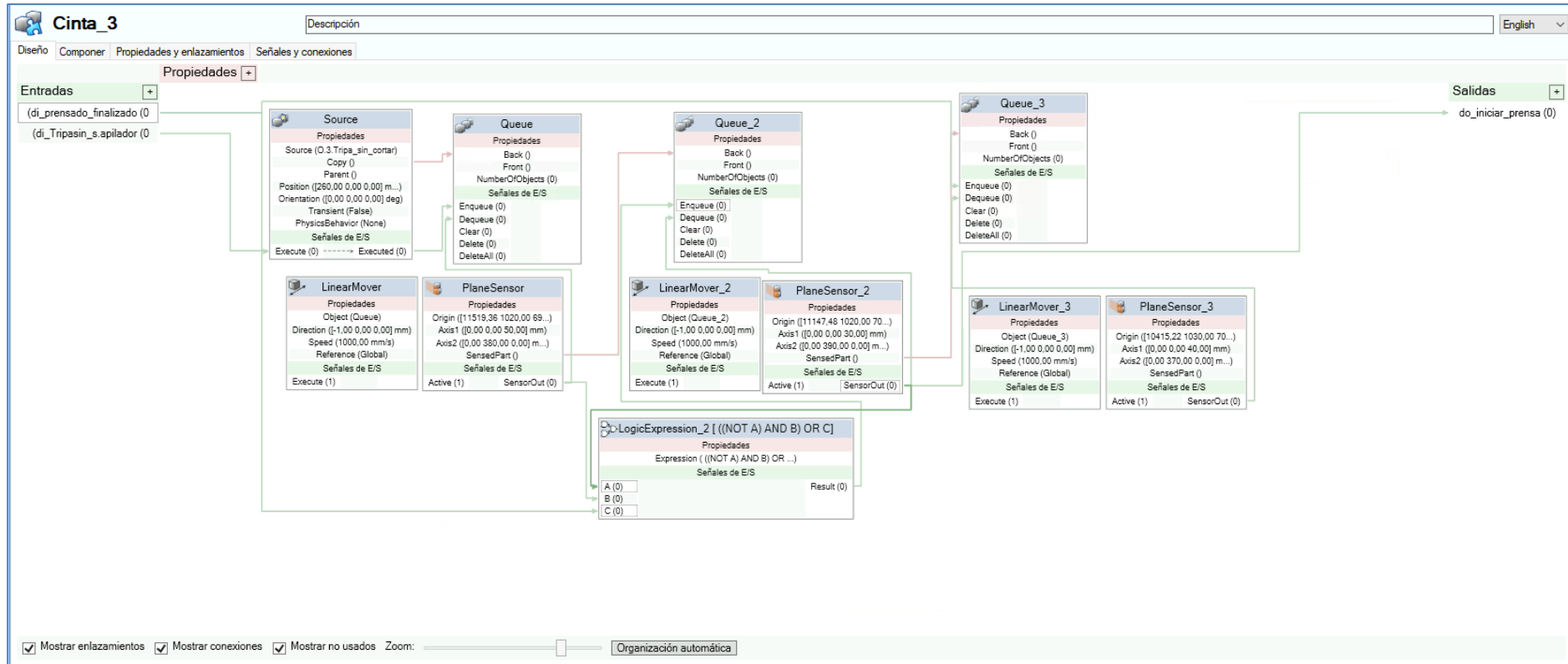


Figura 18. Diseño Componente Inteligente “Cinta_3”

3.2.1.4. Cinta_4

La Cinta_4 (Figura 15D) se encarga de transportar las tripas prensadas hasta la entrada de la trilateral.

Este componente inteligente es el único que no necesita de una entrada, constando únicamente de una salida digital (Tabla 6). Esta salida “do_Tripasin_e.trilateral” señala que la tripa ha llegado a la trilateral.

Tabla 6. Entradas y salidas Cinta_4.

	Entradas	Salidas
Digitales	-	do_Tripasin_e.trilateral

Este componente inteligente sigue el mismo diseño basado en la repetición de la estructura de componentes mencionada en el apartado anterior, una para cada una de las tres cintas separadas que lo forman.

Al llegar al final de la última cinta, se activa la señal de salida, y pasados dos segundos, se elimina mediante el componente “Sink”. Esta espera se realiza mediante una puerta lógica NOP, que activa su salida al activarse su entrada, con un retraso de dos segundos.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 19.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

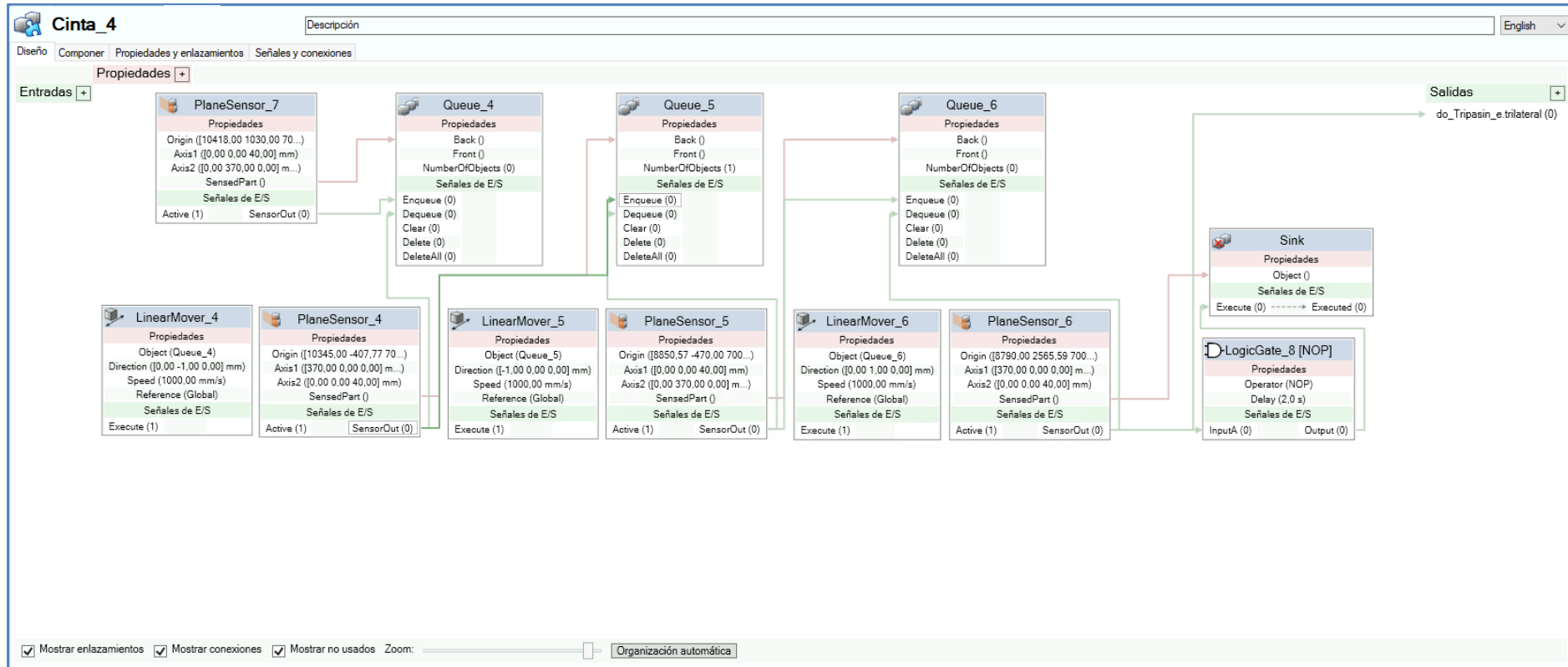


Figura 19. Diseño Componente Inteligente "Cinta_4"

3.2.1.5. Cinta_6

La Cinta_6 (Figura 15E) se encarga de transportar las tripas cortadas en la trilateral hasta las cintas de entrada a las mitabooks, eligiendo la dirección de la cinta que van a recorrer en función del tipo de álbum que se esté produciendo.

Este componente inteligente consta de dos entradas y dos salidas digitales (Tabla 7). Cuando la entrada “di_selector_tipo” está a 0, significa que ese álbum es cuadrado, y cuando está a 1, que es vertical. Por otro lado, la entrada “di_tripas_e.trilateral” indica que la tripa ha sido cortada a su tipo correspondiente de álbum, y puede pasar a la cinta, mientras que las salidas “do_tripasLP_s.cinta_menosy” y “do_tripasLS_s.cinta_massy” señalan que esa tripa, ha llegado al final de su cinta correspondiente, en función también del tipo de álbum, y están disponibles para pasar a la mitabook.

Tabla 7. Entradas y salidas Cinta_6.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_selector_tipo	do_tripasLP_s.cinta_menosy
	di_tripas_e.trilateral	do_tripasLS_s.cinta_massy

Este componente inteligente tiene dos modos de funcionamiento, en función del selector.

Cuando la entrada “di_selector_tipo” está a 1, la tripa tiene el formato vertical. En ese caso, mediante la puerta lógica AND, en el momento en que se active la otra entrada indicando que la tripa ha sido cortada, se activará el componente “Source”, creando una copia del objeto “O.5.Tripas_L-Portrait”. Esta copia entrará en una cola mediante el componente “Queue” y se repetirá la estructura descrita en el componente anterior, dirigiendo la tripa a la línea manual.

Por el contrario, cuando la entrada “di_selector_tipo” está a 0, la tripa tiene el formato cuadrado. Para poder activar el componente “Source”, en este caso, previo a la puerta lógica AND se añadirá una puerta lógica NOT, que invertirá el valor de la entrada convirtiéndolo en 1. Una vez activo el componente “Source”, se creará una copia del elemento “O.5.Tripas_L-square”, y el esquema de funcionamiento será el mismo que para el otro tipo de álbum, con la cinta dirigiendo la tripa hacia la línea automatizada.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 20.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

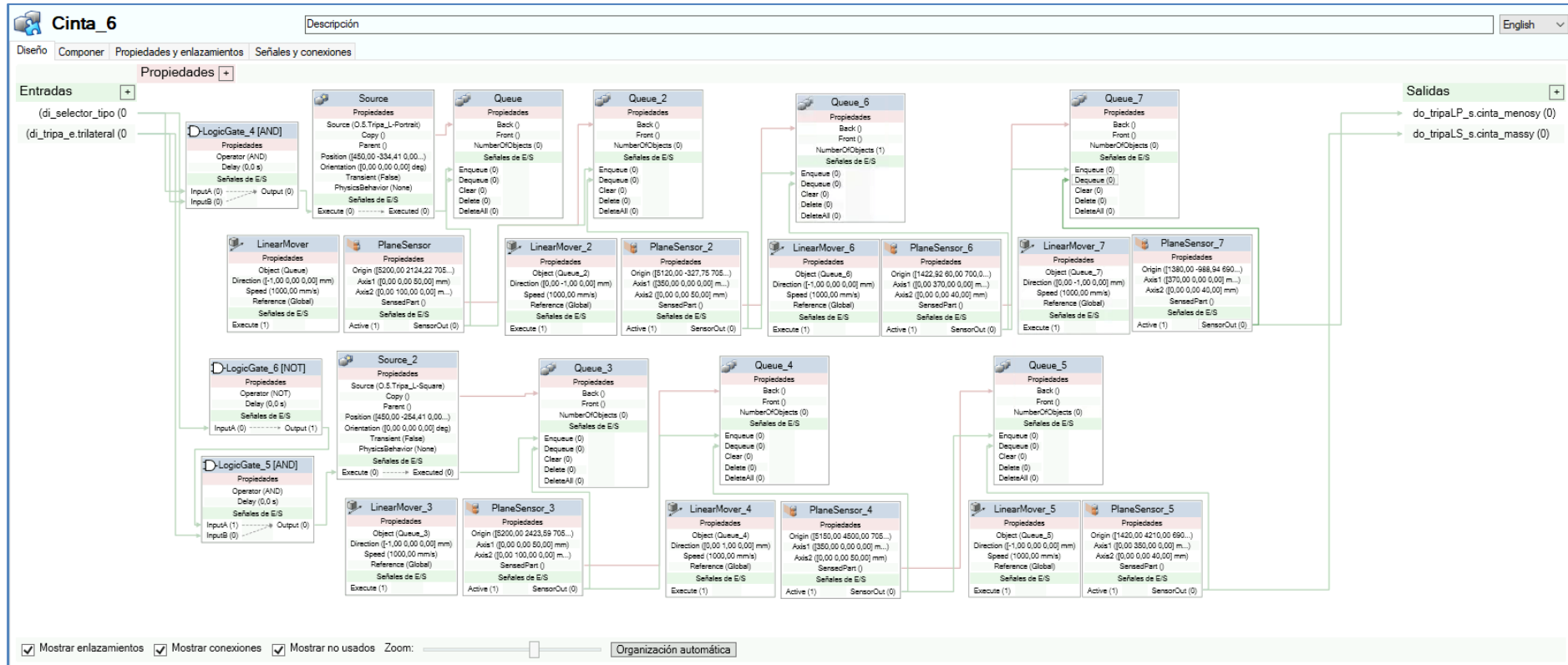


Figura 20. Diseño Componente Inteligente “Cinta_6”

3.2.1.6. Cinta_7

La Cinta_7 (Figura 15F) se encarga de transportar las tripas cuadradas hasta la entrada de la mitabook.

Este componente inteligente consta de dos entradas digitales (Tabla 8). Cuando la entrada “di_error” está a 0, significa que esa tapa coincide con la tripa de la cinta 6, mientras que cuando está a 1, no coinciden. Por otro lado, la entrada “di_tripals_s.cinta6” señala que la tripa cuadrada puede pasar a la mitabook.

Tabla 8. Entradas y salidas Cinta_7.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_tripals_s.cinta6	-
	di_error	

Este componente inteligente sigue la misma estructura que la Cinta_4 formada por sensores, colas de objetos, manipuladores del movimiento y el componente de eliminación.

Cabe destacar en este caso, que el primer movimiento sería el de entrada a la cinta 7 desde el punto de espera al final de la cinta 6, y el segundo movimiento sería el de recorrer la cinta 7.

Se ha creado esta separación mediante ese punto de espera para comparar si la tripa corresponde a la tapa que habría leído el robot.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 21.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

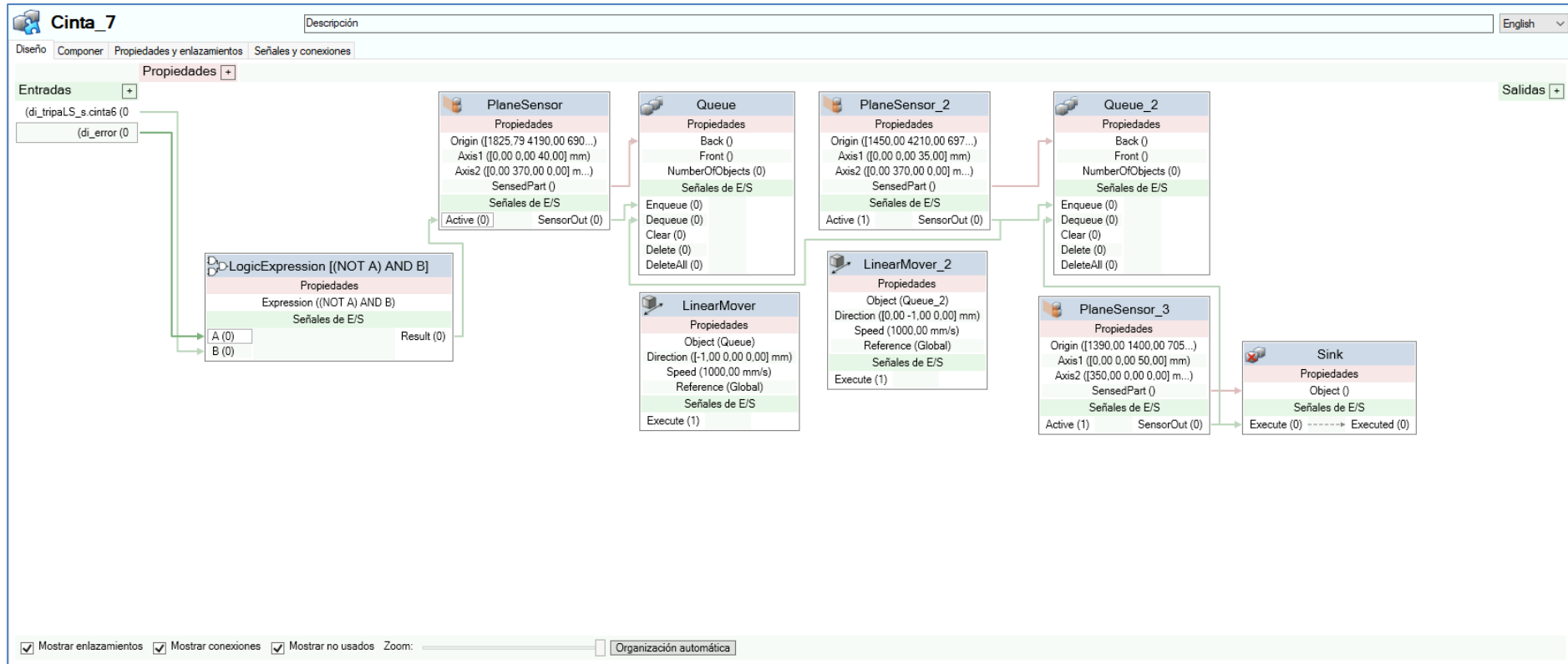


Figura 21. Diseño Componente Inteligente “Cinta_7”

3.2.1.7. Cinta_8

La Cinta_8 (Figura 15G) se encarga de transportar los álbumes cuadrados finalizados desde la salida de la mitabook hasta la zona de lectura y embalaje.

Este componente inteligente, al igual que el anterior, consta únicamente de una entrada digital (Tabla 9). La entrada “di_libro_s.mitabook” indica que el álbum cuadrado ha finalizado su proceso de encuadernado y puede salir de la mitabook, mientras que la salida “do_libro_e.labeller” señala que el álbum ha terminado su recorrido por la cinta y se encuentra en la zona de lectura y embalaje.

Tabla 9. Entradas y salidas Cinta_8.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_libro_s.mitabook	-

De nuevo, este componente inteligente sigue la misma estructura que los tres anteriores,

En este caso al activarse la señal de entrada, se crea una copia del objeto “O.8.Libro” mediante un componente “Source”. A continuación, se metería ese objeto en una cola, y se repetiría dos veces la estructura descrita para la Cinta_4, para finalmente eliminar el libro y sacarlo de la cola.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 22.

El componente inteligente Cinta_10 (Figura 15K) se diseña de forma homóloga a éste, y se puede encontrar en la Figura 23.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

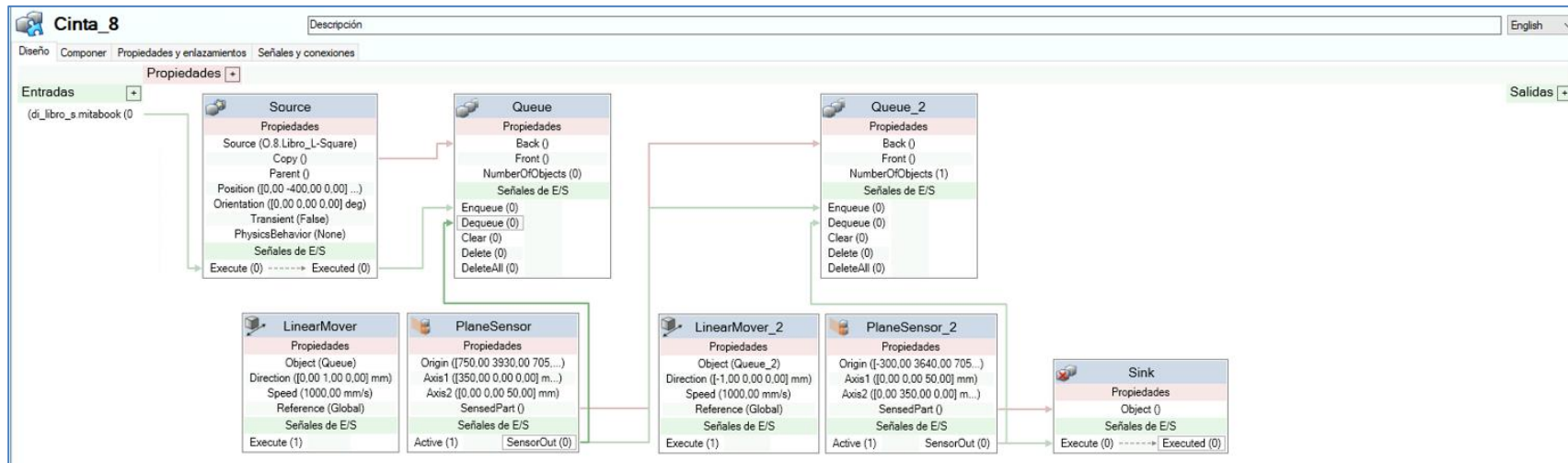


Figura 22. Diseño Componente Inteligente “Cinta_8”

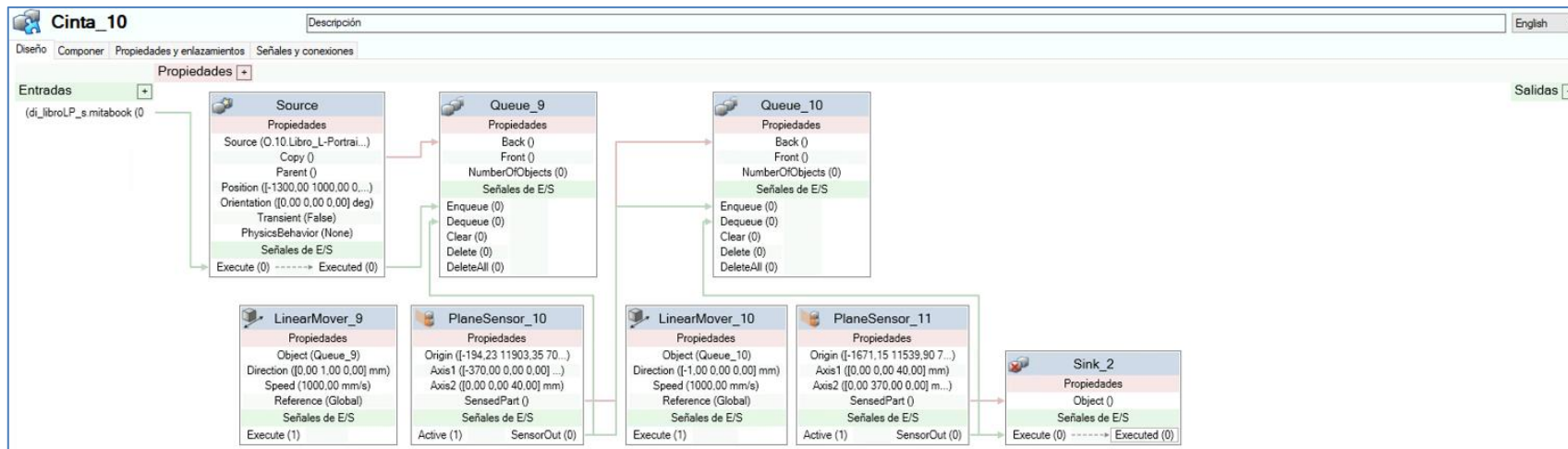


Figura 23. Diseño Componente Inteligente “Cinta_10”

3.2.1.8. Cinta_0.1

La Cinta_0.1 (Figura 15H) se encarga de transportar las tapas leídas por el robot 1, hasta el robot 2, o hasta la zona de rechazo, en función de si la tripa que haya en la cinta 6 coincide con esa tapa o no.

Este componente inteligente consta de dos entradas y una salida digital (Tabla 10). La entrada “di_error” indicaría si coinciden o no tapa y tripa, al igual que en el componente inteligente Cinta_7. Por otro lado, la entrada “di_tapa_en_pos” indica que hay una tapa que ya ha sido leída por el robot 1 y se encuentra al inicio de la cinta, además de una tripa al final de la cinta 6.

La salida “do_tapa_e.robot2” señala que la tapa se encuentra al final de la cinta y está disponible para ser recogida por el robot 2.

Tabla 10. Entradas y salidas Cinta_0.1.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_error	do_tapa_e.robot2
	di_tapa_en_pos	

Este componente inteligente tiene dos modos de funcionamiento, dependiendo de si hay un error o no al comparar tapa con tripa.

Al activarse la entrada “di_tapa_en_pos”, se activa un sensor que detecta la tapa y la mete en una cola, que se movería hasta llegar a la segunda cinta.

En caso de error, estaría activa la entrada “di_error”, ejecutando un “LinearMover” conectado a un componente “Queue” para activar la cinta en sentido positivo del eje X y llevar la tapa hasta la zona de rechazo.

En caso contrario, se ejecutaría otro “LinearMover” en sentido opuesto para llevar la tapa hasta el robot 2. Para mantener este componente activo, se ha empleado un “LogicSRLatch”, que convertiría el pulso de la entrada digital a una señal constante, hasta activarse un sensor al llegar al final de la cinta. En ese momento, se activaría la salida digital.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 24.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

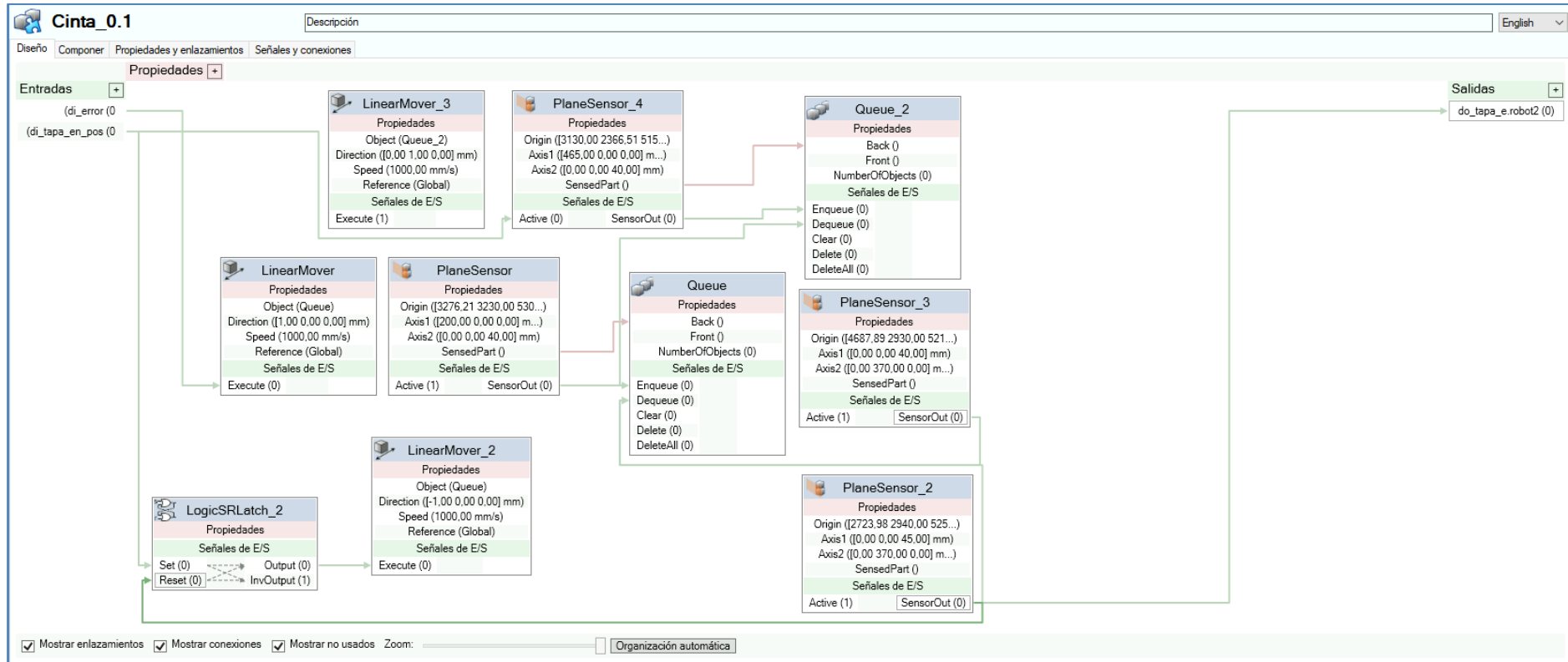


Figura 24. Diseño Componente Inteligente "Cinta_0.1"

3.2.1.9. Cinta_0.2

La Cinta_0.2 (Figura 15l) se encarga de transportar las tapas colocadas por el robot 2, hasta la mitabook.

Este componente inteligente consta de una salida digital (Tabla 11). Esta salida, “do_tapa_e.mitabook”, señala que esta tapa ha llegado al final de la cinta, entrando en la mitabook.

Tabla 11. Entradas y salidas Cinta_0.2.

	Entradas	Salidas
Digitales	-	do_tapa_e.mitabook

Este componente inteligente utiliza en su diseño una estructura similar a la descrita para la cinta_4: un sensor, en este caso “VolumeSensor”, detecta la tapa al ser colocada por el robot 2 en la cinta, y la mete en una cola de objetos creada por el componente “Queue”, que se mueve gracias al componente “LinearMover” a 1000mm/s en la dirección de la cinta. Al final de la cinta hay otro sensor, un “PlaneSensor”, que detecta el objeto y lo saca de la cola, a la vez que lo elimina mediante el componente “Sink”, y activa la señal de salida.

La principal diferencia, quitando el hecho de utilizar un sensor volumétrico en lugar de uno superficial, es el retraso de 0.5 segundos a la hora de meter la tapa en la cola, creado utilizando los componentes “StopWatch” y “Comparer”. Este retraso se ha incluido en el diseño para evitar la activación de la cinta antes de que el robot 2 desactive la ventosa (apartado 3.2.1.13).

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 25.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

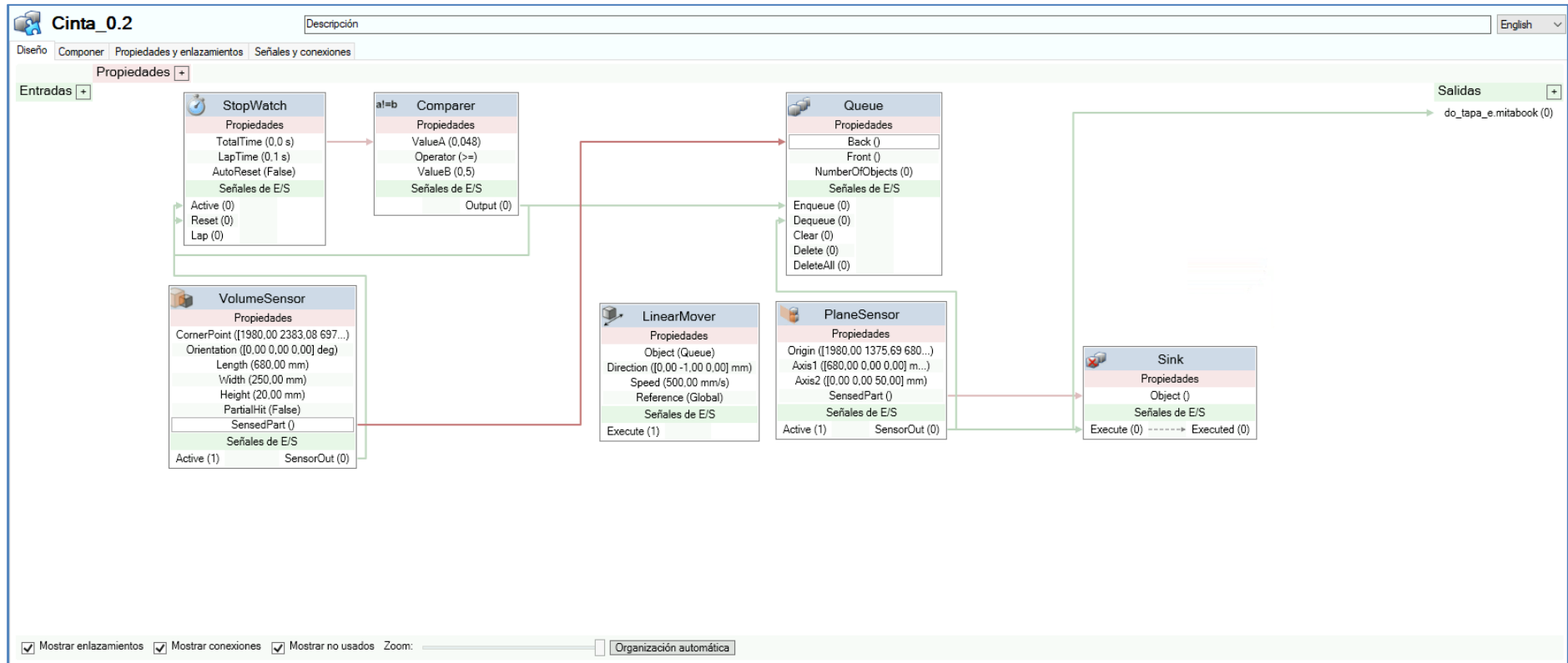


Figura 25. Diseño Componente Inteligente "Cinta_0.2"

3.2.1.10. Cinta_9

La Cinta_9 (Figura 15J) se encarga de meter tanto las tapas como las tripas en la mitabook.

Este componente inteligente consta únicamente de una salida digital, “do_tripalP_e.mitabook” (Tabla 12), que se activa al entrar la tripa en la mitabook.

Tabla 12. Entradas y salidas Cinta_9.

	Entradas	Salidas
Digitales	-	do_tripalP_e.mitabook

Este componente inteligente lleva a la vez el funcionamiento de las dos cintas de entrada a la mitabook. Al detectarse que hay tanto una tapa como una tripa en sus respectivas cintas, se activa una puerta lógica AND, que manda una señal a dos componentes “Queue”, almacenándose en uno la tapa y en el otro la tripa. Gracias a dos “LinearMover” conectados a esas colas, la tapa y la tripa se mueven a la misma velocidad hasta ser detectados por dos sensores bidimensionales en el interior de la mitabook, momento en el cual son eliminados gracias a dos componentes “Sink”.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 26.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

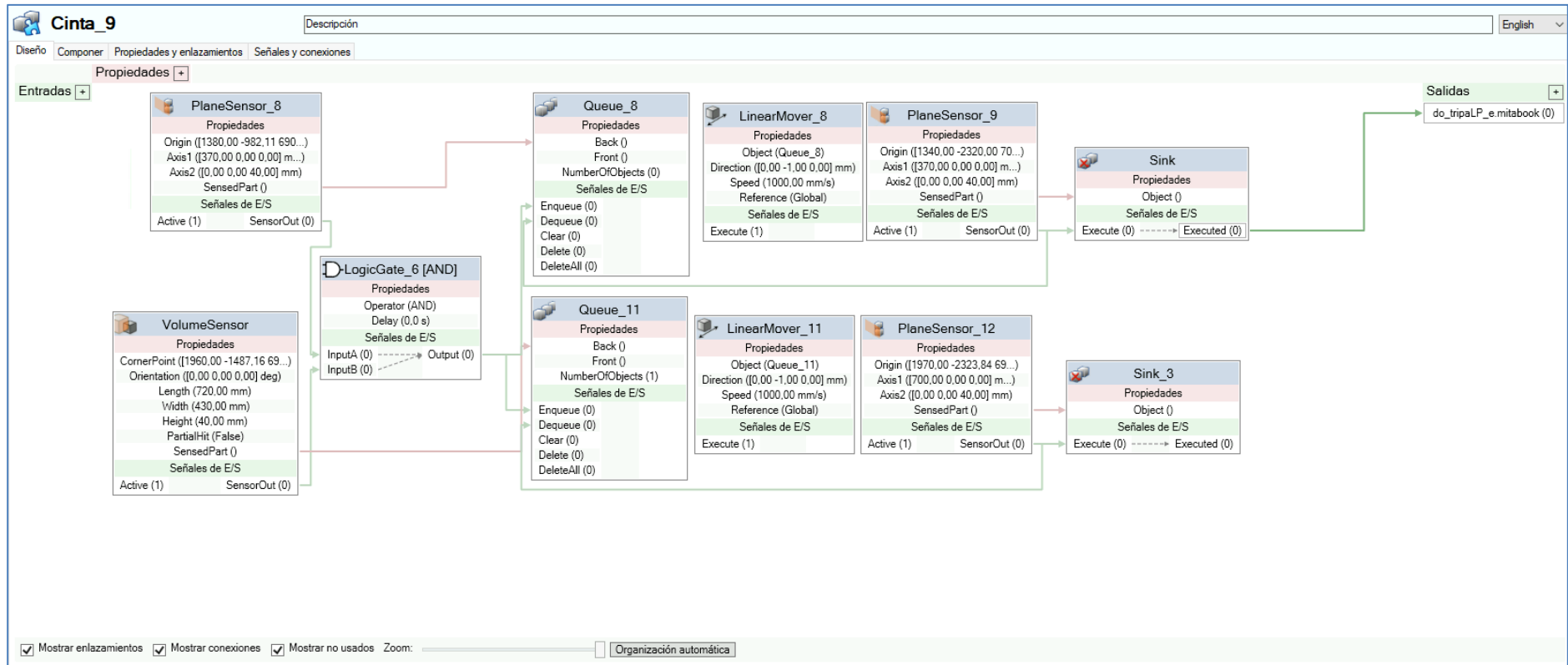


Figura 26. Diseño Componente Inteligente “Cinta_9”

3.2.1.11. Operario

El operario (Figura 15L) se encarga de la lectura de tapas, separación de éstas a la zona de rechazo en caso de error y colocación de las tapas en la entrada de la mitabook. Sería el equivalente manual a las tareas realizadas por ambos robots.

Este componente inteligente consta de tres entradas y una salida digital (Tabla 13). Cuando la entrada “di_error” está a 0, significa que esa tapa coincide con la tripa de la cinta 6, mientras que cuando está a 1, no coinciden. Por otro lado, la entrada “di_Tapa_creada” indica que hay una tapa sobre la mesa disponible para su lectura. La entrada restante, “di_TripaLP_en_pos”, se activa al llegar una tripa a la entrada de la mitabook.

La salida “do_tapa_leida”, como su nombre indica, señala que la tapa ha sido leída y colocada en la zona de espera de la mesa de lectura.

Tabla 13. Entradas y salidas Operario.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_error	do_tapa_leida
	di_Tapa_creada	
	di_TripaLP_en_pos	

El diseño de este componente inteligente (Figura 27) comienza con dos puertas y una expresión lógicas conectadas a las entradas.

La primera puerta lógica NOP sirve de retraso entre la activación de la entrada “di_Tapa_creada” y la creación de una copia de la tapa (“O.9.Tapa_L-Portrait”) mediante el componente “Source” para simular el tiempo empleado en la lectura manual de la tapa y su desplazamiento de la zona de lectura a la zona de espera en la mesa. Se ha empleado un sensor volumétrico junto a un componente “Sink”, para eliminar la tapa inicial y crear la ilusión de la lectura, al ser recogida por el operario al desaparecer de la mesa y ser colocada sobre ella de nuevo.

La segunda puerta lógica AND corresponde a la situación de error, donde tapa y tripa del álbum no coinciden. Al activarse las entradas “di_error” y “di_TripaLP_en_pos”, se activa la puerta lógica, ejecutando un “Sink” que elimina la tapa que estaba en la zona de espera para, a continuación, generar otra tapa mediante un “Source”. De este modo se crea la ilusión de ser desplazada esa tapa desde la zona de espera a la zona de rechazo. De nuevo, se ha creado un retraso gracias a una puerta lógica NOP que equivaldría a los 7 segundos que tarda el operario en comprobar si coincide tapa y tripa, para a continuación desplazar la tapa de un lugar al otro.

Por último, la expresión lógica “[NOT A] AND B)” corresponde al caso contrario, donde no habría error. Al activarse la entrada “di_TripaLP_en_pos” y mantenerse desactivada “di_error”, se activa la puerta lógica, ejecutando de nuevo un “Sink” que elimina la tapa que estaba en la zona de espera, para a continuación generar otra tapa mediante un “Source” creando esta vez la ilusión de ser desplazada esa tapa desde la zona de espera, a la entrada de la mitabook. Se considera que se tarda el mismo tiempo en leer y colocar una tapa en una zona u otra, por lo que se ha utilizado la misma puerta lógica NOP en ambas situaciones para generar el retraso.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

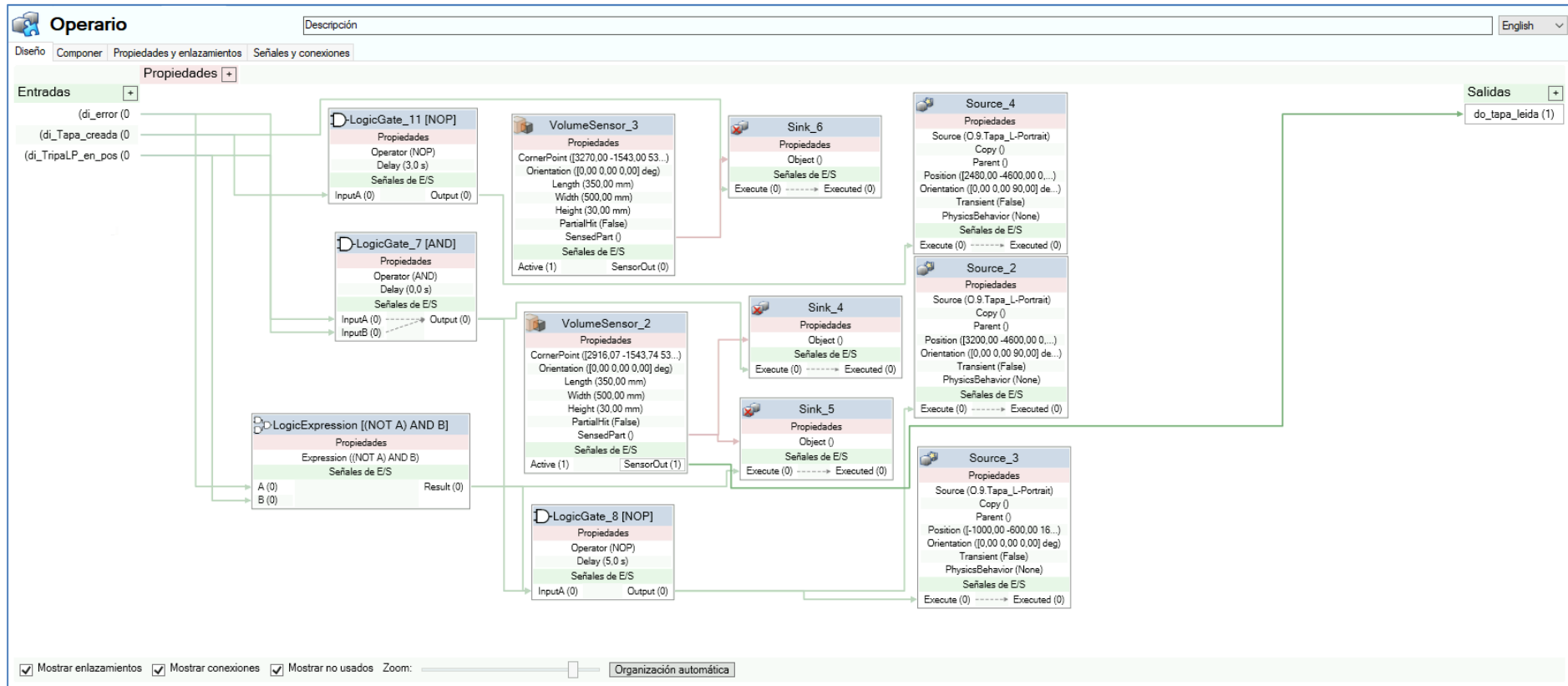


Figura 27. Diseño Componente Inteligente “Operario”

3.2.1.12. M.4.Prensa

La M.4.Prensa (Figura 150) se encarga de comprimir la tripa del álbum para ayudar a la correcta adhesión del pegamento.

Este componente inteligente cuenta con una entrada y una salida digitales (Tabla 14). La entrada “di_iniciar_prensado” indica que una tripa está correctamente posicionada para iniciar la simulación de prensado, mientras que la salida “do_prensado_finalizado” marca el final de dicha simulación, con la prensa de vuelta a su posición original.

Tabla 14. Entradas y salidas M.4.Prensa.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_iniciar_prensado	do_prensado_finalizado

El funcionamiento de esta herramienta se basa en el uso del componente “JointMover”, encargado de mover los ejes del mecanismo hasta la posición indicada.

Al activarse la señal de entrada, se inicia el movimiento de prensado gracias al primer “JointMover”. Una vez bajada la prensa, mediante una puerta lógica NOP, se crea un retardo de dos segundos, correspondiente al tiempo durante el cual está siendo prensado el álbum. Al finalizar, se activa el segundo “JointMover”, subiendo la prensa a su posición inicial.

Con el objetivo de mantener la señal de salida constante durante 0.1 segundos para sacar el libro después de haber subido la prensa, se ha empleado un componente “LogicSRLatch”. Este componente se activa al regresar la prensa a la posición inicial, y se desactiva pasados esos segundos. Otra forma de desactivarlo es parar la simulación.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 28.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

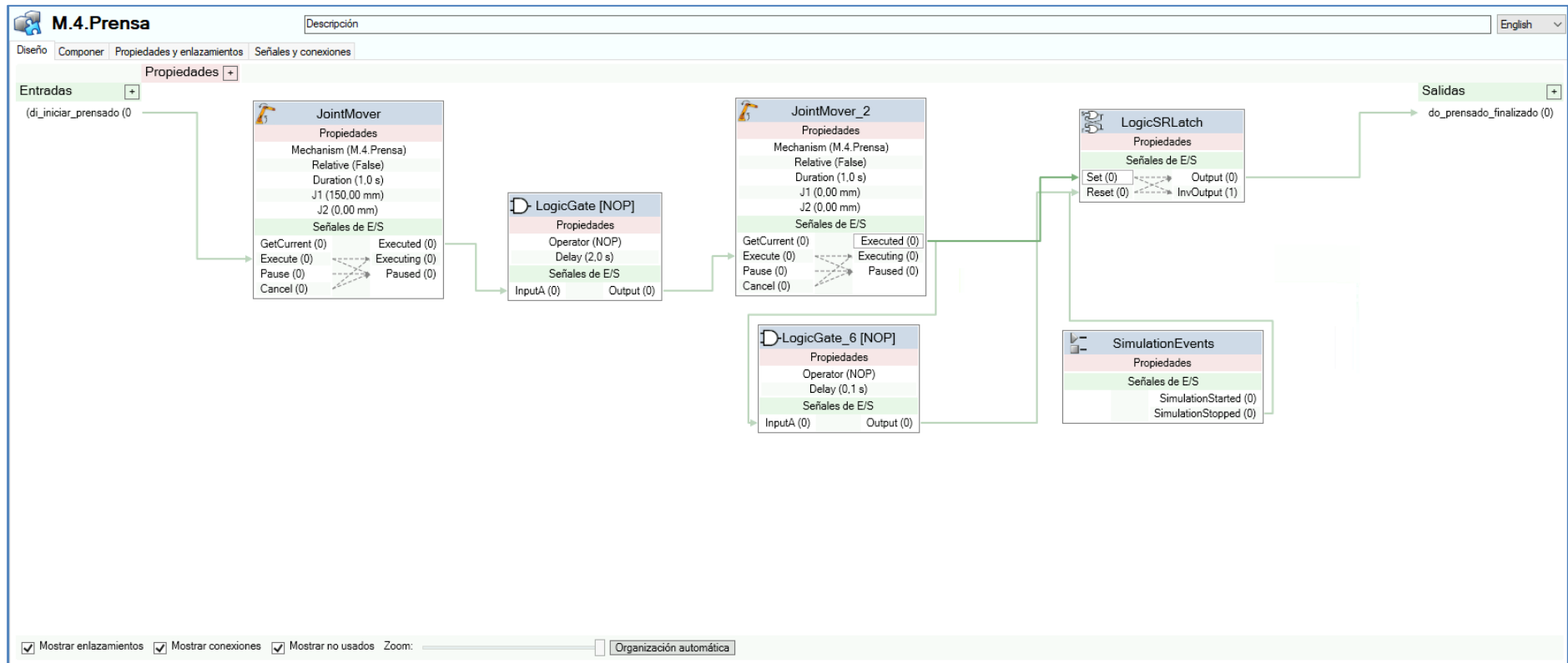


Figura 28. Diseño Componente Inteligente "M.4.Prensa"

3.2.1.13. Ventosa_1

El objetivo de la Ventosa_1 (Figura 15M) es sujetar la tapa mientras es transportada por el robot. Este componente inteligente, al igual que los dos anteriores, dispone de una entrada y una salida digitales (Tabla 15). La entrada “di_attacher” señala que la ventosa puede activarse para sujetar la tapa, mientras que la salida “do_attached” indica que la ventosa se ha desactivado, permitiendo que el robot suelte la tapa.

Tabla 15. Entradas y salidas Ventosa_1.

	Entradas	Salidas
Digitales	di_attacher	do_attached

El diseño de este componente inteligente cuenta con dos componentes que no han sido utilizados en el resto, “Attacher” y “Detacher”.

En este caso, comenzamos activando el sensor lineal “LineSensor” mediante la entrada del componente inteligente. Al detectar la tapa, se activa la señal de entrada del componente “Attacher”, uniendo la ventosa a la tapa. A su vez, esto activa la señal de salida por medio del componente “LogicSRLatch”, que mantiene esta señal constante.

Al desactivarse la señal de entrada cuando el robot se encuentra en la posición adecuada, la tapa se suelta utilizando el componente “Dettacher”. Para ello, se invierte el estado de la entrada mediante una puerta lógica NOT, activando así el “Dettacher”. Al ejecutarse, la señal de salida se desactiva mediante el componente “LogicSRLatch”.

Se puede encontrar el diseño del componente en la Figura 29.

El componente inteligente Ventosa_2 (Figura 15N) se diseña de forma homóloga a éste.

MODELADO Y ANÁLISIS DE UNA LÍNEA ROBOTIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁLBUMES FOTOGRÁFICOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE ROBOTS ROBOTSTUDIO

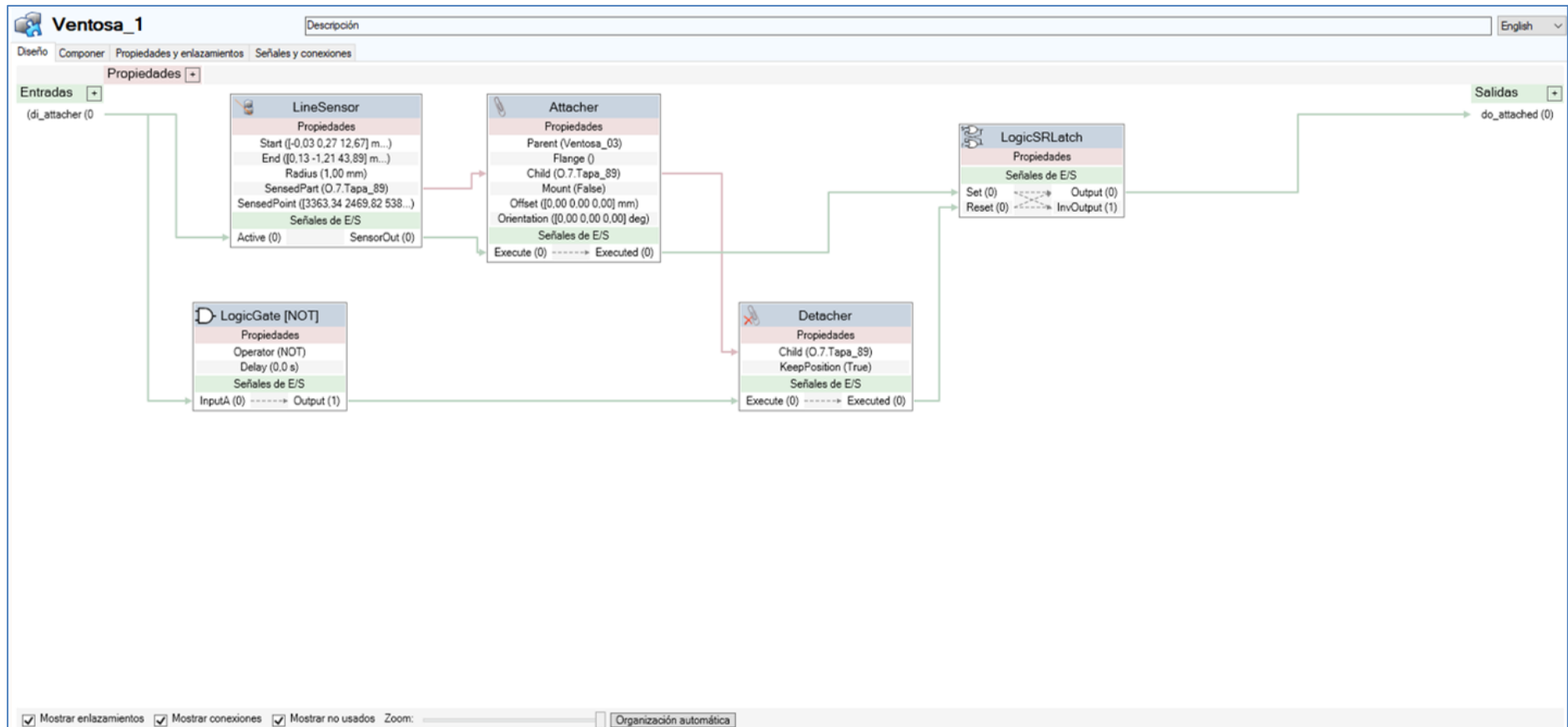


Figura 29. Diseño Componente Inteligente “Ventosa_1”

3.2.2. Lógica de estación

La lógica de estación presenta características muy similares a los componentes inteligentes al estar formada por las mismas pestañas: “Componer”, “Propiedades y enlazamientos”, “Señales y conexiones” y “Ver”.

Sirve de nexo entre todos los componentes inteligentes explicados con anterioridad y los diferentes controladores, además de permitir añadir sensores, puertas lógicas, y el resto de los componentes explicados en anteriores apartados, más otros que ofrece el programa que no han sido utilizados en este proyecto. En la siguiente tabla se resumen todos los componentes que intervienen en la lógica de estación.

Tabla 16. Componentes que intervienen en la lógica de estación.

	Denominación	Utilidad
Componentes inteligentes creados por el usuario	De Cinta_0.1 a Cinta_10	Crear objetos y transportarlos a lo largo de la línea.
	Operario	Lectura de tapas, separación de éstas a la zona de rechazo en caso de error y colocación de las tapas en la entrada de la mitabook.
	M.4.Prensa	Comprimir la tripa del álbum para ayudar a la correcta adhesión del pegamento.
	Ventosa_1 y Ventosa_2	Sujetar la tapa mientras es transportada por el robot.
Componentes inteligentes básicos	LogicGate	La salida es activada por la operación lógica especificada entre las dos señales de entrada.
	LogicExpression	Similar a LogicGate. La operación es una expresión lógica y puede tener más de dos señales de entrada.
	LogicSRLatch	Tiene un estado estable. <ul style="list-style-type: none"> • Si Set=1, Output=1 y InvOutput=0 • Si Reset=1, Output=0 y InvOutput=1
	Comparar	Compara el primer valor con el segundo valor utilizando un operador. Output=1 si la condición se cumple.
	Counter	Count se incrementa cuando se activa la señal de entrada Increase y se reduce cuando se activa Decrease. Count se pone a cero cuando se activa Reset.
	Timer	Pulsa la señal Output basándose en el intervalo indicado.
	PlaneSensor VolumeSensor	Cuando la señal de entrada está activada, el sensor detecta los objetos que presentan intersección con él.
	Source	Clona un objeto especificado.
SimulationEvents	Activa las señales de salida al parar o encender la simulación.	
Controladores	IRB140_6_81 IRB140_6_81_C_4	Ejecuta el código programado en RAPID para controlar los movimientos del robot.

La estación cuenta con tres entradas digitales (Tabla 17). La entrada “crear_tapa” se utiliza para generar una tapa, que puede ser cuadrada o vertical en función de la entrada “selector_tipo”. Al estar a 0 “selector_tipo”, el álbum generado sería cuadrado, mientras que al estar a 1, el álbum sería vertical.

Por último, la entrada “selector_error” funciona de forma similar a la explicada para los componentes inteligentes Operario y Cinta_0.1: al estar a 0, significa que tapa y tripa pertenecen al mismo álbum, mientras que cuando está a 1, no coinciden.

Tabla 17. Entradas y salidas Lógica de estación.

	Entradas	Salidas
Digitales	crear_tapa	-
	selector_error	
	selector_tipo	

A continuación, se detalla el diseño de la lógica de estación, representado en la Figura 30.

La simulación se inicia al activar la entrada “crear_tapa”.

En función de la entrada selector_tipo, se activa una puerta o una expresión lógica, dependiendo del tipo de álbum que se desee obtener.

Para la creación de un álbum cuadrado, debe estar desactivada esta entrada, que junto a la activación de la entrada crear_tapa, y mediante la expresión lógica “A AND (NOT B)”, crearían la tapa del álbum cuadrado gracias a un componente “Source”.

Al ejecutarse este componente, se activa la entrada del controlador “IRB140_6_81”, correspondiente al robot 1. Esto inicia la ejecución del código de este controlador, pidiendo al usuario el número de páginas que se desea que tenga el álbum (Figura 31).

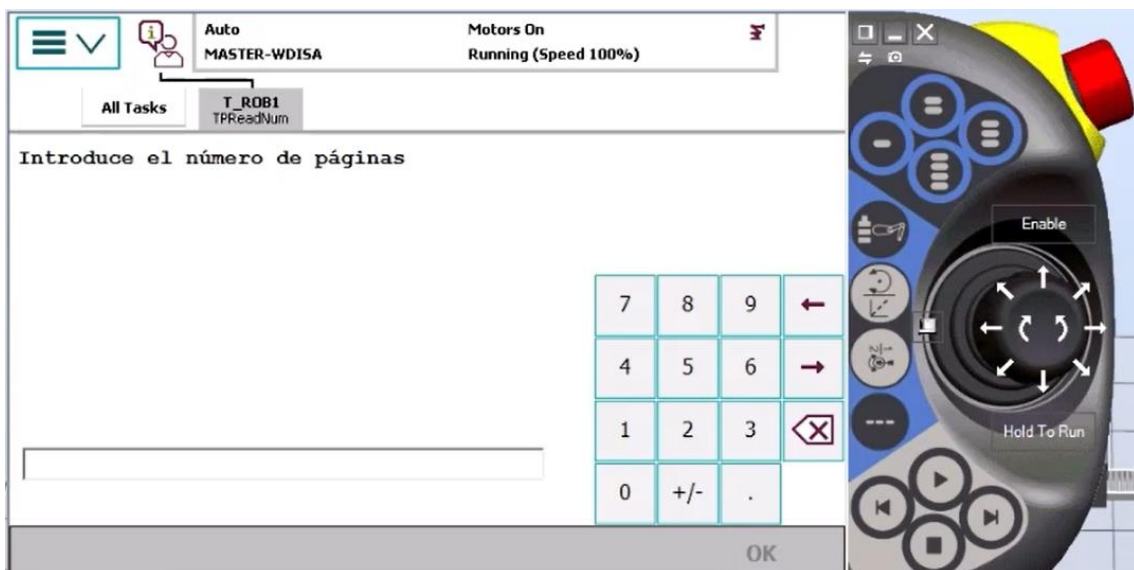


Figura 31. Escritura en el FlexPendant

Al escribir el número deseado y seleccionar “OK”, continúa la ejecución del código, acercándose el robot a recoger la tapa. Al llegar a la posición de recogida, se activa la salida del controlador “Activar_ventosa”, que a su vez activa la entrada “di_attacher” del componente inteligente “Ventosa_1”, permitiendo al robot sujetar la tapa (Figura 33A).

Al mismo tiempo, se activa la entrada “Get” del componente “RapidVariable”, que permite obtener el valor actual en RAPID de la variable indicada, en este caso “npags”.

Este valor, correspondiente al número de páginas, se introduce en dos comparadores unidos a dos contadores. El primero contará el número de páginas según se van creando hasta llegar al valor determinado por “npags”, y el segundo contará el número de páginas que van entrando al apilador hasta llegar a ese mismo valor.

Continúa en paralelo la ejecución del código con el desplazamiento del robot hasta la posición de colocación de la tapa, momento en el cual se desactiva la salida “Activar_ventosa”, desactivando por tanto la entrada “di_attacher”, permitiendo al robot soltar la tapa.

Para la creación de hojas, podría utilizarse un componente “Repeater” (Figura 32A), sin embargo, no permite cambiar la frecuencia de pulso con la que se activa la salida, por lo tanto, se han empleado cuatro componentes para simular un repetidor: “LogicSRLatch”, “Timer”, “Counter” y “Comparer” (Figura 32B).

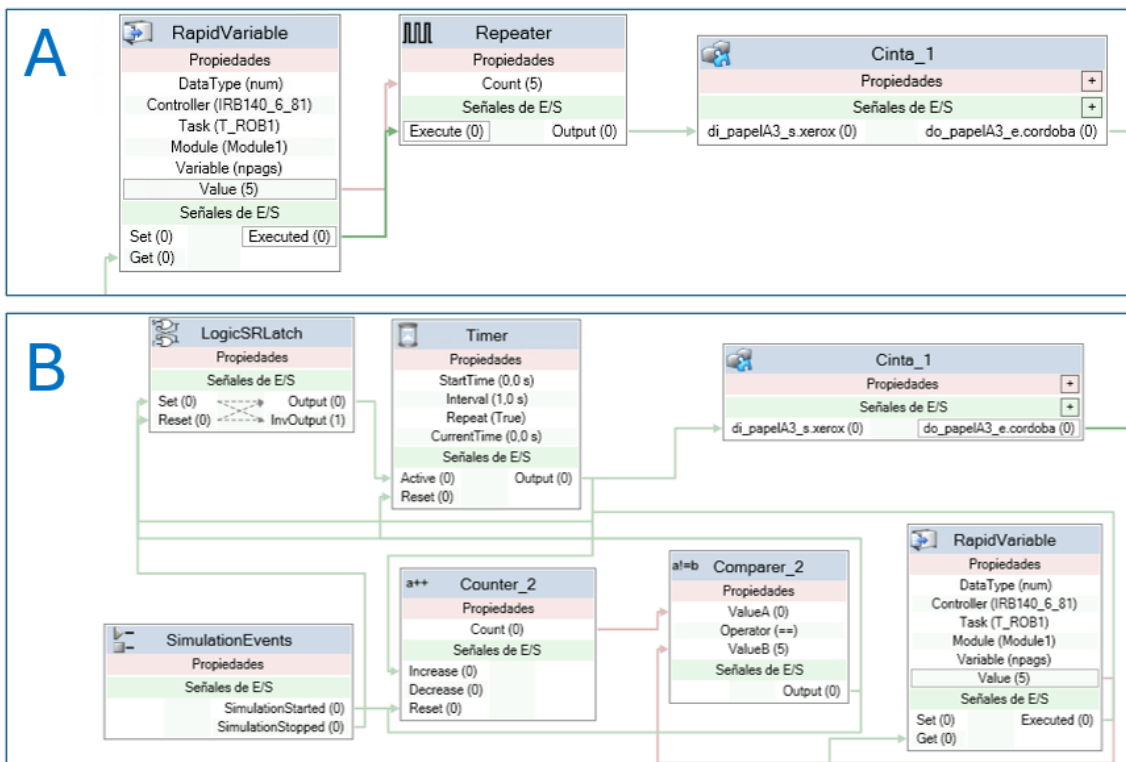


Figura 32. Componente “Repeater”

Al obtenerse el valor de “npags”, se activa la salida del componente “RapidVariable”, lo que permite activar el componente “LogicSRLatch”, que mantendrá esta señal activa hasta que finalice la simulación o al llegar el contador al número de páginas indicado.

Mientras se mantiene activa la señal, se inicia el componente “Timer”, que crea pulsos de salida con un intervalo de un segundo, los cuales van aumentando el contador hasta llegar al valor indicado por “npags”. A su vez, estos pulsos activan la entrada del componente “Cinta_1”, lo que permite ir generando las páginas. El componente “Timer” se reinicia del mismo modo que el componente “LogicSRLatch”.

Las páginas activan la salida de la “Cinta_1” al llegar a la dobladora. Esta salida está conectada a la entrada de la “Cinta_2”, lo que permite generar las hojas dobladas y seguir el movimiento de la cinta hasta la entrada del apilador, activando la salida de la “Cinta_2” (Figura 33B).

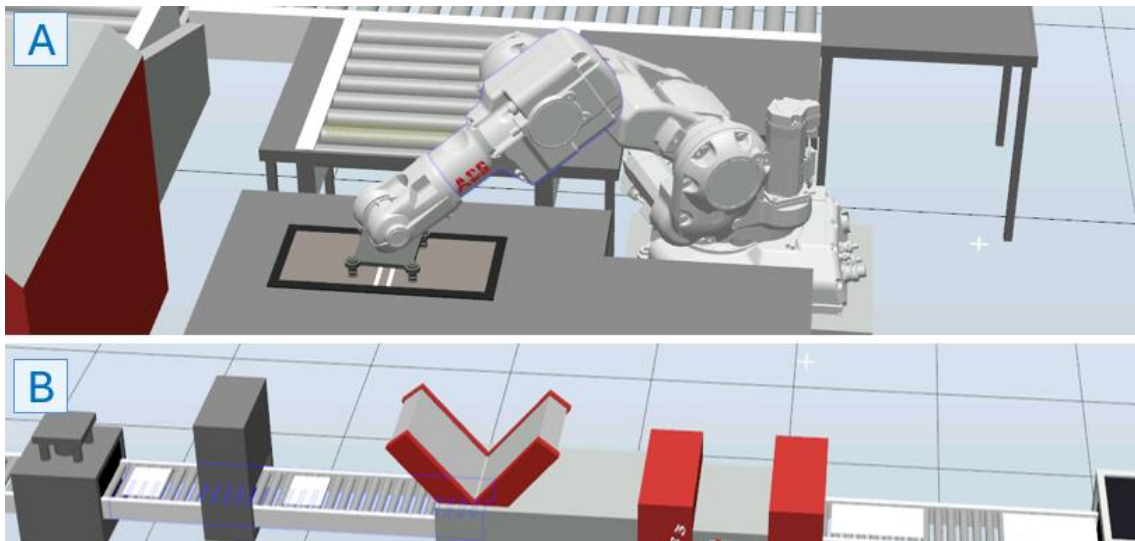


Figura 33. Lectura de tapa y creación de hojas

Al activarse esta salida, se inicia el segundo contador, que controlará la entrada de las hojas al apilador, sacando la tripa completa gracias al componente “Cinta_3”, al llegar al número indicado por la variable “npags”.

La tripa llega a la prensa (Figura 34A), activando la salida de la “Cinta_3”, que está conectada a la entrada del componente “M.4.Prensa”, lo cual iniciaría la simulación del prensado del álbum (Figura 34B).

Al finalizar, se activa la salida del componente “M.4.Prensa”, que al estar conectada a la entrada “di_prensado_finalizado” de la “Cinta_3”, permite continuar con el desplazamiento de la tripa por la cinta (Figura 34C).

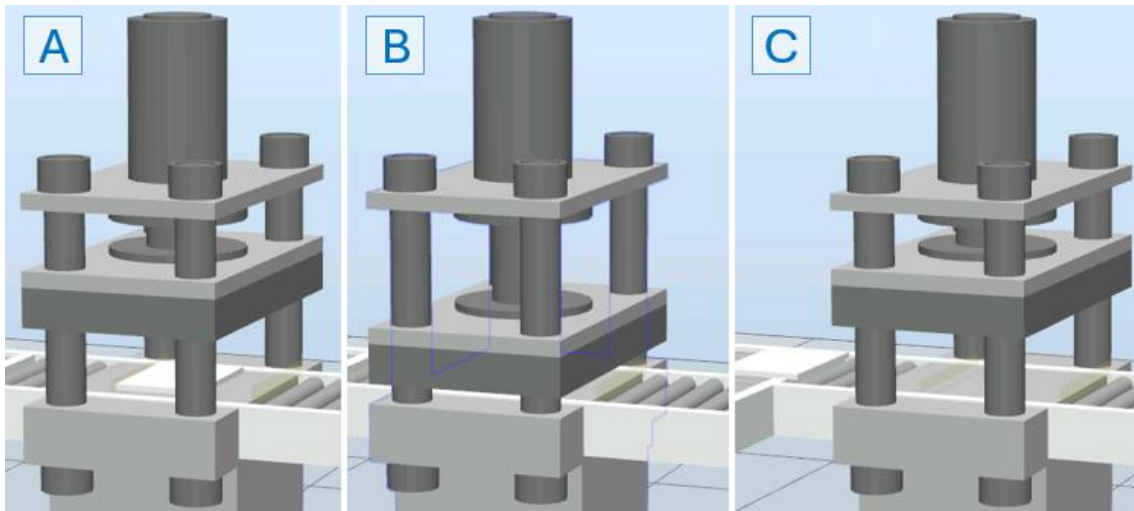


Figura 34. Proceso de prensado

Al llegar a un sensor al final de la cinta, se activa el siguiente componente, “Cinta_4”, que permite el desplazamiento de la tripa hasta la entrada de la trilateral. Al llegar a este punto, se activa la salida de la “Cinta_4”, que está conectada a la entrada “di_tripas_e-trilateral” del componente “Cinta_6”.

En función de si está activa o no la entrada de la estación “selector_tipo”, el componente “Cinta_6” genera una tripa de un álbum cuadrado o vertical y la lleva por su línea correspondiente.

En el caso del álbum cuadrado, se activa la salida “do_tripasLS_s.cinta_massy” de la “Cinta_6”. Esta salida está conectada a una de las entradas de una puerta lógica “AND”. La otra entrada de esta puerta lógica es un sensor que detecta si hay una tapa esperando a entrar a la cinta que conecta ambos robots. Al estar activas ambas entradas, se activa tanto la entrada “di_tapa_en_pos” de la “Cinta_0.1” como la entrada “di_tripasLS_s.cinta6” de la “Cinta_7”.

Estos dos componentes tienen una entrada “di_error” conectada a la entrada de la estación “di_selector_error” que, en el caso de estar activa, significaría que la tapa y la tripa no coinciden y debe colocarse la tapa en la zona de rechazo.

Estando desconectada la entrada “di_selector_error”, la tripa llegaría a la mitabook, mientras que la tapa llegaría al robot 2, activando la entrada “Tapa_en_pos_inic” del controlador “IRB140_6_81_C_4”. Esto comenzaría la secuencia de movimientos del robot (Figura 35), similar a la comentada para el robot 1, excluyendo la interacción con el FlexPendant.

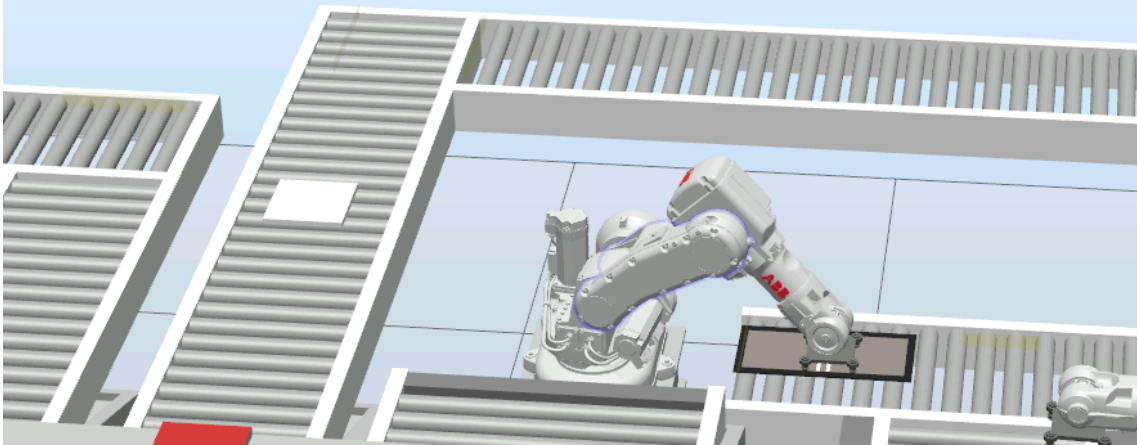


Figura 35. Robot 2 recogiendo una tapa

Al finalizar, un sensor del componente “Cinta_0.2” detectaría la presencia de una tapa sobre la cinta de entrada a la mitabook, activando la cinta y llevando la tapa dentro de la máquina, donde se juntaría con la tripa tardando aproximadamente seis segundos, representados mediante una puerta lógica “NOP”.

Al acabar, saldría el álbum completo gracias a la activación de la entrada del componente “Cinta_8”, que llevaría el libro hasta la zona de lectura.

Para la creación de un álbum vertical, debe estar activa la entrada de la estación “selector_tipo”, que junto a la activación de la entrada crear_tapa, y mediante la puerta lógica “AND”, crearían la tapa del álbum vertical gracias a un componente “Source”.

Pasado un segundo, se activa la entrada “Get” del componente “RapidVariable”, que permite obtener el valor de “npags”. El proceso de creación de páginas es el mismo que el comentado para el álbum cuadrado, hasta llegar a la “Cinta_6”.

En paralelo a este proceso, se activa la entrada “di_Tapa_creada” del componente “Operario”.

Una vez leída la tapa, se activa la salida “do_tapa_leida”, que se conecta a una puerta lógica “AND”. La otra entrada de esta puerta lógica corresponde a la salida “do_tripalP_s.cinta_menosy” del componente “Cinta_6”, momento en el que la tripa del álbum se encuentra en la entrada de la mitabook esperando a ser comprobada por el operario.

Al activarse ambas, se activa la entrada “di_TripalP_en_pos” del componente “Operario”, indicando que puede proceder a su comparación.

En el caso de estar activa la entrada de la estación “di_selector_error”, se activaría la entrada “di_error” del “Operario”, colocando la tapa en la zona de rechazo correspondiente.

Estando desconectada la entrada “di_selector_error”, la tapa sería colocada por el operario en la cinta de entrada a la mitabook (Figura 36).

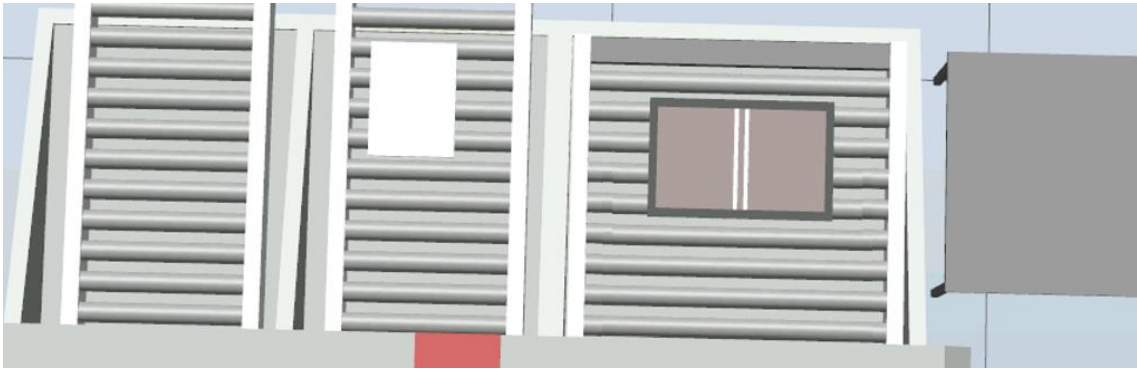


Figura 36. Tapa y tripa en la entrada de la mitabook

Una vez colocada, dos sensores del componente “Cinta_9” detectarían tanto la tapa como la tripa y se procedería con el desplazamiento de ambos hasta la mitabook, donde serían detectados por otro sensor y se activaría la salida “do_tripalP_e.mitabook” de este componente.

Pasados seis segundos, representados de nuevo mediante una puerta lógica “NOP”, se activaría la entrada del componente “Cinta_10”, que generaría y llevaría el álbum completo hasta la zona de lectura correspondiente.

3.3. PROGRAMACIÓN DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES

3.3.1. Entradas y salidas

Antes de comenzar con la programación de los robots en RAPID, deben crearse las entradas y salidas de cada uno de los controladores.

Para ello, se debe acceder desde el menú “Controlador” al apartado “Configuración”. A continuación, seleccionar “I/O System”, “signal” y, por último, hacer clic derecho y seleccionar “Nuevo Signal”.

Para el robot 1, se han creado 3 señales (Tabla 18): una entrada digital y otra analógica, y una salida digital.

La entrada “Tapa_colocada” informa al robot de la presencia de una tapa sobre la primera mesa, permitiendo el inicio de la secuencia de movimientos.

La entrada “Num_tapas” especifica el número de páginas que tendrá el álbum, el cual se obtiene mediante la escritura del número correspondiente en el FlexPendant. El FlexPendant físico es un dispositivo de control que permite programar, ejecutar, ver el estado del robot, las señales de entradas y salida... En Robotstudio existe una réplica virtual de este dispositivo con las mismas características que el real.

La salida “Activar_ventosa” indica que el robot se encuentra en la posición adecuada para comenzar el agarre de la tapa.

Tabla 18. Entradas y salidas Robot 1.

	Entradas	Salidas
Digitales	Tapa_colocada	Activar_ventosa
Analógicas	Num_tapas	-

Para el robot 2, se han creado 2 señales digitales (Tabla 19): una señal de entrada y otra de salida.

La entrada “Tapa_en_pos_inic” corresponde a “Tapa_colocada” en el primer robot. En este caso, señala la presencia de una tapa sobre la cinta, lo que permite iniciar la secuencia de movimientos.

La salida “Activar_ventosa” es idéntica a la salida con el mismo nombre del robot 1.

Tabla 19. Entradas y salidas Robot 2.

	Entradas	Salidas
Digitales	Tapa_en_pos_inic	Activar_ventosa

3.3.2. Objetivos y trayectorias

Las diversas posiciones que toman los robots a lo largo de su trayectoria se denominan objetivos.

Se pueden crear objetivos de dos formas: introduciendo las coordenadas desde la pestaña de “Crear objetivo”, que se encuentra dentro de “Posición”, en el menú “Posición inicial”, o la que se ha empleado en este trabajo, moviendo el robot manualmente hasta la ubicación adecuada y seleccionando “Programar posición”, que se encuentra también en el menú “Posición inicial”.

Se han definido cinco objetivos para cada robot. El primero sería la posición de reposo, desde la que parte el robot y a la que vuelve al finalizar la simulación. El segundo estaría 40mm por encima del tercer punto, que es el punto de recogida del objeto. El cuarto punto estaría de nuevo 40mm por encima, esta vez del quinto punto, que es el punto de colocación del objeto.

La creación de estos puntos por encima de las posiciones de recogida y colocación es habitual en la programación de robots para aplicaciones de “pick and place” por dos razones principalmente: evitar colisiones y aumentar la precisión en puntos críticos.

Una vez definidos los objetivos, se pueden programar las trayectorias, nuevamente desde el menú de “Posición inicial”, en el apartado “Ruta”, seleccionando “Trayectoria vacía”.

Al seleccionar esta opción, se crea una trayectoria sin ningún movimiento. Al añadirle un objetivo arrastrándolo sobre la trayectoria, se crea automáticamente la instrucción de movimiento hacia ese objetivo.

Si se desea modificar algunos parámetros de esa instrucción, se puede realizar desde el programa RAPID, o haciendo clic derecho sobre ella y seleccionando “Editar Instrucción”.

3.3.3. Código empleado

3.3.3.1. Introducción a elementos básicos de RAPID

RAPID es el lenguaje de programación utilizado en la aplicación de Robotstudio, diseñado para controlar los movimientos de los robots. En este apartado se explican los principales elementos de RAPID, que incluyen el manejo de variables, así como de entradas y salidas del controlador, las instrucciones de movimiento, las estructuras de control de flujo y las instrucciones de manejo del FlexPendant.

Inicialización de variables

Las variables en Robotstudio se inicializan indicando 3 parámetros: permanencia, tipo de dato y nombre de la variable.

La permanencia indica el tiempo que mantiene un valor una variable. Hay tres tipos de permanencia: constante o “CONS”, que refleja un valor que no se modifica a lo largo del programa, variable o “VAR”, que permite modificar el valor en cualquier punto de la ejecución y, por último, persistente o “PERS”, que mantiene el valor incluso al terminar la ejecución.

Se utilizan diversos tipos de datos, para almacenar valores diferentes. Los más utilizados para definir variables son “robtargt”, “num”, “bool” y “string”. “Robtargt” corresponde a un objetivo del robot, almacenando por tanto posición, orientación y configuración de las articulaciones. “Num” almacena números reales, mientras que “bool” almacena valores lógicos, por lo tanto, su valor puede ser únicamente “TRUE” o “FALSE”. Por último, “string” se utiliza para almacenar cadenas de caracteres.

Un ejemplo de inicialización de una variable sería: “VAR num npags”, donde “VAR” indica que es una variable, “num” indica que es de tipo numérico, es decir, un número real, y “npags” sería el nombre de la variable.

Si se quiere dar un valor a una variable, debe hacerse con “:=”, por ejemplo npags:=2 asignaría a la variable npags el valor 2.

Instrucciones de manejo de entradas/salidas

Existen multitud de instrucciones que permiten leer, escribir y, en general, interactuar con entradas y salidas del controlador. Se detallan a continuación las empleadas en este proyecto.

Las instrucciones “Set” y “Reset” permiten activar y desactivar respectivamente las señales de salida digitales. Se escriben de la siguiente forma: “Set señal”, siendo “señal” la salida deseada.

La instrucción “WaitUntil” se utiliza para detener la ejecución del programa hasta la activación o desactivación de una entrada digital. Se escribe: “WaitUntil señal = X”, siendo “señal”, en este caso, la entrada deseada, y siendo “X” cero o uno, dependiendo de si se espera a su activación o desactivación.

Instrucciones de movimiento

Las instrucciones de movimiento se utilizan para programar las trayectorias del robot. Las más comunes son “MoveL”, “MoveJ” y “MoveC”.

La instrucción “MoveL” provoca un desplazamiento del extremo del robot siguiendo una línea recta, desde el punto de origen al punto de destino. Se utiliza en aplicaciones que implican precisión como en soldadura o al manipular objetos frágiles. Su estructura es la siguiente: “MoveL pd, v100, z10, tool0\WObj:=wobj0”

La expresión está formada por los siguientes parámetros:

- pd: punto de destino.
- v100: velocidad deseada expresada en mm/s.
- z10: zona de precisión. El valor 10 indica la tolerancia en milímetros alrededor del punto de destino. Si se utiliza “fine”, el robot pasará por el punto exacto.
- tool0: herramienta activa acoplada al robot.
- wobj0: objeto de trabajo. Hace referencia al sistema de coordenadas empleado.

La instrucción “MoveJ” permite al robot moverse de un punto a otro sin tener en cuenta la trayectoria que tome. Se utiliza para movimientos rápidos sin llevar carga o para volver a la posición de reposo. Su estructura es idéntica a la de “MoveL”.

La instrucción “MoveC” mueve al robot siguiendo una trayectoria circular desde el punto de origen, pasando por un punto intermedio, hasta llegar al punto de destino. Su estructura es similar a las anteriores, sin embargo, en lugar de indicar únicamente el punto final, se incluye primeramente un punto intermedio, quedando la instrucción como: “MoveC pd1, pd2, v100, z10, tool0\WObj:=wobj0”

Instrucciones de control de flujo

En RobotStudio, las instrucciones de control de flujo permiten repetir acciones, poner condiciones y alterar la ejecución del programa. En este proyecto se han utilizado dos: “While” y “WaitTime”.

“While” es una instrucción de bucle, es decir, repite las instrucciones que se hayan en su interior mientras se cumpla una condición. Esta condición puede ser una comparación de una variable con un número mediante una operación matemática, una comparación entre dos variables, o crear un bucle infinito escribiendo “TRUE” en la condición.

La sintaxis de esta instrucción es la siguiente:

```
WHILE condición DO
```

```
    ! Código que se ejecuta mientras la condición sea verdadera
```

```
ENDWHILE
```

Por otro lado, "WaitTime" es una instrucción que detiene la ejecución del programa por un tiempo determinado expresado en segundos.

Un ejemplo de esta instrucción sería: "WaitTime 3", que implica la detención del programa por tres segundos.

Instrucciones de manejo del FlexPendant

Existen variedad de instrucciones que permiten al usuario interactuar con el FlexPendant, pero las principales serían dos, una de lectura y otra de escritura.

La primera es "TPReadNum", cuyo objetivo es leer un número escrito por el usuario en el FlexPendant. Su estructura es la siguiente: "TPReadNum num, frase", siendo "num" una variable numérica donde se almacenará el número y "frase" una constante de tipo cadena de caracteres, que aparecerá en la pantalla del FlexPendant e indicará al usuario que debe escribir un número para continuar con la ejecución del programa.

La segunda es "TPWrite", que permite mostrar mensajes de texto en la pantalla del FlexPendant durante la ejecución del programa. Se escribe de la siguiente forma: "TPWrite frase", siendo "frase" una constante de tipo cadena de caracteres.

En ambas instrucciones puede escribirse directamente la frase en lugar de utilizar una constante.

3.3.3.2. Explicación del script

El código empleado para ambos robots es muy similar, siendo el del robot 1 una ampliación del robot 2. Por ello, se va a comentar primeramente las partes en común que corresponden con el código del robot 2 y posteriormente se explicarán los añadidos que incluye el robot 1.

Robot 2

En primer lugar, se definen las constantes y variables a utilizar. En este caso, las únicas constantes necesarias son los objetivos del robot, que se generan automáticamente al programarlos moviendo el robot manualmente hasta la posición deseada, tal como se describe en el apartado 3.3.2.

Al ser un código de "pick and place", es común tener un punto de reposo, dos posiciones de recogida y entrega, y otras dos posiciones por encima de éstas que se utilizarían para reducir la velocidad del robot al acercarse a una zona crítica.

De la misma forma, al programar las trayectorias, se crean automáticamente las funciones que contienen todas las instrucciones de movimiento del robot entre estos objetivos. En este caso se definen 4 funciones: la primera, "Path_10", mueve el robot desde la posición de reposo hasta la posición de recogida de tapas. La segunda, "Path_20", retorna el robot a la posición de reposo desde la posición de recogida. La tercera, "Path_30", traslada el robot desde la posición de reposo hasta la posición de descarga de las tapas. Finalmente, la cuarta función, "Path_40", lleva el robot de vuelta a la posición de reposo desde la posición de descarga.

Una vez creadas las funciones de movimiento, se puede programar el “main”, que consistirá en una serie de instrucciones que se repiten indefinidamente hasta la detención del programa, gracias a estar incluidas en un bucle “While”.

Antes de iniciar con las instrucciones de movimiento, es necesario inicializar las salidas a cero utilizando la instrucción “Reset”.

A continuación, se emplea la instrucción “WaitUntil” para detener la ejecución del programa hasta que se detecte una tapa sobre la mesa, es decir, hasta que el valor de la entrada “Tapa_en_pos_inic” cambie a uno.

Una vez cumplida esta condición, se inician los movimientos, comenzando con “Path_10” para llevar el robot a la zona de recogida. Seguidamente, se activa la ventosa mediante la instrucción “Set Activar_ventosa”, y se ejecutan “Path_20” y “Path_30” para trasladar la tapa a la zona de descarga. Posteriormente se desactiva la ventosa para soltar la tapa mediante la instrucción “Reset Activar_ventosa”, se ejecuta “Path_40” para volver a la posición de reposo y, finalmente, se activa la señal de salida “Tapa_en_pos_fin” con la instrucción “Set”, indicando la finalización del proceso de recogida de una tapa.

Robot 1

Para el robot 1, las constantes son similares a las del robot 2, sin embargo, se añade una constante, de tipo “string” o cadena de caracteres: “pregunta”. La frase guardada en esta constante es: "Introduce el número de páginas".

También se añade una variable numérica, “npags”, que indica el número de páginas que tiene el álbum.

Las funciones que incluyen las trayectorias que debe seguir el robot son “Path_10”, “Path_20”, “Path_30” y “Path_40”, idénticas a las del robot 2.

Las instrucciones dentro del “main” también son muy similares, sin embargo, entre el “WaitUntil” y el “Path_10”, añadimos una instrucción de interacción con el usuario a través del FlexPendant: “TPReadNum”.

Gracias a esta instrucción, es posible sacar por pantalla el mensaje guardado en la constante “pregunta”, escribir el número de páginas que debe tener el álbum y almacenarlo en la variable “npags”.

A partir de este punto, el código es idéntico al creado para el robot 2.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. MEDIDA DE LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN

Para realizar la comparación entre las dos líneas, se han medido los tiempos de producción con las mismas condiciones: considerando que no hay error en la comparación tapa-tripa y creando un álbum en cada una de ellas con el mismo número de páginas, 5 concretamente, Se ha decidido utilizar este número, a pesar de ser 24 el mínimo estipulado por la empresa, para reducir el tiempo empleado en la creación de páginas, ya que es algo repetitivo y el tiempo empleado es el mismo en ambos modos de funcionamiento.

Las medidas se han tomado gracias a la grabación de la simulación que puede realizarse desde la pestaña "Simulación". No se toma en cuenta el tiempo que pasa desde que se genera la tapa hasta que se lee, ya que en la línea real todas las tapas se leen al inicio del turno y los pdf con las tripas se acumulan en la cola de la impresora, por lo que este tiempo no sería relevante y podría dar lugar a resultados erróneos.

4.2. COMPARACIÓN ENTRE LA LÍNEA MANUAL Y LA AUTOMATIZADA

Habiendo realizado la medición de los tiempos de la forma descrita en el apartado previo, se obtuvo una diferencia de 10 segundos entre la línea manual y la automatizada.

Si bien esta diferencia puede parecer pequeña, debe tenerse en cuenta el contexto en el que se está realizando la automatización. En una empresa líder en su sector como es Hofmann, las pequeñas mejoras se magnifican rápidamente, especialmente cuando hablamos de optimizaciones realizadas en una línea de producción.

La línea modelada tiene en la actualidad un rendimiento aproximado de 1000 libros por día. Adicionalmente, desde que comienza la fabricación de un libro hasta que finaliza pasan 180 segundos. También debe tenerse en consideración que pueden estar produciéndose varios libros a la vez, tratándose de un proceso continuo. En el proceso de fabricación siempre se da un cuello de botella en la etapa cuya automatización se propone, de modo que siempre hay libros esperando en dicho paso.

Disminuir el tiempo de producción de cada libro en 10 segundos supone una disminución del tiempo del 5,55% (Ecuación 1); y extrapolando dicho aumento al total de libros producidos en un día se conseguiría alcanzar un nuevo máximo de producción de 1059 libros aproximadamente (Ecuación 2).

$$1 - \frac{170}{180} \approx 0,0555 \quad (1)$$

$$\left(1 - \frac{5,55}{100}\right) \times \frac{X}{1000} = 0,9445 \times \frac{X}{1000} = \frac{1000}{0,9445} \approx 1059 \quad (2)$$

Para determinar si este aumento en la producción justifica la incorporación del robot a la línea se hará a continuación un estudio económico, si bien debe indicarse que por motivos de privacidad solamente se trabajará empleando datos de acceso público, no habiéndose podido acceder a los márgenes de beneficio de la empresa para el presente trabajo.

Producir 59 libros adicionales al día implicaría un aumento en los ingresos diarios de la empresa de entre 2.655 € y 10.325 € (valores obtenidos a partir de los precios individuales del tipo de libro de menor (45€, Álbum cuadrado grande, de tapa acolchada, de 24 páginas) y mayor precio (175€, Álbum cuadrado grande, de tapa acolchada, de 120 páginas) producidos en la línea).

Teniendo en cuenta que el precio de venta en el mercado de segunda mano del robot propuesto (ABB, modelo IRB 140) ronda los 12.500 €, dicho aumento en la producción implicaría la amortización del robot en un plazo de entre 2 y 5 días.

Más allá de la rapidez con la que hipotéticamente se lograría amortizar la incorporación del robot, también cabe incidir en su capacidad para mantener una consistencia operativa que supera a la de los trabajadores humanos. El robot no se equivoca y tampoco se cansa, lo que reduce significativamente los errores de producción y garantiza una calidad constante en cada libro producido. Estos beneficios adicionales no solo optimizan la eficiencia del proceso, sino que también pueden traducirse en ahorros significativos a largo plazo, tanto en costos operativos como en la minimización de desperdicios.

En conclusión, la incorporación del robot ABB IRB 140 no solo permitiría un aumento inmediato y sustancial en la producción diaria, sino que también ofrecería una amortización extremadamente rápida, con un retorno de la inversión en solo unos días. Además, los beneficios adicionales en términos de precisión, consistencia y reducción de errores hacen que esta inversión sea aún más atractiva. Considerando tanto el incremento en los ingresos como la optimización del proceso productivo, la implementación de este robot resulta altamente recomendable.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El modelado de líneas de producción es una herramienta esencial para la optimización en la era de la Industria 4.0. A través de la creación de modelos digitales detallados, es posible simular diferentes escenarios y evaluar el impacto de posibles cambios en la línea de producción sin necesidad de interrumpir las operaciones reales. Este enfoque permite a las empresas probar la sustitución de máquinas, la reconfiguración de procesos o la implementación de nuevas tecnologías y medir cómo estos cambios afectan la eficiencia, la velocidad y la productividad general.

Un aspecto importante de estos modelos es la posibilidad de analizar dónde se encuentran los operarios en la línea de producción y evaluar la viabilidad de automatizar ciertas tareas mediante robots. Este enfoque no busca reemplazar a los trabajadores, sino más bien identificar aquellas áreas donde la automatización podría mejorar la seguridad, reducir la carga de trabajo repetitiva, y aumentar la eficiencia operativa. Adicionalmente, permiten determinar de forma sencilla una estimación del retorno de inversión, pudiendo obtenerse resultados sorprendentes como el descrito en el presente trabajo, donde se lograba recuperar la inversión en menos de una semana. Además, el modelado permite prever posibles problemas antes de implementarlos en la realidad, minimizando riesgos y optimizando recursos.

En muchos casos, la implementación de robots en tareas específicas no solo mejora el rendimiento general de la línea, sino que también permite a los operarios enfocarse en actividades más estratégicas; y es justamente en esta dirección hacia donde podrían enfocarse futuros trabajos: por medio de la modelización de las distintas líneas de la empresa, identificar más ubicaciones potenciales en las que ubicar más robots que permitan liberar de labores repetitivas a los operarios humanos.

BIBLIOGRAFÍA

Garrell, A., & Guilera, L. (2019). *La Industria 4.0 en la sociedad digital*. MARGE BOOKS.

Horizon | Products. (s. f.). Recuperado 24 de agosto de 2024, de https://www.horizon.co.jp/products/en/products/cabs/ht1000v/ht1000v_e.html

MÁQUINA HENDIDORA PLEGADORA Y ENCOLADORA CORDOBA3 formato 52 x 120 cm. (s. f.). *Petratto Book binding*. Recuperado 26 de agosto de 2024, de <https://www.petratto.com/maquina-hendidora-plegadora-y-encoladora-de-alta-velocidad-cordoba3/?lang=es>

Mitabook | Digibook Technology. (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2024, de <https://www.digibook.tech/products-es/mitabook>

Operating manual—RobotStudio. (s. f.).

Prensa Digital Xerox Iridesse | SD. (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2024, de <https://www.sdsolucionesdigitales.com/producto/prensa-digital-xerox-iridesse/>

PARTE II

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el presupuesto del proyecto, en el que se incluyen los costes de todos los elementos involucrados, teniendo en cuenta una duración estimada de 4 meses.

2. CONTENIDO DEL PRESUPUESTO

2.1. Mano de obra

Primeramente, se presenta la estimación de los costos de mano de obra asociados al desarrollo de este proyecto. Para su elaboración, se ha considerado el personal que ha intervenido, y el valor de las horas invertidas por cada uno de ellos.

Tabla 20. Presupuesto Parcial Mano de Obra

Código	Descripción	Coste (€/h)	Cantidad (h)	Precio (€)
MO.1	Director de proyecto	50	30	1500
MO.2	Estudiante en prácticas	12	260	3120
Precio Total Mano de Obra				4620 €

2.2. Maquinaria y licencias

A continuación, se desarrolla el coste de maquinaria y licencias de programas utilizados en este proyecto. El cálculo se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$Coste = \frac{coste\ del\ equipo(€) \cdot tiempo\ de\ uso(meses)}{12 \cdot periodo\ de\ amortización(años)} \quad (3)$$

Tabla 21. Presupuesto Parcial Maquinaria y Licencias

Código	Descripción	Coste (€)	Amortización (años)	Tiempo de uso (meses)	Precio (€)
MQ.1	Robot ABB IRB 140	12500	8	4	520,83
MQ.2	Licencia Robotstudio	1350	1	4	450
Precio Total Maquinaria y Licencias					970,83 €

3. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Primero, se calcula el presupuesto de ejecución material (PEM) como la suma de los presupuestos parciales de mano de obra y maquinaria.

El presupuesto de ejecución por contrata se obtiene sumando al presupuesto de ejecución material los gastos generales aplicables, que representan un 13% de este presupuesto.

Finalmente, se determina el presupuesto base de licitación aplicando el porcentaje correspondiente al IVA (21%) sobre el presupuesto de ejecución por contrata.

Tabla 22. Presupuesto de Ejecución Material

Descripción	Precio (€)
Presupuesto Parcial Mano de Obra	4620
Presupuesto Parcial Maquinaria y Licencias	970,83
Precio Total Ejecución Material	5590,83 €

El Presupuesto de Ejecución Material asciende a **CINCO MIL QUINIENTOS NOVENTA EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS (5590,83 €)**.

Tabla 23. Presupuesto de Ejecución por Contrata

Descripción	Precio (€)
Presupuesto de Ejecución Material	5590,83
Gastos Generales (13%)	726,81
Precio Total Ejecución por Contrata	6317,64 €

El Presupuesto de Ejecución por Contrata asciende a **SEIS MIL TRESCIENTOS DIECISIETE EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS (6317,64 €)**.

Tabla 24. Presupuesto de Base de Licitación

Descripción	Precio (€)
Presupuesto de Ejecución por Contrata	6317,64
IVA (21%)	1326,70
Precio Total Base de Licitación	7644,34 €

El Presupuesto de Base de Licitación asciende a **SIETE MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y CUATRO EUROS CON TRINTA Y CUATRO CÉNTIMOS (7644,34 €)**.

PARTE III

ANEXOS

ANEXOS

1. CÓDIGO RAPID

1.1. Robot 1. Controlador IRB140_6_81

MODULE Module1

```
CONST robtarget Reposo:=[[339.836998921,-0.171096758,648.731139469],[0.006734804,-  
0.700750653,0.713324316,-0.008460835],[-3,-1,-  
3,7],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget Offset_coger:=[[648.402637288,330.322437309,273.857],[0.006734804,-  
0.700750653,0.713324316,-0.008460835],[0,-1,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget Coger:=[[648.402637288,330.322437309,233.857],[0.006734804,-  
0.700750653,0.713324316,-0.008460835],[0,-1,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget Offset_dejar:=[[637.718839138,-  
269.580916983,275.206803434],[0.006734804,-0.700750653,0.713324316,-0.008460835],[-  
1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget Dejar:=[[637.718839139,-269.580916983,235.206803433],[0.006734804,-  
0.700750653,0.713324316,-0.008460835],[-1,0,-  
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget Reposo2:=[[430.793637288,-34.732562691,632.676],[0.006734804,-  
0.700750653,0.713324316,-0.008460835],[-1,-1,-  
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
VAR num npags;
```

```
CONST string pregunta:="Introduce el número de páginas";
```

```
|*****
```

```
PROC main()
```

```
WHILE TRUE DO
```

```
Reset Activar_ventosa;
```

```
WaitUntil Tapa_colocada=1;
```

```
TPReadNum npags, pregunta;
```

```
Path_10;
```

```
Set Activar_ventosa;
```

```
Path_20;
```

```
Path_30;
```

```
WaitTime 1;
```

```
Reset Activar_ventosa;
```

```
Path_40;
```

```
ENDWHILE
```

```
ENDPROC
```

```

PROC Path_10()
  MoveJ Reposo2,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveJ Offset_coger,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveL Coger,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Path_20()
  MoveL Coger,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveL Offset_coger,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveJ Reposo2,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Path_30()
  MoveJ Reposo2,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveJ Offset_dejar,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveL Dejar,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Path_40()
  MoveL Dejar,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveL Offset_dejar,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
  MoveJ Reposo2,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC
ENDMODULE

```

1.2. Robot 2. Controlador IRB140_6_81_C_4

```

MODULE Module1
  CONST robtarget
  Reposo:=[[168.1382264,299.420407351,670.697540051],[0.020441851,0.501154774,-
0.864390123,-0.035436402],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget Offset_coger:=[[100.330190017,623.221671527,266.796],[0,-
0.707106781,0.707106781,0],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget Coger:=[[100.330190017,623.221671527,226.796],[0,-
0.707106781,0.707106781,0],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget Offset_dejar:=[[721.907190017,-19.180328473,434.013],[0,-
0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget Dejar:=[[721.907190017,-19.180328473,394.013],[0,-
0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

```

```

|*****

```

```

PROC main()
  WHILE TRUE DO
    Reset Activar_ventosa;

    WaitUntil Tapa_en_pos_inic=1;
    Path_10;
    Set Activar_ventosa;
    Path_20;

```

```
    Path_30;  
    Reset Activar_ventosa;  
    Path_40;  
ENDWHILE  
ENDPROC  
  
PROC Path_10()  
    MoveJ Reposo,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveJ Offset_coger,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveL Coger,v500,fine,tool0\WObj:=wobj0;  
ENDPROC  
PROC Path_20()  
    MoveL Coger,v500,fine,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveL Offset_coger,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveJ Reposo,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
ENDPROC  
PROC Path_30()  
    MoveJ Reposo,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveJ Offset_dejar,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveL Dejar,v500,fine,tool0\WObj:=wobj0;  
ENDPROC  
PROC Path_40()  
    MoveL Dejar,v500,fine,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveL Offset_dejar,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
    MoveJ Reposo,v2000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
ENDPROC  
ENDMODULE
```

2. ALINEACIÓN CON LOS ODS

En la siguiente tabla se indica la relación del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Tabla 25. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS	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				✓

Este proyecto está relacionado principalmente con tres ODS: el octavo, el noveno y el duodécimo.

El ODS 8 tiene como objetivo promover un crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.

Al mejorar la eficiencia y reducir mermas en la producción, se fomenta la productividad económica y se promueve el uso eficiente de recursos, lo que contribuye al crecimiento económico sostenible. Además, la implementación de robots en tareas repetitivas permite a los operarios enfocarse en actividades más estratégicas, lo cual se alinea perfectamente con el objetivo de crear un trabajo decente para todos.

El ODS 9 tiene como objetivo construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.

El proyecto apoya la modernización de infraestructuras y la adopción de tecnologías innovadoras, como la automatización y la robótica, lo que impulsa una industria más sostenible y competitiva.

El ODS 12 busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Esto implica minimizar la generación de residuos, promover la eficiencia en el uso de recursos, y fomentar el reciclaje y la reutilización.

Al reducir errores humanos mediante la automatización, se mejora la eficiencia en el uso de recursos y se minimizan las mermas, promoviendo una producción más responsable y sostenible.

Además de los ODS 8, 9 y 12, también se podría considerar el ODS 13 que tiene un grado más bajo de alineación con el proyecto.

Aunque no es el foco principal, la mejora en la eficiencia de los procesos productivos, y la reducción de mermas pueden tener un impacto positivo en la reducción del consumo energético y de recursos, lo que contribuye a frenar el cambio climático.