

Simulación 3D y automatización del proceso de soldadura de un chasis en la cadena de montaje de una industria automotriz

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Trabajo de Fin De Grado

Curso 2020-2021

Autor:

Pablo Jerez González

Tutora:

Marta Sigut Saavedra

Índice

| | |
|---------------|---|
| Resumen..... | 5 |
| Abstract..... | 6 |

CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES INICIALES

| | |
|--|---|
| 1.1 Objetivo del TFG y tareas asociadas..... | 7 |
| 1.2 Motivación personal..... | 7 |

CAPÍTULO II: SOFTWARE EMPLEADO PARA EL DESARROLLO DEL TFG

| | |
|--|----|
| 2.1 Herramientas software consideradas..... | 9 |
| 2.1.1 Programas Descartados..... | 9 |
| 2.1.1.1 Factory I/O..... | 9 |
| 2.1.1.2 Blender..... | 10 |
| 2.1.2 Programas Empleados en la Realización del Proyecto y su Entorno Gráfico..... | 10 |
| 2.1.2.1 SolidWorks..... | 10 |
| 2.1.2.2 TIA Portal..... | 11 |
| 2.1.2.3 RobotStudio..... | 11 |

CAPÍTULO III: MODELADO DE LA FASE DE SOLDADURA Y COLOCACIÓN DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO

| | |
|---|----|
| 3.1 Descripción general de una planta industrial de automoción..... | 12 |
| 3.1.1 La Industria Automotriz..... | 12 |
| 3.1.2 Producción en cadena y etapas de la fabricación en serie..... | 13 |
| 3.2 Explicación del funcionamiento de las etapas modeladas y automatizadas..... | 16 |
| 3.2.1 Primera Etapa: Corte y modelado de las piezas laterales de un vehículo Smart... | 17 |
| 3.2.2 Segunda Etapa: Colocación y soldadura de las piezas laterales..... | 19 |
| 3.2.3 Tercera Etapa: Aplicación de pintura en el chasis..... | 21 |
| 3.2.4 Cuarta Etapa: Soldadura de la parte trasera del vehículo..... | 22 |

CAPÍTULO IV: AUTOMATIZACIÓN DE LAS ETAPAS MODELADAS EN ROBOTSTUDIO

| | |
|---|----|
| 4.1 Primera Etapa: Corte y modelado de las piezas laterales de un vehículo Smart..... | 23 |
| 4.1.1 Puesta en marcha de la cinta y generación de las piezas..... | 23 |
| 4.1.2 Agarre de la pieza y proceso de prensado..... | 25 |
| 4.1.2.1 Creación y funcionamiento del componente “Prensa”..... | 27 |
| 4.1.3 Recogida y corte de la pieza..... | 28 |
| 4.1.3.1 Realización del proceso de corte y transporte de las piezas..... | 29 |
| 4.1.4 Tiempo invertido en la primera etapa..... | 31 |
| 4.2 Segunda Etapa: Colocación y soldadura de las piezas laterales..... | 31 |
| 4.2.1 Proceso de envío y creación de las piezas mecanizadas..... | 31 |
| 4.2.2 Recogida y colocación de las piezas laterales..... | 33 |
| 4.2.3 Soldadura de las piezas laterales..... | 35 |
| 4.2.4 Tiempo invertido en la segunda etapa..... | 36 |
| 4.3 Tercera Etapa: Proceso de aplicación de pintura..... | 37 |
| 4.3.1 Simulación del proceso de pintura..... | 37 |
| 4.3.2 Cómo implementar un sistema robotizado de pintura..... | 38 |
| 4.3.3 Tiempo invertido en la tercera etapa..... | 39 |
| 4.4 Cuarta Etapa: Proceso de soldadura de la parte inferior del chasis..... | 40 |
| 4.4.1 Soldadura de la parte trasera del vehículo..... | 41 |
| 4.4.2 Tiempo invertido en la cuarta etapa..... | 42 |
| 4.5 Simulación del funcionamiento global del sistema en RobotStudio..... | 43 |

CAPÍTULO V: AUTOMATIZACIÓN DEL MODELO EN ROBOTSTUDIO A TRAVÉS DEL TIA PORTAL

| | |
|--|----|
| 5.1 Implementación de la comunicación entre TIA Portal y Robotstudio..... | 44 |
| 5.1.1 Creación de una estación en RobotStudio..... | 44 |
| 5.1.2 Creación del código en TIA Portal y simulación del PLC..... | 46 |
| 5.1.3 Creación del servidor Nettoplcsim..... | 47 |
| 5.1.4 Implementación de la extensión RSConnectDIOToSnap7 en RobotStudio..... | 48 |

CAPÍTULO VI: CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

| | |
|---|----|
| 6.1 Diseños alternativos para el transporte de piezas de la primera a la segunda etapa..... | 50 |
| 6.2 Parada de emergencia del sistema..... | 52 |
| 6.3. Conclusiones\ Conclusions..... | 53 |
| 6.4. Líneas de trabajo futuras..... | 56 |

ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO A: Presupuesto..... | 58 |
| ANEXO B: Funcionamiento básico de los paquetes de software empleados..... | 60 |
| B.1 Creación de un nuevo entorno de trabajo en SolidWorks..... | 60 |
| B.2 Creación de un espacio de trabajo y selección de PLC en TIA Portal..... | 62 |
| B.3 Creación de las variables y el bloque de programa..... | 63 |
| B.4 Creación de una estación y un Sistema Robotizado en RobotStudio..... | 65 |
| B.5 Principales Herramientas de Trabajo..... | 66 |
| ANEXO C: Repositorio a los Documentos de la Estación..... | 71 |
| C.1 Códigos de Rapid..... | 71 |
| C.2 Vídeos explicativos del funcionamiento de la estación..... | 71 |
| C.3 Enlace a los documentos, código KOP y archivos del proyecto..... | 71 |

REFERENCIAS

| | |
|------------------|----|
| Referencias..... | 72 |
|------------------|----|

Resumen

Este proyecto consiste en la simulación 3D y la automatización del proceso de soldadura de un chasis en la cadena de montaje de una industria automotriz. Durante la realización de este trabajo desempeñamos tareas de modelado y programación de los equipos presentes en la estación con el objetivo de conseguir el correcto funcionamiento de las etapas seleccionadas. En relación a estas etapas podemos encontrar tareas referentes al control de un proceso de prensado, la programación de manipuladores que desempeñan acciones de colocación, agarre y soldadura de piezas, el control de un proceso de pintura, el modelado del chasis de un vehículo Smart y la configuración de señales digitales que dan lugar a la lógica de la estación.

Este proyecto ha sido desarrollado gracias al uso de diferentes paquetes de software que han permitido el funcionamiento conjunto de la estación. El software de simulación 3D permite visualizar cómo las piezas sin mecanizar que llegan a la estación son prensadas y manipuladas por brazos robóticos para su posterior envío, colocación y soldadura en el chasis de un vehículo Smart. Este automóvil también ha sido creado desde cero mediante el uso de una herramienta CAD que permite el modelado de piezas. Asimismo, en este proyecto también podemos visualizar un proceso de pintura básico y la soldadura de la parte trasera del chasis mediante el control de un sistema robotizado móvil.

Este trabajo ofrece una gran cantidad de posibilidades de aplicación tanto en el ámbito de la docencia como en el sector industrial ya que permite programar sistemas y visualizar su funcionamiento, verificando, de forma previa a su instalación, si desempeña de forma correcta las tareas. Gracias a esta última aplicación podemos detectar errores en el código de forma prematura, depurando la programación y minimizando los riesgos.

A lo largo de este documento se desarrolla de forma detallada cada una de las etapas simuladas, especificando el funcionamiento y la interacción de sus elementos. Asimismo, se aporta información acerca de los pasos seguidos para la realización de este trabajo y pasos a seguir para optimizar y mejorar los procesos desempeñados. En este documento también se añaden datos como presupuestos, otras opciones de diseño planteadas y los códigos realizados para el control y simulación de la estación, además de vídeos que explican visualmente el funcionamiento de esta.

Abstract

This project consists of the 3D simulation and automation of the welding process of a chassis in the assembly line of an automotive industry. During the performance of this project, we worked on modeling and programming tasks of the equipment present at the station in order to achieve the correct operation of the selected stages. In relation to these stages we can find tasks related to the control of a pressing process, the programming of manipulators that make actions of placing, gripping and welding parts. Also we find tasks related with the control of a painting process, the modeling of the chassis of a Smart vehicle and the configuration of digital signals that build the logic of the station.

This project has been developed thanks to the use of different software packages that have allowed the correct operation of the station. The 3D simulation software allows us to visualize how the first parts that arrive at the station are pressed and manipulated by robotic arms for their shipment, placement and welding on the chassis of a Smart vehicle. This car has also been created from scratch by using a CAD tool that allows the modeling of pieces. Furthermore, in this project we can also visualize a basic painting process and the welding of the back part of the chassis thanks to the control of a mobile robotized system.

This work offers a large number of application possibilities: for educational purposes and for the industrial sector because it allows programming systems and visualizing their operation, verifying, before their installation, if they perform the tasks correctly. Thanks to this last application we can detect errors in the code prematurely, improving the program and minimizing the risks.

Throughout this document, each of the simulated stages are developed in detail, specifying the operation and interaction of its elements. Also, information is provided about the steps followed to develop this work and the steps that you need to follow to optimize and improve the processes performed. This document also adds other proposed design options and the codes made for the control and simulation of the station, as well as videos that visually explain how it works.

CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES INICIALES

1.1 Objetivo del TFG y tareas asociadas

El objetivo principal del trabajo de fin de grado es la programación y la simulación 3D mediante el uso de varios paquetes de software. El contexto de esta simulación y programación del código se desarrolla en una planta de automoción donde tiene lugar el proceso de prensado, corte, colocación y soldadura de las piezas laterales del chasis de un automóvil Smart. Para la consecución de este objetivo se plantearon las tareas que se relacionan a continuación:

- T1** -Simulación 3D del proceso de soldadura de un chasis mediante el uso del software RobotStudio.
- T2** -Programación de las trayectorias realizadas por los brazos robóticos mediante la consola de Rapid.
- T3** -Control de la lógica de la estación mediante la implementación de una correcta comunicación entre los elementos de la planta.
- T4** -Desarrollo del código mediante el lenguaje de programación KOP en el software TIA Portal.
- T5** -Implementación de la comunicación entre TIA Portal y RobotStudio mediante un PLCsim responsable del control y la monitorización de los procesos ejecutados en la planta.
- T6** -Diseño gráfico del automóvil y las piezas empleadas durante el proceso de soldadura mediante el uso del software SolidWorks.

1.2 Motivación personal

Con respecto a la motivación personal que dio lugar a este proyecto destacan ciertos aspectos que hacen alusión al ámbito de la automatización y la programación de brazos robóticos.

En primer lugar, el tercer año del grado realicé unos estudios erasmus en Maribor, Eslovenia. Durante el desarrollo del curso en la universidad, tuve la oportunidad de programar ciertas trayectorias y movimientos lineales con mecanismos KUKA Robotics de seis grados de libertad. En estos procesos, se realizaron tareas simples de desplazamiento, agarre e identificación de objetos de una forma visual y práctica. Este acercamiento a la programación de brazos robóticos despertó en mí un gran interés acerca de la utilidad de estos dispositivos en el ámbito industrial y sus amplias posibilidades de desarrollo en el sector de la ingeniería.

Asimismo, en referencia a los estudios cursados durante el grado de ingeniería electrónica industrial y automática, en la universidad de la Laguna, cabe resaltar el trabajo en el ámbito de la automatización y la programación, a partir del uso de la herramienta TIA Portal y los dispositivos PLC presentes en el laboratorio. Los conocimientos adquiridos en las asignaturas de: Automatización y Control Industrial, Sistemas Robotizados, Automatización Industrial Avanzada y Ampliación de Sistemas Robotizados. La motivación por aprender más acerca de estas áreas, fueron los aspectos que dieron lugar a la idea plasmada en este proyecto de final de grado.

Tal y como se indicó con anterioridad, desde el comienzo del grado, las asignaturas destinadas al ámbito de la programación, la automatización y los sistemas robotizados, han sido los campos prioritarios en cuanto a mi desarrollo como futuro profesional, en el sector industrial de la ingeniería. La capacidad de crear, controlar y programar sistemas de cualquier índole alberga un carácter de innovación, progreso y desarrollo, siendo estas competencias, objetivos esenciales que describen la profesión de un ingeniero.

Asimismo, cabe destacar la influencia del sector de la automoción a lo largo de mi vida. Siempre he tenido una gran pasión por los automóviles, sus diseños, su funcionamiento y las sensaciones que pueden llegar a transmitir. En particular, la clave para elegir estudiar el grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática fue la posibilidad de adquirir una visión orientada al progreso y la sostenibilidad del planeta. Un amplio conocimiento de la electrónica, la automatización y los procesos industriales me permitiría formar parte del progreso y el desarrollo de las nuevas tecnologías desarrolladas en la automoción, en concreto, la mejora del ecosistema mediante el auge de producción y consumo de coches eléctricos.

Otro aspecto importante que promovió el desarrollo de este proyecto fue la situación de pandemia actual. La situación de crisis sanitaria limitó el acceso a las instalaciones de la universidad, por ello se estudiaron alternativas que permitieran la realización de un proyecto enfocado a la programación y automatización de un proceso industrial en el ámbito de la automoción.

Teniendo en cuenta todos y cada uno de los aspectos que despertaron mi motivación como ingeniero y como futuro profesional, decidí plantear este proyecto de final de grado. Este trabajo permite simular un proceso real del sector industrial y ofrece la posibilidad de interactuar y trabajar, con todos aquellos elementos que me impulsaron a elegir estos estudios. Este proyecto me ha permitido demostrar la evolución y el aprendizaje obtenido durante estos últimos años y ante todo, reflejar la pasión, el esfuerzo, la dedicación y el empeño, por conseguir metas y propósitos de vida, al mejorar cada día.

CAPÍTULO II: SOFTWARE EMPLEADO PARA EL DESARROLLO DEL TFG

2.1 Herramientas software consideradas

Durante la realización de este proyecto, se han valorado diversas herramientas de software destinadas a realizar los procesos planteados en los objetivos del trabajo, no obstante, debido a los requerimientos y las posibilidades ofrecidas por cada programa, no todas las opciones han sido válidas a la hora de ejecutar los procesos deseados. A continuación, indicaremos una lista de los programas valorados y sus capacidades.

2.1.1 Programas Descartados

2.1.1.1 Factory I/O

Factory I/O es un software de simulación 3D que permite recrear estaciones de gran realismo a partir del uso de sistemas automatizados y robotizados. Tal y como se describe en [1], esta herramienta ofrece una gran cantidad de posibilidades y ventajas a la hora de recrear, simular y controlar un terminal, de entre las que destacan las siguientes:

- Su amplia compatibilidad permite al sistema trabajar con cualquier tipo de PLC, (Simuladores PLC, Modbus, OPC y muchos otros) estableciendo conexiones, que permiten controlar los procesos de la planta.
- Ofrece la posibilidad de simular procesos complejos en estaciones destinadas al aprendizaje sin ningún riesgo.
- Dispone de una gran librería de elementos destinados a la recreación de sistemas, siendo estos, sensores, transportadores, elevadores, estaciones y muchos otros.
- El programa presenta una amplia similitud con los procesos y aplicaciones presentes en el sector industrial real.
- El software permite trabajar con entradas y salidas tanto analógicas como digitales.
- Facilidad de integración con equipos de aprendizaje de la compañía Siemens y Allen-Bradley PLC mediante conexión Ethernet.

Una vez destacadas las posibilidades ofrecidas por el sistema Factory I/O, indicaremos los motivos por los que el software no ha sido escogido para la realización de este proyecto:

- A pesar de presentar una gran cantidad de librerías destinadas a la creación de estaciones de trabajo, los elementos con posibilidad de uso son limitados y no permite la creación de otros nuevos.
- La programación de los brazos robóticos es limitada y no permite la creación de trayectorias a partir de la consola Rapid.
- Los modelos de las estaciones no permiten implementar opciones de diseño propias.

2.1.1.2 Blender

Blender es un programa destinado al modelado, la renderización, animación y creación de objetos 3D. Tal y como se explica en [2], este programa ofrece una gran cantidad de posibilidades en el ámbito del diseño, permitiendo la creación de piezas y modelos tridimensionales con un acabado profesional. En cuanto a las ventajas ofrecidas por el sistema Blender podemos destacar:

- Su capacidad para una gran variedad de primitivas geométricas, incluyendo curvas, mallas poligonales, vacíos, NURBS, metaballs.
- Es multiplataforma, libre, gratuito y con un tamaño de origen realmente pequeño comparado con otros paquetes de 3D.
- Blender acepta formatos gráficos como TGA, JPG, Iris, SGI, o TIFF.
- Junto a las herramientas de animación se incluyen: cinemática inversa, deformaciones por armadura o cuadrícula, vértices de carga y partículas estáticas y dinámicas.

Blender es una herramienta de diseño que ofrece grandes posibilidades en el desarrollo del proyecto. Este software permitía la realización de las piezas y la modelación del automóvil obteniendo acabados profesionales, no obstante, como consecuencia del desconocimiento acerca de su uso y funcionamiento, en contraste con otros programas, fue finalmente descartado.

2.1.2 Programas Empleados en la Realización del Proyecto y su Entorno Gráfico

A continuación, indicaremos los paquetes de software empleados en la realización del proyecto y los motivos por los que han sido elegidos. Asimismo, en el Anexo B se explica el funcionamiento básico de las herramientas y los pasos a seguir para la creación de un entorno de trabajo en cada uno de los programas mencionados.

2.1.2.1 SolidWorks

SolidWorks es un software que se emplea para realizar el modelado mecánico de piezas, figuras y estructuras tanto en 2D como en 3D. Este programa es desarrollado actualmente por la empresa SolidWorks Corp. Tal y como se explica en [3], el programa permite modelar piezas y conjuntos de piezas con sus respectivos planos técnicos que aportan información del elemento a la hora de su producción. Este programa es implementado a partir de los motores de diseño desarrollados por la compañía SolidWorks. Esta herramienta de diseño permite plasmar la idea o el proyecto del diseñador al sistema CAD de una forma fiable y profesional. Asimismo, la exportación de planos y ficheros es realmente sencilla gracias al uso de sistemas parcialmente automatizados. Analizando las posibilidades ofrecidas por esta herramienta de diseño podemos destacar las siguientes ventajas de su uso en el proyecto:

- Facilidad de uso debido a su entorno gráfico, simple y claro, que permite al usuario trabajar con multitud de herramientas y aprender acerca de su funcionamiento rápidamente.

- La oportunidad de trabajar con el software debido a la licencia de estudiante, ofrecida por la universidad de La Laguna.
- Compatibilidad de los formatos de exportación, con el resto de paquetes de software empleados en el proyecto.

Tras analizar las ventajas y posibilidades ofrecidas por el software, destacaremos ciertos aspectos acerca de su funcionamiento y las pautas necesarias para la realización de un proceso de diseño.

2.1.2.2 TIA Portal

TIA Portal es un software de automatización que integra todos los componentes de las máquinas para controlar procedimientos y operaciones mediante lenguaje KOP. Tal y como se desarrolla en [4], al ser una aplicación modular es posible añadir nuevas funcionalidades que se adapten a las necesidades de trabajo. Este software presenta una total compatibilidad con el hardware de los autómatas S7-1200 y S7-1500. TIA Portal ofrece una gran cantidad de funciones que vinculan la automatización y la digitalización de una manera que es eficaz y gestionable.

En este trabajo de fin de grado se ha usado este software dado que es la herramienta principal empleada en el grado para el aprendizaje de automatización. Tanto el conocimiento acerca de su funcionamiento como sus posibilidades de implementación en el ámbito educativo y profesional fueron aspectos determinantes a la hora de trabajar con TIA Portal.

El principal objetivo planteado mediante la utilización de este programa era controlar la lógica de estación simulada en RobotStudio a partir de la simulación PLCSIM de Siemens. Tras un estudio acerca de las posibilidades de conexión entre TIA Portal y la estación modelada en RobotStudio, se consiguió encontrar una extensión que permite implementar dicha comunicación entre ambos paquetes de software y del que se hablará más adelante. No obstante, debido a que estos programas consumen gran cantidad de memoria, finalmente no se logró el funcionamiento simultáneo de éstos.

2.1.2.3 RobotStudio

RobotStudio es un software de simulación y programación offline de ABB. RobotStudio permite que la programación de los sistemas y equipos robóticos se realice desde un ordenador, sin interrumpir la producción industrial. RobotStudio se basa en ABB Virtual Controller, una copia exacta del software real que ejecutan los robots durante la producción. Este software ofrece multitud de opciones a la hora de diseñar estaciones y ejecutar procesos de control en las estaciones simuladas. Entre sus ventajas podemos destacar:

- Capacidad de diseño e importación de elementos propios.
- Control de la lógica de la estación mediante componentes inteligentes.
- Posibilidad de comunicación con los controladores de TIA Portal, mediante el uso de extensiones, disponibles en la librería de ABB.
- Bajos requerimientos de instalación y uso.

- Posibilidad de programar las trayectorias de los brazos robóticos mediante lenguaje Rapid.
- Ofrece una gran cantidad de recursos, elementos y funciones, para la correcta programación y simulación de la estación.
- Presenta una interfaz sencilla y clara para sus usuarios.

RobotStudio permite recrear simulaciones de una forma realista y profesional, no obstante, el uso de este programa presenta una serie de inconvenientes en cuanto a su uso, siendo el principal, la poca información disponible en cuanto a la realización de procesos complejos. Para su comprensión y aprendizaje, el software cuenta con una gran cantidad de manuales acerca de su funcionamiento, que ayudan al usuario a comprender las operaciones lógicas realizadas en la estación de trabajo. Otro de sus inconvenientes, es la necesidad de reiniciar los controladores cada vez que se realizan modificaciones en el sistema o simulaciones de la estación (una gran cantidad de controladores requiere de aproximadamente 3 minutos para su reinicio).

A pesar de ello, este software, dispone de una gran cantidad de opciones y posibilidades de diseño. Una vez comprendido su funcionamiento, el programa presenta un gran potencial que permite simular procesos industriales complejos, de una forma realista, muy próxima a los procesos de control y programación realizados en el sector industrial.

CAPÍTULO III: MODELADO DE LA FASE DE SOLDADURA Y COLOCACIÓN DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO

3.1 Descripción general de una planta industrial de automoción

Tal y como se mencionó en el apartado 1.1 “Objetivo del TFG y tareas asociadas”, el objetivo principal del trabajo consiste en simular de forma 3D, procesos realizados en una planta de automoción mediante el software RobotStudio. Asimismo, como consecuencia de la complejidad de todos los procesos realizados en una estación industrial completa, se ha decidido enfocar el trabajo a una parte concreta de la cadena de montaje, en particular, los procesos de prensado, corte, colocación y soldadura de las puertas laterales de un chasis.

3.1.1 La Industria Automotriz

Tal y como se mencionó anteriormente la contextualización del trabajo viene dada por el desarrollo de algunas etapas concretas de la cadena de producción de una industria automotriz. Tal y como se desarrolla en [5], la industria automotriz es un sector de producción que engloba procesos de diseño, desarrollo, fabricación y comercialización de automóviles. La historia de la industria automotriz se remonta a la década de 1890 y durante muchos años, Estados Unidos fue líder en este sector de producción gracias a la creación de la mano de Ford Motor Company, siendo ésta la primera línea de producción del mundo en el año 1913. Esta producción en masa redujo el tiempo de ensamblaje del chasis de 12 horas y media a 100 minutos.

A lo largo de los años el sector industrial continuó desarrollando e implementando nuevas tecnologías tanto en sus vehículos como en sus elementos de producción. Estos avances tecnológicos permitieron a las industrias reducir notablemente sus tiempos de fabricación, en su mayoría, gracias a la implementación de sistemas automatizados y robotizados. Estos sistemas permiten la realización de trabajos específicos de forma rápida y precisa, colaborando conjuntamente con los operarios en tareas de cualquier índole. Su programación y configuración por parte de los ingenieros es una tarea vital en el sector industrial, ya que la dependencia de los sistemas automatizados en la industria puede hacer que un fallo detenga la producción completa de una planta, ocasione grandes pérdidas a nivel económico para la empresa o lo que es más importante, puede poner en riesgo la integridad física de sus trabajadores.

Asimismo, el crecimiento, el desarrollo y la demanda de vehículos ha ido aumentando de forma exponencial hasta nuestros días. Sin embargo, el impacto social y medioambiental generado por este sector, ha dado lugar a un cambio en los objetivos de diseño de las empresas líderes, comenzando a enfocar su visión hacia un mundo más sostenible y limpio. Debido a esto, las grandes empresas, aumentaron considerablemente el desarrollo y la producción de vehículos eléctricos, reduciendo notablemente las emisiones de dióxido de carbono y contribuyendo a la mejora del ecosistema.

3.1.2 Producción en cadena y etapas de la fabricación en serie

Tal y como se explica en [6], la producción en serie consiste en un proceso de producción industrial mediante el que se realiza la cadena de montaje de una forma organizada y estructurada. En este modelo de producción se dividen las tareas de forma específica y son delegadas a los operarios y las maquinarias para su realización. Esta división de tareas concretas en la cadena de producción tiene el objetivo de optimizar los procesos y economizar el tiempo destinado a la fabricación. Durante el proceso de construcción de un automóvil podemos diferenciar nueve etapas de proceso principales. A continuación, explicamos brevemente en qué consiste cada una de ellas:

3.1.2.1 Llegada y clasificación de las piezas

En relación a esta primera etapa, debemos considerar que en el proceso de producción de un automóvil la mayoría de las piezas empleadas en la fabricación del vehículo son producidas en plantas especializadas. Debido a esto, las empresas cuentan con departamentos de compra y logística que son responsables de asegurar la disponibilidad de productos en su almacén, de esta forma se asegura tener un inventario suficiente y continuo de todas las piezas para su posterior clasificación y distribución en los sectores de trabajo.

3.1.2.2 Corte y modelado de las piezas

En la segunda etapa del proceso de producción de un automóvil se realiza el proceso de mecanización de las piezas que serán empleadas en la fabricación del chasis. En esta etapa podemos diferenciar principalmente cuatro pasos:

- Se sitúan la pieza sin procesar en un área destinada a la delineación del contorno.
- Se corta el exceso de material y se le da la forma correspondiente.

- Se pulen los detalles de curvas y esquinas de la pieza.
- Se realizan perforaciones correspondientes a los puntos de ensamblaje empleados en la cadena de producción.

3.1.2.3 Ensamblaje del chasis

En la tercera etapa del proceso de producción de un automóvil se realizan las tareas de ensamblaje y soldadura de las piezas que conformarán el chasis del vehículo. En este proceso se emplean sistemas robotizados con efectores finales destinados al agarre y soldadura de los elementos a ensamblar debido a su precisión a la hora de desempeñar este tipo de tareas y también a su capacidad para desplazar elementos pesados. Algunos de los componentes empleados en el proceso de ensamblaje y soldadura por resistencia del chasis son:

- Máquinas de pedestal: Estas máquinas permiten realizar tareas en las que se requiera de una gran fuerza de aplicación. Asimismo, estas máquinas pueden ser controladas por medios manuales o a partir de sistemas robotizados.
- Electrodos de cobre: permiten realizar tareas de soldadura permitiendo un ensamblaje de calidad y gran precisión.
- Brazos robóticos: estos elementos permiten la realización de todo tipo de tareas siendo empleados en procesos de soldadura o transporte de grandes cargas de una forma precisa y sencilla.
- Adaptadores: Permiten acoplar los efectores finales de los sistemas robotizados.
- Pistolas de Soldadura: estos efectores finales son acoplados a los adaptadores de los sistemas robotizados permitiendo realizar la soldadura de las piezas y dando lugar al ensamblaje del chasis.
- Luvata: un tipo de electrodo que puede ser empleado en los procesos de soldadura de la industria automotriz.
- Leoni: cables eléctricos empleados en procesos que someten a estos elementos a tareas de resistencia, compresión, torsión, aislamiento, conducción y tensión.
- Welding Technology Corporation (WTC): estos elementos son un tipo de controladores que permiten una supervisión de la calidad del proceso de soldadura.
- Tessonics: estos instrumentos con tecnología de ultrasonido permiten controlar y analizar la calidad de las soldaduras una vez finalizado el proceso o durante la realización de este.

3.1.2.4 Etapa de pintura

La siguiente etapa realizada en el proceso de fabricación de un automóvil es la aplicación de pintura a partir del uso de sistemas robotizados y hornos de secado especializados. El proceso de aplicación de pintura cuenta con cuatro pasos principales que serán mencionados a continuación:

- El chasis es sometido a una solución química que prepara el material de fabricación para recibir la capa de pintura.
- Se aplica una capa anticorrosión en el exterior y el interior.

- Se sellan los elementos que han recibido el tratamiento previo al proceso de pintura.
- Los brazos robóticos aplican la capa de color correspondiente.

3.1.2.5 Colocación de elementos mecánicos

En esta etapa se realizan tareas de soldadura, atornillado, ajuste y ensamblaje de elementos mediante el trabajo conjunto de los sistemas robotizados y los operarios de la planta. En cuanto a este proceso podemos distinguir tres pasos principales:

- Se retiran las puertas para iniciar el proceso de montaje.
- Se ensambla el motor en el espacio frontal correspondiente.
- Se instalan las suspensiones, el cableado, el sistema de escape, los ejes, la transmisión y la columna de dirección.

3.1.2.6 Acabado de exteriores

Durante esta fase del proceso de producción de un automóvil se realizan tres tareas principales que tienen como objetivo finalizar la carrocería del vehículo producido. En este trabajo se emplea una combinación de trabajo mecánico, robótico y manual para cada una de ellas. Estas tres fases son:

- Ensamblaje de piezas plásticas que completan la carrocería del vehículo.
- Instalación de luminaria y ruedas.
- Fijación de lunas traseras y delanteras.

3.1.2.7 Acabados de interiores

En esta etapa los operarios de la planta se encargan de realizar la instalación de los elementos interiores del vehículo. Estos procesos no pueden ser desarrollados por los sistemas robotizados ya que se debe acceder al interior del vehículo y existen gran cantidad de elementos que podrían resultar dañados ante un fallo o golpe de los brazos robóticos. Alguno de los elementos que se instalan en esta etapa son:

- Cableado eléctrico y luces
- Asientos
- Salpicadero
- Volante
- Cinturones
- Otros elementos como botones, etc.

3.1.2.8 Comprobación y verificación de cada automóvil

En esta etapa los vehículos son revisados a nivel técnico antes de salir de la cadena de montaje. Para ello, los operarios verifican que todos los elementos del vehículo funcionen correctamente y cumplan los criterios de calidad establecidos. Este proceso permite la detección prematura de errores en el funcionamiento del vehículo y tras su detección, el automóvil es devuelto a la fase de montaje correspondiente a la corrección del error detectado.

3.1.2.9 Realización de Pruebas

Esta se trata de la fase final del proceso de producción de un automóvil, sometiendo al vehículo a una serie de pruebas donde se le realizan valoraciones acerca de su funcionamiento. El vehículo debe cumplir con cada una de las especificaciones valoradas para dar por concluido el proceso de fabricación y así poder salir a la venta.

Algunas de estos ensayos son:

- Comprobaciones eléctricas
- Comprobaciones mecánicas
- Detección de entradas de agua.
- Comprobación de aceleración y frenado.
- Respuesta de amortiguadores y dirección.

3.2 Explicación del funcionamiento de las etapas modeladas y automatizadas

Debido a la gran cantidad de procesos realizados mediante sistemas robotizados en la industria automotriz y la amplia gama de herramientas ofrecidas por el software RobotStudio, cabe destacar que se podría simular cualquiera de las etapas de fabricación de automóviles mencionadas en el apartado 3.1.2 *“Producción en cadena y etapas de la fabricación en serie”*. En este trabajo hemos decidido simular y automatizar cuatro de ellas debido, fundamentalmente, a la cercanía y compatibilidad de los procesos seleccionados y a la complejidad para simular aquellas etapas descartadas donde los procesos también requieren del trabajo manual de los operarios. En la figura 1 se muestra una vista general de la estación diseñada en la que se aprecian las cuatro etapas que se han modelado y automatizado y que se describen a continuación.

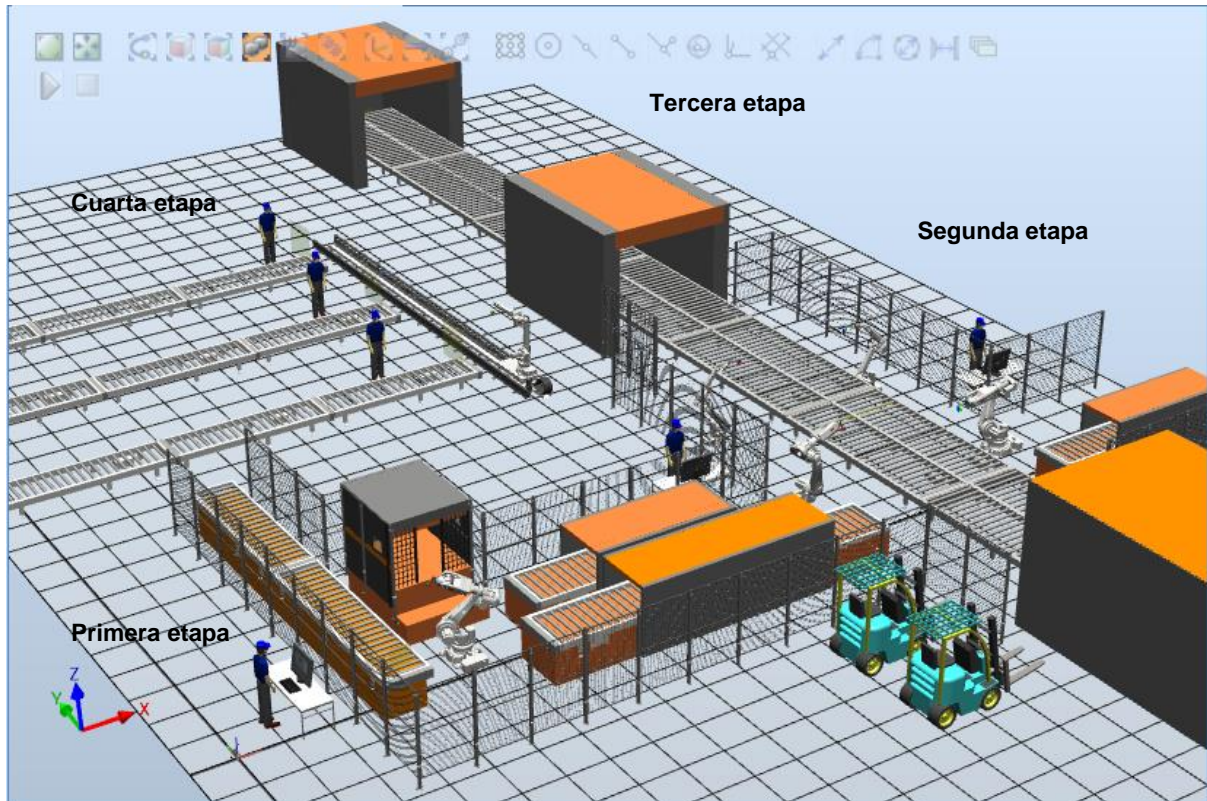


Figura 1. Vista general de la planta con cada una de sus etapas.

3.2.1 Primera Etapa: Corte y modelado de las piezas laterales de un vehículo Smart

Analizando las fases de producción de una industria automotriz, hemos decidido crear una primera etapa de la estación referente al proceso de prensado y corte de las puertas laterales del chasis. A esta primera etapa llegan de forma continua piezas metálicas gracias a una cinta transportadora que desplaza los materiales hasta el punto de recogida del sistema robotizado. Estos elementos se pueden apreciar en la *figura 2*.

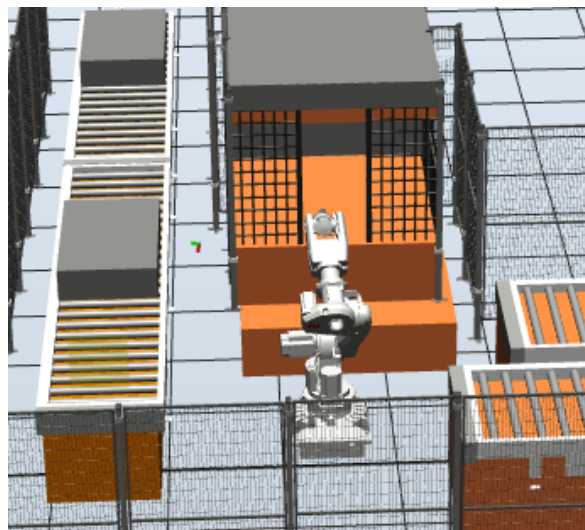


Figura 2. Banda de transporte, sistema robotizado y prensa de la primera etapa.

Posteriormente a este proceso, el sistema robotizado, realizará el agarre de las piezas y su colocación en el interior de la prensa. Para la realización de este proceso de agarre y colocación se deben verificar las siguientes condiciones:

- Las rejas de la prensa deben estar cerradas.
- El pistón de la prensa debe estar retraído.
- El sistema no debe detectar ninguna pieza en el interior de la prensa.
- El brazo robótico debe estar en su posición de origen.

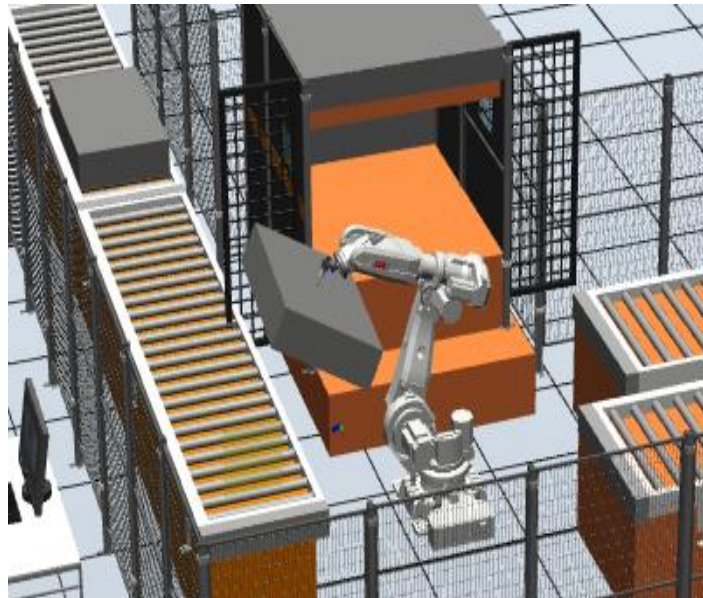


Figura 3. Agarre de la pieza no mecanizada para su colocación en la prensa.

Una vez que se ejecuta el proceso de prensado, la estación recoge la pieza mecanizada y la envía a la segunda etapa mediante el uso de dos cintas de transporte. El orden de colocación en cada cinta depende del lateral del coche en el que se vaya a colocar la pieza, no obstante, este proceso de transporte de piezas mecanizadas hacia la segunda etapa será descrito más adelante en el apartado 4.2 “*Segunda Etapa: Colocación y soldadura de las piezas laterales*”.

En relación con el proceso de envío podemos especificar que existen dos puntos de recepción de piezas en la segunda etapa, uno a la derecha de la línea de transporte del coche y otro a la izquierda. Las piezas que son transportadas por una de las cintas se colocan en el lateral izquierdo del vehículo, mientras que las otras pasan por debajo de la línea de transporte del coche para ser colocadas en el lateral derecho. Para enviar esta pieza al lado derecho de la estación el sistema robotizado deposita la pieza en la banda transportadora 1 que se indica en la figura 4. En esta figura también se indica el sentido y ubicación de la línea de transporte del coche a partir de una flecha roja.

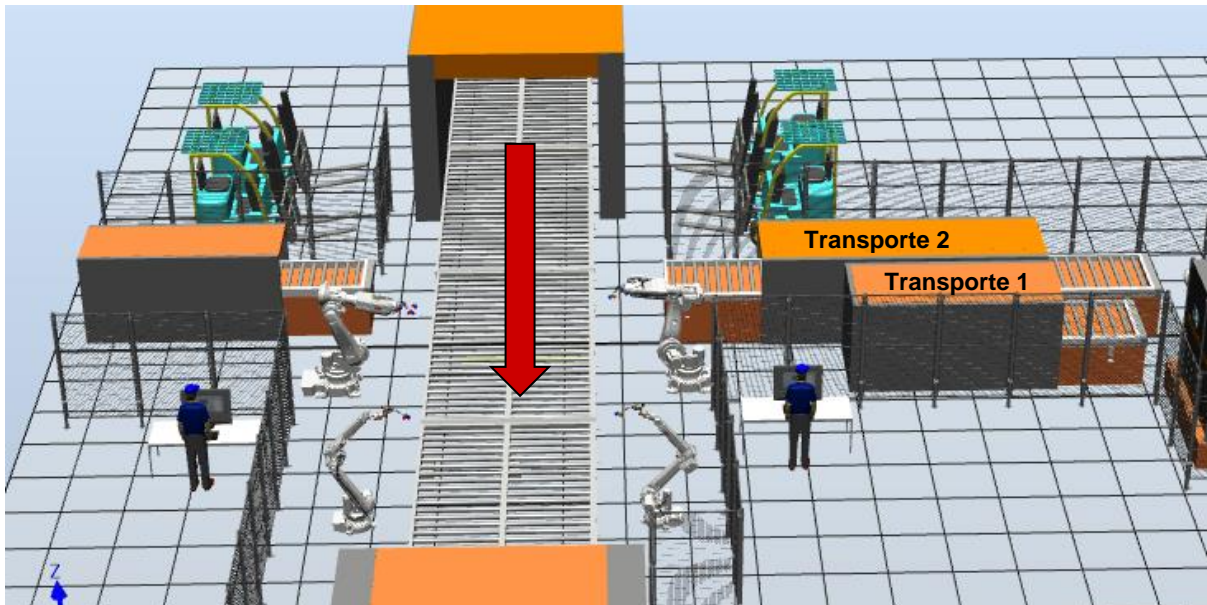


Figura 4. Vista general del transporte de piezas de la primera a la segunda etapa.

Se optó por esta configuración por motivos de eficiencia en los tiempos de realización de los procesos. Realizar el primer envío de pieza al punto más alejado de la estación permite emplear el tiempo de su transporte en la mecanización de la segunda pieza.

Debido a la complejidad que suponía realizar la tarea de corte de cada pieza mediante un sistema robotizado, el modelo supone la realización de dicho proceso mediante el transporte de las piezas hacia la segunda etapa. En la estación aparecen las piezas ya mecanizadas en la segunda etapa, por lo que suponemos que este procedimiento se realiza mediante un corte por láser ubicado en los transportes 1 y 2 que conectan la primera y segunda etapa.

3.2.2 Segunda Etapa: Colocación y soldadura de las piezas laterales

En la segunda etapa del proceso que se está modelando, los brazos robóticos colocan las piezas, previamente procesadas, en los laterales del chasis diseñado. Una vez finalizado el proceso de incorporación de las piezas, el vehículo avanza hasta el siguiente punto de la etapa, donde otros dos brazos robóticos realizan los puntos de soldadura correspondientes a los anclajes de las bisagras mediante una trayectoria lineal.

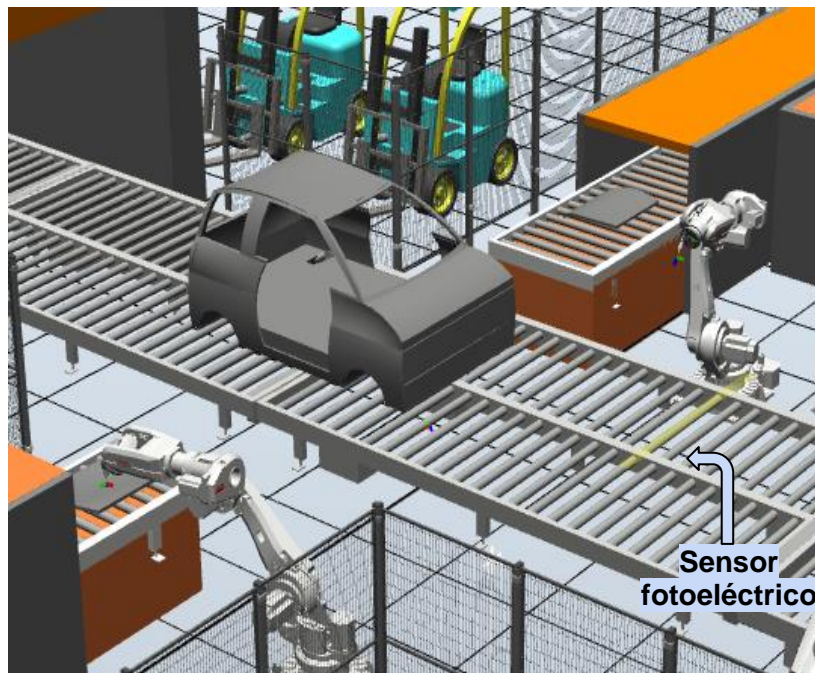


Figura 5. Agarre de las piezas mecanizadas en la segunda etapa.

Durante esta fase, las piezas enviadas por la primera etapa son recogidas por los brazos robóticos, comunicando a la estación que están listas para ser colocadas en el chasis del vehículo. En ese momento, el sistema activa la cinta transportadora del chasis hasta que alcanza el primer punto establecido definido por el detector fotoeléctrico que aparece en la figura 5 con color amarillo. Una vez que el vehículo se encuentra en la posición correcta, la estación informa al sistema robotizado de que se pueden colocar las piezas en los laterales del vehículo. Tras finalizar el proceso de colocación, los brazos robóticos permanecen fijos en la posición durante un cierto tiempo, permitiendo a los operarios fijar las piezas para su posterior soldadura.

La implementación de este proceso se ha realizado mediante la programación en Rapid. El código desarrollado, que puede consultarse en el Anexo B, contiene diversas secuencias de acciones que se ejecutan en función del estado de ciertas variables, entre las que se encuentran un sensor fotoeléctrico o la que informa sobre el correcto agarre de las piezas en ambos brazos robóticos.

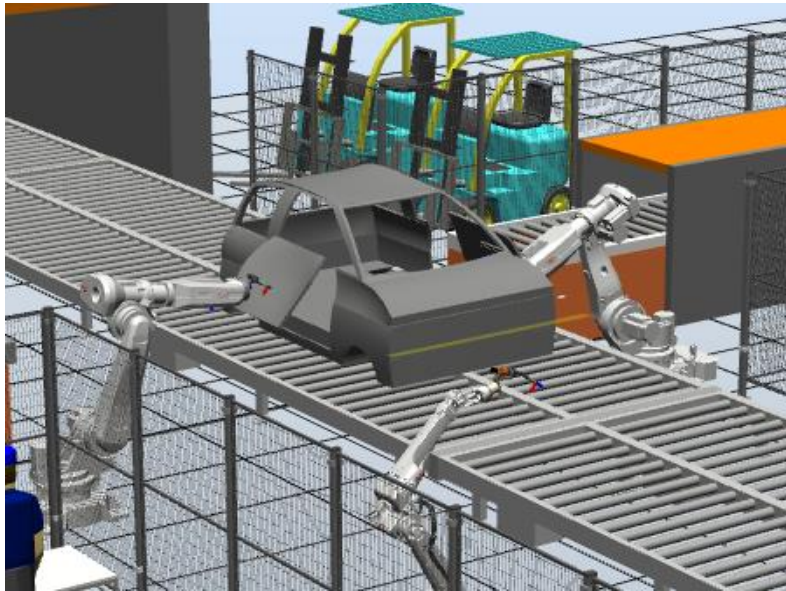


Figura 6. Colocación de las piezas mecanizadas en la segunda etapa.

Tras finalizar el proceso de colocación de las piezas en los laterales del vehículo, el sistema reanuda el movimiento de la cinta transportadora, situando el automóvil en la posición de soldadura. Nuevamente, la cinta es detenida gracias al uso de un sensor fotoeléctrico que comunica que se ha alcanzado la posición correcta. Una vez detenida la cinta y verificadas las condiciones de soldadura, activación del sensor fotoeléctrico y brazos en posición de origen, los brazos robóticos efectuarán las trayectorias pertinentes, para lo que cuentan con un efector final de soldadura por punto de resistencia. Este tipo de soldadura es el sistema de fijación principal utilizado en la fabricación de las carrocerías de acero.

3.2.3 Tercera Etapa: Aplicación de pintura en el chasis

La tercera etapa consiste en la implementación de un sistema sencillo, ejecutado en un túnel de pintura de uretano. Una vez que el sistema finaliza la soldadura de las piezas laterales, la estación comunica el fin del proceso activando nuevamente el movimiento de la cinta. El automóvil avanza por los raíles de transporte y durante este proceso, cruza el túnel presente en la estación, sometiéndose a la primera capa de pintura que recibirá durante el proceso de producción.

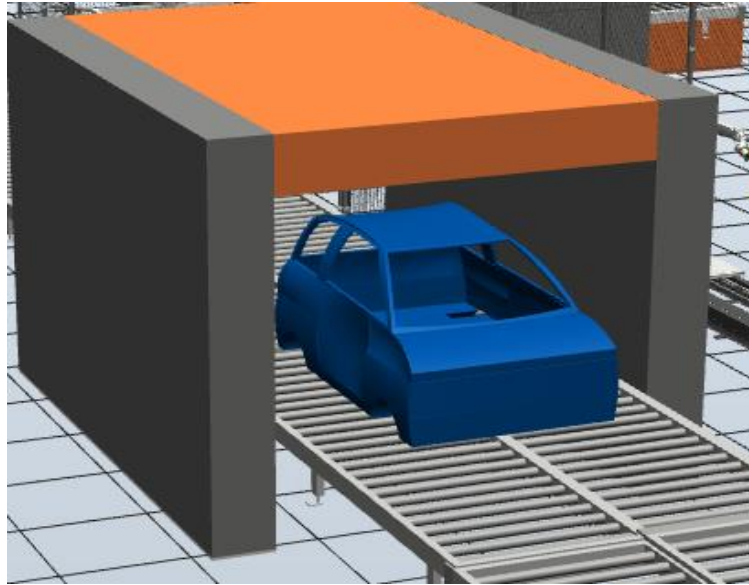


Figura 7. Salida del túnel de pintura.

Para la implementación de esta tarea hemos supuesto el trabajo de un brazo robótico en el interior del túnel, no obstante, dicho brazo no se ha simulado en la estación debido a la falta de espacio y a la necesidad de implantar otro controlador que sobrecargaría el trabajo del proyecto. En caso de simularlo, este sistema robotizado contaría con un efector final destinado a la pulverización de la pintura a lo largo del vehículo. La realización del proceso de pintura se realiza gracias a la activación de un sensor fotoeléctrico que detecta el momento de entrada del vehículo a la cabina de pintura. Tras la finalización del proceso, el chasis continúa avanzando por la cinta hasta la cuarta etapa de la estación.

3.2.4 Cuarta Etapa: Soldadura de la parte trasera del vehículo

Para finalizar con el desarrollo de la estación implementada en RobotStudio, el automóvil avanza hasta la cuarta etapa donde tiene lugar el proceso de soldadura de la parte trasera del chasis. Este proceso cuenta con un único brazo robótico que se traslada a los puntos de actuación desplazándose por una cinta. Esta etapa cuenta con tres líneas de transporte para vehículos que han sido implementadas con el objetivo de agilizar los procesos de esta cuarta etapa, de manera que al terminar de soldar la parte trasera del vehículo que se encuentra en una calle, en las demás ya podría haber otro a la espera de realizar el mismo proceso. Si hubiera una única calle, el vehículo ya terminado tendría que salir para que pudiera entrar otro. Tal y como se observa en la figura 8, en cada línea el automóvil se traslada marcha atrás hasta la posición de soldadura.

Una vez que el sensor fotoeléctrico indica que el vehículo alcanza la posición correcta, el brazo robótico se desplaza hasta la calle en la que se encuentra para realizar el proceso de soldadura. Durante esta etapa, los vehículos acceden a las líneas mediante un orden establecido, permitiendo a los operarios verificar el estado de las soldaduras al finalizar el proceso. En relación con el tipo de soldadura, cabe destacar que el proceso se realiza mediante un efector final por punto de resistencia.

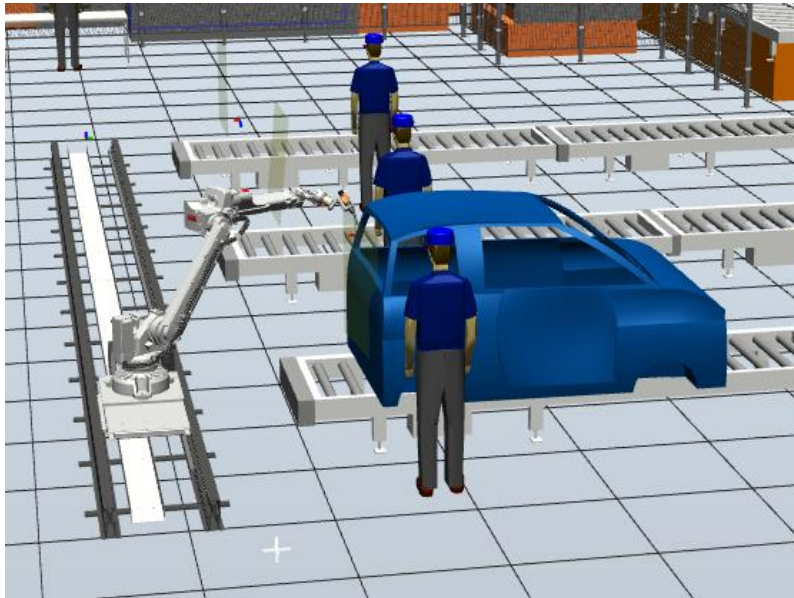


Figura 8. Proceso de soldadura de la parte trasera del chasis en la cuarta etapa.

CAPÍTULO IV: AUTOMATIZACIÓN DE LAS ETAPAS MODELADAS EN ROBOTSTUDIO

A continuación, se explica con detalle cómo se ha llevado a cabo la automatización de las etapas descritas en el capítulo anterior. En el Anexo C se facilitan los enlaces a unos vídeos que creemos que pueden contribuir a entender mejor el funcionamiento del sistema.

4.1 Primera Etapa: Corte y modelado de las piezas laterales de un vehículo Smart

4.1.1 Puesta en marcha de la cinta y generación de las piezas

Esta operación comienza a partir de la activación de la simulación y la señal “Start” mediante el uso de la herramienta “Simulador de E/S” de RobotStudio. Una vez se inicia la simulación, el proceso comenzará a generar piezas metálicas, con dimensiones previamente establecidas, en intervalos de 5 segundos. Tras la detección de la llegada de la primera pieza, el sistema activará la cinta transportando el material hasta el punto de recogida. Gracias a un sensor fotoeléctrico, ubicado en el punto de destino de la pieza, la cinta detendrá su movimiento y comunicará a la estación que se encuentra en el proceso de prensado y no debe enviar más piezas a la etapa.

Con relación al funcionamiento y control de este proceso, podemos destacar la creación de un componente inteligente en el programa RobotStudio denominado “Componente inteligente_2”. Esta herramienta es responsable de la comunicación y la interacción mediante señales digitales simuladas por el programa. En este componente podemos encontrar diversos elementos que interactúan con el proceso previamente desarrollado.

En primer lugar, en cuanto a las señales de entrada y salida digitales creadas encontramos las siguientes:

Tabla 1: Señales del “Componente inteligente_2”

| Entradas | Salidas |
|----------------------|-----------------------------|
| Start | Pieza_para_entrar_en_prensa |
| Agarre | Agarre_correcto |
| Soltar | Soltar_Correcto |
| Proceso_Finalizado | Recogida_pieza_cortada |
| Pieza_Creada_Piston | Pistón_Accionado |
| Seguridad_Movimiento | |
| Piston_Prensado | |
| Realizacion_Proceso | |

Señales de entrada

- Start: indica el comienzo de la simulación y los procesos realizados en la estación.
- Realización Proceso: comunica a la estación que la pieza ha llegado al punto de destino y se está realizando el proceso de prensado de esta.
- Seguridad Movimiento: mantiene las piezas ya creadas en su ubicación actual, impidiendo su avance a lo largo de la cinta. Esto es debido a que, el componente responsable del movimiento de las piezas, el Linear Mover, requiere de una orden adicional para detener su funcionamiento.

Señales de salida

- Pieza para entrar en prensa: Esta salida digital es seteada cuando el sensor fotoeléctrico, detecta una pieza en posición de recogida. Esta señal se encarga de comunicar la realización del proceso de recogida y, por lo tanto, ordena la detención de la cinta transportadora, así como la llegada de nuevas piezas a la etapa.

En la segunda etapa de la estación, continuaremos explicando las entradas y salidas digitales del “Componente inteligente_2” mencionadas en la tabla 1, dado que el resto de las señales establecen la comunicación con la segunda etapa del proceso.

En cuanto a los elementos empleados en este proceso podemos destacar:

- Timer: envía pulsos de señales digitales a 1 según el intervalo de tiempo indicado, en el caso de la estación, envía un pulso al recurso Source, permitiendo la creación de una nueva pieza cada 5 segundos.
- Source: permite crear copias de un elemento en un punto de la estación seleccionado, mediante sistema de coordenadas.
- Queue: almacena las copias creadas y las mantiene en cola hasta finalizar un proceso determinado. Esta herramienta da lugar a un sistema estructurado y ordenado, a partir de una jerarquía de las piezas.
- Linear Mover: permite el desplazamiento de las copias a través de la cinta transportadora.
- Puertas Lógicas: posibilitan la interacción de los componentes mediante la creación de condiciones entre dos o más señales de la estación.
- Plane Sensor: realiza la función de un sensor fotoeléctrico, enviando un pulso cuando un elemento entra en su radio de detección.

4.1.2 Agarre de la pieza y proceso de prensado

Una vez activada la señal “Pieza_para_entrar_en_prensa”, la estación comunicará a la siguiente subetapa, que una pieza se encuentra en posición de espera para ser trasladada al proceso de prensado. Analizando la lógica de la estación, podemos observar que la señal anteriormente mencionada se encuentra enlazada con el controlador del brazo robótico mediante una condición. Esta condición activa la realización de las trayectorias programadas para el manipulador. La señal del controlador que activa el primer movimiento del brazo robótico es “Pieza_espera_cinta1”. En este instante, el controlador activa una salida enlazada con la prensa, solicitando la apertura de sus rejas y verificando que el pistón esté retraído. El sistema confirmará la correcta apertura de las rejas, permitiendo el agarre y la colocación de la pieza en el interior de la prensa. Tras depositar la pieza, el brazo robótico retornará a su posición de inicio mientras se realiza el proceso de prensado de la pieza.

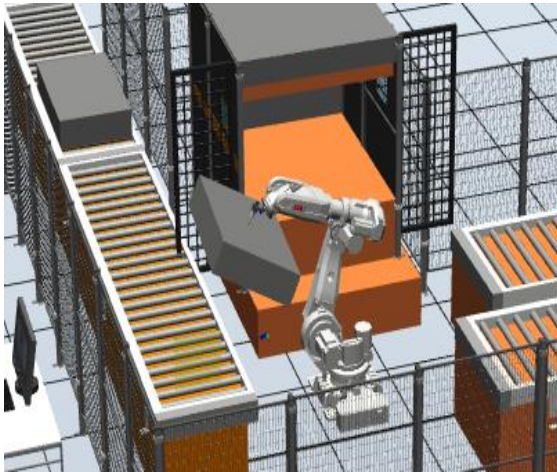


Figura 9. Agarre de pieza sin mecanizar en la primera etapa.

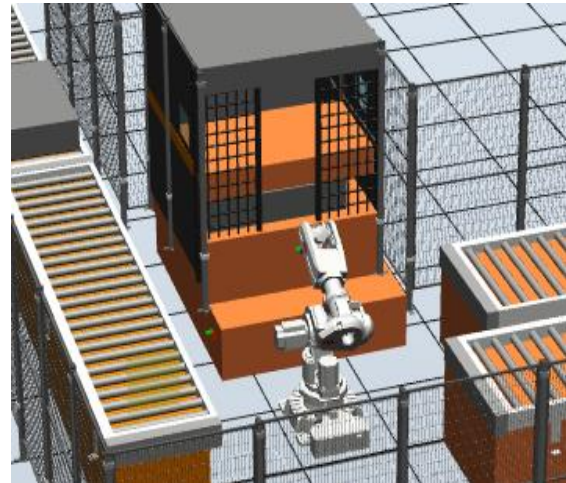


Figura 10. Proceso de prensado de la primera etapa.

En cuanto a las señales de entrada y salida digitales que interaccionan con la segunda etapa, destacamos las siguientes (consultar Tabla 1):

Señales de salida

- Agarre: indica que la pieza debe ser agarrada por la herramienta *Attacher*, informando al sistema de que el brazo debe activar el mecanismo (*tool* o *actuador*) insertado en el extremo del robot, y puede iniciar la trayectoria de colocación del material en el interior de la prensa.
- Soltar: informa al sistema de que la pieza ha sido colocada correctamente en el interior de la prensa y, por lo tanto, el brazo robótico puede retornar a su posición de inicio.
- Pistón prensando: indica que el pistón se encuentra extendido y realizando el proceso de prensado de la pieza.
- Pieza creada pistón: indica que el pistón ha cumplido con el tiempo de prensado y permanece a la espera de ser retraído.

Señales de entrada

- Agarre correcto: informa al sistema de que la pieza ha sido agarrada correctamente y, por lo tanto, el brazo robot puede iniciar la trayectoria de colocación del material en el interior de la prensa.
- Soltar correcto: indica al sistema de que la pieza ha sido colocada correctamente en el interior de la prensa, dando lugar al movimiento de retorno del sistema robotizado.
- Pistón accionado: activa el pistón de la prensa, extendiendo el elemento hasta el punto indicado.
- Recogida pieza cortada: informa a la prensa de que la pieza ha sido recogida correctamente y está disponible para recibir una nueva pieza. Esta salida reactiva el proceso de creación y desplazamiento de las piezas presentes en la cinta transportadora.

En cuanto a los elementos empleados en este proceso podemos destacar:

- Timers.
- Puertas lógicas.
- Plane sensors.

Asimismo, en este proceso de la primera etapa destacaremos la creación y el funcionamiento de la prensa ya que este elemento no se encontraba en las librerías de RobotStudio y ha sido creado como un componente individual.

4.1.2.1 Creación y funcionamiento del componente “Prensa”

El componente “Prensa” ha sido creado como un elemento individual en RobotStudio y posteriormente, ha sido insertado en la estación para su interacción con el sistema. Para su creación se han realizado las herramientas “Sólido” y “Tetraedro” destinadas a la creación de su estructura básica y el pistón. Más adelante, los elementos de la estructura han sido incluidos en un componente inteligente con las siguientes señales de interacción:

- Brazo colocó pieza: indica que una pieza ha sido depositada en el interior de la prensa y puede realizar el proceso correspondiente.
- Pistón arriba: indica la acción de extender el pistón hasta el punto de prensado de la pieza (herramienta empleada: linear mover 2).
- Pistón abajo: ordena retraer el pistón hasta su posición de origen, una vez finalizado el proceso de prensado (herramienta empleada: linear mover 2).
- Rejas abiertas: Ejecuta la acción de apertura de las rejas para la colocación o retirada del elemento situado en su interior.
- Rejas cerradas: Ejecuta la acción de cierre de las rejas para la realización del proceso de prensado del elemento situado en su interior.
- Pieza lista cortada: una vez finalizado el proceso de prensado, retraído el pistón y abiertas las rejas, la prensa, informa al sistema de la existencia de una pieza finalizada que puede ser recogida por el brazo robótico.

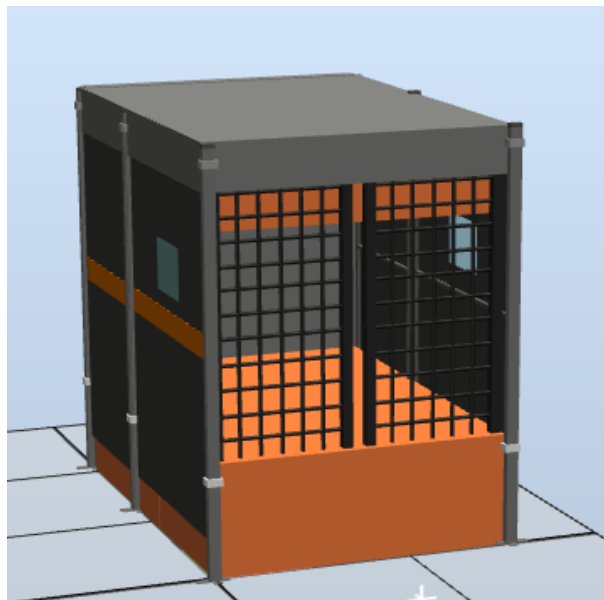


Figura 11. Elemento prensa empleado en la primera etapa.

4.1.3 Recogida y corte de la pieza

Una vez finalizado el proceso de prensado, comienza la retracción del pistón y la apertura de las rejillas, indicando al sistema robotizado, que la pieza ha sido procesada y puede ser recogida. Esta señal de comunicación entre la prensa y el código de Rapid se realiza mediante la activación de la señal de salida "Pieza_lista_Cortada". A partir de la activación de esta marca, el brazo robótico ejecuta la trayectoria de recogida de la pieza procesada, situando el efector final del brazo sobre la pieza, activando el agarre y depositando la pieza en la primera banda transportadora. En la figura 12 se puede apreciar el proceso de recogida de la pieza mecanizada.

El proceso de retirada de la pieza se realizará de forma cíclica durante un bucle de 300 iteraciones. Este número de iteraciones es debido a que, tras finalizar los ciclos, por recomendación del fabricante, los operarios deben verificar el estado de los elementos presentes en la estación.

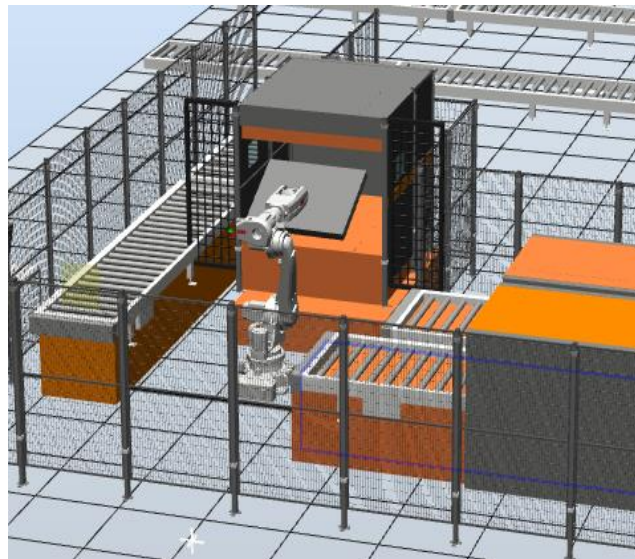


Figura 12. Colocación de una pieza sin mecanizar en la prensa de la primera etapa.

Tal y como se comentó con anterioridad en el apartado 3.2.1 referente a la explicación del funcionamiento de la primera etapa, podemos encontrar dos diferentes líneas de transporte para las piezas mecanizadas en función del lugar de destino de la pieza. En el apartado 3.3.1.3.1 se especifica acerca del funcionamiento y proceso realizado en cada línea de transporte.

En primer lugar, el brazo robótico sitúa el componente que se envía al lado derecho de la segunda etapa, es decir, el punto más alejado de la prensa. Por el contrario, en el segundo ciclo, el efector final deposita el elemento en la banda adyacente, correspondiente al envío del lado izquierdo.

Se optó por esta configuración por motivos de eficiencia en los tiempos de realización de los procesos. Realizar el primer envío de pieza al punto más alejado de la estación permite

emplear el tiempo de su transporte en la mecanización de la segunda pieza. (Página 17, apartado 3.2.1)

En relación con las herramientas empleadas durante este proceso en el software RobotStudio, podemos destacar:

- Plane sensor: realizando la función de un final de carrera que detecta tanto la retracción como la extensión del pistón de la prensa, proporcionando información acerca del proceso de prensado a los otros elementos de la estación.
- Attacher: activa el efector final del brazo robótico para la recogida de la pieza procesada.
- Detacher: desactiva el efector final del brazo robótica tras colocar correctamente la pieza procesada en la banda transportadora.
- Source: Crea la nueva pieza obtenida tras el proceso de prensado.
- Hide: elimina el primer material colocado en el interior de la prensa.

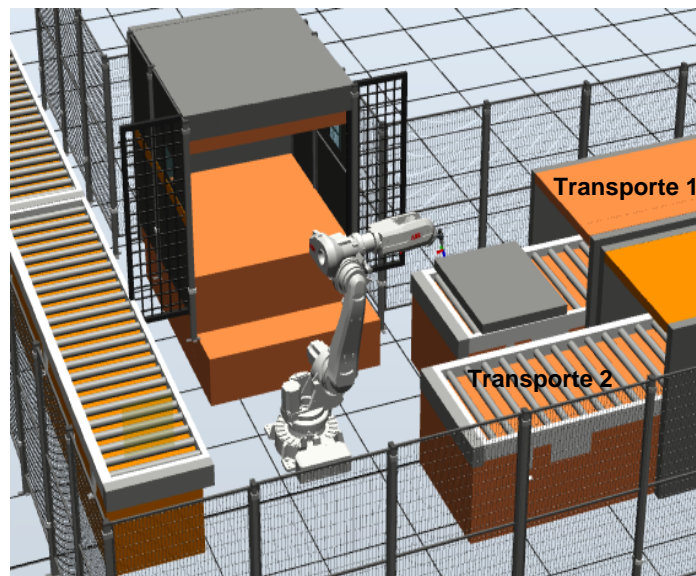


Figura 13. Colocación de la pieza mecanizada en el transporte 1.

4.1.3.1 Realización del proceso de corte y transporte de las piezas

Debido a la complejidad que suponía realizar el control de cada uno de los elementos en la estación, se optó por no simular el proceso de corte de la pieza mediante un sistema robotizado. Como ya se comentó, para este proceso de corte hemos dado por supuesto la realización de la tarea al mismo tiempo que las piezas son transportadas al punto de recogida de los brazos robóticos. Este proceso se realizaría mediante un sistema de corte por láser ubicado en el interior del túnel de cada línea. Tras la llegada de las piezas, se iniciará el proceso de colocación de los elementos en el chasis. En cuanto a las bandas transportadoras de piezas a la etapa 2 podemos encontrar:

- Banda transportadora 1: mediante un supuesto mecanismo de ascensor y un proceso de corte del elemento transportado, esta cinta desplaza la pieza “Puerta derecha” hacia el lado derecho de la segunda etapa para su posterior colocación en el chasis.

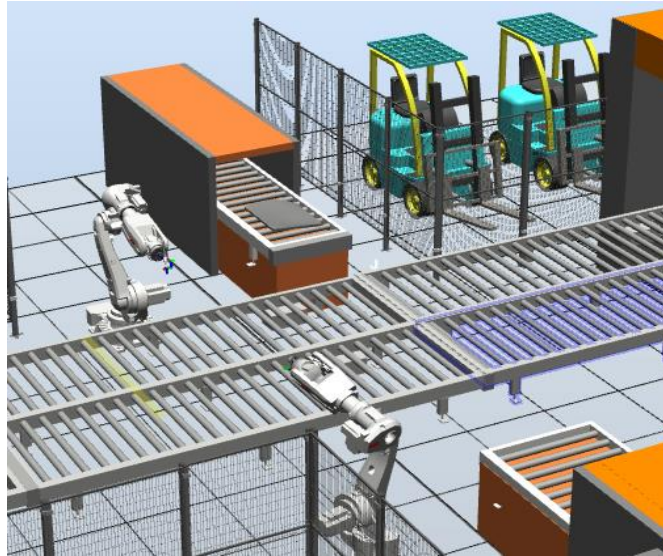


Figura 14. Llegada de la puerta derecha a la segunda etapa.

- Banda transportadora 2: suponiendo el proceso de corte de la pieza “Puerta izquierda” durante su transporte, la cinta de transporte 2 sitúa la pieza en la cinta izquierda de la segunda etapa para su posterior colocación en el chasis (ver figura 15).

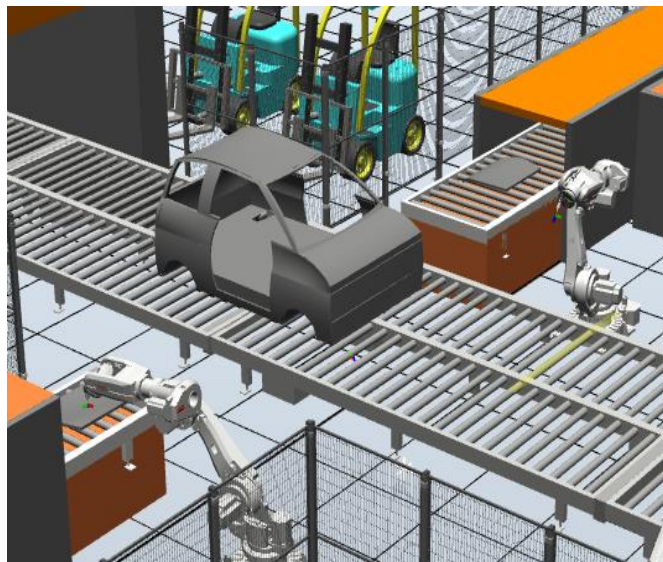


Figura 15. Llegada de la puerta izquierda a la segunda etapa.

4.1.4 Tiempo invertido en la primera etapa

En la figura 16, se muestra un diagrama con el tiempo invertido en la realización de las tareas mencionadas en esta primera etapa.

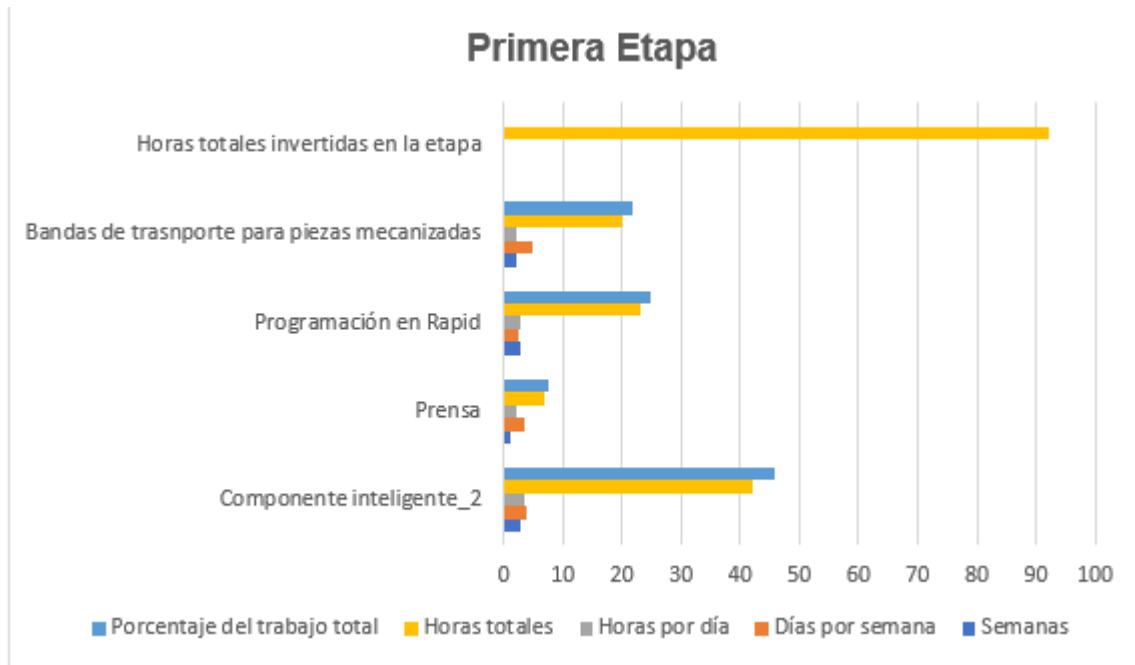


Figura 16. Tiempo invertido en la realización de cada tarea en la primera etapa.

4.2 Segunda Etapa: Colocación y soldadura de las piezas laterales

4.2.1 Proceso de envío y creación de las piezas mecanizadas

El proceso de recogida y colocación de las piezas se ha implementado a partir de la comunicación de señales entre el controlador 1 (controlador del brazo robótico presente en la primera etapa) y los controladores 3 y 4 (responsables del movimiento de los sistemas robotizados en la etapa 2).

Tras el envío de la primera pieza hacia el lado derecho de la estación, el controlador 1 comunica su envío a partir de la señal de salida "Pieza_derecha_enviada", que se activa nada más liberar el elemento en la banda transportadora correspondiente. Esta señal es recibida por el controlador 4 a partir de la entrada "Pieza_Enviada" y tras un cierto período de tiempo que simula el transporte de la pieza a través del paso inferior, se activa la entrada "Pieza_derecha_inicio" del componente inteligente "Cinta_Puerta_Derecha". Esta última entrada crea la pieza mecanizada del lado derecho y la transporta hasta el punto de recogida para su posterior colocación en el chasis.

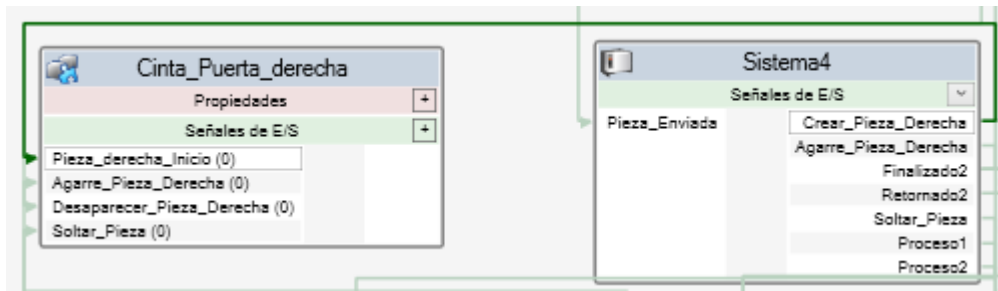


Figura 17. Conexión de señales entre el componente inteligente y el sistema 4.

De forma simultánea a este proceso, la primera etapa continúa con el prensado de la segunda pieza. Tras la finalización del siguiente proceso de prensado, la pieza mecanizada es enviada a la segunda etapa mediante la activación de la señal del controlador 1 “Pieza_izquierda_enviada”. Al igual que en el proceso anterior, la activación de esta señal se conecta con la entrada “Pieza_Enviada” pero esta vez, en el sistema 3 de la estación. Esta última marca, tras un cierto período de tiempo que pretende simular el transporte de la pieza, setea la entrada “Pieza_izquierda_inicio” correspondiente al componente inteligente “Cinta_Puerta_Izquierda”. Esta última entrada crea la pieza mecanizada del lado izquierdo y la transporta hasta el punto de recogida para su posterior colocación en el chasis.

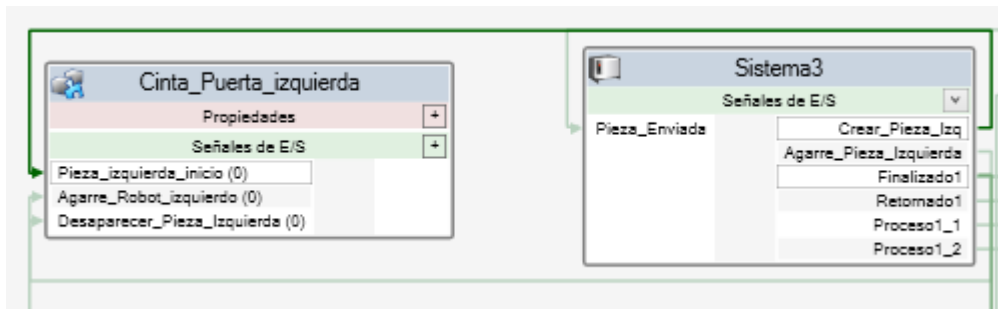


Figura 18. Conexión de señales entre el componente inteligente y el sistema 3.

Durante este proceso de envío, las señales de los sistemas 3 y 4 también interactúan con el componente inteligente “Proceso_Smart”. Este elemento es responsable de la interacción con el chasis del vehículo procesado en la estación. En primer lugar, la activación de la salida “Crear_Pieza_Derecha” en el sistema 4, enlaza con el proceso de creación del vehículo Smart sin puertas a partir de la marca “Crear_Coche”. En ese preciso momento, el componente inteligente, destinado al control del vehículo, creará una copia exacta del chasis en el interior del túnel de espera mediante el uso del recurso *Source*. En segundo lugar, la activación de la salida “Crear_Pieza_Izq” en el sistema 3, desplazará el vehículo hasta el punto de soldadura determinado por la posición del sensor fotoeléctrico.

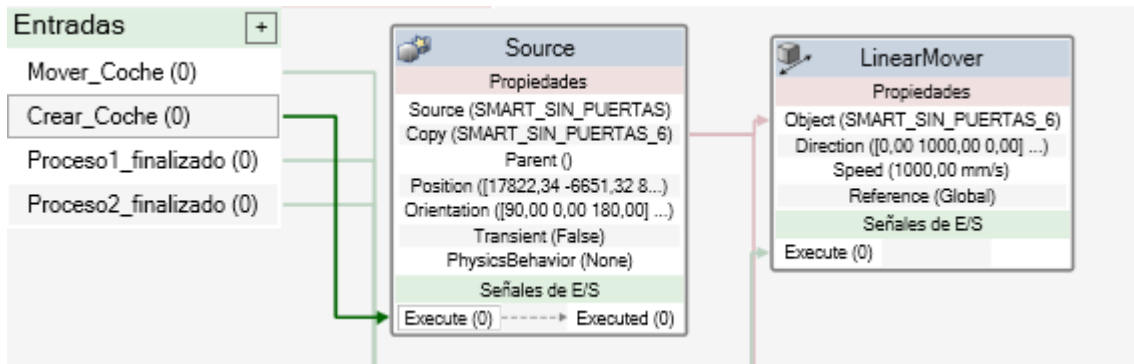


Figura 19. Lógica del componente inteligente “Proceso_Smart”.

4.2.2 Recogida y colocación de las piezas laterales

Durante este proceso, el primer movimiento es realizado por el sistema robotizado del controlador 4 dado que es el primer lateral en recibir la pieza mecanizada. Cuando el sistema detecta que hay un elemento en el punto de recogida, el brazo robótico realiza la trayectoria que posiciona el efector final sobre la pieza, permaneciendo a la espera de poder colocar dicha pieza en el chasis correspondiente. Una vez que el sistema 3 detecta la llegada del elemento izquierdo del vehículo, el sistema robotizado realiza el mismo procedimiento y tras su finalización, ordena la activación de los efectores finales en los sistemas 3 y 4. Una vez que el vehículo alcanza el punto de colocación de las piezas y este es detectado por el sensor fotoeléctrico, se verifica que los efectores finales de los brazos robóticos han agarrado correctamente los elementos laterales. Si se dan las condiciones establecidas para la realización del proceso, los sistemas robotizados realizan las trayectorias de colocación pertinentes.

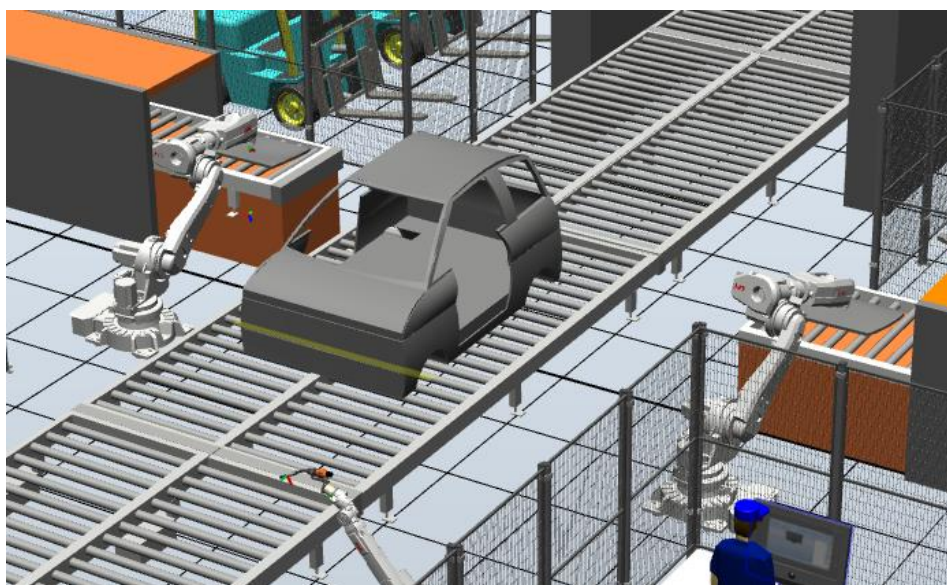


Figura 20. Recogida de las piezas mecanizadas en la segunda etapa.

Durante la configuración de esta subetapa, la programación de las trayectorias se ha realizado mediante el lenguaje Rapid, pudiendo consultar el código de programación en el apartado 6.2. “Código de programación realizado en Rapid” del anexo. En este código podemos encontrar multitud de variables que condicionan y determinan el momento exacto de realización de los procesos. A continuación, explicaremos el funcionamiento de dichas variables.

Tras finalizar el proceso de colocación, los sistemas robotizados permanecen durante un cierto tiempo en esta posición, permitiendo al operario fijar las piezas para su posterior soldadura, no obstante, a nivel de programación, este tiempo es empleado para realizar el cambio del vehículo sin puertas por el diseño final del chasis. Este procedimiento es necesario ya que no se pueden fijar las puertas al vehículo de una forma real y que permita el desplazamiento de todos los elementos de forma simultánea. Por ello, en el momento en el que se finaliza el proceso de colocación, ambos sistemas robotizados activan las salidas “Finalizado1” y “Finalizado2”, informando al sistema de que puede realizar el cambio. El primer elemento es eliminado mediante la herramienta *Hide* presente en el componente inteligente “Proceso_Cambio”. Para efectuar esta tarea, se ha empleado una puerta lógica *AND* que únicamente permite eliminar el componente cuando ambos sistemas robotizados finalizan el proceso de colocación. Al mismo tiempo, los efectores finales de los brazos robóticos liberan las piezas y estas son eliminadas nuevamente mediante el uso de la herramienta *Hide*.

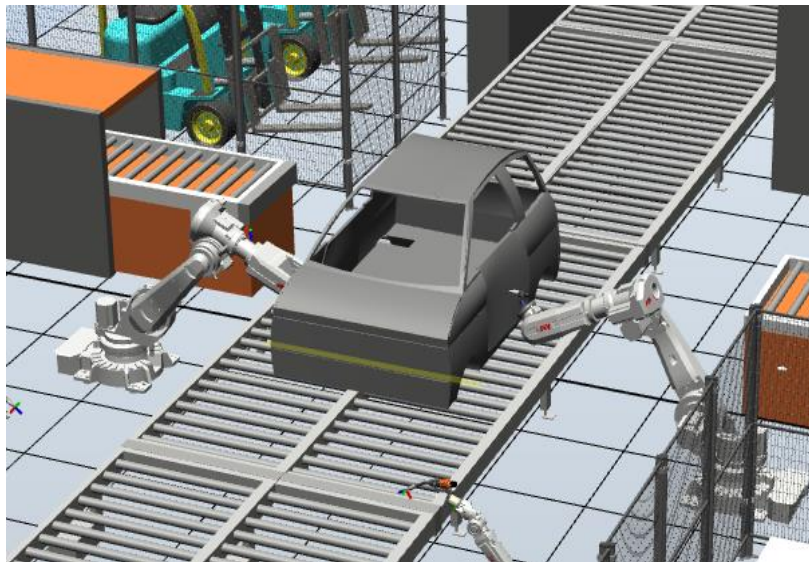


Figura 21. Colocación de las piezas mecanizadas en la segunda etapa.

De forma simultánea a este proceso, las señales “*Finalizado1*” y “*Finalizado2*” también activan las entradas “*Ejecutado1*” y “*Ejecutado2*” respectivamente, permitiendo la creación del nuevo vehículo Smart en el punto exacto de colocación del elemento suprimido.

Posteriormente a la finalización de los procesos indicados, la estación informa a los sistemas robotizados que pueden retornar a su posición de origen a la espera de recibir otra pieza. En cuanto los brazos robóticos alcanzan su posición de origen, los sistemas 3 y 4 informan a la estación mediante la activación de las salidas “*Retornado1*” y “*Retornado2*”, de que se puede reanudar el movimiento de la cinta transportadora del vehículo hasta la siguiente subetapa. Este movimiento de la cinta se realiza gracias al uso de la herramienta *Linear Mover 2*.

4.2.3 Soldadura de las piezas laterales

Una vez finalizado el proceso de colocación de las puertas laterales del chasis, el automóvil avanza por la cinta transportadora hasta el punto de soldadura. Nuevamente, gracias al uso de un sensor fotoeléctrico, la cinta se detiene en la posición exacta, informando a los sistemas robotizados de la disponibilidad para efectuar las trayectorias de soldadura programadas. Durante la realización de esta etapa destacamos la creación y uso de los sistemas 7 y 8, responsables del movimiento efectuado por los brazos robóticos. En cuanto al efector final empleado en estos equipos, hemos decidido implementar la herramienta disponible en RobotStudio denominada *PKI_500_di_M2001*. Se optó por elegir esta herramienta como efector final debido a su similitud, en proporciones y forma, con un sistema de soldadura implementado en la industria real. Con relación al modo de soldadura seleccionado en este proceso podemos identificar una soldadura de tipo punto por resistencia.

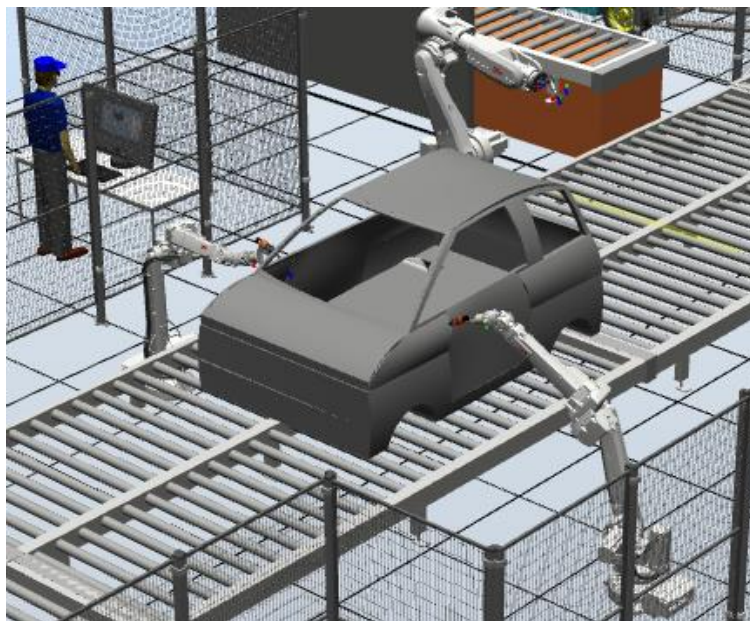


Figura 22. Soldadura de las piezas laterales por punto por resistencia.

A continuación, desarrollaremos el funcionamiento de los componentes empleados en este proceso y la interacción de sus señales.

El sistema 4 es el responsable de establecer la comunicación con los controladores de esta sub-etapa mediante la activación de las señales de salida “Proceso1” y “Proceso2”. Estas señales se activan cinco segundos después de que el brazo robótico del sistema 4 alcance la posición de origen (tiempo estimado de llegada del coche al proceso de soldadura). Las salidas mencionadas se enlazan con las entradas “Proceso” en los sistemas 7 y 8, activando la segunda condición para la realización del proceso. La primera condición es verificada mediante la activación del sensor fotoeléctrico. Posteriormente a esta secuencia, los brazos robóticos efectúan el proceso de soldadura según las trayectorias lineales establecidas. La soldadura se realiza mediante una trayectoria lineal, no obstante, la activación del efector se establece en los puntos de anclaje de las bisagras que sujetan la puerta del vehículo. En el Anexo C se puede acceder a un repositorio que contiene el código de Rapid desarrollado para estos sistemas.

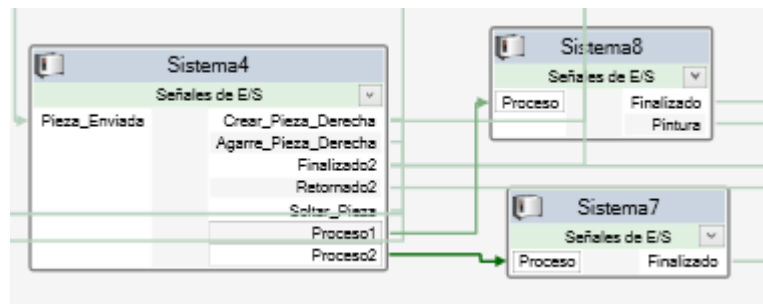


Figura 23. Conexión de señales entre los sistemas 4, 7 y 8.

Una vez finalizado el proceso de soldadura, los brazos robóticos retornan a su posición de origen y activan la salida “Finalizado” que reanuda el movimiento de la banda transportadora, desplazando al vehículo hasta la etapa 3 de la estación.

4.2.4 Tiempo invertido en la segunda etapa

En la figura 24, se muestra un diagrama con el tiempo invertido en la realización de las tareas mencionadas en esta segunda etapa.

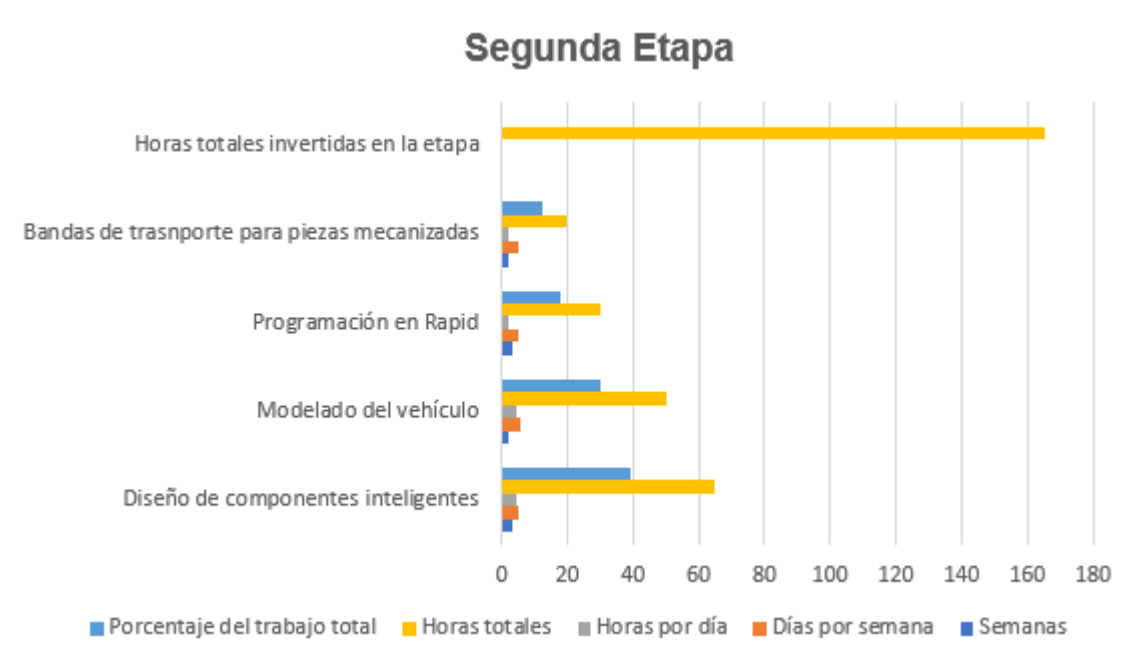


Figura 24. Tiempo invertido en la realización de cada tarea en la segunda etapa.

4.3 Tercera Etapa: Proceso de aplicación de pintura

4.3.1 Simulación del proceso de pintura

Durante esta etapa, el vehículo procedente de la segunda etapa es transportado a lo largo de un túnel de pintura de uretano. En realidad, únicamente se realiza el cambio de color del elemento, sin simular el sistema robotizado que se encargaría de ejecutar la tarea. El motivo de la no implementación del brazo robótico de pintura fue la ralentización del programa al sobrecargar la estación con el uso de un nuevo controlador. Asimismo, otro de los motivos para no simular este equipo robotizado fue la complejidad y la gran cantidad de tiempo requerido por el sistema robotizado para cubrir la superficie del chasis en su totalidad. Por ello, este proceso de pintura se realiza simplemente a partir de la activación de una señal digital enviada por el sistema 8 denominada "Pintura". Esta salida enlaza con la entrada "Cambio_de_color" presente en el componente inteligente "Proceso_Cambio" que, una vez recibida la señal, activa la herramienta *Highlighter*. Esta herramienta modifica la apariencia del objeto hasta que la señal es desactivada.

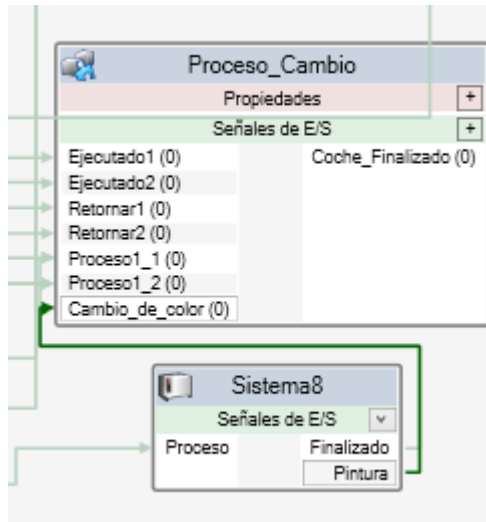


Figura 25. Conexión de señales.

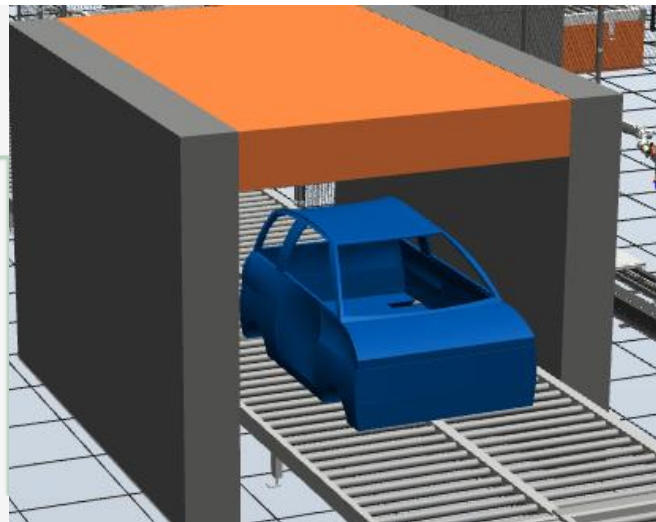


Figura 26. Vehículo a la salida del túnel de pintura.

4.3.2 Cómo implementar un sistema robotizado de pintura

En este apartado indicaremos cómo implementar el proceso de pintura a partir de un sistema robotizado. En primer lugar, debemos seleccionar un brazo robótico válido para realizar dicho proceso. En la librería de RobotStudio contamos con multitud de equipos destinados a la realización de tareas de pintura. Una de las posibles opciones sería el brazo robótico IRB 580. Tras insertar el sistema robotizado en la estación, colocaremos el efector final de pintura a partir de la herramienta “*ROBOBEL926 TTD 03*”, dicha herramienta está disponible en la librería de equipamiento del software. Una vez colocado el efector final, comenzaremos a programar las trayectorias sobre la superficie que se desee pintar.

A continuación, crearemos un espacio de trabajo destinado al almacenamiento de los puntos de pintura y tras la realización de este procedimiento, nos situaremos en la ventana “*complementos*” del software donde podremos encontrar la herramienta “*pintura*” (esta herramienta requiere de la instalación de un paquete de software). Con esta herramienta podremos seleccionar la superficie que se desea pintar y a partir de la creación de un nuevo módulo, el sistema generará de forma automática las trayectorias destinadas a la realización del proceso de pintura. La herramienta “*pintura*” permite modificar el tipo de trayectoria, el espacio entre movimientos realizados, el color empleado y el área de la superficie pintada.

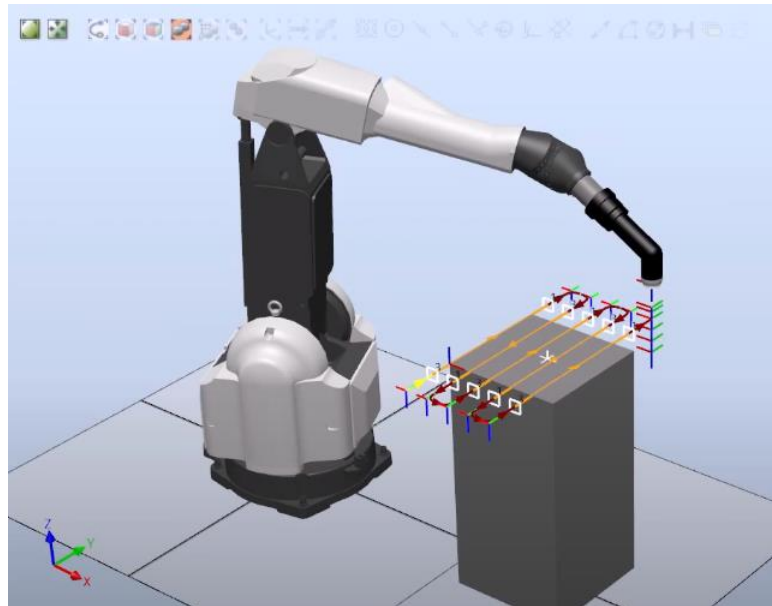


Figura 27. imagen obtenida de [7].

4.3.3 Tiempo invertido en la segunda etapa

En la figura 28, se muestra un diagrama con el tiempo invertido en la realización de las tareas mencionadas en esta tercera etapa.

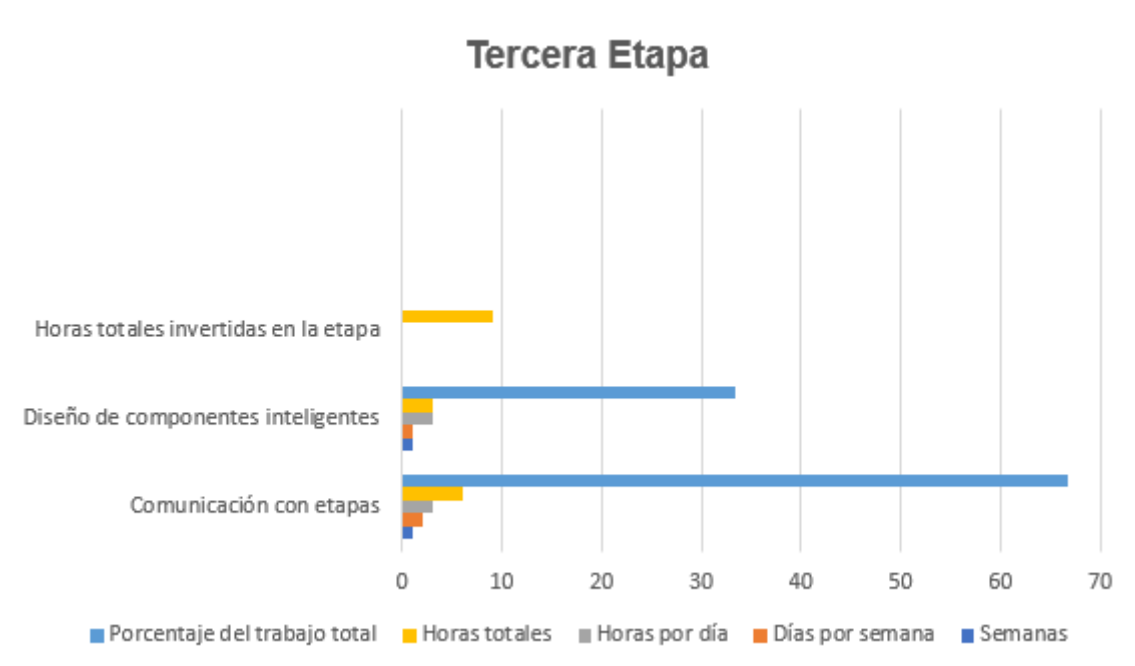


Figura 28. Tiempo invertido en la realización de cada tarea en la tercera etapa.

4.4 Cuarta Etapa: Proceso de soldadura de la parte inferior del chasis

Durante esta última etapa del proceso, el vehículo procedente de la tercera etapa es transportado por uno de los tres carriles de soldadura marcha atrás, llegando al punto de operación que está delimitado por el uso de un sensor fotoeléctrico. Una vez que el sensor fotoeléctrico detecta la llegada de un vehículo, el brazo robótico es desplazado al carril indicado mediante el uso de un rail de transporte denominado *Track RTT*. En esta última etapa del proyecto se optó por crear tres carriles de trabajo con el objetivo de agilizar el proceso de soldadura de cada vehículo. De esta forma, si un chasis es procesado y enviado a la cuarta etapa antes de finalizar con el proceso, aún habrá otros dos carriles disponibles para efectuar los trabajos de inspección y soldadura. Después de la llegada del sistema robotizado al punto de operación, se verificará que el vehículo se encuentra en la posición correcta para realizar la soldadura y posteriormente, se iniciarán las trayectorias de trabajo pertinentes. Con relación al tipo de soldadura empleado podemos destacar que se efectúa mediante el uso de un efector final de punto por resistencia. En esta etapa también hemos considerado un proceso de inspección de las soldaduras por parte de los operarios cuyo trabajo es realizado mediante la herramienta *tessonics* y está indicado en el apartado 3.1.2.3 “*Ensamblaje del Chasis y la Carrocería*” referente a la sección 3.1.2 “*Producción en cadena y Etapas de la Fabricación en Serie*”.

Para la realización de este proceso se ha implementado una comunicación de señales entre el sistema 9, el componente inteligente “*Coches_Finales*” y el componente inteligente “*Proceso_Cambio*”. Las señales de ambos elementos informan acerca del estado de cada uno de los carriles de trabajo y permiten la realización de los procesos de soldadura correspondientes. A continuación, desarrollaremos la lógica de estación implementada en cada carril.

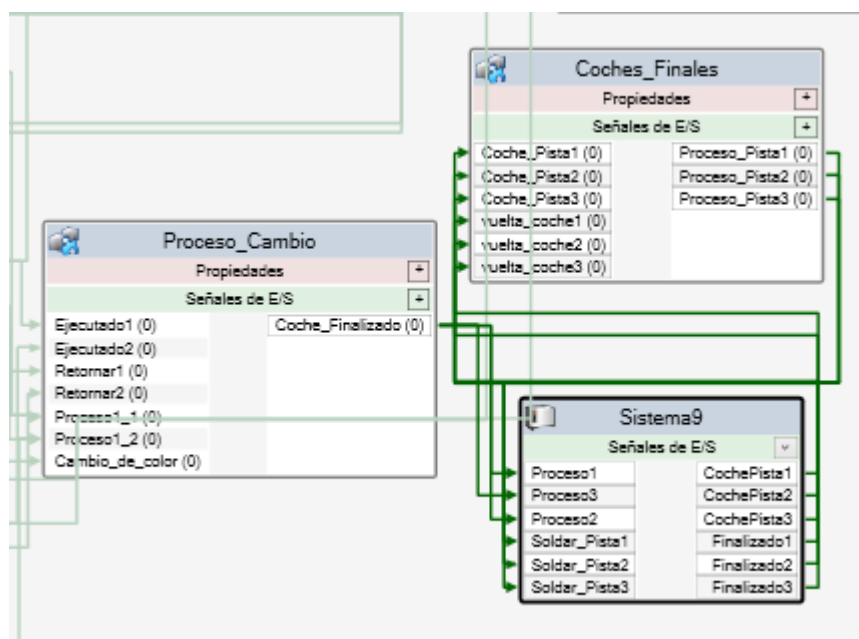


Figura 29. Comunicación de señales de la cuarta etapa.

4.4.1 Soldadura de la parte trasera del vehículo

Esta subetapa tiene lugar cuando el componente inteligente “*Proceso_Cambio*” activa la salida correspondiente a “*Coche_Finalizado*”. Esta salida se activa a partir del uso de un sensor fotoeléctrico situado al final de la cinta de transporte de la segunda y tercera etapa (ver figura 26). La señal conecta con la entrada “*Proceso1*” del sistema 9 y en ese instante, ordena al componente inteligente “*Coches_Finales*” la creación de un nuevo vehículo en el primer carril de trabajo. El proceso de creación del coche es posible gracias al uso del recurso *Source*. El coche comenzará a desplazarse por el carril hasta que el sensor fotoeléctrico detecte su llegada y pare el movimiento de la cinta. Posterior a este proceso, el componente inteligente enviará una señal que enlaza con la entrada “*Soldar_Pista1*”, autorizando al sistema robotizado realizar el desplazamiento y las trayectorias de soldadura correspondientes. La programación realizada en Rapid se puede consultar en el repositorio indicado en el Anexo C. Tras la finalización del proceso de soldadura, el brazo robótico retornará a su posición de origen y el vehículo abandonará el carril en el que se encuentra, habilitando la pista para la entrada de un nuevo automóvil.

El desplazamiento del vehículo se ha realizado a partir del uso de las puertas lógicas NOT y XOR, ya que permite que el recurso *Linear Mover 2* traslade el automóvil hasta que entre en contacto con el elemento *Plane Sensor*. Asimismo, debido a problemas a la hora de desplazar nuevamente el vehículo en dirección contraria tras la finalización del proceso de soldadura, se optó por eliminar el primer elemento mediante el uso del recurso *Hide* y crear uno nuevo en la posición exacta donde se realiza el proceso de soldadura. Este procedimiento de cambio se produce de forma simultánea mediante la activación de la señal “*vuelta_coche1*”.

Este procedimiento se repite en los otros dos carriles, pero modificando la interacción de las señales. Tal y como se muestra en la figura 30, para el segundo y tercer carril estableceremos el mismo sistema de comunicación para los procesos realizados, pero esta vez haciendo uso de las señales “*Proceso2*”, “*Soldar_Pista2*”, “*vuelta_coche2*”, “*Proceso3*”, “*Soldar_Pista3*” y “*vuelta_coche3*”

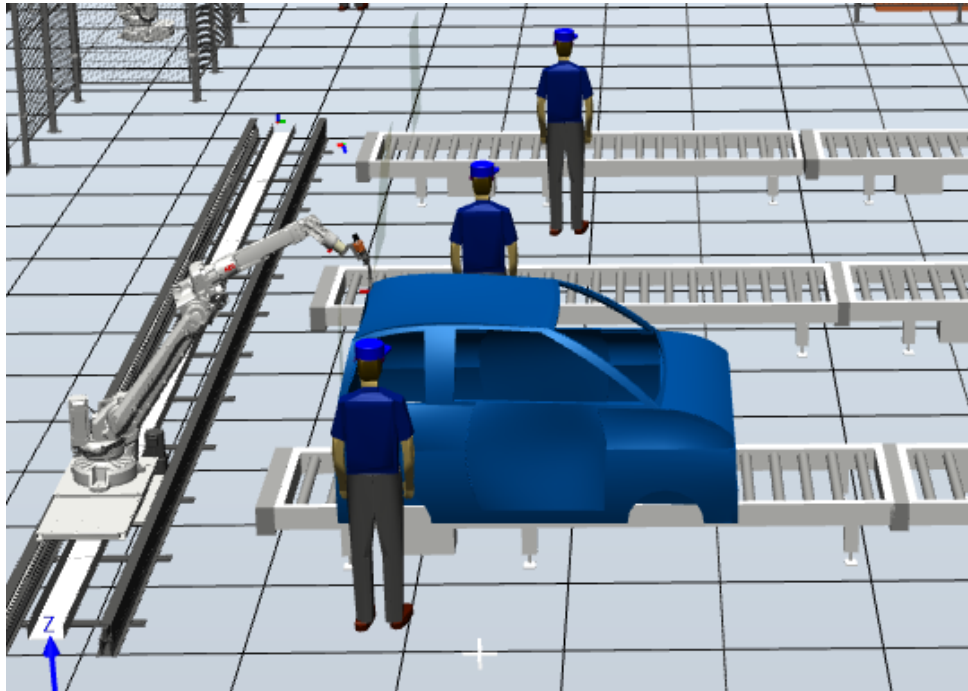


Figura 30. Soldadura de vehículo en el primer carril de la cuarta etapa.

4.4.2 Tiempo invertido en la segunda etapa

En la figura 31, se muestra un diagrama con el tiempo invertido en la realización de las tareas mencionadas en esta cuarta etapa.

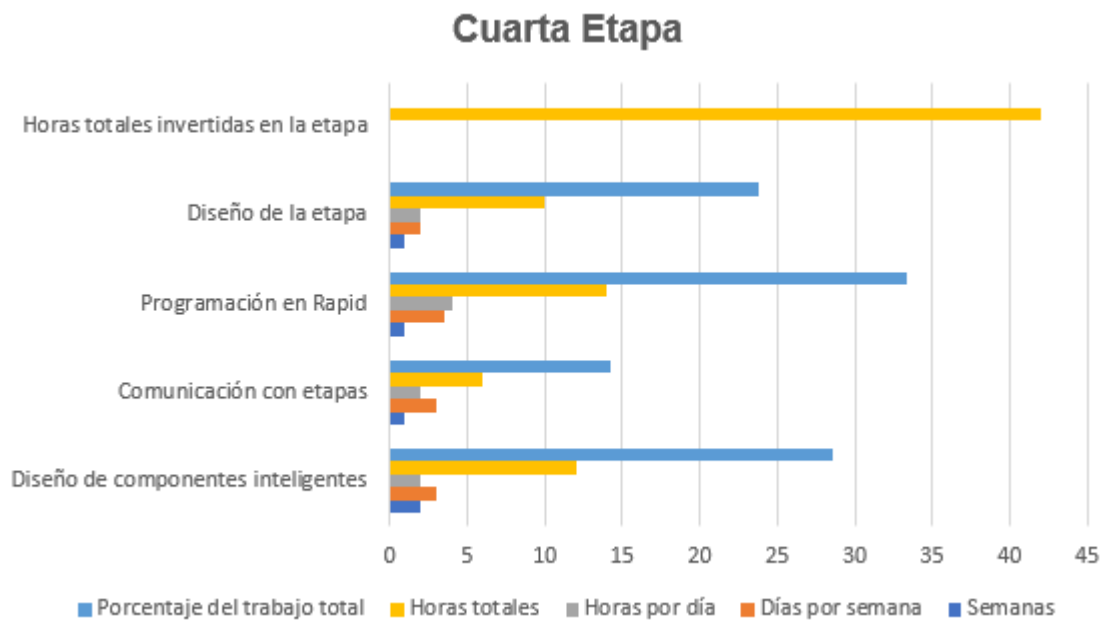


Figura 31. Tiempo invertido en la realización de cada tarea en la cuarta etapa.

4.5 Simulación del funcionamiento global del sistema en RobotStudio

Tras explicar y visualizar el funcionamiento de cada una de las etapas que se ha simulado, podemos destacar que en RobotStudio, el sistema que se modela y cuyo comportamiento se automatiza se descompone en una serie de componentes inteligentes que se comunican entre sí mediante señales de E/S, en este caso digitales. En la figura 32 se observa una vista general de la lógica de la estación, con los componentes inteligentes creados y sus conexiones.

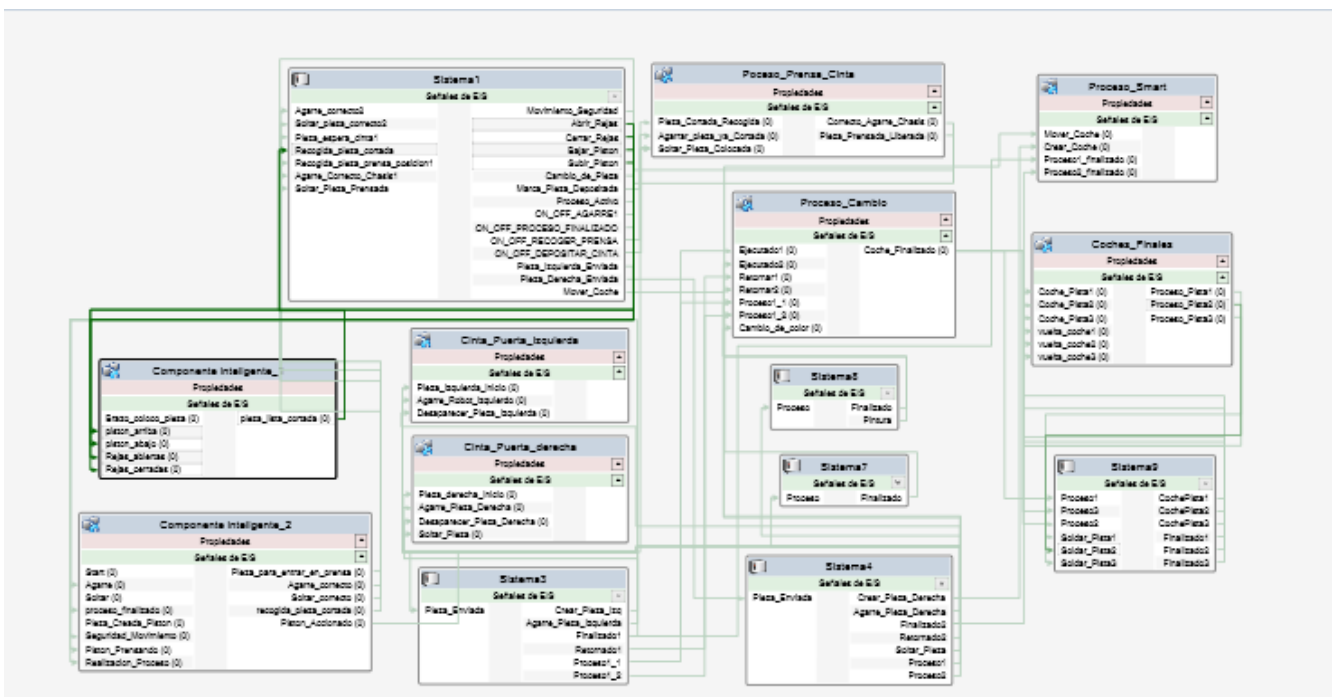


Figura 32. Vista general de la lógica de la estación.

Con respecto al funcionamiento del sistema en su totalidad podemos destacar que todos y cada uno de los elementos trabajan de forma conjunta y simultánea, permitiendo la realización de cada proceso de manera eficiente y precisa. Los tiempos de activación de cada señal están estipulados de tal forma que ningún proceso interrumpa la ejecución de otro. Tal y como se muestra en la figura 32, cada componente inteligente enlaza sus salidas con las de otros permitiendo el correcto funcionamiento de la estación.

CAPÍTULO V: AUTOMATIZACIÓN DEL MODELO EN ROBOTSTUDIO A TRAVÉS DEL TIA PORTAL

5.1 Implementación de la comunicación entre TIA Portal y Robotstudio

Tras realizar el modelado y la programación de la planta en RobotStudio se estudió acerca de la posibilidad de realizar el control de la lógica de estación mediante la comunicación con TIA Portal. Tras un proceso de investigación se descubrió que era posible controlar el registro de señales conectando el software de RobotStudio con el PLCSIM de Siemens a partir de la creación de un servidor virtual. De esta forma, podríamos simular un código programado en TIA Portal y visualizar el resultado de su funcionamiento en un modelo 3D de una estación real. Esta posibilidad ofrece multitud de oportunidades en el ámbito de la docencia ya que futuros alumnos del grado de ingeniería podrían visualizar el funcionamiento del código de una forma más dinámica y realista. Como ejemplo de aplicación, el profesorado podría diseñar distintas plantas industriales en RobotStudio en las que los alumnos deben programar sus entradas y salidas, verificando que el trabajo se corresponde con un procedimiento previamente planteado.

Como se explicará a continuación, se desarrolló el código en KOP para automatizar el funcionamiento del proceso de soldadura de las piezas laterales del coche. Sin embargo, debido a la complejidad del proceso abordado en este Trabajo de Fin de Grado y a limitaciones técnicas que no ha sido posible subsanar a tiempo, lamentablemente no ha sido posible implementar la comunicación entre ambos paquetes de software. Este procedimiento requiere de un gran rendimiento por parte de los equipos de trabajo ya que la simulación de un PLCSIM demanda una gran cantidad de memoria al ordenador, dificultando el funcionamiento de ambos programas de forma simultánea.

A continuación, indicaremos los pasos necesarios para implementar la comunicación entre ambos paquetes de software y el procedimiento realizado en la subetapa de soldadura.

5.1.1 Creación de una estación en RobotStudio

Este procedimiento comienza con la creación de una nueva estación en el software RobotStudio. El modelado de la planta y sus elementos dependerá de la tarea que se desee realizar. En nuestro caso llevaremos a cabo la simulación correspondiente al proceso de soldadura de las piezas laterales del coche, por lo que se ha creado una estación con las mismas características que las descritas en este trabajo. Esta planta cuenta con dos controladores responsables del movimiento de los sistemas robotizados. Estos brazos robóticos tienen dos efectores finales de soldadura de punto por resistencia y la herramienta empleada para su simulación es la *PKI_500_di_M2001*.

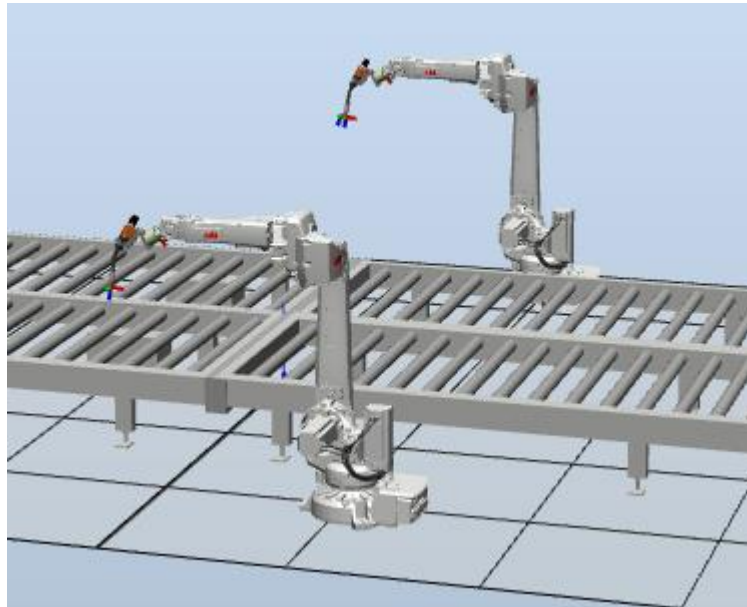


Figura 33. Sistemas robotizados destinados al proceso de soldadura.

La lógica de estación implementada para la realización de este proceso es realmente sencilla ya que solo cuenta con un componente inteligente denominado “*Componente inteligente_1*”. Este elemento realiza los procesos de:

- Creación de nuevos coches al comienzo de la cinta.
- Activación de la cinta que transporta al vehículo hasta el punto de trabajo.
- Activación de la cinta que transporta al vehículo una vez finalizado el proceso.
- Eliminación del vehículo tras alcanzar el punto de salida de la cinta transportadora.

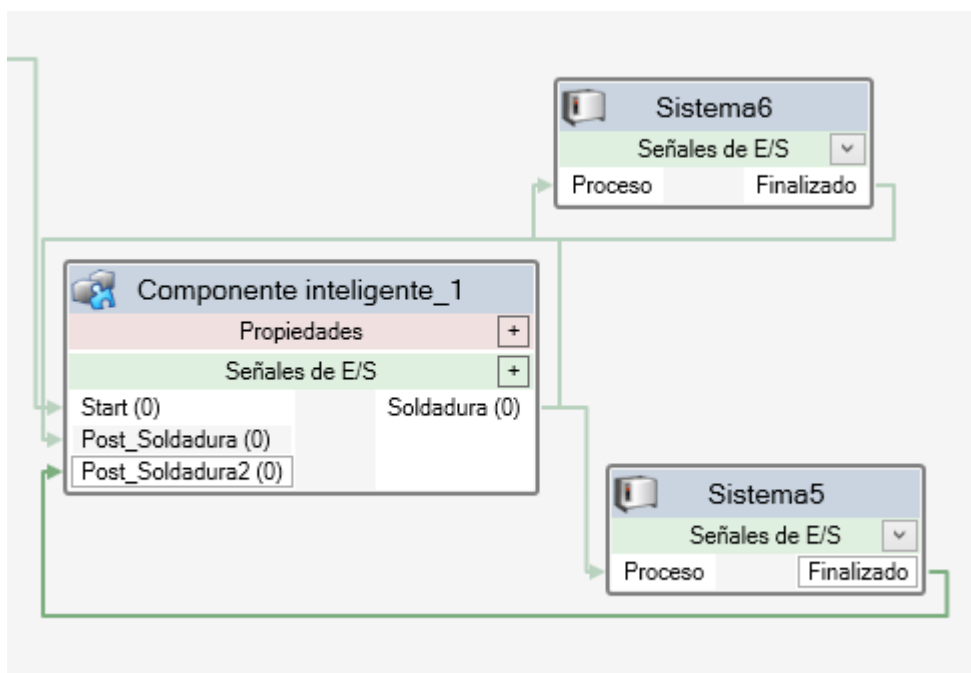


Figura 34. Lógica de la estación sin conexión a TIA Portal.

Asimismo, cabe destacar que cada una de las señales de salida y entrada del sistema deben estar bien representadas y especificadas ya que esto, facilitará la claridad a la hora de comunicar los procesos con el TIA Portal. Para establecer la comunicación entre ambos paquetes de software deberemos hacer uso de la extensión *RSCConnectDIOToSnap7* de RobotStudio. Esta herramienta actúa como intermediario entre ambos paquetes de software permitiendo su comunicación. El funcionamiento de esta herramienta será desarrollado más adelante.

5.1.2 Creación del código en TIA Portal y simulación del PLC

Una vez creada la estación procederemos a desarrollar el código correspondiente en TIA Portal, que se puede consultar en el Anexo C. Este código fue simulado a través del PLCSIM con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento antes de establecer la conexión. Con relación a las variables de TIA Portal deberemos usar una variable por cada entrada o salida que se desee controlar en RobotStudio. Estas variables pueden ser creadas como entradas o actuadores, no obstante, se recomienda crear marcas ya que funcionan mejor con la extensión de RobotStudio.

| Variables1 | | | | | | | |
|------------|--------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... |
| 1 | Start | Bool | %MO.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2 | Proceso | Bool | %MO.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | MoverCoche | Bool | %MO.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | Sensor_Soldadura | Bool | %MO.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | Proceso_Finalizado | Bool | %MO.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | Reanudacion_Cinta | Bool | %MO.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | <Agregar> | | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 35. Tabla de variables en TIA Portal.

Una vez creado el código responsable del control de la lógica de la estación, procederemos a cargarlo e iniciar la simulación del PLCSIM. Este proceso será realizado a partir de la opción *“Online”, “Simulación”* e *“Iniciar”*. A través de este proceso compilamos el código y lo cargamos en el autómatas. Una vez iniciada la simulación PLCsim nos debemos fijar en la referencia del autómatas situada en la esquina inferior derecha, tal y como se muestra en la figura 36, ya que esta referencia será usada posteriormente a la hora de crear el servidor que conecta ambos paquetes de software. Es importante iniciar la simulación de RobotStudio antes de comenzar la simulación del PLC dado que su inicio puede imposibilitar el arranque de la estación de RobotStudio posteriormente.

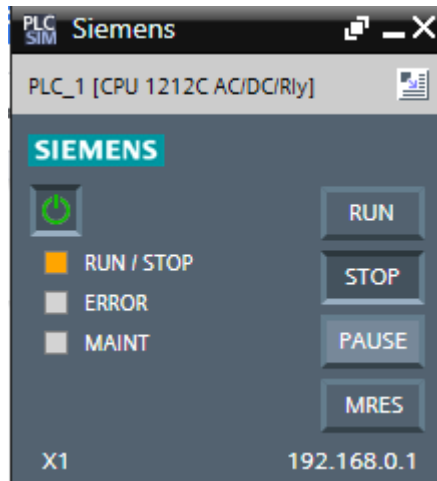


Figura 36. PLCSIM de TIA Portal.

5.1.3 Creación del servidor Nettoplcsim

Esta aplicación debe ser ejecutada como administrador para su correcto funcionamiento. Una vez iniciada, procederemos a crear el servidor de conexión. Para ello nos situaremos sobre la ventana “Add” donde podremos configurar las opciones del servidor. En primer lugar, indicaremos la dirección IP del ordenador en la sección “Network IP Address”. En segundo lugar, indicaremos la dirección del PLC simulado en el apartado “Plcsim IP Address”, verificando que se corresponde con la dirección mencionada en la explicación 5.1.2 “Creación del código en TIA Portal y simulación del PLC”. Finalmente seleccionaremos el Rack 0 y el Slot 1 (esta configuración depende del autómatas usado en la simulación) e iniciaremos el servidor creado, tal y como se muestra en la figura 38.

| Name | Network address | Plcsim address | Rack/Slot | Status |
|---------|-----------------|----------------|-----------|---------|
| PLC#001 | 192.168.1.133 | 192.168.0.1 | 0/1 | RUNNING |

Figura 37. Servidor Nettoplcsim ejecutado.

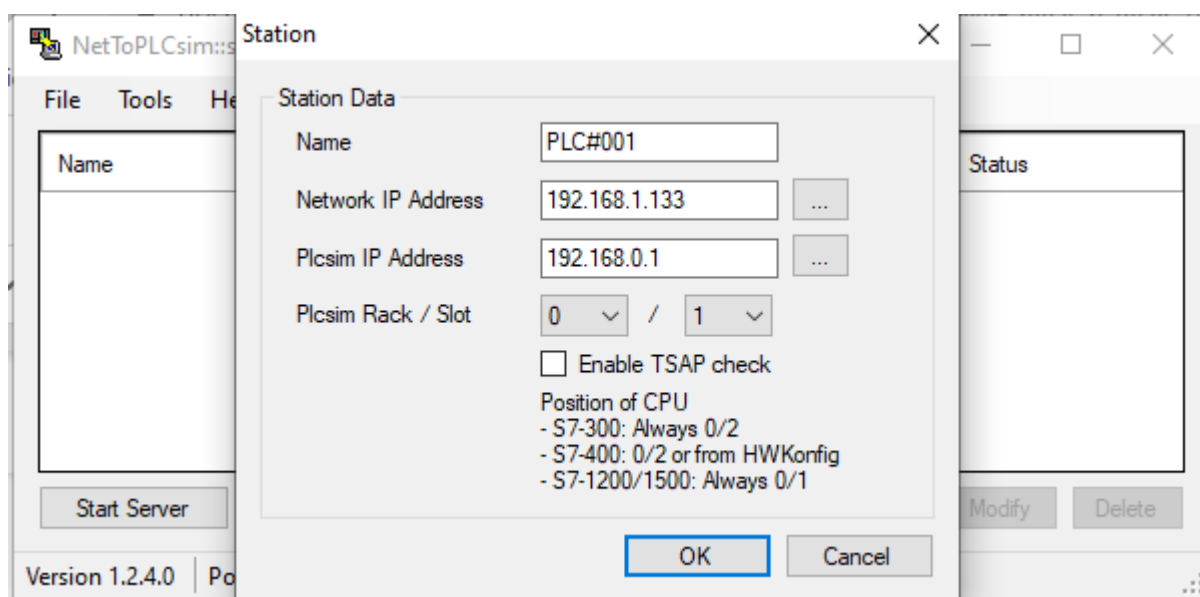


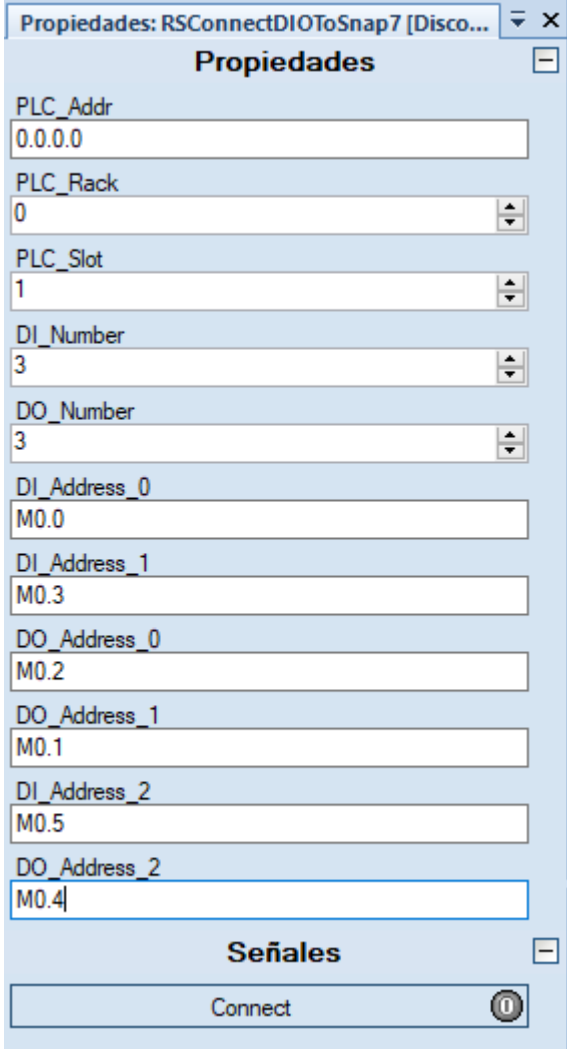
Figura 38. Configuración del servidor de conexión entre TIA Portal y RobotStudio.

5.1.4 Implementación de la extensión RSConnectDIOToSnap7 en RobotStudio

Observando el bloque de programación realizado en TIA Portal procederemos a crear la conexión de la herramienta *RSConnectDIOToSnap7*. Esta extensión nos permite configurar los siguientes elementos:

- **PLC_Addr:** en esta parte indicaremos la dirección IP del PLC, especificando la dirección IP del PLC sim simulado en TIA Portal.
- **PLC_Rack:** indicaremos el número de *racks* especificado en la creación del servidor, es decir, cero.
- **PLC_Slot:** indicaremos el número de *slots* especificado en la creación del servidor, es decir, uno.
- **DI_Number:** indicamos a la herramienta el número de señales de entrada que queremos implementar. La configuración como señal de entrada o salida depende de la forma en la que implementemos la comunicación y a que paquete de software le demos la prioridad de funcionamiento y control de la estación.
- **DO_Number:** indicamos a la herramienta el número de señales de salida que queremos implementar. La configuración como señal de entrada o salida depende de la forma en la que implementemos la comunicación y a que paquete de software le demos la prioridad de funcionamiento y control de la estación.
- **DI_Address_X:** indicamos el nombre de la señal de entrada empleada en TIA Portal. Para el correcto funcionamiento de esta herramienta es importante que los nombre se correspondan a los usados en el bloque de programa de TIA Portal.

- **DO_Address_X**: indicamos el nombre de la señal de salida empleada en TIA Portal. Para el correcto funcionamiento de esta herramienta es importante que los nombres se correspondan a los usados en el bloque de programa de TIA Portal.



| Property | Value |
|--------------|---------|
| PLC_Addr | 0.0.0.0 |
| PLC_Rack | 0 |
| PLC_Slot | 1 |
| DI_Number | 3 |
| DO_Number | 3 |
| DI_Address_0 | M0.0 |
| DI_Address_1 | M0.3 |
| DO_Address_0 | M0.2 |
| DO_Address_1 | M0.1 |
| DI_Address_2 | M0.5 |
| DO_Address_2 | M0.4 |

Figura 39. Configuración de la herramienta RSCConnectDIOToSnap7.

Una vez configurada la herramienta realizaremos la correspondiente conexión de señales en el diseño de la lógica de estación de RobotStudio (ver figura 40). Para comenzar la simulación seguiremos los siguientes pasos:

- Iniciar la simulación de RobotStudio.
- Iniciar el servidor creado en Nettoplcsim.
- Iniciar la simulación del PLCsim.
- Activar la conexión del componente *RSCConnectDIOToSnap7*.
- Cambiar los valores de las variables en la tabla de forzado de TIA Portal.

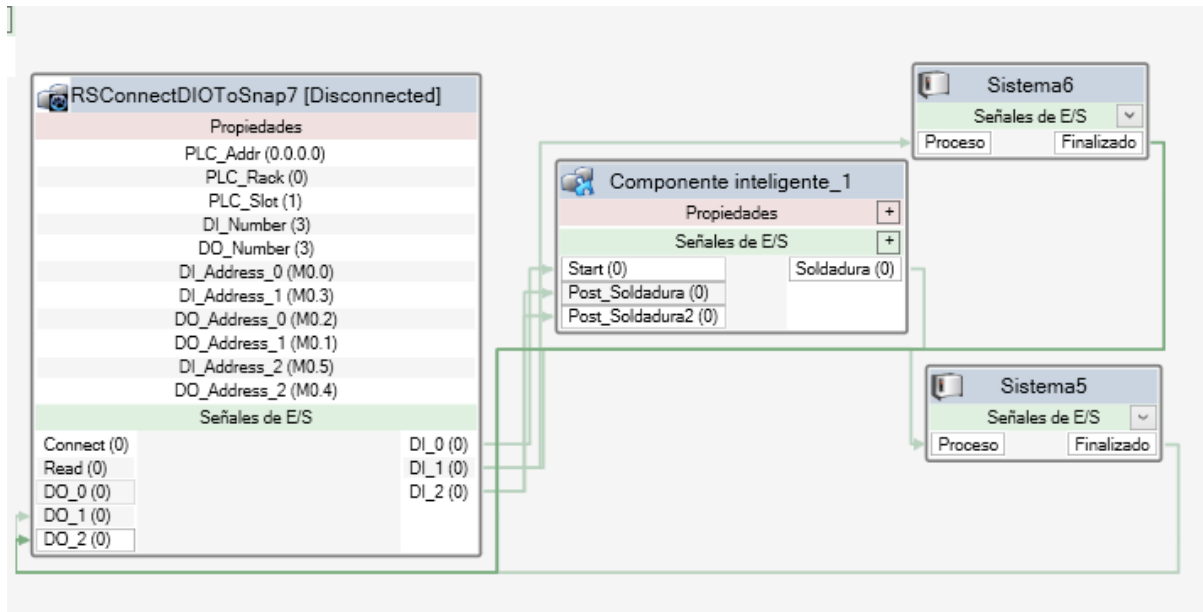


Figura 40. Lógica de la estación con la herramienta RSConnectDIOToSnap7.

CAPÍTULO VI: CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

En este trabajo de Fin de Grado he invertido una gran cantidad de horas y no todas se han visto reflejadas en el diseño final, que es el que se ha descrito en los capítulos previos de la memoria y el que se observa en los vídeos cuyos enlaces se facilitan en el Anexo C de este documento. Sin embargo, considero que son una parte importante del trabajo realizado ya que en algunos casos fueron pasos intermedios que permitieron alcanzar el objetivo final del proyecto. En otros casos, fueron ideas que se barajaron y que finalmente no se llegaron a implementar por falta de tiempo, como es el caso de la parada de emergencia. Es por esto por lo que he querido plasmarlos en este último capítulo de la memoria.

6.1 Diseños alternativos para el transporte de piezas de la primera y segunda etapa

En cuanto al proceso de transporte y corte de las piezas prensadas, en primer lugar, sólo se había planteado realizar el acople y la soldadura de uno de los laterales del chasis del vehículo, no obstante, debido al progreso de la planta y al aumento de la capacidad para desarrollar sistemas, se decidió realizar un proceso sincronizado en ambos laterales del vehículo. Al analizar las diferentes ideas para realizar el trabajo en ambos lados de la estación se tomó como primera referencia la creación de una imagen especular de la estación en el lado derecho. En este proceso se replicarían los elementos y los procesos diseñados previamente en la primera etapa, no obstante, se llegó a la conclusión de que este procedimiento no era eficiente ni realista ya que, en una planta industrial, se prioriza el

aprovechamiento de los recursos con el fin de simplificar las tareas que se realizan y reducir los costes de fabricación. Recrear nuevamente las cintas transportadoras, la prensa y la configuración del manipulador presentes en esta etapa supone una gran inversión de tiempo y un trabajo innecesario añadido al modelado de la estación.

Teniendo en cuenta estos aspectos se decidió estudiar diversas formas de transferir las piezas al otro lado de la línea de transporte del vehículo. En relación al proceso de transporte mencionado con anterioridad, surgió el problema de cómo trasladar las piezas prensadas al otro lado de la estación sin interrumpir los procesos. Para la solución de este inconveniente se plantearon dos posibles soluciones siendo una de estas el modelo de transporte implementado en la estación modelada para este proyecto. En cuanto a estas opciones podemos encontrar:

Opción 1: Cinta colgante para el transporte de piezas

- **Funcionamiento:** este sistema de transporte consistía en una cinta ubicada en altura con unos agarres de tipo percha. El brazo robótico colocaría las piezas en los agarres mediante un sistema de anclaje, permitiendo su envío al otro lado de la estación. Mediante el uso de un motor paso a paso, los movimientos realizados por la cinta permitirían una gran precisión a la hora de establecer los puntos de recogida del sistema robotizado.
- **Razones para descartarla:** el control de todos los elementos móviles de forma simultánea presentaba una gran complejidad. El proceso de anclaje y movimiento de las piezas requería de la creación de un componente inteligente extenso y con altas probabilidades de fallo, por este motivo, este sistema de transporte no se ha implementado durante la creación de la estación.

Opción 2: Cinta subterránea para el transporte de piezas

- **Funcionamiento:** en esta opción de diseño, la cinta transportadora se prolongaba hasta el punto de recogida mediante la creación de un paso inferior, sin embargo, el control del movimiento de las piezas requiere de movimientos angulares al desplazar los objetos ya que se producen cambios de pendiente a la hora de su transporte. Analizando las herramientas del software RobotStudio destinadas al control de movimientos, estos procesos requieren de un control complejo en comparación con la implementación de desplazamientos lineales.
- **Elección final:** por todo esto que se acaba de comentar, en el modelo 3D que se ha creado se ha usado una versión muy simplificada de esta solución de diseño. Así, las piezas entran por un lado de la cinta y 'aparecen' al otro lado ya mecanizadas, sin haberse implementado todo el procesado intermedio. Para la realización de este proceso hacemos uso del componente inteligente "Cinta_Puerta_Derecha".

6.2 Parada de emergencia del sistema

En relación a las consideraciones necesarias para la automatización y el control de una planta industrial cabe destacar que, la parada de emergencia es uno de los elementos esenciales en términos de control y actuación ante los posibles riesgos o fallos que se puedan producir durante el funcionamiento normal de una fábrica. Tal y como se indica en [8] *“Según la norma EN ISO 13850, la función de parada de emergencia sirve para prevenir situaciones que puedan poner en peligro a las personas, para evitar daños en la máquina o en trabajos en curso o para minimizar los riesgos ya existentes, y ha de activarse con una sola maniobra de una persona.”*

Durante la realización de este proyecto se consideró esta cuestión, siendo la idea principal implementar, al finalizar el modelado de la estación, paradas de emergencia independientes para cada una de las etapas descritas y una para de emergencia global en toda la planta. El sistema de implementación consistía en conectar cada señal de proceso creada en los componentes inteligentes con su respectiva parada de emergencia, haciendo uso de puertas lógicas NAND que detuvieran de forma inmediata el proceso que se estuviera ejecutando. Asimismo, se pretendía programar posiciones seguras para los manipuladores en el código de Rapid dado que, si se produce un fallo en un momento de carga de un manipulador, la estructura de este podría verse dañada si el tiempo de la avería es muy largo. Estas posiciones de seguridad se ejecutarían una vez pulsada la seta de emergencia y en ellas, se verificaría el estado del brazo robótico. Si el brazo se encuentra en estado de carga o descarga realizaría una trayectoria de colocación del elemento que sostiene en un lugar seguro. Una vez finalizada la trayectoria, el brazo volvería a su posición de origen y detendría su movimiento. En caso de no cargar ningún elemento, simplemente ejecutaría su vuelta al origen.

Tras finalizar el modelado de la estación, se llegó a la conclusión de que la implementación de las paradas de emergencia individuales para cada una de las etapas de la estación requería de un gran trabajo y esfuerzo ya que se debían reconectar cada una de las señales digitales del sistema. Es por esto por lo que, siendo consciente de la importancia de la parada de emergencia, se decidió no incluirla en esta primera versión del diseño, que únicamente contempla el modo de funcionamiento normal, y dejarla para una versión posterior.

El modelo que se ha desarrollado es una versión que presenta grandes posibilidades de mejora, sin embargo, todas ellas requieren de una gran inversión de tiempo y es por ello por lo que se plantea desarrollar un sistema reforzado cuyos aspectos de mejora se describen en el apartado 6.4 *“Líneas de trabajo futuras”*.

6.3. Conclusiones

En relación a las conclusiones extraídas de este proyecto podemos destacar que el software RobotStudio es un programa que ofrece multitud de posibilidades, tanto a nivel de aprendizaje como a nivel de aplicación en la industria real. De hecho, mientras realizaba este proyecto hice mis prácticas externas en la Compañía Cervecera de Canarias y resultó que varios operarios estaban buscando un programa que permitiera simular los proyectos antes de proceder a su instalación. Ante la cuestión planteada, les comenté acerca del software RobotStudio y sus posibilidades, ya que asemeja bastante su lógica de estación a los procesos desarrollados en un entorno industrial real.

A pesar de no existir una gran cantidad de información acerca de cómo realizar procesos complejos, RobotStudio cuenta con una gran comunidad que aporta librerías adicionales a sus usuarios, facilitando así el modelado y la configuración de gran cantidad de estaciones. Asimismo, en mi opinión, considero que este software también podría ser una gran opción a la hora de complementar la enseñanza de sistemas automatizados. Tal y como se describe en la motivación personal, la pandemia ha sido uno de los motivos para decantarme por este proyecto ya que, al no tener garantizado el acceso durante todo el curso a las instalaciones de la facultad, se estudió la posibilidad de buscar otros recursos que permitieran realizar un proyecto interesante.

En cuanto al proyecto en su conjunto, cabe destacar que su desarrollo ha sido un largo y complejo proceso que ha requerido del aprendizaje autónomo en muchas ocasiones. La estación ha sido creada desde cero sin conocimiento previo acerca del funcionamiento de los elementos de este software, no obstante, el esfuerzo, la dedicación y las horas invertidas en el proyecto han dado como resultado un trabajo de final de grado del que me encuentro muy satisfecho. En mi opinión, aunque algunos aspectos son claramente mejorables, tal y como se comentará en el siguiente apartado, se ha logrado alcanzar el objetivo propuesto al principio del trabajo.

En este proyecto he podido aprender acerca del diseño, desarrollo y automatización de estaciones industriales, haciendo uso de la creatividad y el razonamiento lógico para resolver los problemas que se plantearon a medida que se avanzaba en el trabajo. Programar la trayectoria de un brazo robótico resulta sencillo, sin embargo, el control de una estación completa, en la que interactúan una gran cantidad de elementos, requiere de un gran conocimiento y, ante todo, una gran capacidad de aprendizaje de forma autónoma. Tal y como se puede observar en los diagramas de tiempo presentados al final de cada desarrollo de etapa en el Capítulo 4, a medida que se avanzaba en la realización del proyecto, el tiempo requerido para implementar procesos complejos era cada vez menor. Esto es debido al aprendizaje y dominio de las funciones y herramientas de RobotStudio.

Mediante el uso de los diferentes programas empleados en el desarrollo del proyecto he adquirido conocimiento sobre: representación virtual de un proceso industrial en el que se trabaja con sistemas robotizados, lenguaje de programación en KOP, herramientas de diseño, herramientas de control y depuración de trayectorias robotizadas mediante la programación en Rapid, programación de controladores. Finalmente, gracias a este proyecto he aprendido a usar un conjunto de elementos y herramientas destinadas a implementar una correcta comunicación entre los diversos procesos presentes en una planta industrial real.

Los recursos empleados ofrecen la posibilidad de implementar y simular códigos desarrollados por el usuario de una forma visual, probando, previamente a su aplicación real en industria, la interacción y el funcionamiento de sus componentes. Tal y como se indica con anterioridad, como resultado de las grandes posibilidades ofrecidas por los programas empleados en este proyecto, el diseño plantea la oportunidad de adaptar el trabajo realizado para su aplicación en el ámbito docente. Esto permitiría a futuros alumnos integrar, aplicar y visualizar los conocimientos sobre automatización, robótica y control de procesos adquiridos durante su formación en el grado.

Conclusions

In relation to the conclusions that we get from this project we can highlight that RobotStudio software is a program that offers many possibilities, for educational purposes and for a real application in the industrial sector. In addition, when I was making this project, I was taking part in my external internships at the company “Compañía Cervecera de Canarias”. In this company, many workers were looking for a program that allowed them to simulate the projects before proceeding to their installation. Helping with this question, I told them about RobotStudio and the possibilities that the software offers, due to it replicates the logic of the station in a really close way to the real industrial environment.

Despite not having a lot of information about how to perform complex processes, RobotStudio has a large community that provides additional libraries for the users, facilitating the modeling and configuration on many stations. Also, in my opinion, I believe that this software could also be a great option to improve the way to apply the knowledge that we learn about automation. As I described in my personal motivation, the pandemic has been one of the reasons for the selection of this project, since it was not possible to access to the laboratories of the university. For that reason I searched about some possibilities that allowed me to make an interesting project.

Taking a close view of the whole project, We need to highlight that the development has been a long and complex process that has required autonomous learning on many occasions. The station has been created from scratch without prior knowledge about the operation of the elements of this software, however, the effort, the dedication and the hours invested in the project have resulted in a final work of which I am very satisfied. In my opinion, some aspects

can clearly be improved, as will be discussed in the next section, however, the objective proposed at the beginning of the work has been achieved.

In this project I was able to learn about the design, development and the automation of industrial stations, making use of creativity and logical thoughts to solve the problems that we faced during the process. To program the trajectory of a robotic arm is simple, however, the control of a complete station, in which a lot of elements interact, requires a great knowledge and, above all, a great capacity of learning autonomously. As we show on the time diagrams presented at the end of each stage development in Chapter 4, as the project's completion progressed, the time required to implement complex processes was decreasing. This is due to learning and mastering the features and tools of RobotStudio.

Thanks to the different programs that we used in the development of this project I have acquired knowledge about: virtual representation of an industrial process in which you work with robotic systems, programming language in KOP, design tools, work with tools for controlling robotized trajectories using Rapid and also I learned about controller programming. Finally, thanks to this project I have learned to use a set of elements and tools that allow to set up correct communication between the processes that take part in a real industrial sector.

The resources used offer the possibility of implementing and simulating codes developed by the user in a visual way by testing the interaction and functioning of their components. As indicated above, as a result of the great possibilities offered by the programs used in this project, the design presents the opportunity to adapt the work done for its application in educational purposes. This would allow future students to integrate, apply and visualize the knowledge about automation, robotics and process control that we learn on the degree.

6.4. Líneas de trabajo futuras

El trabajo realizado tiene una gran cantidad de procesos y diseños de elementos que pueden ser optimizados, permitiendo presentar un modelo más preciso y realista al definir en mayor medida cada una de las tareas realizadas. A continuación, comentamos algunos de los aspectos que podrían mejorarse:

- La estación diseñada ofrece la posibilidad de ampliar cada una de sus etapas y añadir otras nuevas, obteniendo una fábrica de automóviles completa con cada uno de los procesos descritos en el apartado 3.1.2 *“Producción en cadena y Etapas de la Fabricación en Serie”*.
- Mediante modificaciones en la comunicación de los sistemas y los componentes inteligentes, podríamos optimizar el tiempo de los procesos y la carga de las tareas al reducir el uso de señales.
- Al conseguir la mejora de rendimiento de la estación planteada, podríamos incluir el sistema robotizado en la etapa de pintura y también, un manipulador que realice el corte de las piezas en la primera etapa.
- Incluir líneas de espera y almacenes donde se revisen los acabados finales de los vehículos y se realice una cuenta de la producción final después de una jornada completa de trabajo.
- A partir de un proceso de diseño complejo se podría incluir maquinaria más realista que simula la realización de otros procesos más complejos cuya implementación ha sido suprimida en este trabajo.
- Incluir el proceso de prensado referente a la fabricación de las piezas previas del chasis.
- Incluir brazos robóticos con herramientas *Tessonics* que verifiquen la calidad de las soldaduras.
- Modificar las cabinas de pintura añadiendo compuertas que permitan su aislamiento, debido a que las partículas de pintura en suspensión son nocivas y suponen un riesgo para la salud de los trabajadores.
- Implementar una parada de emergencia individual para cada una de las etapas realizadas en este proyecto y una parada de emergencia global que detenga por completo todos los procesos que estén siendo ejecutados en la fábrica. Todos los aspectos de implementación de la parada de emergencia están descritos en el apartado 6.2 *“Parada de emergencia del sistema”*.

Pablo Jerez González

- Diseñar una consola de Rapid donde se pueda visualizar el estado de los procesos y en el que se incluyan algunos botones que activen y desactiven señales de la estación de forma manual mediante el control de un operario.
- Realizar el control completo de la lógica de estación mediante la simulación PLCSIM del TIA Portal.
- Modelar los efectores finales para los manipuladores con el objetivo de emplear herramientas más realistas en el diseño de la estación.

Tal y como se observa en este apartado, existen multitud de cuestiones que pueden ser implementadas en el modelo de este proyecto. Invirtiendo más horas en este Trabajo de Fin de Grado se podrían desarrollar todas las mejoras descritas anteriormente.

ANEXOS

ANEXO A: Presupuesto

En este apartado podemos encontrar dos partes bien diferenciadas: el coste de los programas empleados y la inversión de tiempo requerida para el modelado de la estación.

En primer lugar, destacamos que el coste de los paquetes de software utilizados en la realización de este proyecto ha sido nulo. Esto se debe a que la Universidad de La Laguna dispone de licencias para los estudiantes tanto de TIA Portal como de SolidWorks. En relación al software RobotStudio, el programa principal utilizado en este trabajo, cabe resaltar que se ha trabajado con una licencia de prueba que facilitan los distribuidores oficiales de ABB. No obstante, a pesar de haber tenido acceso gratuito a los diferentes programas, en la tabla A.1 se especifica el precio de mercado de cada uno de ellos y el presupuesto requerido para la obtención de todas las licencias.

Tabla A.1: Precio de las licencias empleadas en el proyecto

| Software | Precio de la licencia (€) |
|--------------------------------------|---------------------------|
| RobotStudio | 1048,95 |
| 3DEXPERIENCE SolidWorks Standard | 3.600 |
| STEP 7 Professional V16 (TIA Portal) | 1512,00 |
| Precio Total | 6.160,95 |

En segundo lugar, detallamos la inversión de tiempo requerida para realizar el modelado y la programación completa de la estación. En la tabla A.2 podemos observar los tiempos invertidos en las tareas planteadas en el apartado 1.1 “Objetivo del TFG y tareas asociadas”.

Tabla A.2: Tareas realizadas e inversión de tiempo en cada una de ellas

| Tarea realizada | Horas invertidas |
|--|------------------|
| T1 -Simulación 3D del proceso de soldadura de un chasis mediante el uso del software RobotStudio. | 63 |
| T2 -Programación de las trayectorias realizadas por los brazos robóticos mediante la consola de Rapid. | 45 |
| T3 -Control de la lógica de la estación mediante la implementación de una correcta comunicación entre los elementos de la planta. | 150 |

| | |
|---|-----|
| T4 -Desarrollo del código mediante el lenguaje de programación KOP en el software TIA Portal. | 27 |
| T5 -Implementación de la comunicación entre TIA Portal y RobotStudio mediante un PLCsim responsable del control y la monitorización de los procesos ejecutados en la planta. | 15 |
| T6 -Diseño gráfico del automóvil y las piezas empleadas durante el proceso de soldadura mediante el uso del software SolidWorks. | 50 |
| Horas invertidas totales | 350 |

Tabla A.3: Presupuesto correspondiente al trabajo de desarrollo del proyecto

| Horas totales | Precio por hora | Precio total |
|---------------|-----------------|--------------|
| 350 | 25€ | 8.750€ |

Finalmente, en caso de tener que adquirir las licencias de software el presupuesto total ascendería a la cantidad que figura en la tabla A.4:

Tabla A.4: Presupuesto total del proyecto

| Concepto | Precio (€) |
|--------------------------------------|------------|
| RobotStudio | 1048,95 |
| 3DEXPERIENCE SolidWorks Standard | 3.600 |
| STEP 7 Professional V16 (TIA Portal) | 1512,00 |
| Mano de obra | 8.750 |
| Presupuesto Total | 14.910,95 |

ANEXO B: Funcionamiento básico de los paquetes de software empleados

Creación de un nuevo entorno de trabajo en SolidWorks

Al iniciar el programa, se muestra una ventana con 3 posibles opciones de diseño, en función del tipo de elemento con el que se desee trabajar.

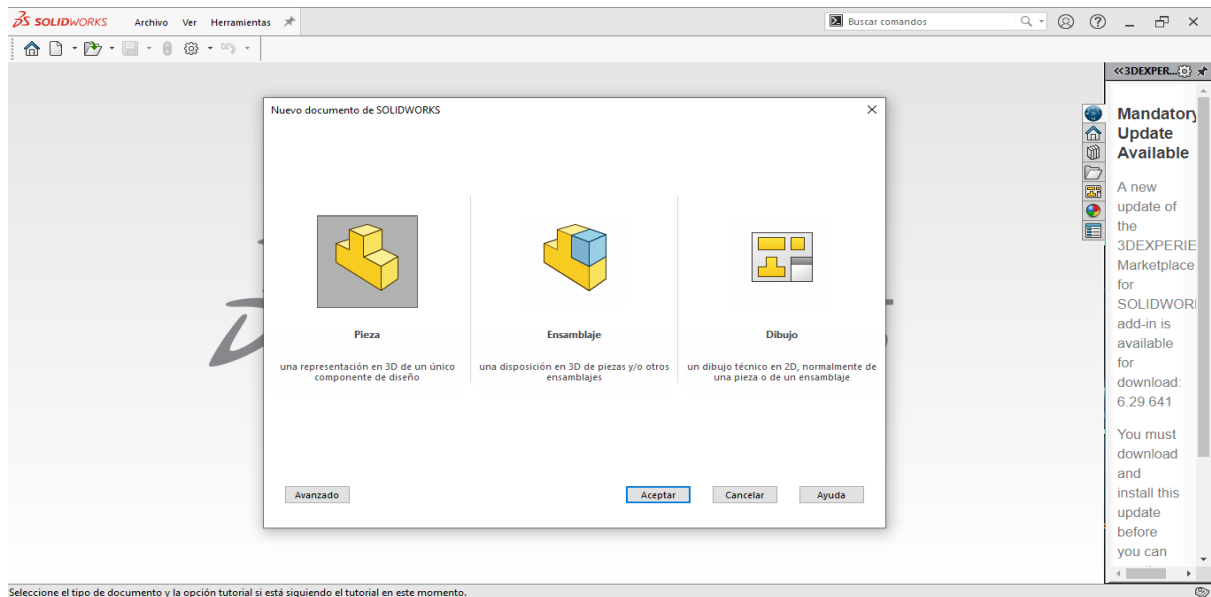


Figura B.1 Creación de espacio de trabajo en SolidWorks.

Las opciones ofrecidas por el programa son las siguientes:

- **Pieza:** permite la creación de una representación en 3D de un único componente de diseño.
- **Ensamblaje:** permite la construcción de una disposición en 3D de piezas u otros elementos de ensamblaje.
- **Dibujo:** permite la creación de un dibujo técnico en 2D, tanto de una pieza como de un ensamblaje.

Para la realización de este proyecto se ha empleado la opción de Pieza, dado que permite la creación del coche en su conjunto y su posterior desglose en piezas individuales.

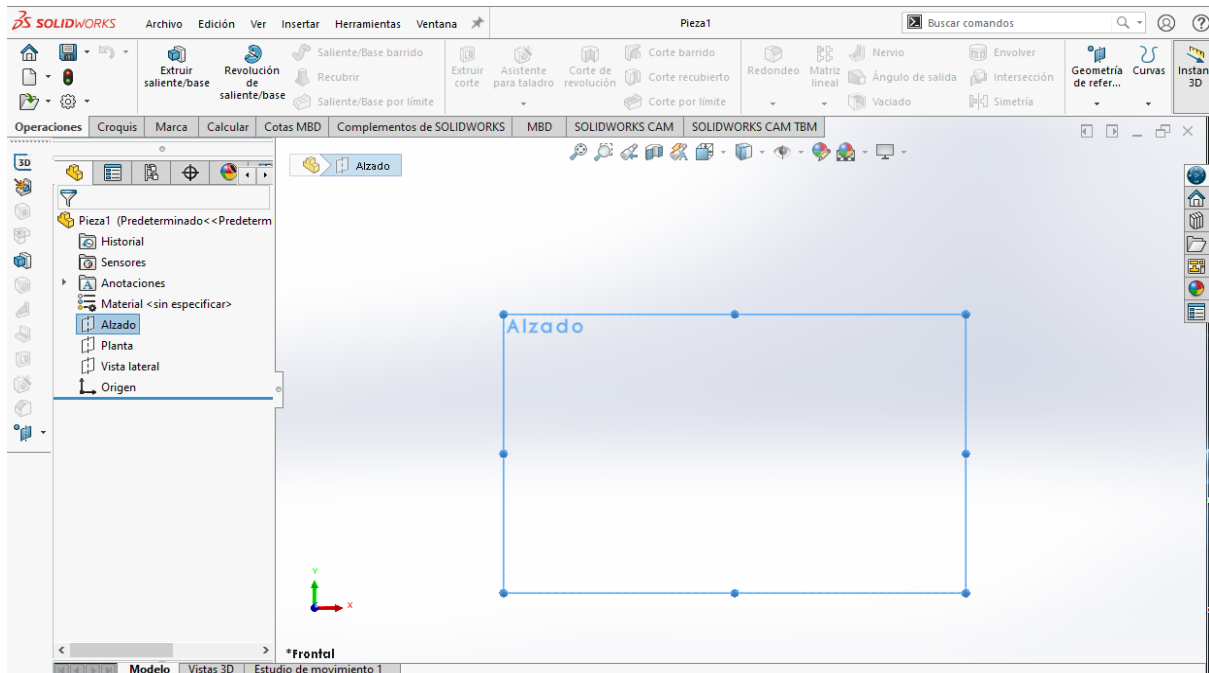


Figura B.2 Entorno de trabajo de SolidWorks.

Una vez creado el entorno de trabajo, podremos interactuar con cada una de las vistas del proyecto: alzado, planta y perfil, creando croquis en cada una de ellas e insertando, como apoyo visual, *footprints*, comenzando así, con la creación de los diseños correspondientes.

Algunas de las herramientas más empleadas durante el proceso de realización de los diseños han sido:

- **Spline:** permite la creación de líneas rectas y curvas sobre un contorno que dan lugar a una superficie de trabajo.
- **Extruir saliente/base:** crea volúmenes 3D de superficies creadas, previamente, mediante las herramientas de diseño de contornos como el spline.
- **Extruir corte:** esta herramienta permite realizar cortes en figuras 3D creadas a partir de la herramienta extruir saliente.
- **Redondeo:** permite redondear y suavizar aristas o vértices del modelo creado.
- **Cota inteligente:** acota las superficies y volúmenes creados, ajustando las dimensiones de los elementos seleccionados.
- **Simetría:** recrea el volumen o la superficie indicada con respecto al plano o la arista seleccionada.
- **Convertir entidades:** convierte las entidades y las aristas de croquis seleccionadas en entidades idénticas, proyectándolas sobre el plano o la cara del croquis.

Creación de un espacio de trabajo y selección de PLC en TIA Portal

Una vez iniciado el programa, seleccionamos la opción “Crear proyecto” e indicamos el nombre del fichero. A continuación, seleccionamos la pestaña “Vista del proyecto” para comenzar a trabajar con el nuevo entorno de trabajo.

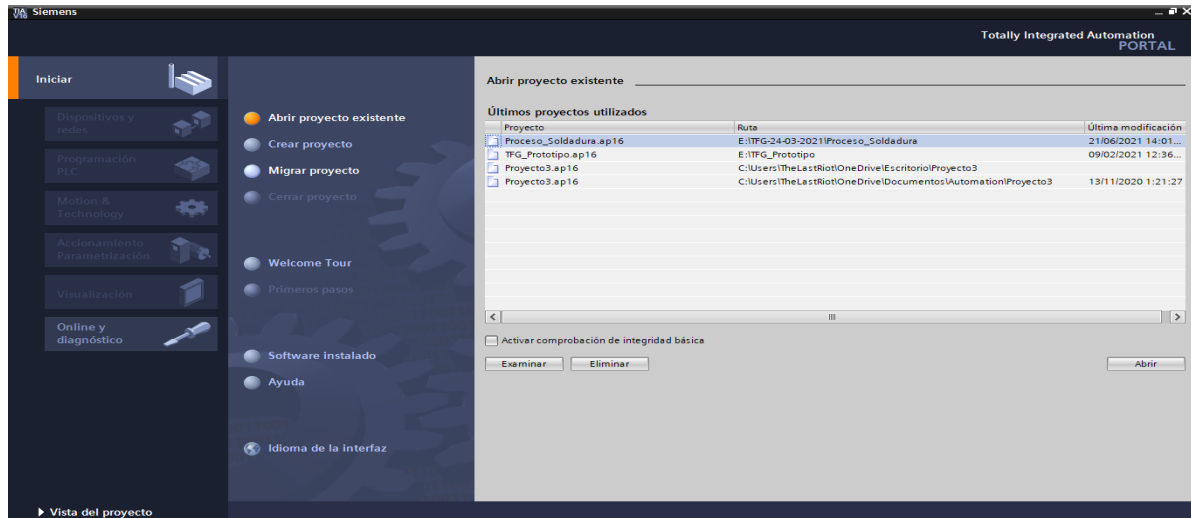


Figura B.3 Creación de un entorno de trabajo en TIA Portal.

Tras finalizar el proceso de creación del nuevo proyecto, procederemos a seleccionar el PLC responsable del control de la lógica de la estación. Para ello seleccionaremos la pestaña “Agregar dispositivo” e indicaremos el tipo de controlador con el que deseamos trabajar.

TIA Portal ofrece multitud de opciones en cuanto a selección de controladores, dependiendo del tipo de alimentación, la salida del autómatas y su tipo de conexión de relé o contacto libre de potencial. Como ejemplo podemos destacar el controlador SIMATIC S7-1200 de CPU 1211C AC/DC/RLY. Esta referencia indica que el autómatas se alimenta con una tensión alterna AC, posee una salida de continua DC y las salidas tienen conexión de relé o contacto libre de potencial RLY.

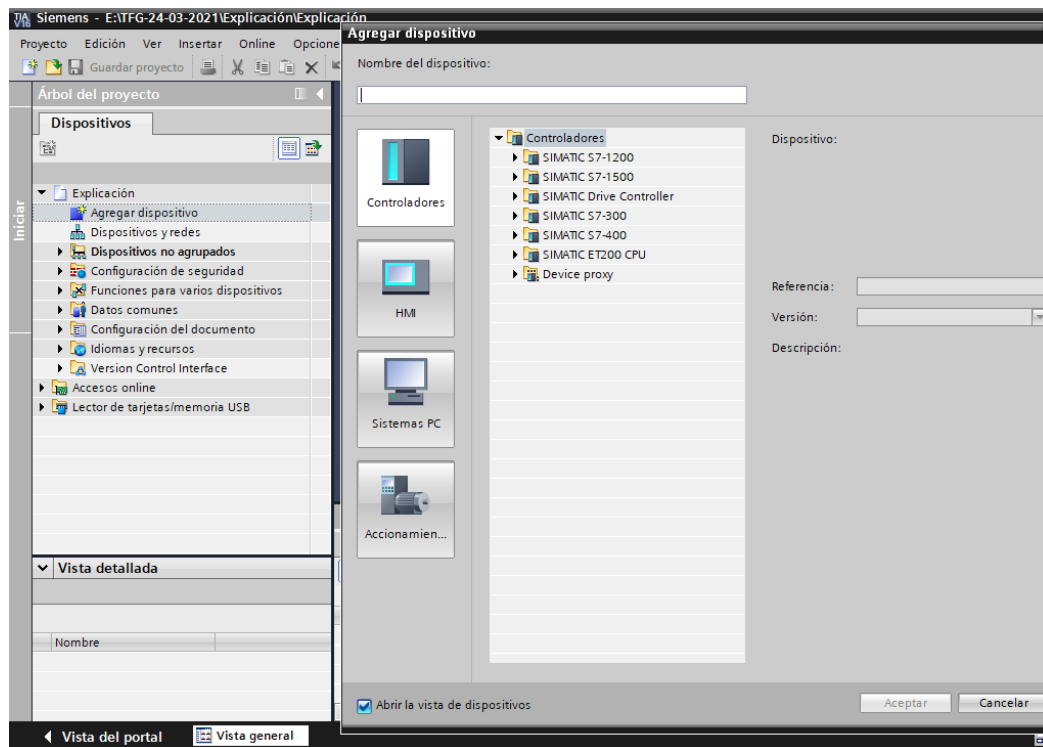


Figura B.4. Selección del controlador usado en TIA Portal.

A la hora de seleccionar un controlador debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones según se explica en [9]:

- Donde se debe instalar el controlador.
- Rendimiento del sistema.
- Lenguaje de programación.
- Motion Control.
- Arquitectura de sistemas.

Creación de las variables y el bloque de programa

Una vez seleccionado el tipo de controlador empleado en el proyecto, procederemos a crear las variables de interacción de nuestro programa. Para la creación de dichas variables, seleccionaremos la ventana de trabajo “Variables PLC” y posteriormente “Agregar Tabla de variables”. Una vez creada la tabla de variables, podremos crear las variables de interacción dependiendo del tipo de dato o su dirección (I0.1 valor de entrada, Q.0.1 valor de actuador, M0.1 marca de activación o de información)

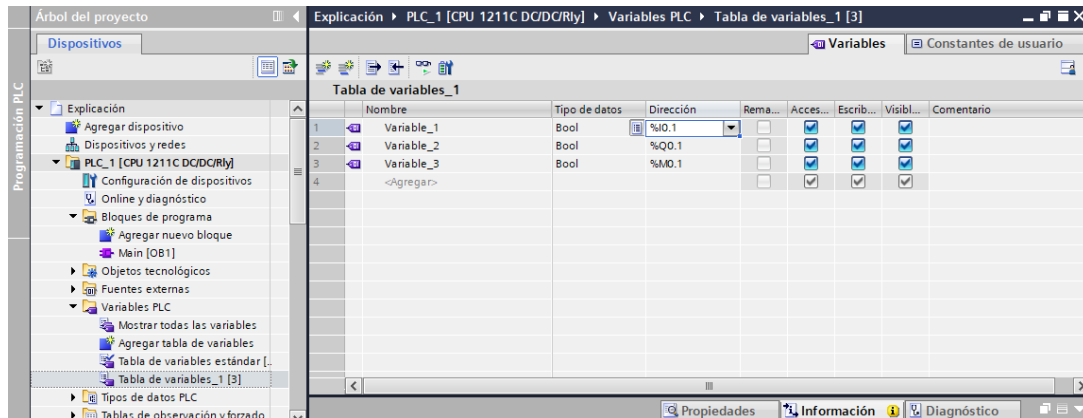


Figura B.5 Creación de tabla de variables en TIA Portal.

Finalmente, crearemos el bloque de programa en el que desarrollaremos nuestro código de programación, en función del control de procesos que se desee realizar. Para la creación del bloque de trabajo, seleccionaremos la opción “Agregar nuevo bloque” indicando el nombre y el tipo de bloque siendo estos:

- Bloque de organización (OB)
- Bloque de función (FB)
- Función (FC)
- Bloque de datos (DB)

Una vez indicado el tipo de bloque, accederemos al bloque de programa, donde en cada segmento indicaremos los procesos lógicos realizados por el autómata.

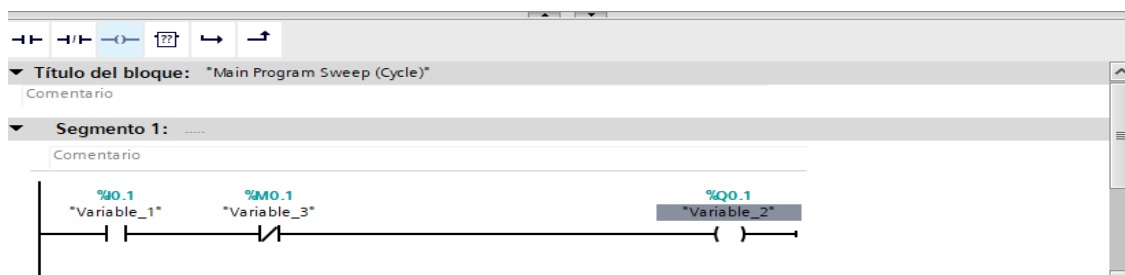


Figura B.6 Creación de un bloque de programa en TIA Portal.

Creación de una estación y un Sistema Robotizado en RobotStudio

En primer lugar, al iniciar el programa, RobotStudio nos ofrecerá la posibilidad de comenzar una nueva estación a partir de diferentes opciones, siendo estas:

- Solución con estación vacía.
- Solución con estación y controlador.
- Estación vacía.

Dado que queremos comenzar a trabajar con una nueva estación, sin ajustes predefinidos, seleccionaremos la opción “Estación vacía” para comenzar desde cero con la realización de nuestro proyecto.

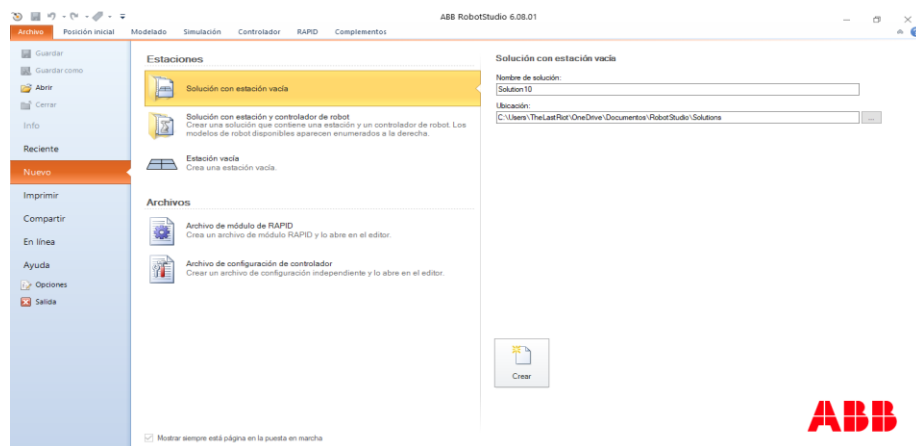


Figura B.7 Creación de un espacio de trabajo en RobotStudio.

Tras la creación del proyecto, seleccionaremos la pestaña “Biblioteca ABB” e insertamos el brazo robótico óptimo para la realización de nuestro proyecto y, una vez finalizado, iniciaremos un nuevo controlador a partir de la opción “Sistema de Robot” y “Desde diseño” que permite la creación de un sistema mediante el uso de un diseño ya existente, es decir, el brazo robótico previamente seleccionado.

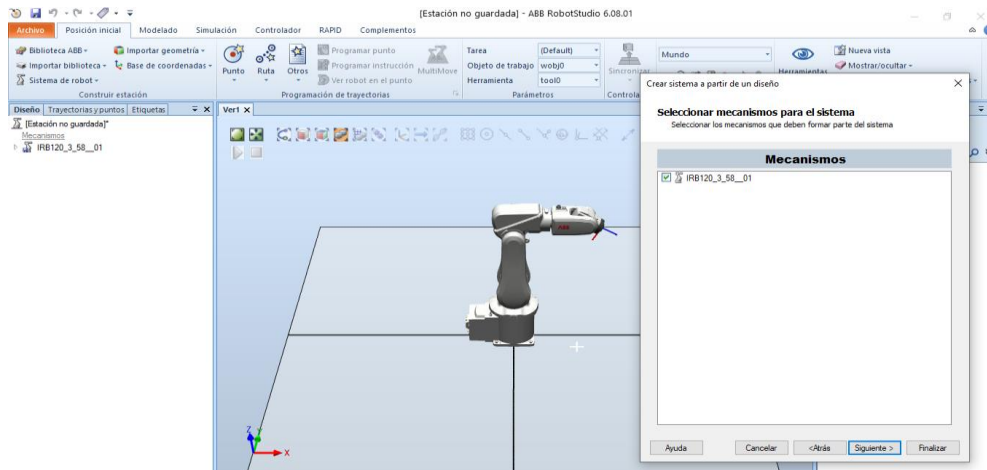


Figura B.8 Selección de un controlador para el sistema robotizado en RobotStudio.

Principales Herramientas de Trabajo

Una vez iniciado el entorno de trabajo, con el respectivo controlador y brazo robótico, podremos emplear multitud de herramientas para realizar la programación y el control de la lógica de la estación. A continuación, describiremos el funcionamiento de algunas de ellas:

- **Ventana de “Trayectorias y puntos”**: esta opción nos permite crear un espacio de trabajo, con un sistema de coordenadas establecido, en el que se almacenarán los puntos y trayectorias realizadas por el brazo robótico.

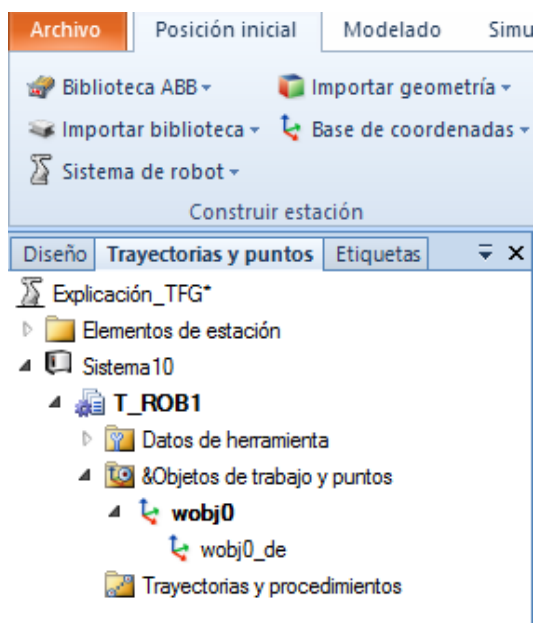


Figura B.9 Trayectorias y puntos creados en RobotStudio.

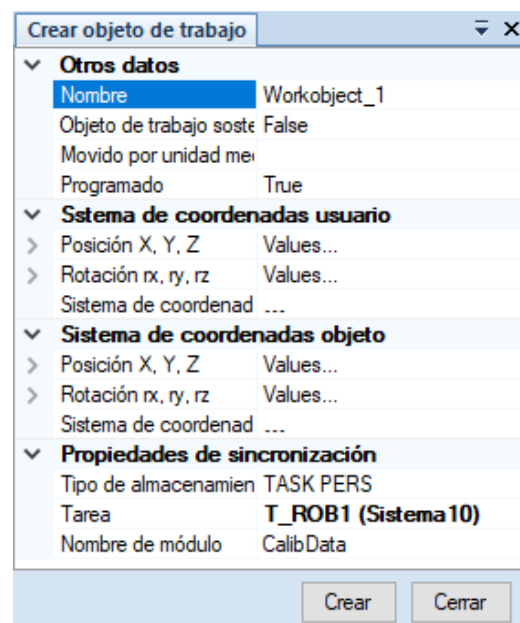


Figura B.10 Creación de un espacio de puntos en RobotStudio.

- **Movimiento de eje:** permite modificar la posición y la orientación del brazo robot mediante el desplazamiento y manipulación de cualquiera de sus móviles.

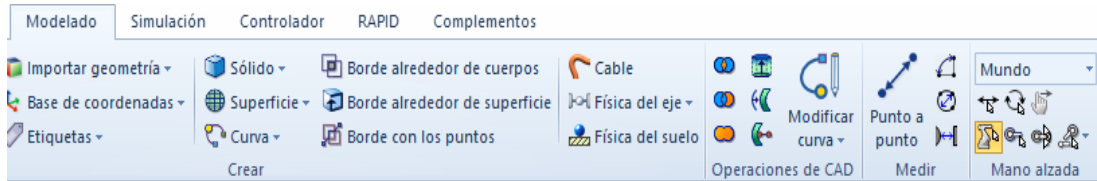


Figura B.11 Herramienta de movimiento de los ejes del sistema robotizado.

- **Programar punto:** esta herramienta permite la creación de un punto, en un espacio de trabajo creado, según la posición actual del brazo robótico seleccionado.

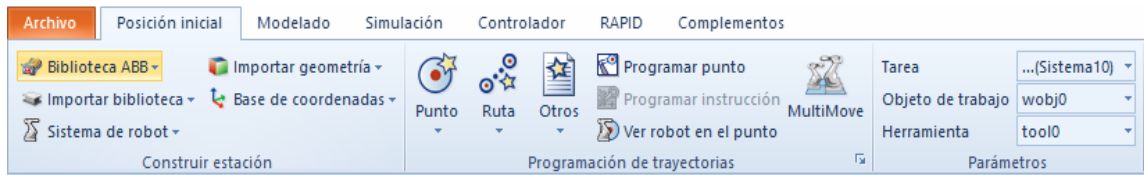


Figura B.12 Herramienta “Programar Punto” del sistema robotizado.

- **Componente inteligente:** permite crear elementos interactivos, propios de la lógica de la estación. Estos componentes aportarán información acerca de los procesos mediante la comunicación por medio de salidas digitales y al mismo tiempo, realizan acciones al recibir señales digitales de entradas procedentes de otros procesos.

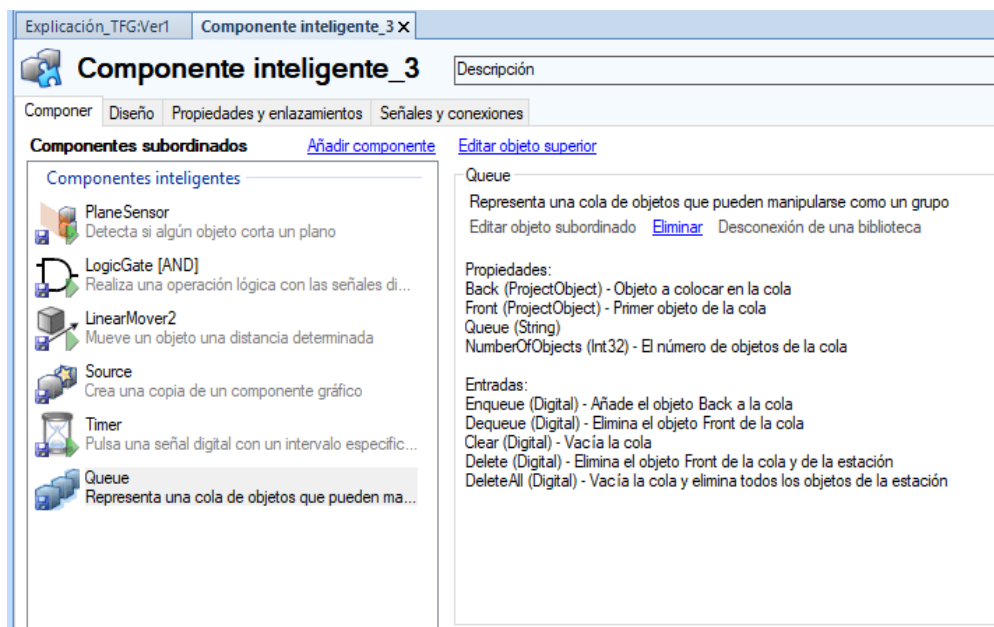


Figura B.13 Creación de un componente inteligente y sus elementos de interacción.

- **Simulador de E/S:** permite observar las señales de la estación mediante la simulación del proceso, seteando o reseteando dichas marcas en función del proceso a realizar.

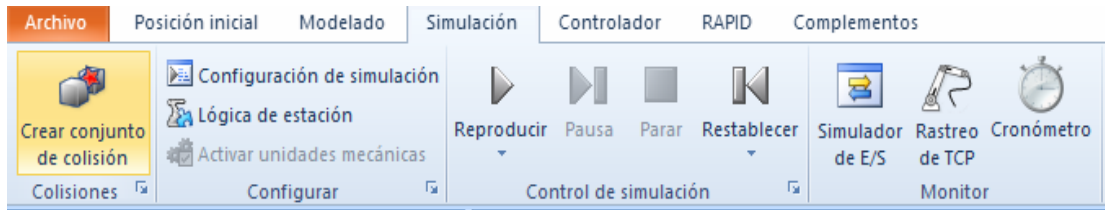


Figura B.14 Vista de la ventana del simulador de E/S.

- **Lógica de la estación:** permite observar y crear la lógica final de la estación mediante la realización de conexiones entre los componentes inteligentes y los controladores.

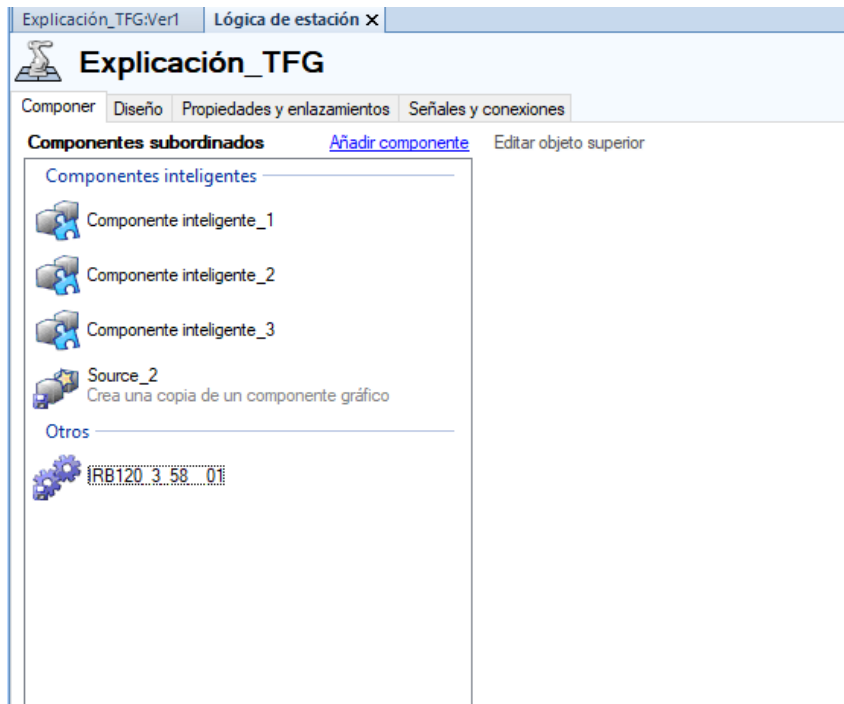


Figura B.15 Vista general de la lógica de estación implementada.

- **Configuración de controladores I/O System:** permite la creación de señales digitales en los controladores seleccionados para su interacción con la estación.

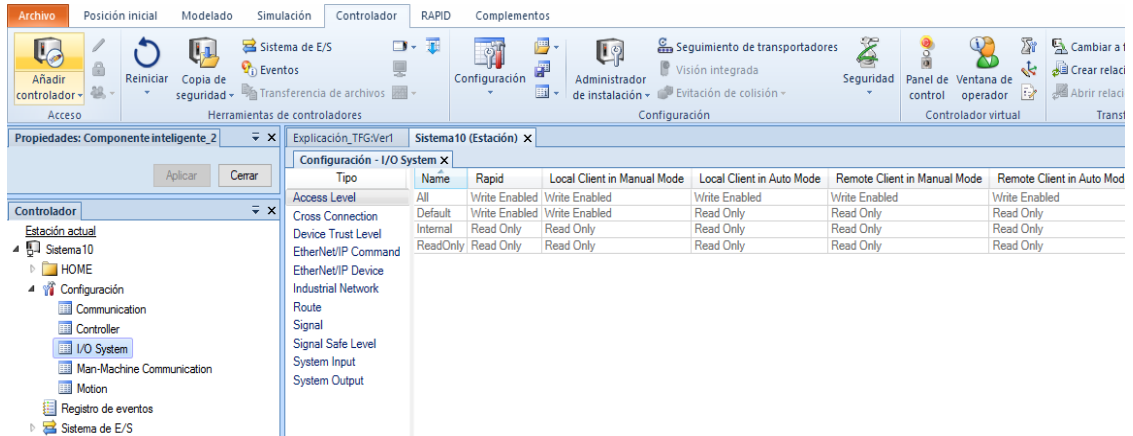


Figura B.16 Espacio de creación de nuevas señales en el controlador seleccionado.

Seleccionando la opción “Signal”, seguido de la acción “New Signal”, podremos crear las señales del controlador, tanto salidas como entradas digitales, que serán usadas posteriormente para la correcta simulación e interacción con la estación.

- **Rapid:** esta herramienta de programación posibilita la creación del código correspondiente a las trayectorias descritas por los brazos robóticos, sincronizando sus movimientos con la simulación de la estación final.

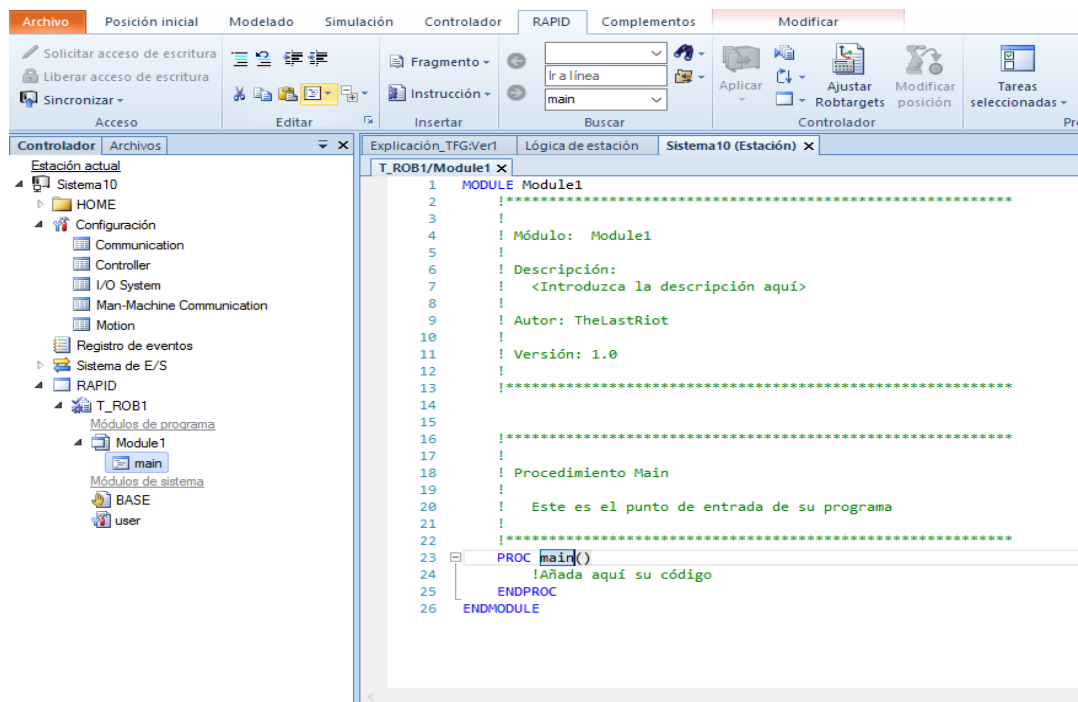


Figura B.17 Espacio de programación en Rapid.

En esta ventana de programación, podremos hacer uso del lenguaje Rapid para la creación y compilación del código ejecutado por los brazos robóticos. El trabajo se realiza a partir del módulo de programa “main”, en el que ejecutaremos las trayectorias y las órdenes de interacción. RAPID es un lenguaje de programación textual de alto nivel desarrollado por la empresa ABB. El programa es una secuencia de instrucciones que controlan el robot y en general consta de tres partes según se desarrolla en [10]:

- **Una rutina principal (main):** Rutina donde se inicia la ejecución.
- **Un conjunto de subrutinas:** Sirven para dividir el programa en partes más pequeñas a fin de obtener un programa modular.
- **Los datos del programa:** Definen posiciones, valores numéricos, sistemas de coordenadas, etc.

ANEXO C: Repositorio a los Documentos de la Estación

Códigos de Rapid

[Programación de Sistemas en Rapid](#)

Vídeos explicativos acerca del funcionamiento de la estación

[Vídeos Explicativos de Cada Etapa](#)

Enlace a los documentos, código KOP y archivos del proyecto

[Archivos del Trabajo de Fin de Grado](#)

REFERENCIAS

- [1]https://factoryio.com/?gclid=CjwKCAjwuIWHBhBDEiwACXQYseUPLaZ2a5-E1IqG1cmuhO3MyTyk96ZH09I8yAiLCn-hp1XxyzsDfBoChIoQAvD_BwE
- [2]<https://es.wikipedia.org/wiki/Blender#Caracter%C3%ADsticas>
- [3]<https://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [4]<https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>
- [5]https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_automotriz
- [6]<https://bfmx.com/tipos-de-soldadura-y-aplicaciones/las-9-etapas-del-proceso-de-produccion-de-un-automovil/>
- [7]https://www.youtube.com/watch?v=0TO4CJ5UVRg&ab_channel=KOTESOStudioChannel
- [8]<https://www.euchner.de/es-es/productos/dispositivos-de-parada-de-emergencia/dispositivo-de-parada-de-emergencia-es/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20norma%20EN%20ISO,sola%20maniobra%20de%20una%20persona.>
- [9]<https://www.infoplcn.net/blogs-automatizacion/item/106834-5-pasos-elegir-controlador-simatic-correcto>
- [10]<http://personal.biada.org/~jhorriillo/INTRODUCCIO%20RAPID.pdf>