



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN
FLEXIBLE ROBOTIZADO EMPLEANDO AGVS
COMO MESA DE TRABAJO MÓVIL.
APLICACIÓN A LA PRODUCCIÓN
AUTOMATIZADA DE DRONES**

AUTOR: LUIS FERNÁNDEZ CARPINTERO

TUTOR: ÁNGEL VALERA FERNÁNDEZ

Selección

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, Ángel Valera Fernández, por la ayuda e interés que ha demostrado conmigo y con la elaboración de este trabajo.

A mi novia, Eugenia Gómez Barbero, por su inestimable compañía, apoyo, colaboración y asesoramiento en todos los aspectos de la vida.

A mi familia, por su constante interés y apoyo desde siempre, haciéndome inasequible al desaliento

RESUMEN

La fabricación requiere reducir costes para obtener el máximo rendimiento y para ser competitivo. A su vez, el consumidor es más crítico y exigente, por lo que se requiere de procesos productivos que permitan fabricar según la demanda, en masa y en tiempo real. Además, se debe optimizar el espacio de trabajo en fábrica, así como los tiempos de proceso y, consecuentemente, reducir los tiempos de espera y de transporte del producto entre estaciones. Todos estos factores son característicos de la fabricación flexible. Si se añade como método de transporte los vehículos autoguiados, se logra flexibilizar al máximo la producción pudiendo elegir la ruta que seguirá, adecuando los robots a las acciones requeridas. Con este proyecto se logra una fábrica automatizada la cual es gestionada por una sala de control encargada de coordinar las rutas y los programas de los robots.

Empleando la fabricación flexible con vehículos autoguiados, se logra fabricar un producto conforme el cliente lo pide, pudiendo tener toda la personalización que se reclame y, aun así, siendo competitivos. Por tanto, se puede satisfacer a muchos más clientes al proporcionarles productos hechos a la medida de las peticiones del consumidor. Mirando por el lado de la empresa, se puede compactar considerablemente la zona de fabricación puesto que se puede ir cambiando los programas de los robots para adecuarlos a las necesidades de la producción. Además, se verá reducido o incluso eliminado el espacio requerido para el almacenamiento de stock de producto terminado. Todo ello repercute en una notable reducción de costes, incremento de clientela y, por tanto, aumento de beneficios.

Para llevar a cabo este sistema de producción, se plantea diseñar una línea de fabricación de drones, a modo de ejemplificación del potencial de optimización de la producción que se puede obtener empleando los AGVs con la fabricación flexible. Estará compuesta por diversos robots los cuales realicen tareas como el posicionamiento de las piezas, soldadura, aplicación de adhesivos o pintura.

Se va a diseñar un vehículo autoguiado junto a una mesa de trabajo donde se transportará las diferentes piezas y se efectuarán las diversas operaciones. Se contemplarán numerosas versiones o personalizaciones de los drones pudiendo variar el número de hélices, si lleva o no cámara y la capacidad de esta, las baterías, el sistema de emisión de señal o el tren de aterrizaje.

Para la gestión, monitorización y gestión de la planta, se ilustrará todo el conjunto en un SCADA, pudiendo verse el estado de cada robot y AGV.

En general, se va a proponer un método de trabajo que combine el potencial de fabricación flexible con la movilidad y capacidad de decisión ágil que permiten los vehículos autoguiados, el cual se simulará en una planta de fabricación de drones y se hará el seguimiento a través de un SCADA.

Resum

La fabricació requereix reduir els costos per a obtenir el màxim rendiment i per a ser competitiu. Al seu torn, el consumidor és més crític i exigent, per la qual cosa, fa falta l'ús de processos productius que permeten fabricar segons la demanda, en massa i en temps real. A més, s'ha d'optimitzar l'espai de treball en fabrica, així com els temps del procés i, consegüentment, reduir els temps d'espera i de transport del producte entre estacions. Tots estos factors són característics de la fabricació flexible. Si s'afegeix com a mètode de transport els vehicles autoguiats, s'aconsegueix flexibilitzar al màxim la producció podent triar la ruta que seguirà, adequant els robots a les accions requerides. Amb este projecte s'aconsegueix una fàbrica automatitzada la qual és gestionada per una sala de control encarregada de coordinar les rutes i els programes dels robots.

Emprant la fabricació flexible amb vehicles autoguiats, s'aconsegueix fabricar un producte conforme el client ho demana, podent tindre tota la personalització que es reclame i, així i tot, sent competitiu. Per tant, es pot satisfer a molts més clients al proporcionar-los productes fets a la mesura de les peticions del consumidor. Mirant pel costat de l'empresa, es pot compactar considerablement la zona de fabricació ja que es pot anar canviant els programes dels robots per a adequar-los a les necessitats de la producció. A més, es veurà reduït o inclús eliminat l'espai requerit per a l'emmagatzemament d'estoc de producte acabat. Tot això repercuteix en una notable reducció de costos, increment de clientela i, per tant, augment de beneficis.

Per a dur a terme este sistema de producció, es planteja dissenyar una línia de fabricació de drones, a manera d'exemplificació del potencial d'optimització de la producció que es pot obtenir emprant els AGVs amb la fabricació flexible. Estarà composta per diversos robots els quals realitzen tasques com el posicionament de les peces, soldadura, aplicació d'adhesius o pintura. Es va a dissenyar un vehicle autoguiat junt amb una taula de treball on es transportarà les diferents peces i s'efectuaran les diverses operacions. Es contemplaran nombroses versions o personalitzacions dels drones podent variar el nombre d'hèlices, si porta o no càmera i la capacitat d'esta, les bateries, el sistema d'emissió de senyal o el tren d'aterratge.

Per a la gestió, monitorització i gestió de la planta, s'il·lustrarà tot el conjunt en un SCADA, podent veure's l'estat de cada robot i AGV.

En general, es va a proposar un mètode de treball que combine el potencial de fabricació flexible amb la mobilitat i capacitat de decisió àgil que permeten els vehicles autoguiats, el qual se simularà en una planta de fabricació de drones i es farà el seguiment a través d'un SCADA.

Abstract

Manufacturing requires reducing costs to obtain maximum performance and to be competitive. In turn, the consumer is more critical and demanding, which is why production processes are required that allow manufacturing according to demand, in mass and in real time. In addition, the workspace in the factory must be optimized, as well as the process times and, consequently, the waiting and transport times of the product between stations must be reduced. All these factors are characteristic of flexible manufacturing. If self-guided vehicles are added as a transport method, production can be made as flexible as possible by choosing the route to follow, adapting the robots to the required actions. With this project an automated factory is achieved which is managed by a control room in charge of coordinating the routes and programs of the robots.

Using flexible manufacturing with self-guided vehicles, it is possible to manufacture a product according to the customer's request, being able to have all the customization that is claimed and, even so, being competitive. Therefore, many more customers can be satisfied by providing products tailored to consumer requests. Looking from the company side, the manufacturing area can be considerably compacted since the robot programs can be changed to adapt them to the production needs. In addition, the space required for storing finished product stock will be reduced or even eliminated. All this results in a notable reduction in costs, an increase in customers and, therefore, an increase in profits.

To carry out this production system, it is proposed to design a drone manufacturing line, as an example of the potential for optimizing production that can be obtained using AGVs with flexible manufacturing. It will be made up of various robots that carry out tasks such as positioning the parts, welding, applying adhesives or painting.

A self-guided vehicle will be designed together with a worktable where the different parts will be transported and the various operations will be carried out. Numerous versions or customizations of the drones will be considered, and the number of propellers may vary, whether or not it carries a camera and its capacity, the batteries, the signal emission system or the landing gear.

For the management, monitoring and management of the plant, the whole set will be illustrated in a SCADA, being able to see the status of each robot and AGV.

In general, a working method will be proposed that combines the potential for flexible manufacturing with the mobility and agile decision-making capacity that self-guided vehicles allow, which will be simulated in a drone manufacturing plant and monitored through of a SCADA.

Palabras clave: automatización, sistema de fabricación flexible, vehículo autoguiado, AGV, mejora de tiempos, estudio de tiempos, control de procesos, simulación, robótica, SCADA.

Key words: automation, flexible manufacturing system, self-guided vehicle, AGV, time improvement, time studies, process control, simulation, robotics, SCADA.

Índice

MEMORIA.....	1
1 Introducción	2
1.1 Contextualización Y Justificación.....	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Estructura	3
2 Sistema Productivo.....	4
2.1 Fabricación flexible.....	4
2.2 Vehículos autoguiados (AGVs)	5
2.3 Planta de fabricación de drones.....	6
2.4 Brazos robóticos programables.....	7
3 Programas de diseño, simulación y programación.....	10
3.1 Autodesk Inventor 2021.....	10
3.1.1 Elementos, herramientas y entorno de trabajo de Inventor	10
3.2 RobotStudio.....	15
3.2.1 Elementos de RobotStudio.....	16
3.2.2 Componente inteligente	27
4 Diseño de piezas	32
4.1 Piezas del dron	32
4.2 Elementos de transporte.....	34
4.3 Maquinaria	35
4.4 Elementos de suministro de piezas.....	37
4.4.1 Suministradores de piezas.....	37
4.4.2 Estructuras de sujeción de piezas	38
5 Funcionamiento de la planta.....	41
5.1 Mesa de transporte de piezas	42
5.1.1 Descripción del proceso	42
5.1.2 Programación del proceso.....	42
5.2 Estación de extrusión (St1).....	44
5.2.1 Descripción del proceso	44
5.2.2 Programación del proceso.....	46
5.3 Estación de taladrado (St2)	46

5.3.1	Descripción del proceso	47
5.3.2	Descripción de la programación.....	47
5.4	Estación de montaje principal (St3)	48
5.4.1	Descripción del proceso	49
5.4.2	Descripción de la programación.....	49
5.5	Estación de adhesivos (St4).....	52
5.5.1	Descripción del proceso	52
5.5.2	Descripción de la programación.....	53
5.6	Estación de montaje final.....	54
5.6.1	Descripción del proceso	55
5.6.2	Descripción de la programación.....	55
5.7	Reposición de materiales	57
6	Aplicación de la fabricación flexible a la línea de montaje.....	58
6.1	Reorganización de procesos de producción.....	58
6.2	Reajuste de tareas por avería o mantenimiento.....	58
6.3	Reajuste de rutas con estaciones duplicadas.....	58
6.4	Modificación de rutas por obstáculos	59
7	Estudio de tiempos.....	60
7.1	Análisis de la estación simulada	60
7.2	Consideraciones de demanda	62
7.3	Programa Arena	62
8	SCADA	70
9	Conclusiones.....	72
10	Bibliografía.....	73
	PRESUPUESTO	74
	ANEXOS	76
	Anexo 1. Planos de piezas	77
	Anexo 2. Especificaciones de los robots.....	85
	Anexo 3. Estudios de tiempo de la célula.....	88

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. AGV tipo mouse modelo K05 Twister. Fuente: página web de la compañía Kivnon	5
Ilustración 2. Tipo tractor modelo K20. Fuente: página web de la compañía Kivnon	5
Ilustración 3. Espacio de trabajo de un brazo robótico. Fuente: teoría de la asignatura Robótica Industrial de la UPV	8
Ilustración 4. Robot IRB 1100. Fuente: página web de ABB.....	8
Ilustración 5. Zonas de trabajo de un robot. Fuente: teoría de la asignatura Robótica Industrial de la UPV	9
Ilustración 6. Entorno de trabajo de Inventor. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021	10
Ilustración 7. Menú de herramientas de boceto. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021	11
Ilustración 8. Pantalla ensamblaje. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021	13
Ilustración 9. Pantalla principal de Inventor. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021	13
Ilustración 10. Ventana de Unión. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021	14
Ilustración 11. Ventana para añadir límites a la unión. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021 ..	14
Ilustración 12. Ventana "Añadir restricción". Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021	15
Ilustración 13. Pantalla principal de RobotStudio. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	16
Ilustración 14. Barra de herramientas de "Posición inicial" dividida en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	18
Ilustración 15. Pestaña "Modelado" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020	19
Ilustración 16. Crear herramienta 1. Fuente: programa RobotStudio 2020	19
Ilustración 17. Crear herramienta 2. Fuente: programa RobotStudio 2020	19
Ilustración 18. Pestaña "Simulación" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	20
Ilustración 19. Pestaña "Controlador" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020	21
Ilustración 20. Desplegable de la herramienta "Comunicación". Fuente: programa RobotStudio 2020	22
Ilustración 21. Configuración - I/O System. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	22
Ilustración 22. Ventana de creación de señales. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	22
Ilustración 23. Pestaña "RAPID" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	23
Ilustración 24. Ventanas Diseño, Física y Etiquetas. Fuente: programa RobotStudio 2020	23
Ilustración 25. Ventanas Controlador y Archivos. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	24
Ilustración 26. Desplegable de un componente. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	24
Ilustración 27. Desplegable de un punto. Fuente: programa RobotStudio 2020	25
Ilustración 28. Desplegable de una ruta. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	26
Ilustración 29. Listado de bloques de componentes añadidos. Fuente: programa RobotStudio 2020 ..	27
Ilustración 30. Zona de trabajo del componente inteligente. Fuente: programa RobotStudio 2020...	27
Ilustración 31. Añadir señal E/S. Fuente: programa RobotStudio 2020.....	28
Ilustración 32. Bloque de componente inteligente "LogicSRLatch". Fuente: programa RobotStudio 2020.....	28
Ilustración 33. Bloque de componente inteligente "Timer". Fuente: programa RobotStudio 2020	29
Ilustración 34. Bloque de componente inteligente "LineSensor". Fuente: programa RobotStudio 2020	29

Ilustración 35. Bloque de componente inteligente "PlaneSensor". Fuente: programa RobotStudio 2020.....	29
Ilustración 36. Bloque de componente inteligente "Attacher". Fuente: programa RobotStudio 2020	29
Ilustración 37. Bloque de componente inteligente "Detacher". Fuente: programa RobotStudio 2020	30
Ilustración 38. Bloque de componente inteligente "Source". Fuente: programa RobotStudio 2020 ..	30
Ilustración 39. Bloque de componente inteligente "Sink". Fuente: programa RobotStudio 2020	30
Ilustración 40. Bloque de componente inteligente "Show". Fuente: programa RobotStudio 2020.....	30
Ilustración 41. Bloque de componente inteligente "Hide". Fuente: programa RobotStudio 2020	30
Ilustración 42. Bloque de componente inteligente "LinearMover2". Fuente: programa RobotStudio 2020.....	31
Ilustración 43. Bloque de componente inteligente "Rotator2". Fuente: programa RobotStudio 2020	31
Ilustración 44. Bloque de componente inteligente "JointMover". Fuente: programa RobotStudio 2020	31
Ilustración 45. Placa base. Fuente: elaboración propia	32
Ilustración 46. Placa de radio frecuencia. Fuente: elaboración propia.....	32
Ilustración 47. Tornillo de longitud 6mm y radio 5. Fuente: elaboración propia	33
Ilustración 48. Placa guía para varillas. Fuente: elaboración propia.....	33
Ilustración 49. Tapa para la carcasa. Fuente: elaboración propia.....	33
Ilustración 50. Tornillo de longitud 13mm y radio 5. Fuente: elaboración propia	33
Ilustración 51. Rosca para el soporte de la cámara. Fuente: elaboración propia.....	34
Ilustración 52. Representación del AGV. Fuente: elaboración propia	34
Ilustración 53. Mesa de transporte de piezas. Fuente: elaboración propia	35
Ilustración 54. Pareja de garras, la fija a la izquierda, la móvil a la derecha. Fuente: elaboración propia	35
Ilustración 55. Máquina extrusora. Fuente: elaboración propia	35
Ilustración 56. Mampara de máquina extrusora. Fuente: elaboración propia	36
Ilustración 57. Máquina taladradora con anclaje para robot. Fuente: elaboración propia.....	36
Ilustración 58. Máquina atornilladora con anclaje para robot. Fuente: elaboración propia.....	36
Ilustración 59. Dispensador de guías y placas. Fuente: elaboración propia	37
Ilustración 60. Dispensador de tornillos y tuercas. Fuente: elaboración propia	37
Ilustración 61. Dispensador de placas base. Fuente: elaboración propia.....	38
Ilustración 62. Dispensador de placas de radio frecuencia. Fuente: elaboración propia	38
Ilustración 63. Carrito para varillas. Fuente: elaboración propia.....	39
Ilustración 64. Carrito de soportes de cámara. Fuente: elaboración propia	39
Ilustración 65. Carrito de trenes de aterrizaje. Fuente: elaboración propia.....	40
Ilustración 66. Componente inteligente del panel de control. Fuente: elaboración propia.....	41
Ilustración 67. AGV cargando la mesa de transporte de material. Fuente: elaboración propia	42
Ilustración 68. Componente inteligente de la mesa. Fuente: elaboración propia.....	43
Ilustración 69. Componente inteligente que gestiona el transporte entre estaciones. Fuente: elaboración propia	43
Ilustración 70. Estación 1, de extrusión de material. Fuente: elaboración propia	44
Ilustración 71. Aparición de carcasas. Fuente: elaboración propia	45
Ilustración 72. Componente inteligente de la estación 1. Fuente: elaboración propia.....	46

Ilustración 73. Estación 2, taladradora. Fuente: elaboración propia	47
Ilustración 74. Componente inteligente de la estación 2. Fuente: elaboración propia	48
Ilustración 75. Estación 3, montaje principal. Fuente: elaboración propia	48
Ilustración 76. Componente inteligente del brazo robótico con pinza de la estación 3. Fuente: elaboración propia	50
Ilustración 77. Componente inteligente del brazo con atornilladora de la estación 3. Fuente: elaboración propia	51
Ilustración 78. Estación 4, aplicación de adhesivo. Fuente: elaboración propia	52
Ilustración 79. Componente inteligente de la estación 4	54
Ilustración 80. Estación 5, montaje final. Fuente: elaboración propia	54
Ilustración 81. Componente inteligente del brazo robótico con pinza de la estación 5. Fuente: elaboración propia	56
Ilustración 82. Componente inteligente del brazo con atornilladora de la estación 5. Fuente: elaboración propia	56
Ilustración 83. Línea de fabricación de drones en ARENA. Fuente: elaboración propia.....	63
Ilustración 84. Bloque Create. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 85. Bloque Decide. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 86. Bloque Assign. Fuente: elaboración propia.....	64
Ilustración 87. Panel de asignación. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 88. Bloque Process. Fuente: elaboración propia.....	64
Ilustración 89. Panel de gestión del proceso. Fuente: elaboración propia	65
Ilustración 90. Número de productos acabados. Fuente: elaboración propia	65
Ilustración 91. Estudio de tiempo de la línea. Fuente: elaboración propia	65
Ilustración 92. Tiempos de espera de la estación base. Fuente: elaboración propia	66
Ilustración 93. Utilización porcentual de las estaciones. Fuente: elaboración propia.....	66
Ilustración 94. Tabla de recursos. Fuente: elaboración propia	67
Ilustración 95. Producción con 5 AGVs. Fuente: elaboración propia	67
Ilustración 96. Producción con la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia.....	68
Ilustración 97. Tiempo de producción medio por unidad con la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia	68
Ilustración 98. Porcentaje de tiempo en uso con la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia	68
Ilustración 99. Producción con 5 AGVs y la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia	69
Ilustración 100. SCADA de la línea de fabricación de drones. Fuente: elaboración propia.	70

Índice de tablas

Tabla 1. Cronometraje de tiempos del modelo de 3 hélices con cámara. Fuente: elaboración propia	60
Tabla 2. Tiempos de procesado por estaciones y modelos. Fuente: elaboración propia	61
Tabla 3. Probabilidad de demanda de cada modelo. Fuente: elaboración propia.	62
Tabla 4. Presupuesto	75

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de tiempos de trabajo por modelos. Fuente: elaboración propia	61
-----------------------------------------------------------------------------------------	----

MEMORIA

1 Introducción

1.1 Contextualización Y Justificación

La sociedad ha evolucionado en pocos años adquiriendo nuevas tecnologías y un sin fin de productos. Actualmente, se ha creado un artículo para casi cada necesidad, ya que la fabricación es cada vez más económica y, por ello, es más sencillo adquirirla y producir distintos productos. Esta enorme diversidad de artículos hace que la gente ya no se conforme solo con tener aquello que busca, sino que quiere desde elementos que se dan por hecho que debe incorporar cierto tipo de producto, hasta personalizaciones prácticamente a medida del consumidor. Sin embargo, los métodos de fabricación en líneas de producción suelen trabajar fabricando un gran número de artículos iguales, ya que generar modificaciones implicaría grandes sobrecostes y repercutiendo en el precio final del mismo o en la reducción de ganancias del fabricante.

A su vez, la tendencia de las fábricas es automatizar al máximo los procesos. De esta forma se reduce la participación humana directa en la producción, lo que supone reducción de costes a largo plazo, ya que se ahorra en salarios de operarios, y se reducen los riesgos para el personal. También se puede reducir el espacio necesario para la producción ya que se pueden disminuir los sistemas y zonas de seguridad destinados a proteger al personal.

Todos estos factores desencadenan que se requiera replantear el sistema productivo de las industrias el cual deberá adecuar el producto a la demanda del consumidor manteniendo un precio competitivo. Este es el paradigma con el que se debe diseñar las nuevas industrias y adaptar las existentes. Para ello, uno de los métodos que más fácilmente adaptan la producción es la fabricación flexible.

La fabricación flexible consiste en conectar de forma automatizada diferentes estaciones de producción de tal forma que se pueda fabricar productos en pequeños lotes o, incluso, de forma unitaria y contando aun así con unos costes competitivos. Este sistema permite la personalización del producto al gusto del consumidor, siempre y cuando el proceso productivo este contemplado y adecuado a la maquinaria existente. Con este método, se logra minimizar, o en algunos casos eliminar, los costes derivados de cambios de herramientas y cambios de producción en general.

El punto clave de la fabricación flexible es el transporte entre estaciones. Estos tiempos de desplazamiento de las piezas suponen un coste que no repercute en incrementar el valor del producto. Por ello, deben verse reducidos en la medida de lo posible, siendo el caso ideal cuando dichos tiempos fuesen nulos.

A su vez, tener tiempos de espera en la línea de producción también supone la pérdida de dinero por parte del empresario, ya que nuevamente no se incrementa el valor del artículo. Esto suele darse cuando una estación es más lenta que la estación anterior, siendo este un cuello de botella. El tiempo de dicha estación marcará el ritmo de producción global. En la fabricación en línea, este es el mayor reto, reducir el tiempo de la estación que es el cuello de botella. Como lo normal es que toda la producción pase por una misma línea de fabricación, es inevitable dicho punto limitante del proceso. Además, como se ha mencionado, el objetivo es hacer productos personalizados, lo que puede dar lugar a excesos de tiempos de producción respecto a la media en algunos modelos. Para evitar dichos tiempos muertos se propone emplear vehículos autoguiados o AGV (Automatic Guide Vehicle) como

medio de transporte entre líneas, pudiendo duplicar estaciones para evitar los tiempos muertos y modificar de forma fácil y rápida la ruta.

1.2 Objetivos

El presente documento plasma el concepto de fabricación flexible empleando vehículos automáticamente guiados para el transporte de piezas y el potencial que tienen estos dos conceptos juntos. Para ello, se realizarán las siguientes tareas:

- Primero de todo, se diseñará un sistema productivo de un producto real, concretamente una planta de fabricación de drones.
- Segundo, la elaboración de las piezas necesarias para ilustrar el proceso productivo mediante el programa Inventor de AutoDesk.
- Tercero, una simulación en el programa Robotstudio de la compañía ABB de un fragmento de una posible línea de fabricación real de drones, compuesta por una serie de estaciones las cuales estarán conectadas mediante un sistema de AGVs encargados de desplazar las mesas de unas estaciones a otras, pudiendo elegir la ruta según las necesidades del proceso.
- Cuarto, se realizará un estudio de tiempos para analizar la productividad de la planta y posibles mejoras.
- Por último, la confección de un SCADA o pantalla de seguimiento de la planta.

En definitiva, se pretende desarrollar un método de fabricación con un elevado grado de automatización el cual permita satisfacer las necesidades futuras de la población, como es la personalización de productos, a un precio competitivo de mercado, el cual será ilustrado mediante una simulación de una línea de producción de drones.

1.3 Estructura

El documento se desarrollará siguiendo el mismo orden que el planteado en los objetivos, puesto que es como se ha ido desarrollando todo el contenido. Se ha partido de una idea de fabricación introduciendo métodos más actuales de fabricación como son la fabricación flexible y los AGVs. Seguidamente, se ha decidido hacer un proceso de producción de drones, teniendo que diseñar cada una de las piezas en 3D, tanto las piezas que compondrán las diferentes versiones de dron, como las herramientas, sistemas de anclaje y transporte. A continuación, se comienza con el diseño del sistema productivo, el diseño de las estaciones, selección de robots y herramientas. Para finalizar, se desarrolla un SCADA de la planta.

2 Sistema Productivo

El sistema que se propone aúna el concepto de fabricación flexible, dotando a la industria de un amplio abanico de posibilidades de producción, y las nuevas tecnologías de transporte de materiales, los vehículos autoguiados. A continuación, se explicará en detalle ambos términos.

2.1 Fabricación flexible

La fabricación flexible consiste en un conjunto de estaciones unidas por un sistema de transporte automatizado. Este proceso de fabricación cuenta con cierta flexibilidad para poder adaptarse a cambios previstos o imprevistos de la producción. Esta capacidad de amoldarse puede darse, esencialmente de dos formas. Por la flexibilidad de las máquinas, las cuales puedan cambiar su proceso productivo en un momento dado para adecuarse a los requisitos de la producción o el orden de elaboración de una pieza. También se logra flexibilidad modificando la asignación de las tareas. De esta forma se puede contar con más de una estación que sea capaz de realizar la misma acción con tal de que si una máquina está ocupada, el sistema reconducirá a la pieza por un nuevo camino, evitando tiempos de espera innecesarios que supondrían pérdidas económicas.

La principal ventaja de la fabricación flexible es que, dada la adaptabilidad del proceso, permite realizar un gran número de productos con características diferentes con la misma maquinaria, o con cambios menores en las mismas. De esta forma se puede fabricar pequeños lotes o, incluso, producir de forma unitaria a precios equiparables a la producción en masa.

Hay que entender esta flexibilidad como la capacidad material y organizativa de todos los departamentos, funciones y elementos que componen la empresa, con tal de poder adaptarse en forma y tiempo a las condiciones del mercado y, con ello, que la capacidad organizativa de la empresa puede asimilar las nuevas necesidades en el proceso productivo.

Para coordinar todos estos sistemas adaptables es necesario de un personal altamente cualificado que gestione y organice el sistema productivo empleando software de planificación de tareas, robots y rutas. En este documento se expondrá el programa RobotStudio, donde se ejemplificará una de las posibles situaciones de fabricación flexible de una parte de una hipotética planta de drones.

Como desventaja cabe destacar que se requiere de una importante inversión inicial para adquirir todos los sistemas automáticos, sistemas de monitorización, sensores y software.

La fabricación flexible dota al cliente final de la posibilidad de seleccionar diferentes variantes de un mismo producto, pudiendo hacerlo casi en específico para él. El único requisito para que sea esto posible es que la planta de fabricación cuente con el proceso productivo de dicha variante ya configurado para la maquinaria que se dispone. Es decir, que informáticamente ya se haya contemplado esa combinación de elementos, de tal forma que los robots puedan, en un momento dado, cambiar sus órdenes para adaptarse a dicha versión del producto. Esto puede implicar modificar tanto las ordenes de los mecanismos como el orden por el que pasara la materia para ser mecanizada.

2.2 Vehículos autoguiados (AGVs)

En el campo de transporte de mercancías han destacado los últimos años los vehículos de guiado automático. Estos sistemas de transporte consisten en robots con ruedas no tripulados. Cuentan con unos sensores para detectar los objetos de su entorno y poder evitarlos o detenerse antes de colisionar. Suelen contar con considerable capacidad de carga o arrastre, según el método de amarre de la mercancía. Hay diversos tipos de AGVs según su forma:

- Mouse: consiste en un robot de pequeña altura el cual carga los materiales sobre la parte superior pudiendo soportar unos 500 kg. Está pensado para llevar mesas móviles o palets. También es capaz de funcionar arrastrando la carga, sujeta desde la parte posterior. Con esta disposición es capaz de manejar unos 1000 kg. Un ejemplo de este tipo de AGVs se puede ver en la Ilustración 1.



Ilustración 1. AGV tipo mouse modelo K05 Twister. Fuente: página web de la compañía Kivnon

- Tractor: este vehículo está diseñado principalmente para arrastrar grandes cargas, como puede ser un convoy de carros. Es capaz de generar unos 2500 N y transporta hasta 6000 kg. En la Ilustración 2 se muestra uno de estos AGVs.



Ilustración 2. Tipo tractor modelo K20. Fuente: página web de la compañía Kivnon

Para generar la ruta de los AGVs existen diversas técnicas:

- Filoguiado o guiado magnético: se trata de poner una cinta magnética por todo el recorrido por el que pasara el robot. Para la toma de decisiones se emplean “tags” o discos magnéticos los cuales contienen una orden como puede ser girar, esperar o cambiar de ruta siguiendo

ciertos criterios. Esta cinta puede ir sobre el suelo o embebida en el mismo, de tal forma que los vehículos que pasen por encima no la desgasten. Cabe destacar que no es necesario que la totalidad del recorrido tenga dicho guiado, los AGVs suelen poder recorrer unos metros siguiendo la última orden recibida y retomando la ruta cuando encuentre una nueva guía. Los inconvenientes de este sistema es que se debe invertir dinero en designar físicamente el recorrido y, en caso de que se desee, adecuar el suelo para el embebido. Además, esta cinta puede verse desgastada con el paso del tiempo y mercancías, lo que supone cambiarla de forma periódica.

- Señal inalámbrica o navegación mapping: se puede realizar un seguimiento de la posición de los AGVs a través de conexión inalámbrica, bien sea internet, radio frecuencia o GPS. Con este método, se sabe en todo momento donde están situados todos los robots pudiendo tomar decisiones en tiempo real, como dar preferencia a un convoy respecto a otro. Con dicho método se puede monitorear la posición de toda la flota con precisión. No obstante, se requiere instalar y tener en funcionamiento una red inalámbrica en todo momento, por lo que puede derivar en un coste adicional.
- Ruta prefijada: la opción más sencilla de todas es generar una ruta de forma digital especificando con precisión las distancias recorridas y todas las acciones a realizar. El vehículo podrá corregir levemente la ruta gracias a los sensores en caso de haber un obstáculo, pero puede acabar teniendo derivas de posición causadas por colisiones, imprecisiones en la ruta, defectos en el terreno o en el propio vehículo. Sin embargo, no requiere de inversión adicional en delimitar la ruta o colocar sistemas de conexión inalámbrica, lo que lo convierte en el método más económico.

Para la estación que se simulará, se ha seleccionado el AGV de la compañía Kivnon modelo k05 Twister, el mostrado en la Ilustración 1 y cuyas especificaciones están en el Anexo 2. Especificaciones de los robots.

2.3 Planta de fabricación de drones

El proceso productivo elegido es el correspondiente a una línea de producción de una fábrica de drones, concretamente aéreos, contando con cierta variedad de personalización, entre las que se encuentra la elección del número de hélices y motores, el color, si cuenta o no con cámara, la capacidad de los componentes y se le puede añadir algún grabado o pintura exterior adicional.

Concretamente se harán 5 estaciones diferentes, las cuales se presentarán a continuación y se detallarán en el apartado de simulación:

- Estación de extrusión de plástico: el primer paso de la fabricación es dar forma a la carcasa inferior y superior, pudiendo elegir el color del plástico entre una selección. Se ha estimado un tiempo de extrusión de 8 minutos para cada pareja de carcasas. Para la extracción se empleará un brazo robotizado.
- Estación de taladrado: seguidamente, se perforará el plástico para el posicionamiento del número de hélices solicitadas y del orificio para la cámara si es necesario. De ello se encargará un brazo robotizado equipado con una taladradora.

- Estación de fijación de componentes: a continuación, se colocarán las varillas con las piezas necesarias para el correcto acoplamiento, el tren de aterrizaje y el soporte de la cámara, si procede. Para ello, se emplearán dos brazos, uno que posicionará las piezas y el otro las fijará mediante tornillos o tuercas.
- Estación adhesiva: en esta etapa, un robot se encarga de aplicar adhesivo para la posterior colocación de la placa base, la placa de radio frecuencia y la batería. También pondrá adhesivo para juntar ambas carcasas. Todas las piezas serán situadas mediante un brazo con una ventosa.
- Estación de montaje final: esta última estación se encarga de montar el tren de aterrizaje del dron y, finalmente, lo coloca en una cinta para su posterior empaquetado.

En lo que a fabricación flexible respecta, se va a emplear para modificar las tareas de los robots según la combinación elegida por el usuario, afectando al diseño de extrusión, al número de repeticiones de los robots para ciertas acciones, la cantidad de agujeros que se deben perforar, entre otros. Además, según la combinación seleccionada se verán afectados los tiempos de proceso. Con tal de evitar que una estación suponga un cuello de botella, se duplicaran las estaciones que pueden ser conflictivas, de tal forma que no se retrase la producción. Cabe destacar, que estas máquinas duplicadas solo se emplearán en esta línea de forma ocasional, únicamente cuando el tiempo de producción normal se vea incrementado. No obstante, se está contemplando exclusivamente una línea, si se tiene en cuenta que la fábrica no contará únicamente con una línea de producción, las máquinas duplicadas pueden emplearse desde otros grupos de trabajo, por lo que el tiempo sin carga de trabajo de estas será reducido.

Para el transporte entre las estaciones, se empleará un AGV tipo mouse, equipado con una mesa con garras, guiado por navegación mapping. De esta forma, todos los trabajos se realizarán en esta mesa, donde irán fijadas las carcasas sobre las que se realizarán todas las operaciones.

2.4 Brazos robóticos programables

Una planta de fabricación flexible requiere de un elevado grado de automatización, por lo que se emplearán brazos robotizados. Un robot es un mecanismo programable que tienen, al menos, 3 grados de libertad. Los brazos robóticos se componen de una base, un conjunto de articulaciones y una terminación, generalmente preparada para colocar una herramienta. Hay otros casos en el que la terminación ya es una herramienta como es el caso de los robots de pintura.

En el proceso de selección de un robot, se deben de tener en cuenta los siguientes factores:

- Movilidad: dependiendo del número de ejes permite más o menos accesibilidad.
- Espacio de trabajo/Alcance: es la zona que puede alcanzar el extremo del robot. En la Ilustración 3 aparece este concepto entorno a un robot genérico.

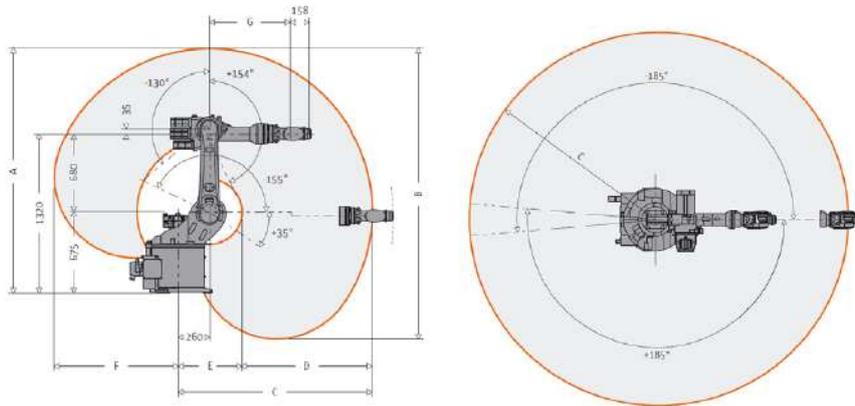


Ilustración 3. Espacio de trabajo de un brazo robótico. Fuente: teoría de la asignatura Robótica Industrial de la UPV

- Capacidad de carga máxima: cantidad de peso que puede cargar.
- Repetitividad y precisión: hace referencia a cuantas veces deja el objeto donde toca, es decir, dentro de una zona aceptable para que sean posibles las posteriores tareas.
- Velocidad y aceleración: para calcular el tiempo de ciclo.
- Entorno de trabajo: en caso de que haya elementos adversos que puedan dañar al robot o se tenga que trabajar junto a personas.

En este caso, se emplearán las máquinas de la compañía ABB, concretamente brazos robóticos de 6 ejes. El modelo seleccionado es el IRB 1100 puesto que puede levantar hasta 4 kilogramos y tiene un alcance de 0.58 metros, por lo que es suficiente para las tareas que se llevarán a cabo. En la Ilustración 4 aparece una imagen de dicho modelo. Las características de estos robots aparecen en el Anexo 2. Especificaciones de los robots.



Ilustración 4. Robot IRB 1100. Fuente: página web de ABB

A la hora de trabajar con brazos robóticos que van a transportar piezas, se debe considerar varias situaciones. Primero de todo, no se puede maniobrar de la misma forma en lo que se llama la zona libre, es decir, donde el robot puede moverse sin riesgo a colisionar con ningún objeto; que en la zona de trabajo, lo que viene siendo en las proximidades de los elementos sobre los que se va a realizar alguna operación. Este concepto queda plasmado en la Ilustración 5. Estas dos zonas se deben tener en cuenta principalmente para la velocidad de desplazamiento del robot, siendo inferior cuando este próximo a un objeto, y para la precisión con la que se pueda mover, por lo que cerca de las piezas tendrá que haber menos desviaciones de la ruta indicada para evitar colisiones o daños en estas o en el robot. Para diferenciar ambas zonas se crea una barrera ficticia llamada frontera, cuyo interior será la zona de trabajo y el exterior la libre.

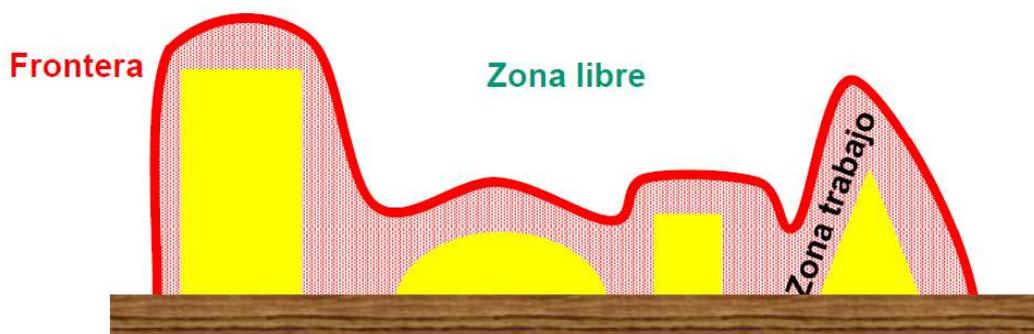


Ilustración 5. Zonas de trabajo de un robot. Fuente: teoría de la asignatura Robótica Industrial de la UPV

La otra situación que destacar, es cuando el robot se mueve con o sin carga. Cuando el robot tiene carga, se deberá mover más lentamente que con carga puesto que existe la posibilidad de que un movimiento brusco provoque que la pieza se suelte. Adicionalmente, en caso de que pudiera llegar a colisionar el brazo robótico con otro elemento, hay mayor riesgo cuando este lleva carga puesto que tanto la colisión como una detención súbita pueden causar daños en la pieza o que salga despedida, por lo que es necesarias menores velocidades que garanticen la seguridad de la carga y el entorno.

3 Programas de diseño, simulación y programación

Para diseñar e ilustrar la idea a desarrollar en el presente documento, se hace uso de varios programas, tratando de asemejar la labor aquí plasmada con la labor real de un equipo de diseñadores y programadores. Es decir, en este trabajo se ejemplificará el concepto de fabricación flexible empleando AGV y se realizará un proceso de diseño semejante al real. Con tal fin, se emplean los programas Autodesk Inventor y RobotStudio.

3.1 Autodesk Inventor 2021

Este software es una herramienta de diseño en 3D de piezas perteneciente al grupo de programas de Autodesk, como lo es AutoCad. El entorno de trabajo es el que se muestra en la Ilustración 6.

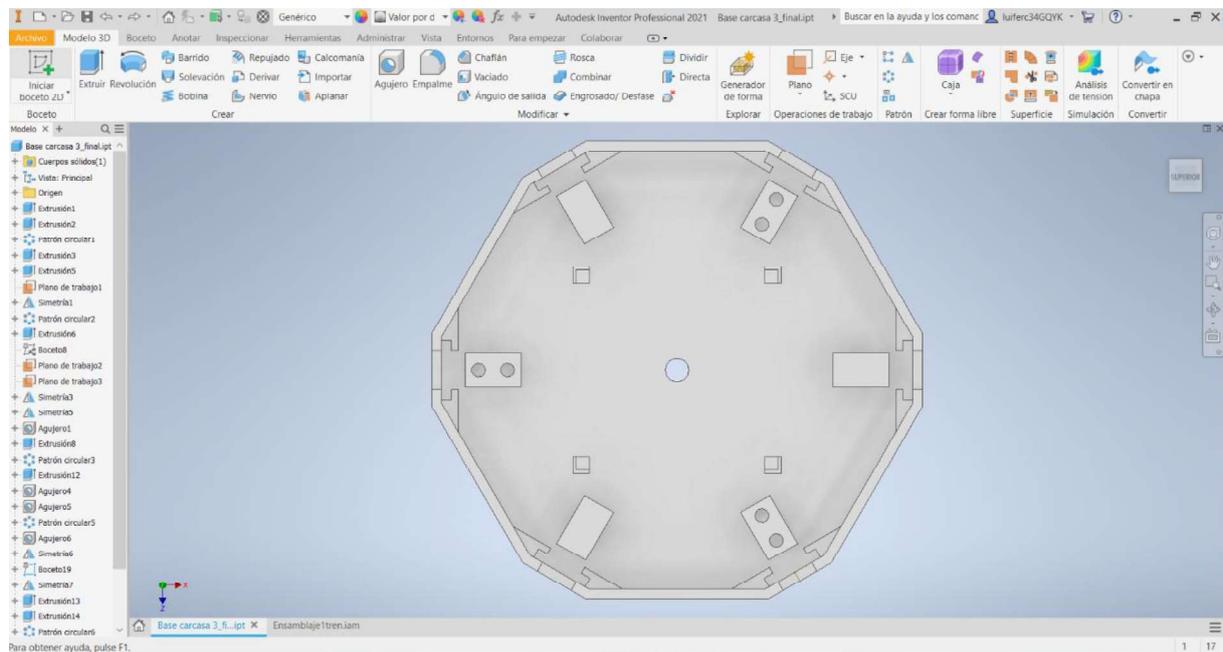


Ilustración 6. Entorno de trabajo de Inventor. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021

El principal uso de este programa es el de elaborar todas las piezas del dron que se emplean en la fabricación de este. De esta forma se han creado numerosas variantes de algunas de las piezas que componen al robot de tal forma que con el menor número de variaciones de la planta se puedan realizar todos los modelos.

También se usa el programa Inventor para diseñar algunas de las herramientas, máquinas, soportes y otros elementos necesarios para el proceso de fabricación, los cuales serán descritos posteriormente.

3.1.1 Elementos, herramientas y entorno de trabajo de Inventor

Inventor cuenta con herramientas para la creación de diseños 2D y 3D. A continuación, se explicarán únicamente las herramientas necesarias para crear los diseños de las piezas de los drones, maquinaria, herramientas y soportes.

Diseño en 2D

Para comenzar a dar forma a una figura se emplea el comando “Iniciar boceto 2D”. Este permite crear una figura plana sobre un plano seleccionado por el usuario. Acto seguido, aparece el menú de la Ilustración 7.

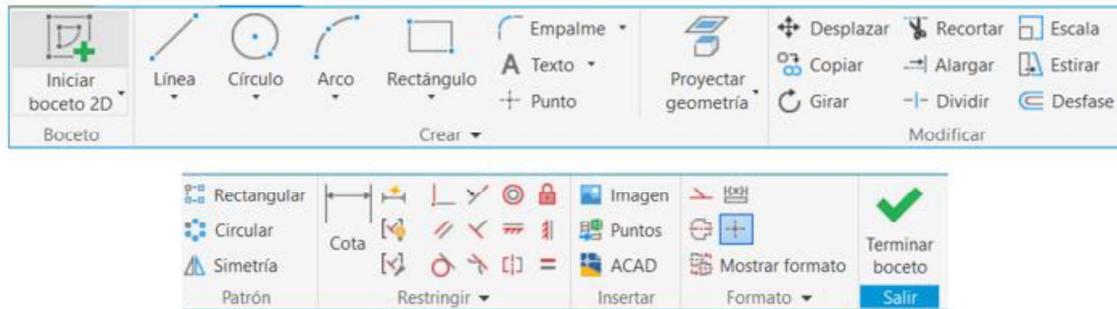


Ilustración 7. Menú de herramientas de boceto. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021

La parte sobre la que pone “Crear” permite generar formas bien sea líneas, con el comando “Línea”, el cual permite seleccionar un punto inicial y, o bien un punto final, o bien una longitud y un ángulo, bien sean círculos, arcos, rectángulos, entre otras figuras geométricas cada una con su respectivo comando. En este mismo apartado se puede incluir texto pulsando sobre “Texto”, suavizar las esquinas con “Empalme”, recortarlas con “Chaflán” o posicionar puntos para realizar sobre ellos otras operaciones. Por último, el comando “Proyectar geometría”, y todo el conjunto de comandos encabezados por la palabra “Proyectar”, generan las formas seleccionadas de otros dibujos ya realizados sobre el dibujo actual para poder interactuar con estas.

A continuación, aparecen las herramientas que permiten modificar un dibujo ya elaborado. Empezando por arriba a la izquierda y avanzando de forma descendente están:

- “Desplazar”, para mover un punto, línea o conjunto de los anteriores a una nueva posición.
- “Copiar”, para crear nuevos elementos idénticos a los seleccionados en la posición deseada.
- “Girar”, permite rotar una selección de elementos del dibujo entorno a un punto o eje.
- “Recortar”, con el que se puede eliminar parte de una línea hasta que alcance con un punto o recta.
- “Alargar”, genera una línea a partir de una existente hasta que intersecciona con otro elemento del dibujo.
- “Dividir”, para seccionar figuras que cortan a través de otra seleccionada.
- “Escala”, permite ampliar o reducir el tamaño proporcionalmente de una figura.
- “Estirar”, desplaza un elemento del dibujo deformando a aquellos que estén conectados a este.
- “Desfase”, genera una copia paralela a la seleccionada. En caso de ser una figura cerrada, la escala disminuyéndola, hacia el interior, o aumentándola, hacia el exterior.

Los siguientes elementos de esta barra de herramientas son los patrones. En este caso hay un patrón rectangular que permite repetir una figura según una malla, es decir, a lo largo y alto de la pantalla, cada cierta distancia y cantidad de veces seleccionada. Otro patrón disponible es el circular, que repite

una figura entorno a un eje. Finalmente, está la simetría, pudiendo copiar una figura respecto a un plano de tal manera que su forma quede reflejada respecto a dicho plano.

La última parte de interés de este menú es la de restringir, la cual añade ciertas acotaciones y limitaciones en el dibujo con tal de dar la forma deseada a la figura. De esta forma se puede acotar una distancia con “Cota”, especificar que se desea que dos puntos de dos figuras se encuentren en la misma posición, que dos rectas sean paralelas o perpendiculares, entre otras muchas opciones. En muchas ocasiones estas restricciones se aplican de forma automática al dibujar las líneas, como cuando se cierra una figura, puesto que se añade una restricción de coincidencia al punto inicial y final. Es notablemente útil estas relaciones puesto que, si se modifica alguna dimensión o la posición de algún elemento, toda la figura se reajustará para mantener dichas restricciones.

Diseño en 3D

Una vez dada la forma a la figura plana, se selecciona “Terminar boceto” para volver a la ventana anterior y darle forma tridimensional. Para esta labor, volviendo a la Ilustración 6, el apartado “Crear”, dispone del elemento “Extruir”, el cual permite elevar una superficie contenida por un contorno. También se puede agujerear una estructura 3D con esta herramienta. El resto de los elementos de este apartado no se emplearán por lo que no se explicará su funcionalidad.

Otra herramienta importante, dentro del grupo “Modificar”, es “Agujero”, con la que se perfora una pieza una cierta profundidad con un cierto diámetro. Muy parecida a la última esta “Rosca”, la cual además de hundirse en una pieza, genera un hendidura tipo muelle en su interior para poder atornillar otro cuerpo. Esta función permite seleccionar el tipo de rosca entre las prediseñadas.

Dentro de “Operaciones de trabajo” se pueden crear planos, ejes y puntos auxiliares para la realización de ciertas maniobras, como puede ser situar un plano con el que realizar una simetría.

Por último, las herramientas del grupo “Patrón” funcionan similar que las de 2D, salvo que se puede trabajar en 3D.

En la parte izquierda de la pantalla (la parte izquierda de la Ilustración 6) aparecen todas las operaciones empleadas, pudiendo desplegarlas para ver los bocetos de los que se ha partido u otros elementos a partir de los cuales se ha realizado dicha operación. El orden de dependencia de unas acciones con otras viene definido de arriba abajo, siendo una operación de la parte inferior dependiente de la inferior, en la muchos casos. Una operación dependiente de otra colocada más arriba nunca podrá moverse a una posición más elevada que esta. De esta forma se genera una jerarquía de trabajo.

En la parte derecha, aparece un cubo junto un símbolo de una casa el cual permite rotar la vista. Adicionalmente, hay una barra para mover el punto de vista. Por ejemplo, la mano permite trasladar la vista sin cambiar el ángulo desde el que se ve, o las flechas curvas dejan girar la vista libremente.

La parte inferior del entorno de trabajo contiene las diferentes pestañas con las que se trabaja, así como un símbolo de casa para ver todos los proyectos realizados y poder crear otros nuevos.

Finalmente, en la esquina inferior izquierda, justo sobre la barra de los proyectos, se muestra la orientación y dirección de los 3 ejes principales, el X, el Y y el Z.

Ensamblajes

Hasta el momento se ha explicado como diseñar una pieza en inventor, no obstante, también se pueden generar conjuntos de piezas uniendo otras ya elaboradas. Dicho de otro modo, se pueden juntar las piezas desarrolladas con anterioridad de tal forma que acoplen unas con otras, siguiendo un cierto criterio, con tal de formar una estructura compleja de elementos interconectados. Esta funcionalidad llamada “Ensamblaje” tiene la interfaz presentada en la Ilustración 8. Para seleccionar entre diseñar una “Pieza” o un “Ensamblaje” se debe pulsar en la pantalla principal de invento en su correspondiente símbolo, el cual se muestra en la Ilustración 9.

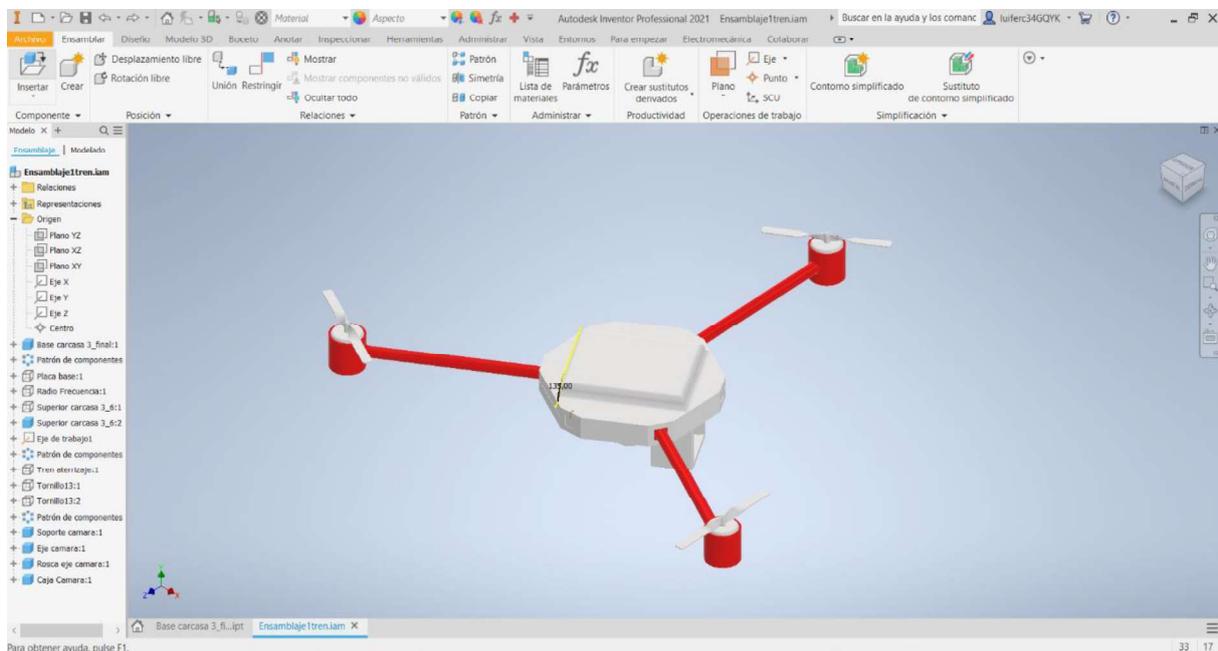


Ilustración 8. Pantalla ensamblaje. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021



Ilustración 9. Pantalla principal de Inventor. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021

Dentro de “Ensamblaje” se puede añadir las piezas con el botón de nombre “Insertar” y posicionarlas en el espacio rotándolas en el espacio 90 grados en cualquiera de los 3 ejes principales las veces que se deseen. Estas se pueden desplazar libremente por el entorno de trabajo. Una vez se quiera juntar

las piezas, existen dos herramientas que lo permiten, “Unión” y “Restringir”, situadas en la barra de herramientas que se observa en la Ilustración 8. “Unión”, obliga a que la posición de dos puntos, rectas o ejes se sitúen en la misma posición y con una orientación elegida. Esta pantalla se muestra en la Ilustración 10. Entre las opciones de enlace aparecen: automático, rígido, de rotación, corredera, cilíndrica, plana y de bola. Se puede crear una distanciación entre ambas con el parámetro “Desfase”.

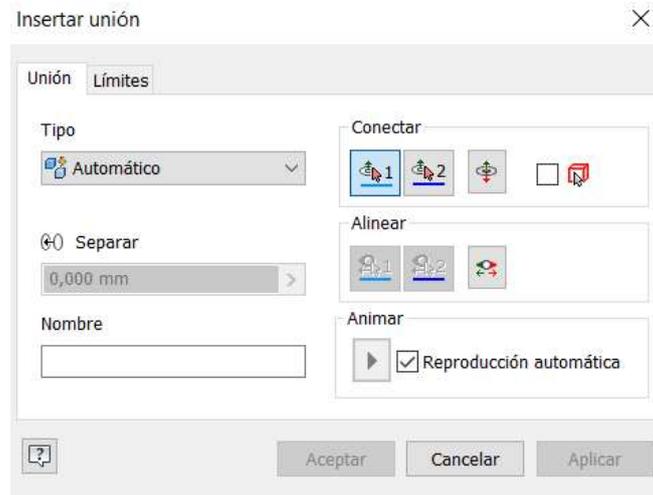


Ilustración 10. Ventana de Unión. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021

Exceptuando el enlace rígido, el resto permiten un cierto movimiento entre ambas piezas, pudiendo ser restringido desde la ventana “Límites”, de la Ilustración 11.

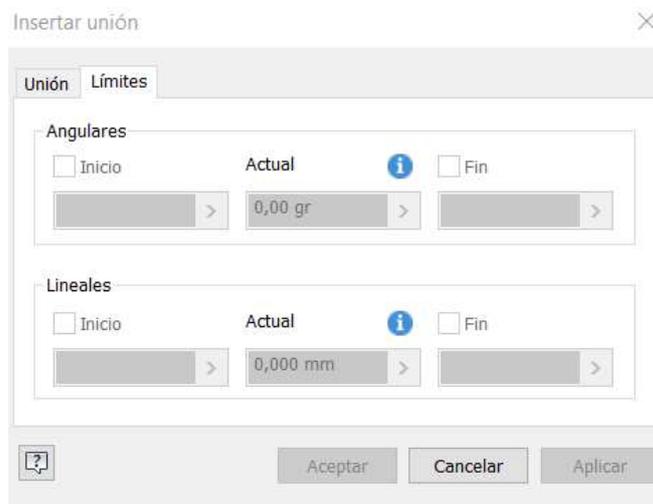


Ilustración 11. Ventana para añadir límites a la unión. Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021

Por la parte del comando “Restringir”, también genera un enlace entre dos piezas, pero con cierta condición como puede ser la coincidencia de dos elementos, una cierta separación angular, la inserción de una en otra, simetría o, incluso, patrones de movimiento o traslación relativa, como se ve en la Ilustración 12. Nuevamente, se puede incluir ciertos límites a los movimientos y desfases entre ambas.

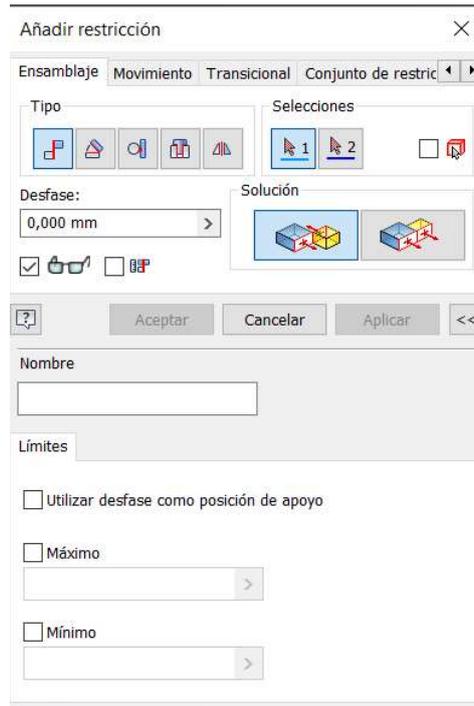


Ilustración 12. Ventana "Añadir restricción". Fuente: programa AutoDesk Inventor 2021

Una vez más, se pueden emplear patrones para repetir una forma con los mismos criterios ya explicados anteriormente.

El resto de los elementos del entorno gráfico es idéntico al de diseño de una pieza.

3.2 RobotStudio

RobotStudio es un programa de la compañía ABB diseñado para simular plantas de fabricación automatizadas. Cuenta con numerosos robots de la compañía, así como controladores, cintas de transporte, herramientas de ABB entre diversos elementos de programación y simulación del comportamiento de los robots.

La totalidad de la simulación se lleva a cabo en este software que, además, permite la importación de las piezas desarrolladas en Inventor por lo que se pueden compatibilizar ambos programas.

Este programa está destinado para empresas que trabajan físicamente con robots con lo que es posible simular una planta real con una elevada semejanza al comportamiento de un robot físico con todas sus propiedades, geométricas, físicas y limitaciones, entre otras características. Posteriormente, se puede pasar ese programa simulado a un robot o conjunto de robots reales para que efectúen las mismas funciones.

RobotStudio presenta una serie de pestañas en las que se puede interactuar para añadir elementos en la escena, programar acciones, gestionar señales, diseñar elementos, entre otra funciones.

- “Biblioteca ABB”, donde aparecen numerosos robots de la compañía ABB. Los clasifican en articulados, colaborativos, paralelos, SCARA y robots de pintura. También disponen de mesas posicionadoras y guías sobre los que se pueden mover los robots.
- “Importar biblioteca”, permite incluir nuevos elementos de la compañía, así como otros equipamientos de ABB, como controller cabinet, que viene siendo la caja que contiene los ordenadores y controladores de los robots.
- “Controlador virtual”, el cual genera un software vinculado a un conjunto de robots elegidos para su posterior control.
- “Importar geometría”, sirve para introducir figuras desde un archivo, en este caso se usa para traer los archivos de Inventor.
- “Base de coordenadas”, con la que se pueden incluir nuevos sistemas de referencia.
- “Programación de trayectorias”, donde se generan los puntos a seguir por cada robot.
 - “Posición”, permite colocar puntos para que los robots se muevan hasta estos.
 - “Ruta”, genera un camino para el robot a partir de los puntos seleccionados.
 - “Otros”, crea otros elementos como objetos de trabajo o herramientas.
 - “Programar posición”, el cual crea un objetivo en la posición actual del robot. Es decir, como el comando “Posición” pero donde está situado el robot.
 - “Programar instrucción”, crea una instrucción de movimiento y su objetivo en la posición del robot.
 - “Ver robot en posición”, traslada el robot a la ubicación seleccionada.
- “Parámetros”, informa sobre los elementos que se está trabajando.
 - “Tarea”, informa del controlador activo entre los creados.
 - “Objeto de trabajo”, hace referencia al elemento a partir del cual se están creando los puntos de la ruta de trabajo.
 - “Herramienta”, donde figura la terminación del robot con la que se trabaja, bien sea una pinza, una maquina taladradora o este el robot sin ninguna.
- “Controlador”, cuando se tiene seleccionado un controlador, permite sincronizar los movimientos programados en las rutas con el código del programa o viceversa.
- “Mano alzada”, por un lado, sirve para seleccionar el sistema de referencia y, por otro, otorga siete comandos para manipular la posición y orientación del robot y tres de ellos también para los objetos de la escena.
 - “Mover”, comando para trasladar un elemento según la dirección de los ejes de coordenadas activos.
 - “Girar”, rotación entorno a los ejes de un objeto.
 - “Arrastrar”, desplazamiento libre de un objeto.
 - “Movimiento de eje”, desplaza los ejes de un robot.
 - “Movimiento lineal”, permite desplazar al robot en la dirección de los ejes de coordenadas activos.
 - “Movimiento de reorientación”, con él se puede rotar al robot entorno al punto de la herramienta.
 - “Mover varios robots”, comando para desplazar diversos robots de forma simultánea.
- “Gráficos”, permite modificar los elementos visibles.

- “Herramientas gráficas”, comando con el que se accede a un nuevo menú para cambiar la apariencia de los objetos.
- “Nueva vista”, con esta función se genera un nuevo punto de vista de la simulación en una nueva ventana.
- “Mostrar/Ocultar”, contiene un desplegable para habilitar o deshabilitar la vista de los nombres de los puntos, ejes coordenados, rutas, entre otros.
- “Tamaño de base de coordenadas”, gestiona el tamaño de los sistemas de referencia mostrados en la simulación.



Ilustración 14. Barra de herramientas de "Posición inicial" dividida en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020

Moldeado

La segunda de las pestañas del del menú superior es “Modelado”, donde se crean nuevos componentes. En la Ilustración 15 aparece dicha barra. A continuación, se explican todos los elementos empleados de dicha pestaña.

- “Crear”, permite incorporar elementos a la estación bien sea diseñados desde cero en RobotStudio o importados desde otros programas.
 - “Grupo de componentes”, es una entidad que permite juntar varios elementos de la estación en su interior para manejarlos como un conjunto.
 - “Pieza vacía”, genera un elemento sin propiedades que se puede modificar y gestionar en la estación.
 - “Componente inteligente”, crea un panel el cual permite programar acciones prediseñadas a través de bloques. Dentro de este se pueden crear señales de entrada y salida y conectarlas a estos bloques. Por la gran relevancia que tiene para este trabajo se explicará posteriormente en detalle en el apartado 3.2.2.
 - “Importar geometría”, igual que la ya explicada con el mismo nombre.
 - “Base de coordenadas”, ya explicada.
- “Mecanismos”, este bloque contiene comandos para crear elementos de interacción dentro de la estación como son los mecanismos, las herramientas o los transportadores. De entre ellos, únicamente se ha empleado el comando “Crear herramienta por lo que será el único explicado.
 - “Crear herramienta”, abre un asistente de creación para generar un nuevo elemento de trabajo para los robots. Se le debe incluir la base de coordenadas, es decir, donde

se unirá la herramienta con el extremo del robot, y el sistema de coordenadas del extremo, el cual se convertirá en el punto de referencia que deberá alcanzar los puntos creados en la escena. Adicionalmente, se puede incluir propiedades físicas como su masa, centro de gravedad y momentos de inercia. En las Ilustración 16 e Ilustración 17 aparecen las ventanas de dicho asistente.



Ilustración 15. Pestaña "Modelado" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020

Crear herramienta ×

Información de herramientas (paso 1 de 2)
Introduzca un nombre y seleccione el componente que está asociado a la herramienta.

Nombre:
MyNewTool

Seleccione componente:
 Usar existente Usar pieza simulada
 AGV

Masa (Kg): 1.00

Centro de gravedad (mm): 0.00, 0.00, 1.00

Momento de inercia Ix, Iy, Iz (kgm²): 0.00, 0.00, 0.00

Ayuda Cancelar < Atrás Siguiete >

Ilustración 16. Crear herramienta 1. Fuente: programa RobotStudio 2020

Crear herramienta ×

Información de TCPs (paso 2 de 2)
Posicione sus TCPs y asígneles nombres.

Nombre de TCP:
MyNewTool

Valores del punto/sistema de coordenadas

Posición (mm): 0.00, 0.00, 0.00

Orientación (deg): 0.00, 0.00, 0.00

TCP(s):

Eliminar Editar

Ayuda Cancelar < Atrás Terminado

Ilustración 17. Crear herramienta 2. Fuente: programa RobotStudio 2020

Simulación

La tercera de las pestañas del “Menú de herramientas” es la “Simulación”, donde se gestiona el avance y detención del proceso de la estación, así como la programación general de la misma. También permite grabar el proceso. Esta barra de herramientas se visualiza en la Ilustración 18 y, como en el resto de los casos, solo se explicarán los elementos empleados.

- Configurar, donde se puede modificar ciertos parámetros de la simulación.
 - “Lógica de estación”, es como un “Componente inteligente” pero que gestiona las interconexiones, entradas y salidas de todas las señales. Aquí es donde se conectan las señales de los controladores con los de los componentes inteligentes de tal forma que se transmita la información entre los dos lenguajes.
- “Control de simulación”, es el menú que da inicio, pausa, fin y restablece la simulación.
 - “Reproducir”, da comienzo a la simulación pudiendo elegirse que también la sincronice o la grabe.
 - “Pausa”, detiene la reproducción permitiendo reanudarse desde la última orden. Una vez pulsada cambia al comando “Paso” con el que se puede avanzar en el código línea a línea.
 - “Parar”, detiene la simulación dejando todo en la situación en la que se haya pulsado.
 - “Restablecer”, permite, por un lado, guardar el estado de la estación, únicamente la situación de las piezas ya existentes y el contenido de los componentes inteligentes y, por otro lado, recuperar ese estado para que vuelva todo a esa disposición.
- “Grabar película”, en este apartado se gestiona la grabación de la simulación.
 - “Grabar simulación”, almacena gráficamente la siguiente reproducción en una secuencia de video.



Ilustración 18. Pestaña "Simulación" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020

Controlador



Ilustración 19. Pestaña "Controlador" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020

La cuarta de las pestañas es "Controlador" donde se crean los gestores de señales y control de los robots. Como en la primera de las pestañas, se pueden incorporar controladores, pero aquí también es posible incluir señales. En la



Ilustración 19. Pestaña "Controlador" en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020

aparece este menú.

- "Acceso", gestiona los controladores
 - "Añadir controlador", como el explicado en la primera pestaña.
- "Herramientas de controladores", maneja la información de los controladores. También permite abrir el FlexPendant, un simulador de una pantalla de control real.
 - "Reiniciar", vuelve a arrancar el controlador, principalmente para incluir modificaciones en las señales.
- "Configuración", donde se administran las señales y los controladores.
 - "Configuración", concretamente se empleará, del panel desplegable de este comando mostrado en la Ilustración 20, el apartado "I/O system" donde se crearán las señales de entrada y salida del controlador. Dentro de la ventana que aparece, se hará uso del apartado "Signal" como se muestra en la Ilustración 21. Para añadir una nueva señal se hace uso del panel de la Ilustración 22.



Ilustración 20. Desplegable de la herramienta "Comunicación". Fuente: programa RobotStudio 2020

Tipo	Name	Type of Signal	Assigned to Device	Signal Identification Label	Device Mapping	Category	Access Level
Access Level	ACOK	Digital Input	DrvSys		3		ReadOnly
Cross Connection	Auto	Digital Output	IoPanel		9		ReadOnly
Device Trust Level	AutoReqExt	Digital Input	IoPanel		2		ReadOnly
EtherNet/IP Command	AutoReqTPU	Digital Input	IoPanel		5		ReadOnly
EtherNet/IP Device	AXCDCOK	Digital Input	DrvSys		5		ReadOnly
EtherNet/IP Network	Base_garra	Digital Input		135	N/D		All
Signal	Base_pos	Digital Output		133	N/D		All
Signal Safe Level	BrakeEn	Digital Output	DrvSys		6		ReadOnly
System Input	BrakeFb	Digital Input	DrvSys		0		ReadOnly
System Output	BrakeOk	Digital Input	DrvSys		1		ReadOnly
	BrakeSupply	Digital Input	DrvSys		4		ReadOnly
	Fin_st1	Digital Output		136	N/D		All
	Fuera_extrusor	Digital Output		131	N/D		All
	Impreso	Digital Input		130	N/D		All

Ilustración 21. Configuración - I/O System. Fuente: programa RobotStudio 2020

Instancia editor

Nombre	Valor	Información
Name	<input type="text"/>	¡El valor predeterminado no es correcto!
Type of Signal	<input type="text"/>	
Assigned to Device	<input type="text"/>	
Signal Identification Label	<input type="text"/>	
Category	<input type="text"/>	
Access Level	Default	

Value (RAPID)
 Los cambios no entrarán en vigor hasta que reinicie el controlador.
 El límite mínimo del parámetro es <no válido>. El número máximo de caracteres es <no válido>.

Aceptar Cancelar

Ilustración 22. Ventana de creación de señales. Fuente: programa RobotStudio 2020

RAPID

Tanto en la ventana anterior como en la siguiente, llamada “RAPID”, la columna de la izquierda donde se mostraban los diseños cambia para mostrar los controladores y los archivos. En “RAPID”, se puede entrar a los códigos de los controladores con tal de programar mediante el lenguaje propio de ABB que recibe el nombre de RAPID. En la Ilustración 23, se muestra la nueva apariencia del entorno de trabajo.



Ilustración 23. Pestaña “RAPID” en dos bloques. Fuente: programa RobotStudio 2020

- “Controlador”, sirve para tratar la información programada.
 - “Aplicar”, verifica posibles errores en el código y aplica las modificaciones en el editor de código. Para que el controlador reciba el programa se debe sincronizar con la estación.

Elementos creados

La columna de la izquierda presenta 5 posibles ventanas, de las cuales solo se usarán tres, “Diseño”, “Trayectorias y puntos” y “Controladores”. Estas ventanas se muestran en las Ilustración 24 e Ilustración 25, ya que no están todas operativas simultáneamente, sino que la de controlador está disponible en las ventanas del menú de herramientas “Controlador” y “RAPID”, mientras que “Diseño” aparece en el resto y “Trayectoria y puntos” solo en “Posición inicial” y “Simulación”.

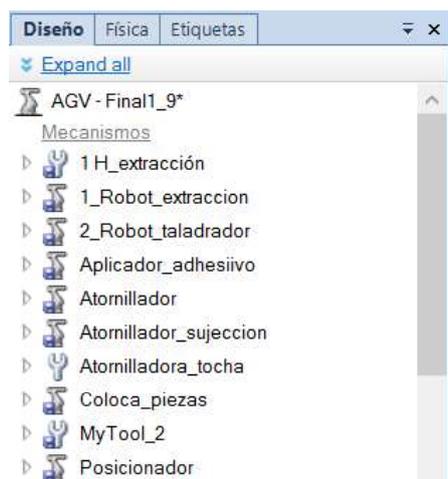


Ilustración 24. Ventanas Diseño, Física y Etiquetas. Fuente: programa RobotStudio 2020

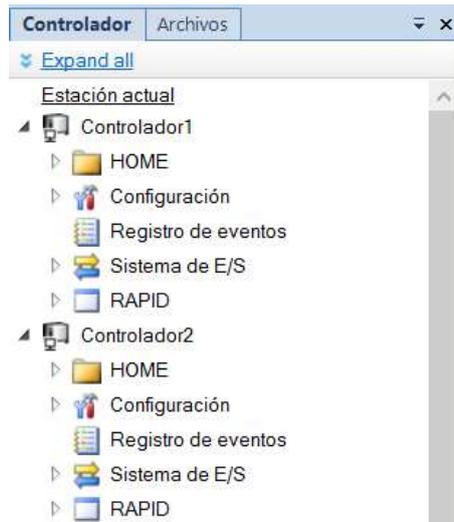


Ilustración 25. Ventanas Controlador y Archivos. Fuente: programa RobotStudio 2020

Diseño

Esta ventana muestra todos los elementos creados, partiendo de la propia estación en la parte superior. Se segmenta en dos grupos de elementos, “Mecanismos”, donde aparecen todos los robots y herramientas; y “Componentes”, que es el conjunto de las figuras, componentes inteligentes y grupos de componentes. Dentro de cada elemento se pueden cambiar sus propiedades, tal y como se puede ver en el desplegable de la Ilustración 26.

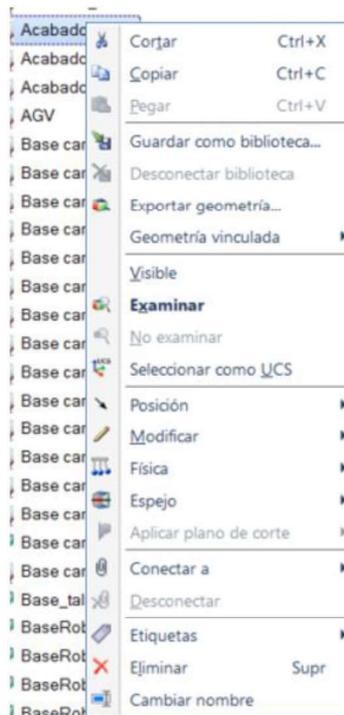


Ilustración 26. Desplegable de un componente. Fuente: programa RobotStudio 2020

De entre las opciones del desplegable, es importante destacar el comando “Posición”, el cual permite cambiar la ubicación del elemento, y “Conectar”, con el que se puede vincular un elemento a otro.

Encuanto a los mecanismos, si se arrastra una herramienta hasta un robot, esta se conecta a dicho robot pudiendo elegir que se situe en el extremo del robot.

Trayectorias y puntos

Aquí se presentan todos los controladores implementados, los puntos vinculados a dicho controlador y las trayectorias creadas. En la Ilustración 27 se muestra esta pantalla.

En cuanto a los puntos, se referencian a un work object u objeto de trabajo, es decir, un sistema de referencia. Además, se pueden gestionar las características de dicho punto haciendo click derecho sobre este, por lo que se abrirá el desplegable de la Ilustración 27. Las funciones más utiles son:

- “Copiar”, para generar un punto en la misma posición y orientación.
- “Copiar orientación” y “Pegar orientación”, con los que se gira un punto para situarlo en la misma dirección y sentido.
- “Ver herramienta en la posición”, para comprobar la orientación y colocación de la herramienta.
- “Ver robot en posición”, con la que se verifica si el robot tiene el alcance necesario para llegar a dicha ubicación y con la orientación elegida.
- “Modificar posición”, acción que permite mover el punto de lugar. Seleccionando varios puntos se puede posicionar todos en el mismo lugar o desplazarlos en la misma cantidad si se selecciona la opción de “Posición de offset” o lo que es lo mismo posición de desfase.
- “Configuraciones”, sirve para elegir la combinación de giros de las diferentes articulaciones del robot, en este caso 6 articulaciones. Este parámetro se recoge en 4 dígitos separados por comas que pueden ser tanto positivos como negativos.

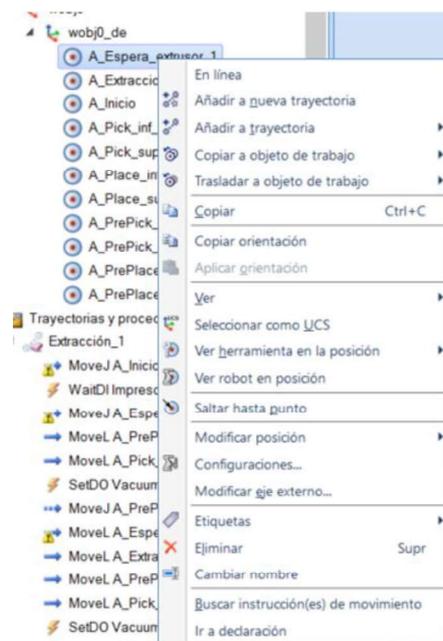


Ilustración 27. Desplegable de un punto. Fuente: programa RobotStudio 2020

Para crear una trayectoria, basta con que se arrastre un punto a una ruta creada en el apartado de trayectorias. Adicionalmente, se pueden incluir otras instrucciones, por ejemplo, de espera o para activar o desactivar señales. En la Ilustración 28 aparece el despligue de opciones de un elemento de la ruta.

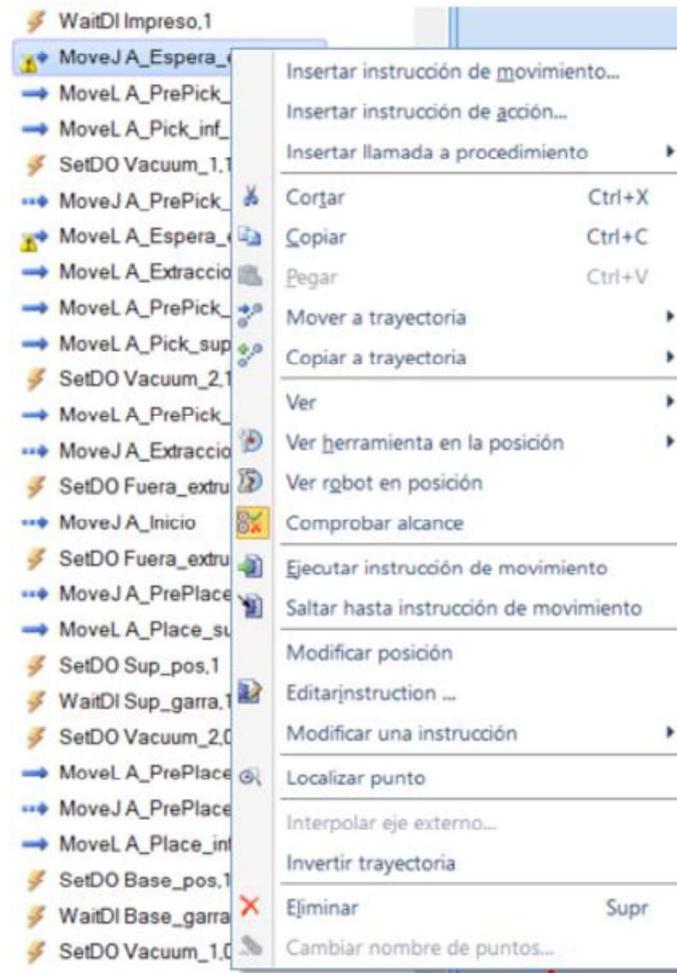


Ilustración 28. Despliegable de una ruta. Fuente: programa RobotStudio 2020

Entre las opciones que aparecen se destacaran las siguientes:

- “Insertar instrucción de acción...”, comando que permite introducir elementos de programación como “WaitDI” por el que se espera hasta que cierta señal de entrada pase a cierto valor o “SetDO” para cambiar el valor de una señal de salida.
- “Modificar posición”, por si se quiere que la ubicación de ese punto sea distinta a la del punto original.
- “Editarinstrucción...”, es un parámetro que permite gestionar un gran número de características del punto. La primera es el tipo de movimiento pudiendo ser “MoveL”, en el caso de que se quiera un desplazamiento lineal sin salirse de la trayectoria, o “MoveJ” que permite que la trayectoria tenga un mínimo de tolerancia para poder rotar los diferentes ejes del robot. Otro parametro de suma importancia es la velocidad, cerca de la pieza se debe

3.2.2 Componente inteligente

Se trata de un entorno de programación por bloques donde se pueden introducir señales de entrada y salida, así como interconectar los bloques entre ellos, tal y como se muestra en la Ilustración 29.



Ilustración 29. Listado de bloques de componentes añadidos. Fuente: programa RobotStudio 2020

La pestaña de la imagen, “Componer”, muestra los bloques de programación incorporados. Con el botón de arriba a la derecha llamado “Añadir componente” se puede incluir nuevos bloques. No obstante, se pueden gestionar todos estos elementos directamente desde la pestaña “Diseño”, por lo que se explicará en detalle todos los componentes en esta. Cuando se pulsa sobre esta, aparece la pantalla de la Ilustración 30.

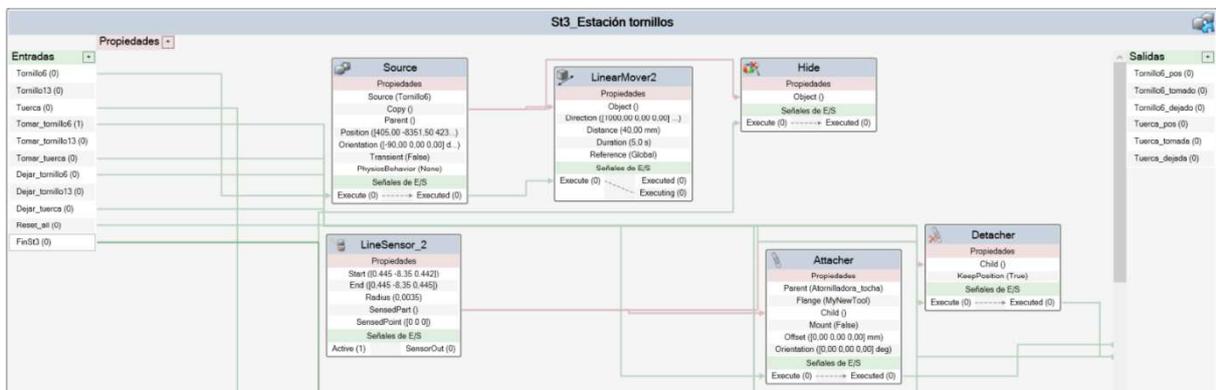


Ilustración 30. Zona de trabajo del componente inteligente. Fuente: programa RobotStudio 2020

En esta pantalla, se emplearán 3 zonas. A la izquierda, las señales de entrada, las cuales se pueden añadir pulsando el botón con el símbolo “+” junto a la palabra “Entradas”, haciendo aparecer el menú de la Ilustración 31. A la derecha, están tal señales de salida y se pueden crear nuevas señales igual que en el caso de las entradas. Por último, en el centro, está el área de trabajo, donde se incluirán todos los bloques de programación. Dichos bloques se clasifican según su finalidad. Pulsando al botón derecho del ratón sobre el área de trabajo, se despliega un nuevo menú. Primero están los últimos elementos empleados. Acto seguido, se encuentran una serie de categorías, cada una con un nuevo desplegable.

Ilustración 31. Añadir señal E/S. Fuente: programa RobotStudio 2020

A continuación se explicarán los elementos que se van a emplear:

- Señales y propiedades
 - LogicSRLatch: este componente permite activar una señal, entrada “Set”, hasta que otra señal la reinicie, entrada “Reset”, pudiendo leerse como salida el valor en “Set”, en “Output”, o el opuesto, en “InvOutput”. Este componente se muestra en la Ilustración 32.



Ilustración 32. Bloque de componente inteligente "LogicSRLatch". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Timer: cuenta el tiempo de simulación a partir del momento en el que entra una señal por la entrada de “Active”. Se puede especificar el tiempo inicial y el intervalo de conteo. Como salida da el valor de tiempo y se puede resetear con la entrada “Reset” (Ilustración 33).



Ilustración 33. Bloque de componente inteligente "Timer". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Sensores

- LineSensor: se muestra en la Ilustración 34y consiste en un cilindro al cual se le puede dar cierta sección y longitud. Cuando esta activado, si algun objeto atraviesa el haz lo detecta. Se empleará principalmente cuando se requiera identificar objetos que no existieran al inicio de la simulación.

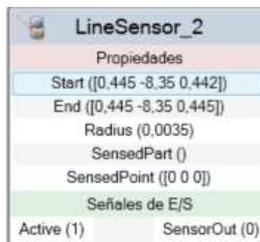


Ilustración 34. Bloque de componente inteligente "LineSensor". Fuente: programa RobotStudio 2020

- PlaneSensor: como el anterior pero forma una superficie plana. El elemento se puede ver en la Ilustración 35.

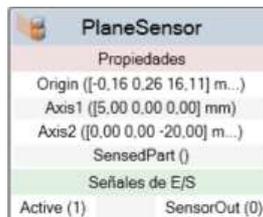


Ilustración 35. Bloque de componente inteligente "PlaneSensor". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Acciones

- Attacher: permite conectar un elemento, "Parent", a otro, "Child". Se muestra en la Ilustración 36.

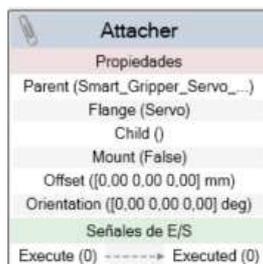


Ilustración 36. Bloque de componente inteligente "Attacher". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Detacher: desconecta un elemento conectado a otro y aparece en la Ilustración 37.

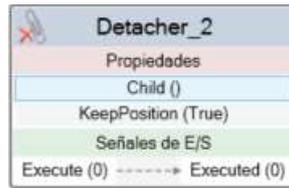


Ilustración 37. Bloque de componente inteligente "Detacher". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Source: se encuentra en la Ilustración 38y sirve para generar una copia de un objeto.

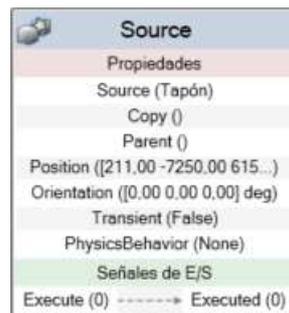


Ilustración 38. Bloque de componente inteligente "Source". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Sink: elimina un objeto. Se visualiza en la Ilustración 39.



Ilustración 39. Bloque de componente inteligente "Sink". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Show: hace que un objeto cuya visibilidad esta desactivada, se haga visible. Este comando se muestra en la Ilustración 40.

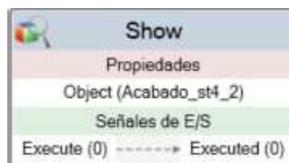


Ilustración 40. Bloque de componente inteligente "Show". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Hide: desactiva la visibilidad de un elemento. El bloque que lo gestiona se ve en la Ilustración 41.

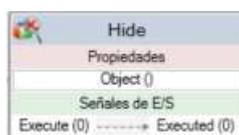


Ilustración 41. Bloque de componente inteligente "Hide". Fuente: programa RobotStudio 2020

- Manipuladores

- o LinearMover2: permite mover un objeto una cierta distancia. En la Ilustración 42 aparece el formato del bloque.

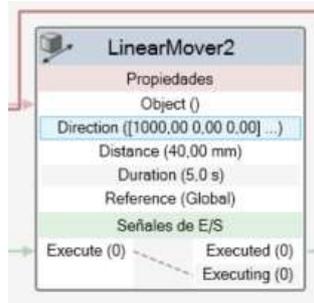


Ilustración 42. Bloque de componente inteligente "LinearMover2". Fuente: programa RobotStudio 2020

- o Rotator2: gira un elemento un ángulo determinado. El bloque se adjunta en la Ilustración 43.



Ilustración 43. Bloque de componente inteligente "Rotator2". Fuente: programa RobotStudio 2020

- o JointMover: permite desplazar un eje de un mecanismo en una determinada cantidad. Aparece en la Ilustración 44.

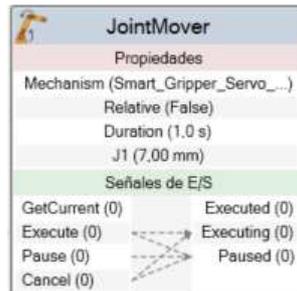


Ilustración 44. Bloque de componente inteligente "JointMover". Fuente: programa RobotStudio 2020

4 Diseño de piezas

Lo esencial en la fabricación flexible es que las operaciones puedan ser realizadas con la maquinaria que posee la empresa, por lo que es importante que las diferentes versiones de piezas sean lo más parecidas posible. De esta forma, se ha diseñado dos conjuntos de carcasas con los que se puede llevar a cabo la colocación de las 4 variantes de hélices posibles y la fabricación de todos los drones.

Por otro lado, también se ha desarrollado varias de las herramientas necesarias para la mecanización de las piezas, así como la mesa de transporte de las carcasas y diversos elementos de sujeción de las piezas.

4.1 Piezas del dron

Las dos piezas que forman el cuerpo del dron son las carcasas, la superior y la inferior. Ambas piezas cuentan con dos variantes, una con 6 huecos, para las variantes de 3 y 6 hélices, y otra con 8, para las configuraciones de 4 y 8. También se dan otras dos versiones de cada variante si tienen o no agujero para el soporte de la cámara. Estas estarán hechas de plástico, al ser un material económico y ligero. Se puede observar una variante de 6 hélices y otra de 8, tanto de la carcasa superior como de la inferior, en los planos del Anexo 1. Planos de piezas (planos del 1 al 4).

En el interior de la carcasa, se aloja la electrónica, estando compuesta por la placa base y la placa de radio frecuencia. Estos elementos se muestran en las Ilustración 45 e Ilustración 46, respectivamente.

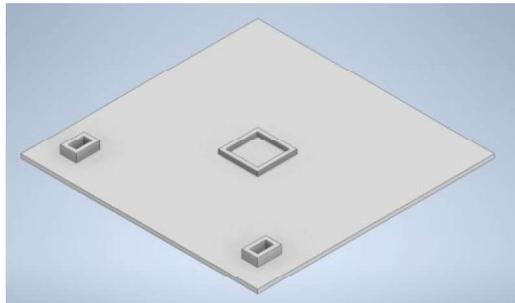


Ilustración 45. Placa base. Fuente: elaboración propia

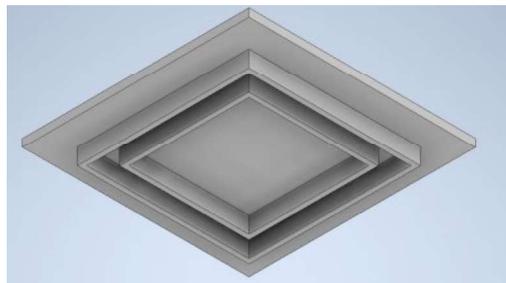


Ilustración 46. Placa de radio frecuencia. Fuente: elaboración propia

Para las varillas donde irán los motores, se emplearán las propias piezas de la varilla con el motor ya acoplado (Plano 5. Varilla con motor) y unos tornillos (Ilustración 47) para unirlos a la base. Adicionalmente, según si se emplean todos los huecos para las varillas o no, se colocan unas placas que hacen de soporte (Ilustración 48) y guía de las varillas o unas tapas (Ilustración 49). En ambos casos

se consigue cerrar exteriormente toda la carcasa y, así que con solo dos modelos de carcasa se logren 4 variantes de dron.

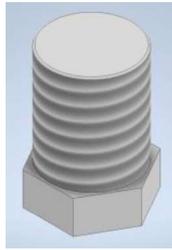


Ilustración 47. Tornillo de longitud 6mm y radio 5. Fuente: elaboración propia

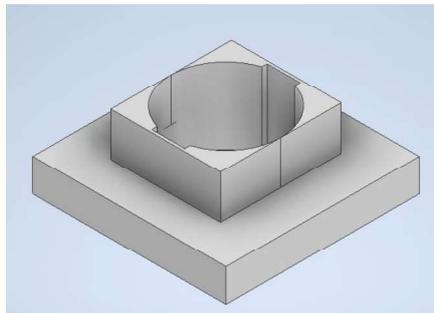


Ilustración 48. Placa guía para varillas. Fuente: elaboración propia

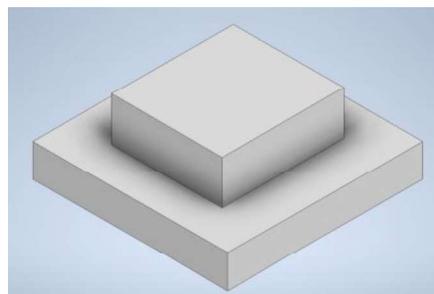


Ilustración 49. Tapa para la carcasa. Fuente: elaboración propia

También se coloca el tren de aterrizaje, el cual se muestra en el Plano 6. Tren de aterrizaje, con sus respectivos tornillos, Ilustración 50.



Ilustración 50. Tornillo de longitud 13mm y radio 5. Fuente: elaboración propia

- Como elemento opcional, se puede colocar un soporte con su correspondiente tuerca para la cámara si así lo requiere la versión seleccionada. Dichos elementos se presentan en el

Plano 7. Estructura sujeción de la cámara, y la Ilustración 51, de la tuerca.

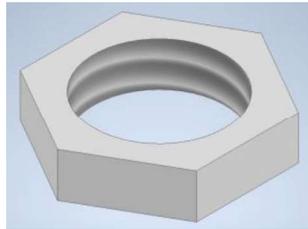


Ilustración 51. Rosca para el soporte de la cámara. Fuente: elaboración propia

4.2 Elementos de transporte

Con el fin de que las piezas sean desplazadas a lo largo del proceso productivo, es decir, de estación en estación, se han desarrollado diferentes elementos específicos.

El componente básico del proceso es el AGV, diseñado directamente en RobotStudio. Se trata de una simplificación del AGV de la compañía Kivnon tipo mouse, concretamente el modelo K05 Twister. Este aparece en la Ilustración 52. Este vehículo tiene una placa superior que asciende y por rozamiento desplaza el objeto que tiene sobre el mismo.

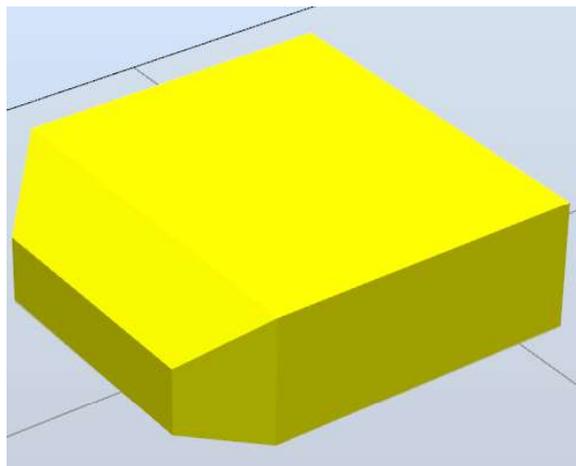


Ilustración 52. Representación del AGV. Fuente: elaboración propia

Dicho AGV transporta una mesa con ruedas (Ilustración 53), la cual también ha sido diseñada en RobotStudio. Está diseñada de tal forma que las patas sobresalgan del AGV para que puedan llegar al suelo y haya espacio suficiente para colocar ambas carcasas, permitiendo el paso de los robots de cada estación. Esta mesa cuenta con dos pares de soportes, de cada par hay uno fijo y otro móvil (Ilustración 54) de forma que se adapte al tamaño de la carcasa y la sujete firmemente. Adicionalmente, cuentan con una garras móviles que permiten sujetar superiormente la pieza, con lo que se garantiza que todas las piezas fabricadas se sitúen y se mantengan durante todo el proceso en la misma posición de la mesa.

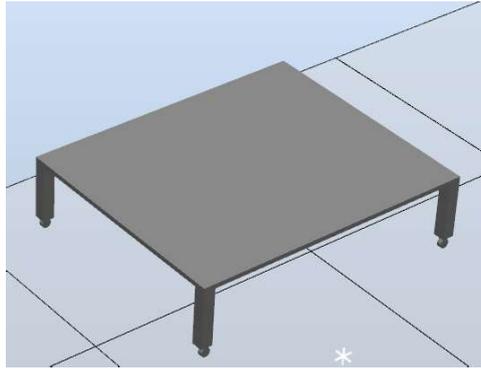


Ilustración 53. Mesa de transporte de piezas. Fuente: elaboración propia

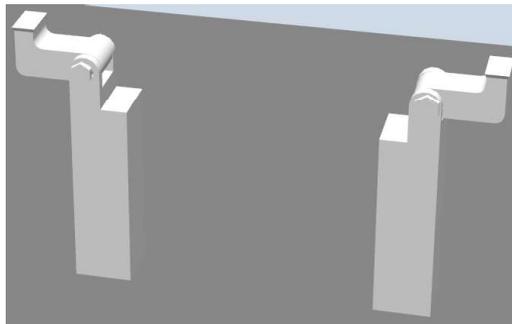


Ilustración 54. Pareja de garras, la fija a la izquierda, la móvil a la derecha. Fuente: elaboración propia

4.3 Maquinaria

El proceso cuenta con una serie de máquinas y herramientas para cada una de las tareas necesarias en la fabricación de los drones. De entre ellas, se ha diseñado la máquina extrusora de plástico, compuesta por un bloque fijo correspondiente a todo el sistema de inyección de plástico, un molde que está en la pared interior de la máquina y una pantalla que se cierra durante el funcionamiento de esta para proteger a las personas que puedan haber cerca de las piezas móviles y la alta temperatura del extrusor. La Ilustración 55 muestra la máquina extrusora y en la Ilustración 56 la mampara.

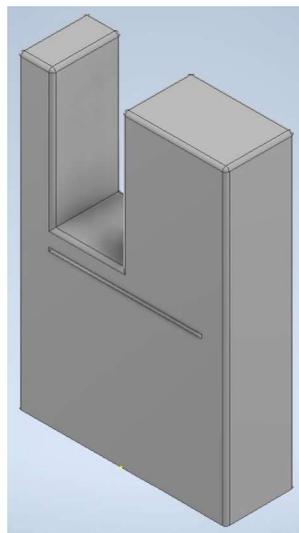


Ilustración 55. Máquina extrusora. Fuente: elaboración propia

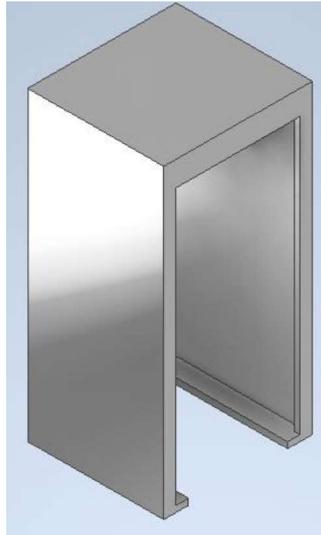


Ilustración 56. Mampara de máquina extrusora. Fuente: elaboración propia

También se han elaborado una máquina taladradora con acople para poder ser anclado a un brazo robótico, la cual aparece en la Ilustración 57.



Ilustración 57. Máquina taladradora con anclaje para robot. Fuente: elaboración propia

Por último, se ha modelado un atornillador con amplitud de rosca variable para que pueda tomar los tornillos y las tuercas, reflejado en la Ilustración 58.

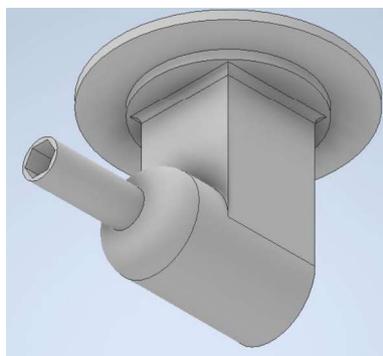


Ilustración 58. Máquina atornilladora con anclaje para robot. Fuente: elaboración propia

4.4 Elementos de suministro de piezas

Con tal de que los robots puedan manejar fácilmente las piezas y acoplarlas al chasis del dron, se han desarrollado diversos dispensadores y sistemas de transporte y sujeción de piezas.

4.4.1 Suministradores de piezas

Para los elementos de pequeño tamaño como pueden ser los tornillos, las tuercas o las placas, se han creado unas plataformas elevadas desde el suelo para que los robots tengan un buen alcance, rápido y sencillo. Entre estos suministradores está el de tapones y guías para las varillas (Ilustración 59), el cual cuenta con un recipiente donde se colocan estas piezas y se van suministrando de forma unitaria cuando el brazo robótico se acerca.

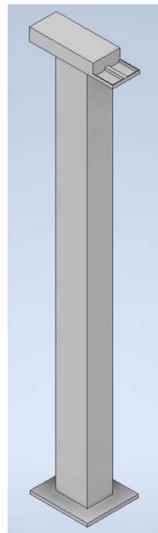


Ilustración 59. Dispensador de guías y placas. Fuente: elaboración propia

Otro de los suministradores es el de tornillos y tuercas, con una estructura muy semejante a la anterior, pero con los tamaños ajustados para estos, como se puede ver en la Ilustración 60.

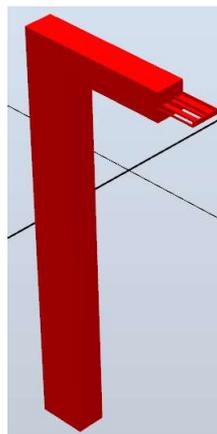


Ilustración 60. Dispensador de tornillos y tuercas. Fuente: elaboración propia

Con el mismo diseño, se ha hecho el expendedor de placas base (Ilustración 61), aunque de mayor tamaño.



Ilustración 61. Dispensador de placas base. Fuente: elaboración propia

El último de ellos es el suministrador de las tarjetas de radio frecuencia, en este caso es un expendedor vertical, como se observa en la Ilustración 62.

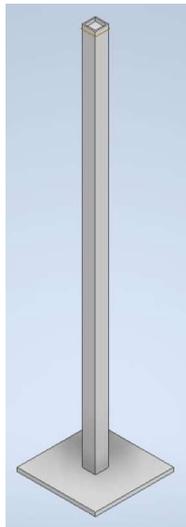


Ilustración 62. Dispensador de placas de radio frecuencia. Fuente: elaboración propia

4.4.2 Estructuras de sujeción de piezas

Hay diversas piezas de gran tamaño que se deben añadir al dron. Para ello se han creado varios tipos de carritos de transporte de piezas hasta el punto de uso. Estos cuentan con un ojal el cual puede ser enganchado con un AGV o una carretilla. Cada uno posee algún sistema de sujeción específico para cada pieza, haciendo uso de sus características geométricas.

Para las varillas, se emplea un carrito con dos barras horizontales donde se colocará dicha varilla, por la parte de los agujeros para los tornillos. En las Ilustración 63, se ve el carrito mencionado.

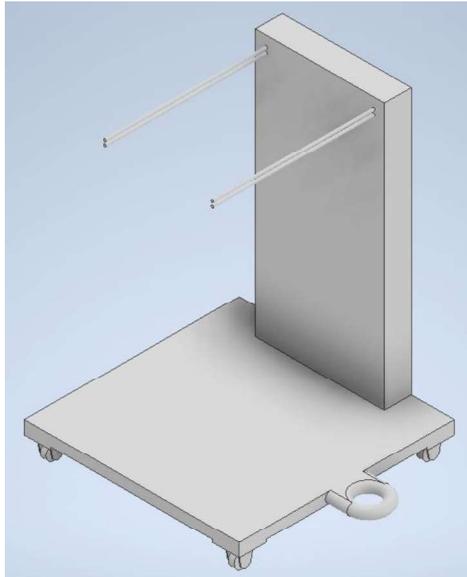


Ilustración 63. Carrito para varillas. Fuente: elaboración propia

En cuanto a los soportes para las cámaras, se ha recurrido a otro carrito con la base y la columna principal iguales que el anterior, pero con la terminación adaptada para estas piezas. Concretamente se ha añadido una barra maciza con unos pequeños salientes, los cuales permitirán la colocación de los soportes para la cámara. Este elemento se ilustra en la Ilustración 64.

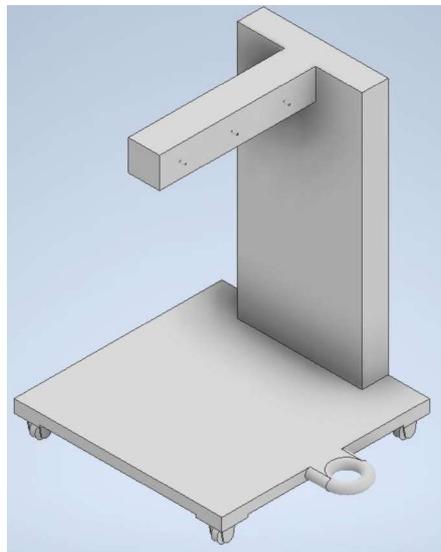


Ilustración 64. Carrito de soportes de cámara. Fuente: elaboración propia

Otro de los carros necesarios es el de los trenes de aterrizaje. La estructura principal es la misma con la salvedad de la terminación, teniendo en este caso dos varillas que se introducen donde se colocarán los tornillos de dichos trenes (Ilustración 65).

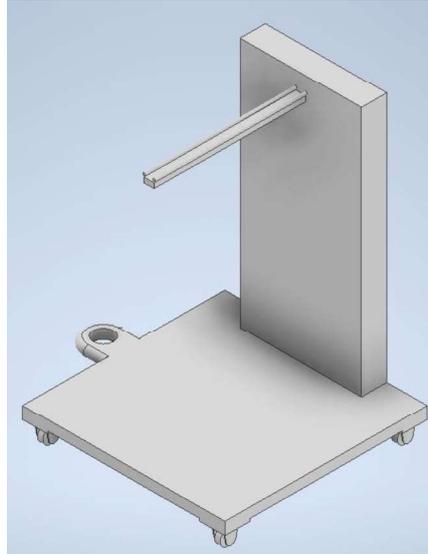


Ilustración 65. Carrito de trenes de aterrizaje. Fuente: elaboración propia

5 Funcionamiento de la planta

Toda la planta, diseñada de tal forma que pudiera implantarse en una empresa real, se desarrolla en RobotStudio y se segmenta en estaciones, siendo el punto de unión el AGV con la mesa que transporta las piezas a través del proceso de fabricación. Las órdenes a los AGVs son mandadas por WIFI de forma que se prevea la ruta a seguir según los tiempos de producción. Para simplificar dicha simulación, tan solo se mostrará una línea principal de producción con un único modelo de dron, el dron de 3 hélices con sujeción para la cámara, pudiendo hacerse cualquier otro modelo modificando algunos parámetros de la programación.

El concepto de esta planta es poder realizar drones con un cierto nivel de personalización, demandada por el cliente final, a la vez que se mejoran los tiempos de producción. Para ello, a raíz de esta línea tipo se expondrán las posibles alternativas que podrían darse para optimizar tiempos y el coste de fabricación, aun dando esta personalización al producto.

Como se ha comentado, se cuenta con 5 estaciones principales, las cuales conforman el montaje entorno al cuerpo del dron, desde su fabricación hasta que se envía para ser empaquetado. Se ha dejado una distancia entre estaciones de 4 metros para que el AGV con la mesa pueda pasar entre ellas sobradamente. Las estaciones, las cuales se explicarán en detalle a continuación, se les ha denominado estación de extrusión de plástico, estación de taladrado, estación de montaje principal, estación de aplicación de adhesivos y la estación de montaje final; haciendo alusión a su función principal.

Para el control de toda la estación, se ha creado un componente inteligente llamado “Panel de control” el cual gestiona el inicio de toda la estación, reinicia alguna de las señales y permite activar los desplazamientos entre estaciones de forma manual, bien para comprobar el funcionamiento a partir de dicho punto, bien sea para activar la transición en caso de fallo del programa automático. Este se muestra en la Ilustración 66.



Ilustración 66. Componente inteligente del panel de control. Fuente: elaboración propia

Antes de comenzar a explicar las estaciones, se desglosarán las funciones de la mesa, la cual debe actuar como desplazamiento entre estaciones y debe sujetar con las garras la pieza durante el movimiento.

Todas las estaciones se explicarán desde dos puntos de vista, el proceso real, es decir, las acciones que visualmente hace la estación, y la programación detrás de la simulación. En el caso de los robots, la programación se realiza con el controlador OmniCore de ABB.

5.1 Mesa de transporte de piezas

Está formada por la mesa con las 4 garras, dos que se desplazan para acoplar correctamente la pieza y dos fijas. Adicionalmente, cada una cuenta con un cierre superior que gira para inmovilizar la pieza durante los desplazamientos. Debajo de la mesa, hay un AGV que se encarga de mover la mesa, sujetándola por la parte inferior de esta. Esta se puede ver en la Ilustración 67.

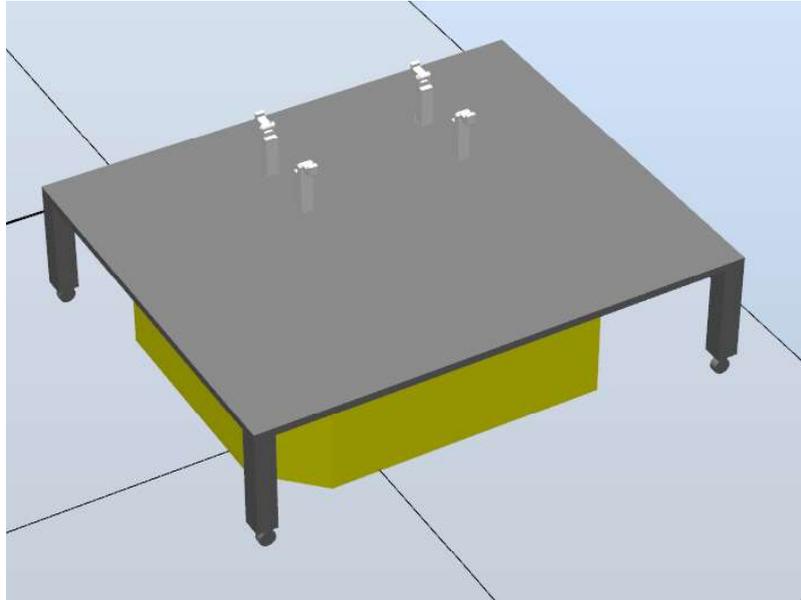


Ilustración 67. AGV cargando la mesa de transporte de material. Fuente: elaboración propia

5.1.1 Descripción del proceso

El AGV se desplaza hasta la primera estación para que el robot posicione sobre esta las piezas. Una vez colocadas, se le comunica al AGV junto a la mesa que debe cerrar las garras. Cada vez que una estación finalice las tareas que le corresponda hacer sobre las piezas, se le transmitirá al AGV la orden de continuar hasta la siguiente estación. Una vez alcanzada la estación designada, se detendrá para dar paso a los robots. Si fuese necesario, las garras se abrirían de tal forma que los robots puedan trabajar adecuadamente. Cuando termina en la última estación, es decir, es extraído el dron ya completado, el AGV deberá salir de la línea de montaje y retornar por una zona segura, previamente designada en la planta, al inicio de esta para comenzar su siguiente trabajo.

5.1.2 Programación del proceso

La parte de la programación del comportamiento de la mesa está dividida en cinco componentes inteligentes, cada uno para una interacción con una estación:

St0 Mesa

Es el componente inteligente que inicia el proceso, aproxima la mesa a la primera estación y cuando está en posición, da comienzo a la estación. Esta simulación se logra gracias a los elementos de la Ilustración 68.

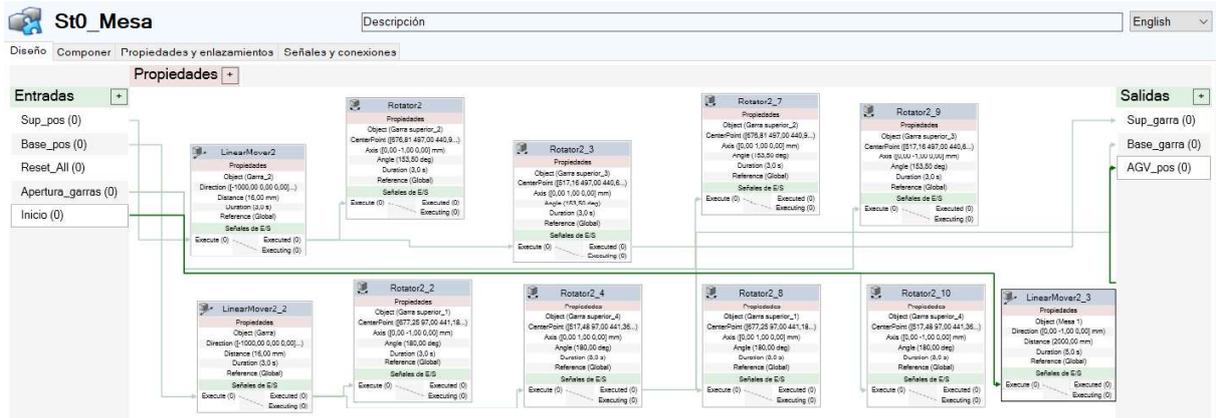


Ilustración 68. Componente inteligente de la mesa. Fuente: elaboración propia

En esta imagen hay 3 partes. El “LinearMover2_3” de la derecha produce el acercamiento de la mesa a la estación 1. Los seis bloques de la izquierda se encargan de cerrar las garras. Por último, los cuatro bloques de rotación en el centro, numerados del 7 al 10, abren las garras para las estaciones 4 y 5.

Este proceso se podría haber acordado si la estación comenzase en cuanto se le pase la orden de recibir la siguiente pieza, lo óptimo sería nada más acabase de extruir la anterior. Sin embargo, como es una simulación que tan solo va a ejecutarse una vez y no de forma repetitiva, no supone una gran mejora de tiempo. En la realidad habría que optimizar estos tiempos de la otra forma descrita.

Transporte stX stY

Son los componentes inteligentes encargados del desplazamiento entre estaciones. Como tal, los 4 son idénticos por lo que se muestra en la Ilustración 69 el componente de “Transporte_st1_st2” a modo de ejemplo, en este caso entre las estaciones 1 y 2.

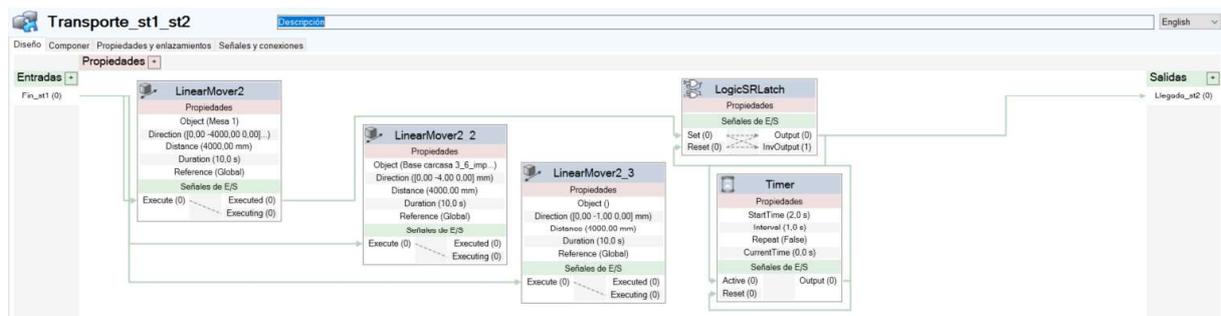


Ilustración 69. Componente inteligente que gestiona el transporte entre estaciones. Fuente: elaboración propia

Contiene el desplazamiento lineal del conjunto de la mesa, AGV y garras, el cual está recogido en el grupo de componentes denominado “Mesa 1”, junto con el desplazamiento de una pieza de la carcasa superior y otra inferior correspondientes a la copia de la pieza que se ha finalizado en la estación de origen. Se emplea una copia para tratar de independizar el movimiento de los AGVs de las acciones de la estación. Si se tratase de una simulación que se repite periódicamente, esta diferencia permitiría tratar de forma separada la pieza en movimiento de las piezas que se están moldeando en las estaciones.

La última parte de los transportes está compuesta por un bloque “LogicSRLatch” y un bloque “Timer”. Estos tienen dos finalidades. La primera finalidad consiste en que, si la estación de llegada no lee la señal de salida justo en el instante de llegada de la mesa, pueda leerla hasta dos segundos después. La segunda utilidad es que se reinicie a los dos segundos la señal de salida con tal de que no se inicie más de una vez la estación de llegada.

5.2 Estación de extrusión (St1)

Está compuesta por dos mecanismos de extrusión de material y un brazo robótico con una herramienta de ABB equipada con dos ventosas de vacío, colocada cada una en un extremo de dicha herramienta terminal, y montado sobre una plataforma para mejorar su alcance. Esta se presenta en la Ilustración 70.

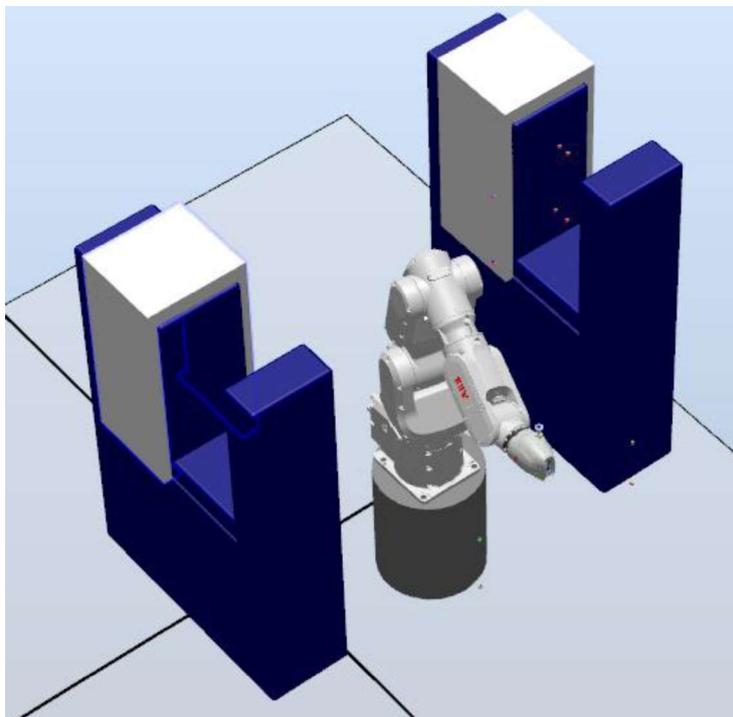


Ilustración 70. Estación 1, de extrusión de material. Fuente: elaboración propia

5.2.1 Descripción del proceso

Las carcasas de los drones se fabrican en plástico, por lo que el primer paso será darles forma mediante unas máquinas de extrusión. Para ello, la máquina cierra la puerta y una placa con el molde del dron se cierra contra el otro lado de la máquina, dando comienzo a la impresión de las dos carcasas, la inferior y la superior. Este proceso se ha considerado de 8 minutos, por lo que este es el límite con el que se podrá fabricar drones. La estación cuenta con dos máquinas de extrusión una con el molde para la versión de dron de 3 y 6 hélices, la situada a la derecha en la Ilustración 70, y la otra encargada de hacer las carcasas para 4 y 8 hélices, la cual también se estima que tarda 8 minutos en extruir la pareja de piezas. Si se programa un trabajo alternado de estas dos máquinas se puede lograr extruir una pieza cada 4 minutos. Para estimar estos tiempos, existe una enorme horquilla de tiempos de extrusión, la cual depende, entre otros factores, del cilindro extrusor empleado. Según el libro “Tecnología de

polímeros” publicado por la Universidad de Alicante, el tema 4 trata sobre extrusión de material dice: “La mayoría de las extrusoras tiene diámetros comprendidos entre 2 y 90 cm.” (Beltrán y Marcilla, 2012). También pone por ejemplo la velocidad de impresión de una tubería según su diámetro y espesor: “Por ejemplo, para tubos de diámetro de 2.5 mm y 0.4 mm de espesor de pared la velocidad de extrusión puede ser de 4 ms⁻¹, mientras que para tuberías de 1 m de diámetro y 60 mm de espesor de pared una velocidad de producción típica podría ser de 3mh⁻¹”. Teniendo todo esto en cuenta, un tiempo de 8 minutos de extrusión para una pieza cuyo volumen es inferior a 50 cm³ de material será posible conseguirlo con una combinación adecuada de elementos.

Una vez finalizada una pareja de piezas, se abre la puerta para dejar paso al brazo robótico. Este entra con una de las ventosas posicionada para tomar la pieza inferior, cuya parte interna esta hacía fuera (Ilustración 71), se aproxima lentamente a la pieza, entra en contacto, activa la ventosa de vacío y la extrae despacio. Acto seguido, sale de la máquina y asciende a la vez que rota, posicionándose para tomar la otra pieza, cuya cara interna se encuentra hacía la máquina extrusora (Ilustración 71). Nuevamente, entra se aproxima, toca la pieza con la ventosa, activa el vacío y la extrae. Por último, sale de la máquina extrusora y acude a la posición segura, posición donde puede acudir para no colisionar con ningún objeto, que generalmente será la posición inicial.

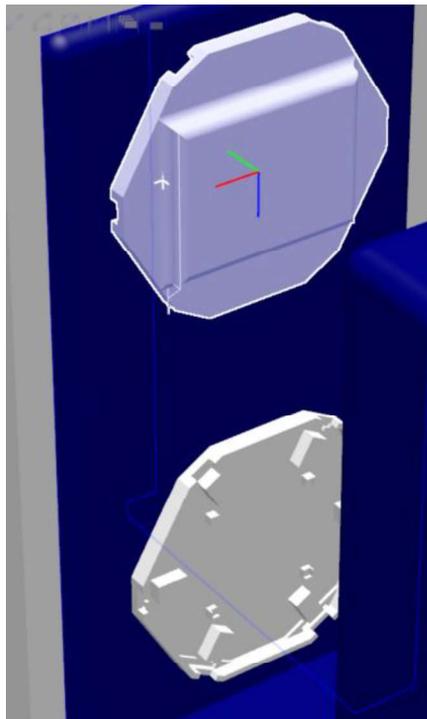


Ilustración 71. Aparición de carcasas. Fuente: elaboración propia

A la hora de dejar las piezas, el brazo se aproxima a las garras de la mesa para que sean atrapadas las piezas. El brazo se mantiene en la posición para que las piezas sean amarradas hasta que finalice el proceso de anclaje. Cada vez que una es asegurada por las garras, la ventosa deja de succionar. Una vez dejadas las dos, retorna a la posición inicial y manda la señal para que el AGV siga a la siguiente estación.

5.2.2 Programación del proceso

A nivel de programación del robot, la máquina de extrusión consiste en dos elementos creados en RobotStudio los cuales están dotados de movimiento gracias a un elemento dentro de componentes inteligentes llamado “LinearMover2”. La Ilustración 72 muestra el contenido del componente inteligente correspondiente a las máquinas extrusoras.

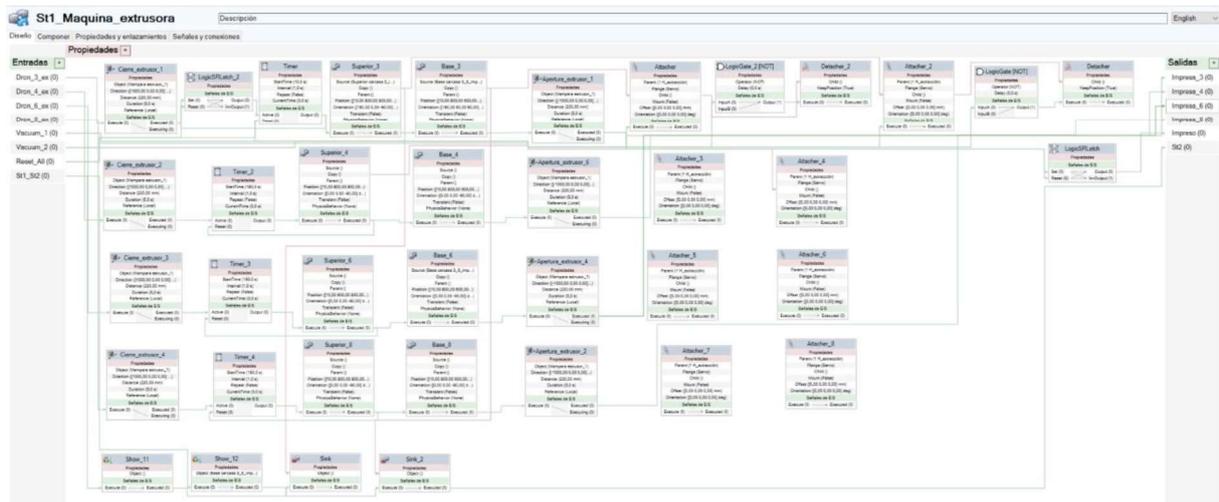


Ilustración 72. Componente inteligente de la estación 1. Fuente: elaboración propia

En principio, se ha diseñado para los 4 modelos a fabricar, los de 3, 4, 6 y 8 hélices. No obstante, puesto que el proceso es exactamente el mismo con la salvedad de que el de 4 y 8 se fabrican en la otra máquina de extrusión, solamente se simula el de 3 hélices.

Una vez finalizada la máquina extrusora, el resto del trabajo de la estación lo hace el brazo robótico junto con la mesa. La programación de las garras aparece en el apartado St0_Mesa.

Cuando el robot se detiene, aparecen unas copias de las piezas extruidas, las cuales estaban previamente posicionadas justo en el punto de dejada sobre las garras, y acto seguido, se eliminan las piezas extruidas. Esto se logra con el bloque del componente inteligente llamado “Show” seguido de un “Sink”. El objetivo de este cambio de pieza es independizar las estaciones de los desplazamientos.

5.3 Estación de taladrado (St2)

Esta estación, mostrada en la Ilustración 73, se compone únicamente de un brazo robótico con una máquina taladradora, con dos brocas de distinto diámetro puestas en direcciones opuestas, equipada en su extremo. Como el resto de los robots, se ha posicionado sobre una plataforma.

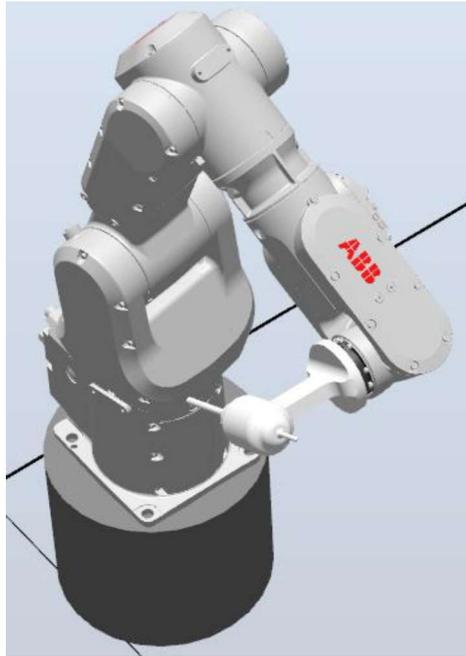


Ilustración 73. Estación 2, taladradora. Fuente: elaboración propia

5.3.1 Descripción del proceso

Al llegar la mesa a la estación 2, el robot se pone en marcha y comienza a taladrar, con la broca pequeña, sobre las placas preparadas para ello de la carcasa inferior. Cuando acaba de taladrar todos estos agujeros destinados al amarre de las varillas de las hélices, 3 pares de orificios con rosca para el caso simulado, cambia a la broca situada en el otro lado de la herramienta y, en este caso, perfora en el centro de la carcasa inferior para situar, en la siguiente estación, la sujeción de la cámara. Por último, con la misma métrica realiza los agujeros con roscas para el anclaje del tren de aterrizaje.

Acabados todos los agujeros, el AGV vuelve a ponerse en marcha para continuar con su ruta.

5.3.2 Descripción de la programación

Cuando llega el AGV, manda una señal a la estación 2 llamada “Fin_st1” para indicar que puede comenzar sus tareas. Acto seguido, aparecen las copias de las carcasas ocultas en la estación y se oculta la pieza transportada. Después, se inicia la perforación de tal forma que el robot se aproxima a la pieza, se desplaza hasta entrar en contacto, inicia el giro de la cabeza taladradora y avanza hasta alcanzar la profundidad designada. Justo en este punto, la placa es sustituida por una copia de esta, pero con el orificio ya incorporado. Este proceso de sustitución de la carcasa por su copia agujereada se repetirá en todos los agujeros efectuados gracias al programa de la Ilustración 74. Seguidamente y en sentido opuesto de giro de la broca, la taladradora sale dejando la rosca necesaria para la colocación del tornillo. El resto de la programación de la estación es el programa RAPID del robot.

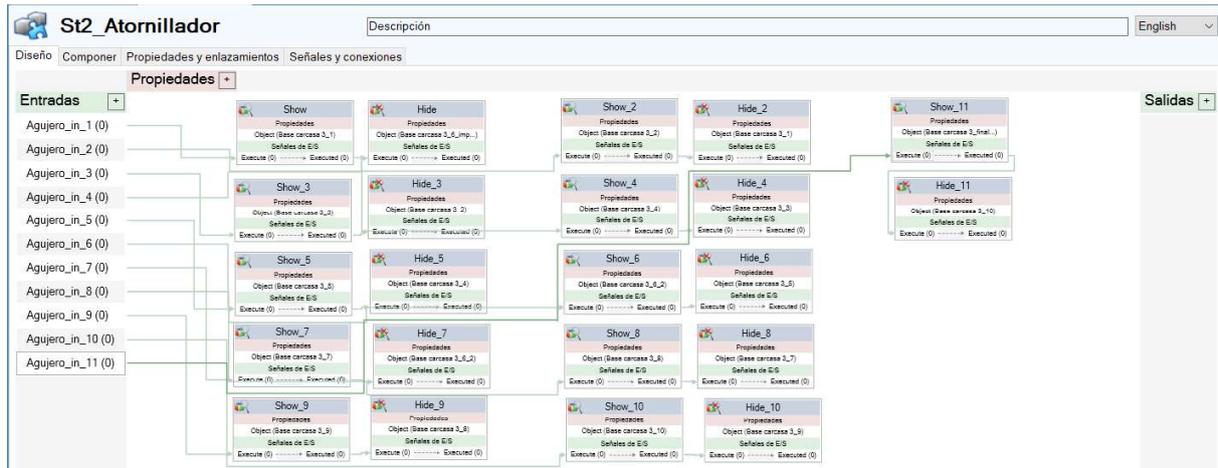


Ilustración 74. Componente inteligente de la estación 2. Fuente: elaboración propia

5.4 Estación de montaje principal (St3)

Esta es la estación más compleja, con mayor número de operaciones y, consecuentemente la que más tarda. En la Ilustración 75 se puede ver todos los elementos que la componen. Posee dos brazos robóticos con sus respectivas plataformas. Uno de ellos tiene una garra de ABB por herramientas, el situado en la derecha; mientras que el otro cuenta con una máquina atornilladora con cabezal ajustable a dos medidas, la de los tornillos y la de las tuercas. Adicionalmente, para suministrar las piezas al robot con la garra, hay dos carros con piezas, como un método sugerido de suministro el cual cuenta con un ojal para poder ser sustituido de forma automática por un AGV. El carro de color naranja sujeta las varillas ya montadas con los motores, mientras que el carro verde tiene las estructuras para la cámara. También, para suministrar las piezas que harán de cierre o guía en la carcasa, se ha diseñado una estructura dispensadora, el soporte de color marrón de la Ilustración 75. Por el lado del brazo con la atornilladora, cuenta con un dispensador de tornillos y tuercas.

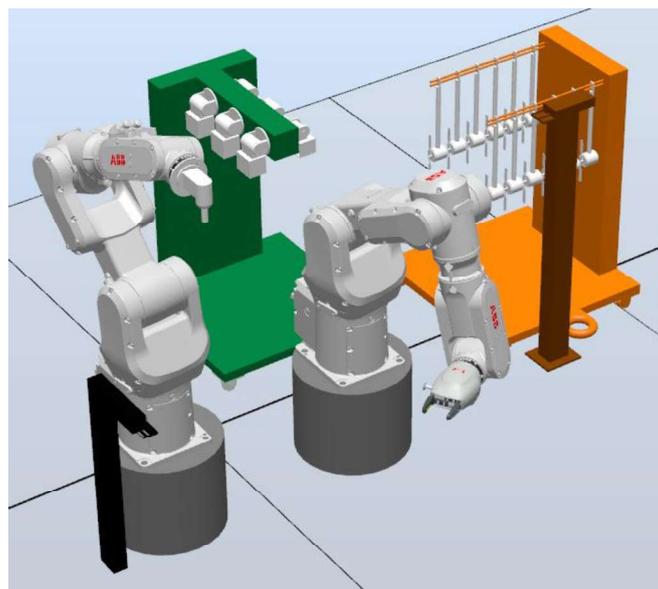


Ilustración 75. Estación 3, montaje principal. Fuente: elaboración propia

5.4.1 Descripción del proceso

La labor de la estación inicia en cuanto llega el AGV haciendo que el robot con la garra acuda a recoger las piezas que harán de tapón y/o a por las piezas de guía según las necesidades del modelo descrito. En el caso de 3 hélices, necesita 3 tapones y 3 guías, las cuales recogerá y colocará de una en una y de forma alternada. Para ello, acude al dispensador mientras sale una de las piezas demandadas, se aproxima superiormente, abre las garras, rodea con ellas la pieza y la coge, cerrando las garras. Después, se eleva para extraerla y acude a la carcasa inferior para colocar la pieza en el lugar correspondiente. Como ya se ha mencionado, los movimientos en los que se produce alguna aproximación a alguna pieza se hacen a una velocidad lo suficientemente reducida como para evitar daños. De esta forma, coloca las 6 piezas.

Mientras tanto, el robot atornillador pide un tornillo al expendedor correspondiente y, cuando ha alcanzado la posición designada, lo toma. Lo extrae del dispensador y se mueve hasta una posición próxima a la carcasa esperando a que la varilla se ponga en su sitio con tal de atornillarla.

Volviendo al robot de la garra, se mueve al carro de las hélices y se posiciona para tomar la primera. Abre las garras y se aproxima a la varilla y, cuando la tiene entre estas, las cierra atrapando la pieza. Extrae la pieza lentamente y se desplaza hasta la carcasa inferior. Se desplaza hasta encarar la varilla con el agujero de la guía e introducirla por esta hasta que alcanza la posición de atornillado. En ese momento, el robot atornillador acude para poner el tornillo que carga. Una vez colocado, va a por otro y lo coloca en el segundo orificio. Al finalizar, el atornillador acude a preparar un nuevo tornillo y esperar al robot de la garra, mientras este suelta la varilla y se dispone a repetir el proceso con el resto de las varillas.

Una vez colocadas y atornilladas las varillas, la garra va a por una estructura para la cámara, abre las garras, la coge y la lleva hasta la mesa. Lentamente, entra por la parte inferior del dron y la coloca introduciendo la rosta de la estructura por el agujero previamente hecho en la carcasa inferior.

Por su parte, el robot atornillador toma la tuerca para el soporte de la cámara, la lleva a la parte superior de la carcasa inferior y la atornilla lentamente.

Finalmente, ambos robots vuelven a sus posiciones iniciales y el AGV avanza a la siguiente estación.

5.4.2 Descripción de la programación

Esta estación tiene 4 elementos que contienen el programa. Dos conjuntos de códigos programados en RAPID y dos componentes inteligentes, llamados “St3_Pinza_movil” y “St3_Atornillador”. Cada uno controla los movimientos de la herramienta y los amarres de las piezas que cogen sus respectivos robots.

Por orden, al llegar el AGV manda una señal para indicar que está en posición, “Fin_st2” y cambia las piezas de la mesa por las correspondientes de la estación, la pieza “Superior carcasa 3_impreso_mesa” por la pieza “Superior carcasa 3_impreso_st3” y la pieza “Base carcasa 3_final_mesa” por “Base carcasa 3_st3”, haciendo visible la segunda y después invisible la primera.

Comienza el programa de RAPID de ambos robots. Primero, el robot con la pinza acude al dispensador. Gestionando las señales “Abrir_tomar” y “Abierto_tomar”, contenidas en su respectivo componente inteligente (Ilustración 76), manda la orden de abrir el mecanismo que controla las pinzas y se espera hasta que esté abierta para continuar el movimiento. Mientras, se crea una copia de la pieza que hace de tapón y se desplaza hasta el extremo del dispensador. Una vez allí, manda una señal “Tapón_pos” para que el brazo se acerque y tome la pieza, cerrando las garras y activando un bloque “Attacher”. El robot extrae la pieza y la lleva hasta la carcasa pasando por el punto de inicio. Cuando llega, se posiciona y deja la pieza, abriendo la garra y activando un bloque “Detacher” que desconecta la pieza. Este proceso se repite con todas las guías y tapones necesarios.

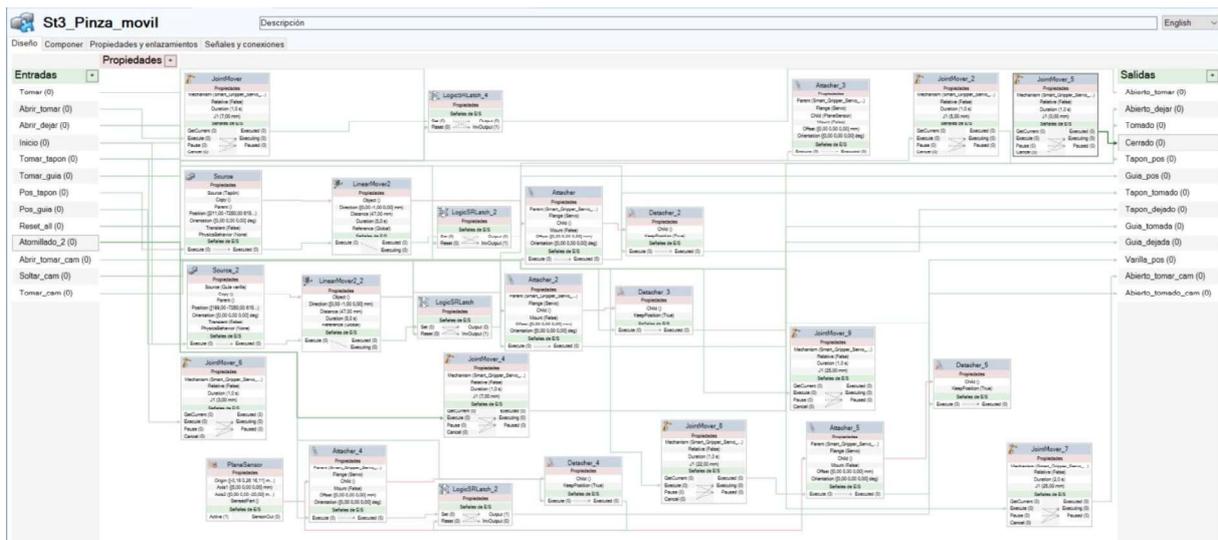


Ilustración 76. Componente inteligente del brazo robótico con pinza de la estación 3. Fuente: elaboración propia

A continuación, acude al carro con las varillas, se activa nuevamente la señal para abrir las pinzas y, cuando ya están abiertas, entra hasta la posición de la varilla. La pinza cuenta con un sensor, “PlaneSensor”, que detecta la varilla que hay entre las pinzas, mandando el identificador de dicha varilla a un “Attacher” para que la conecte con la herramienta del robot. A su vez, las pinzas se cierran hasta atrapar la varilla y la extraen lentamente.

Mientras tanto, el robot atornillador pide un tornillo con la señal “Tornillo_6”, provocando que se cree una copia de la pieza con mismo nombre y se desplace hasta la posición para que la atornilladora lo tome. Cuando esto sucede, activa la señal “Tornillo6_pos”, haciendo que el robot se aproxime a cogerlo, activando la señal “Tomar_tornillo6” y lo extrae. Después se mueve a una posición de espera para colocar el tornillo cuando reciba la señal. Toda esta programación se encuentra en el componente inteligente de la Ilustración 77.

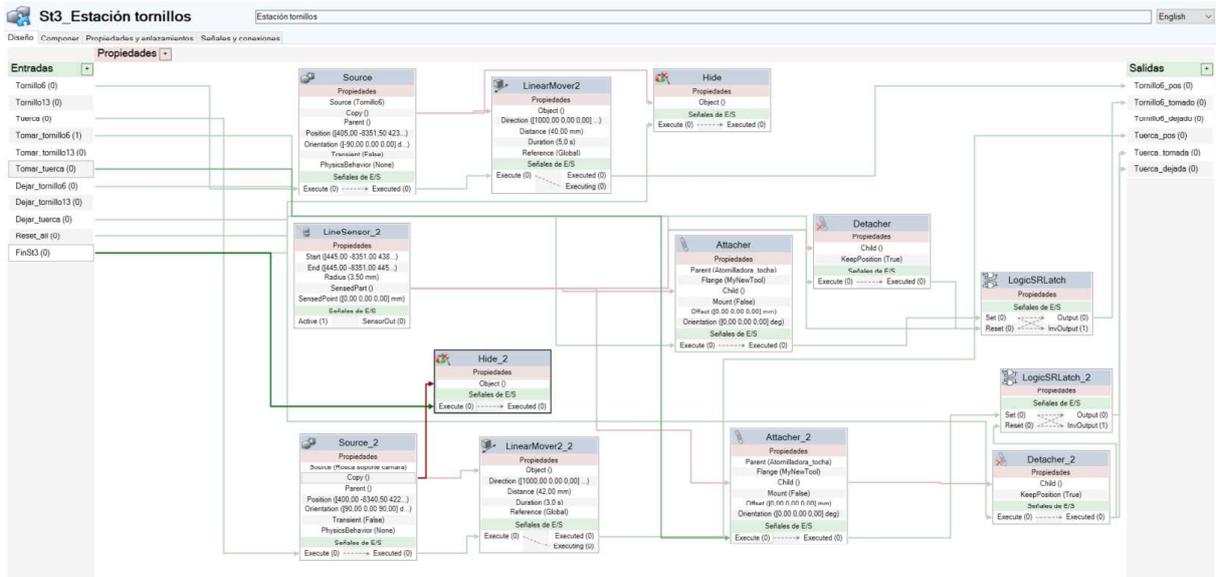


Ilustración 77. Componente inteligente del brazo con atornilladora de la estación 3. Fuente: elaboración propia

Una vez sacada la varilla, la lleva a la carcasa inferior, pasando por el punto de inicio, un punto seguro por donde no habrá colisiones con ningún elemento del entorno, y se desplaza para poder ajustar las articulaciones al proceso de colocación de esta. A partir de que se coloca en la posición de atornillado, comienzan a hablar los dos robots empleando dos señales, “Atornillado_2”, señal que debe activar el robot atornillador cuando acabe de colocar los dos tornillos para que el robot de la pinza continúe, y “Atornillar”, la cual está esperando el robot atornillador para iniciar el atornillado. En este momento, es cuando se envía esta última señal y el robot atornillador se desplaza para colocar el tornillo. Al alcanzar la posición denominada como “Fondo21”, es decir, cuando ha atornillado completamente el tornillo, se activa la señal “” para desconectar el tornillo al atornillador. Tras repetir el proceso, activa la señal “Atornillado_2”. Por cada varilla necesaria se volverá dar estos pasos con sus respectivas señales de comunicación entre ellos.

Por último, se colocará el soporte de la cámara, por lo que ira al soporte de estos. Ya próximo, abre la pinza, con la señal “Abrir_tomar_cam” y espera a que “Abierto_tomar_cam” se active. Cuando pasa a 1, se acerca para atrapar el soporte mediante la señal “Tomar_cam”, la cual activa un “Attacher” y cierra la pinza. Extrae la pieza y la lleva a la parte de abajo de la carcasa inferior. Lo posiciona y manda la señal “Enroskar” para que el otro robot vaya a por la tuerca, la cual aparecerá y se desplazara al punto de agarre, y la posiciona desde la parte de arriba de la carcasa inferior. A continuación, la atornilla al saliente del soporte dejándolo anclado a la carcasa. Ambos robots dejan las piezas que llevan, el atornillador cuando recibe la señal “Dejar_tuerca” mientras que la pinza usa la señal “Soltar_cam”, y ambos regresan a su posición de inicio.

Para finalizar, se muestra la copia del conjunto de piezas ya montado a la vez que se ocultan la carcasa, las varillas y la estructura de la cámara mientras que las pletinas se eliminan.

5.5 Estación de adhesivos (St4)

La estación de aplicación de adhesivos está compuesta por dos robots. El primero tiene una herramienta de ABB con una ventosa para mover las piezas. El segundo, tiene una pistola con un adhesivo. Ambos están sobre una plataforma. El robot con la ventosa tiene a su alcance dos dispensadores de piezas uno de placas base y el otro de chips de radio frecuencia. Se puede ver esta estación en la Ilustración 78.

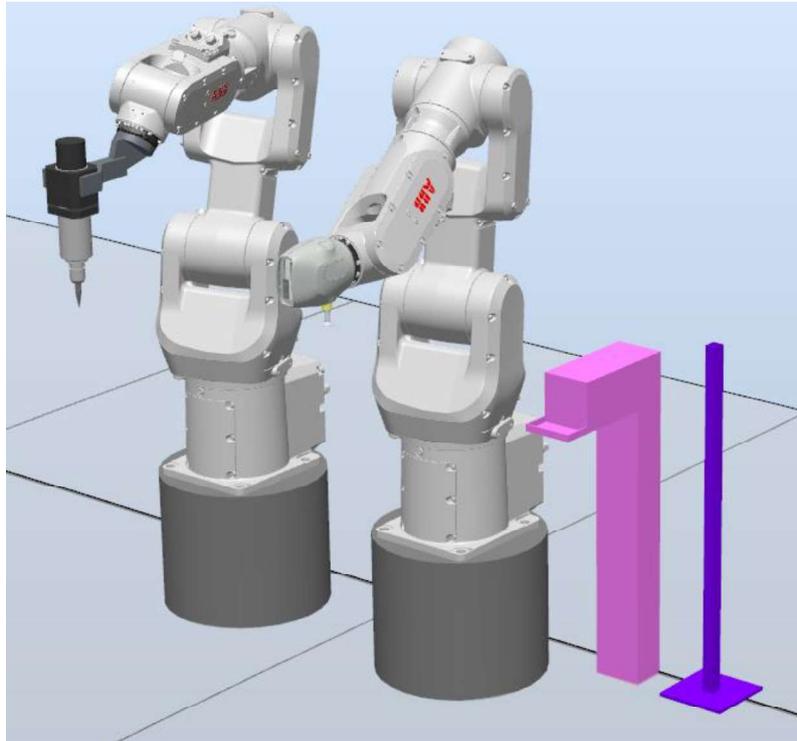


Ilustración 78. Estación 4, aplicación de adhesivo. Fuente: elaboración propia

5.5.1 Descripción del proceso

Una vez más, la mesa llega y el robot con el adhesivo va a la carcasa inferior para aplicar el adhesivo a los 4 puntos preparados para colocar la placa base. A su vez, se abren las cuatro garras, liberando ambas carcasas. Tras poner el adhesivo, el robot se retira para que el robot con la ventosa tome una placa base del dispensador, el elemento de color rosa de la Ilustración 78, active la ventosa para cogerla y la extraiga. Seguidamente, la lleva a la carcasa inferior y la posiciona lentamente sobre los 4 puntos con el pegamento. En ese lugar, deja de hacer succión la ventosa dejando la placa y se mueve hasta el punto de inicio.

El robot con la pistola se pone sobre la placa y aplica adhesivo en la parte preparada para la tarjeta de radio frecuencia. Cuando acaba de recorrer la superficie con forma de anillo cuadrado, deja paso al robot con la ventosa. Este va a por una placa de radio frecuencia que es proporcionada por el dispensador vertical, representado en color morado en la Ilustración 78. La ventosa se acerca a la placa, activa la succión y la coge. El brazo lleva la tarjeta hasta la correspondiente ubicación en la placa base y la posiciona. Finalmente, vuelve al inicio.

Entra otra vez en acción el robot con la pistola, esta vez aplica adhesivo a todo el perímetro del dron. Cuando acaba, vuelve a su posición de inicio y el robot con la ventosa va a por la carcasa superior. Al entrar en contacto con esta, la succiona con la ventosa y la transporta sobre la carcasa inferior del dron. Finalmente, la posiciona adecuadamente sobre esta y la presiona para que se adhiera. El robot para la ventosa de vacío, soltando la pieza y vuelve al inicio.

Acabadas las tareas de los robots, se desplaza la mesa a la última estación.

5.5.2 Descripción de la programación

Se inicia con la señal “Llegada_st3”, cuando el AGV ya se encuentra en la estación cuarta, provocando que se sustituyan las piezas de transporte de la mesa por las de la estación. A su vez, el robot de adhesivo comienza su programación, la cual está totalmente elaborada en RAPID.

Cuando acaba la aplicación del adhesivo, activa la señal “Adhesivo_placa” haciendo que el otro robot vaya a por una placa base. Entonces, manda la señal “Nueva_placa” para crear una placa base, la cual se desplaza hasta la posición para que este la coja. En ese momento, manda la señal “Placa_posicionada” para que este se acerque, active la ventosa con la señal “Tomar_placa”, la cual activa un elemento “Attacher” y la extrae. Se mueve hasta la carcasa y con la señal “Placa_puesta” desconecta la placa. El extremo de la ventosa tiene un sensor lineal que le permite identificar el elemento que toma y deja. El robot regresa al punto de inicio.

La pistola, con la señal “Placa_puesta”, continua su programa moviéndose sobre la zona donde irá la tarjeta de radio frecuencia. Al finalizar el movimiento, manda la señal “Adhesivo_chip”.

El robot con ventosa reacciona a la señal yendo a por una tarjeta. Manda la señal “Nuevo_chip” y espera a la señal “Chip_posicionado”. El chip es creado y se mueve a la parte superior del dispensador activando, poniendo a 1 esta señal. El robot se acerca, activa “Tomar_chip” con lo que conecta la plaquita al brazo y lo lleva hasta la parte superior de la placa base. Allí, la coloca sobre el lugar que le corresponde y lo desconecta con la señal “Chip_puesto”. A su vez, reactiva al robot adhesivo que realiza su ruta.

Al finalizar el trabajo del robot de la pistola, manda la señal “Adhesivo_carcasa”, por lo que el otro robot va a por la carcasa superior, la coge con la señal “Tomar”, la lleva sobre la carcasa inferior y hacen que se toquen haciendo coincidir los contornos. Finalmente, la suelta con la señal “Dejar” y vuelve al inicio. El programa que gestiona al brazo con la ventosa y a los expendedores es el que aparece en la Ilustración 79.

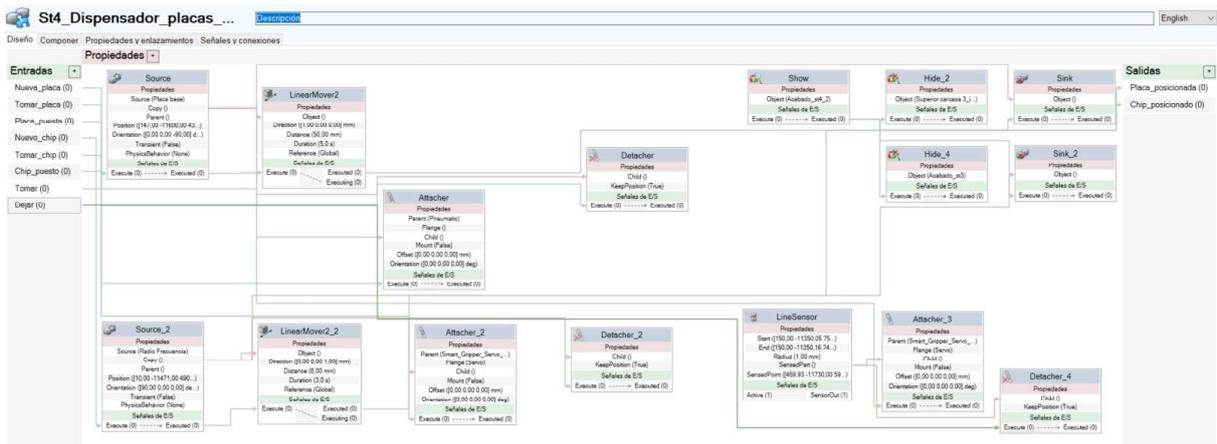


Ilustración 79. Componente inteligente de la estación 4

Una vez más, se sustituyen las piezas de la estación por las ocultas ya preparadas.

5.6 Estación de montaje final

La estación que acaba el proceso se encarga de incorporar el tren de aterrizaje. Para ello hay dos robots, uno atornillador y otro con una pinza, exactamente igual que en la tercera estación. Ambas máquinas están sobre una plataforma. El robot atornillador tiene un dispensador de tornillos próximo a este, mientras que el de la pinza tiene un carrito con las piezas que hacen de tren de aterrizaje y con una cinta transportadora donde se coloca al dron para su empaquetado, el cual no se simulará. La imagen que representa esta estación se muestra en la Ilustración 80.

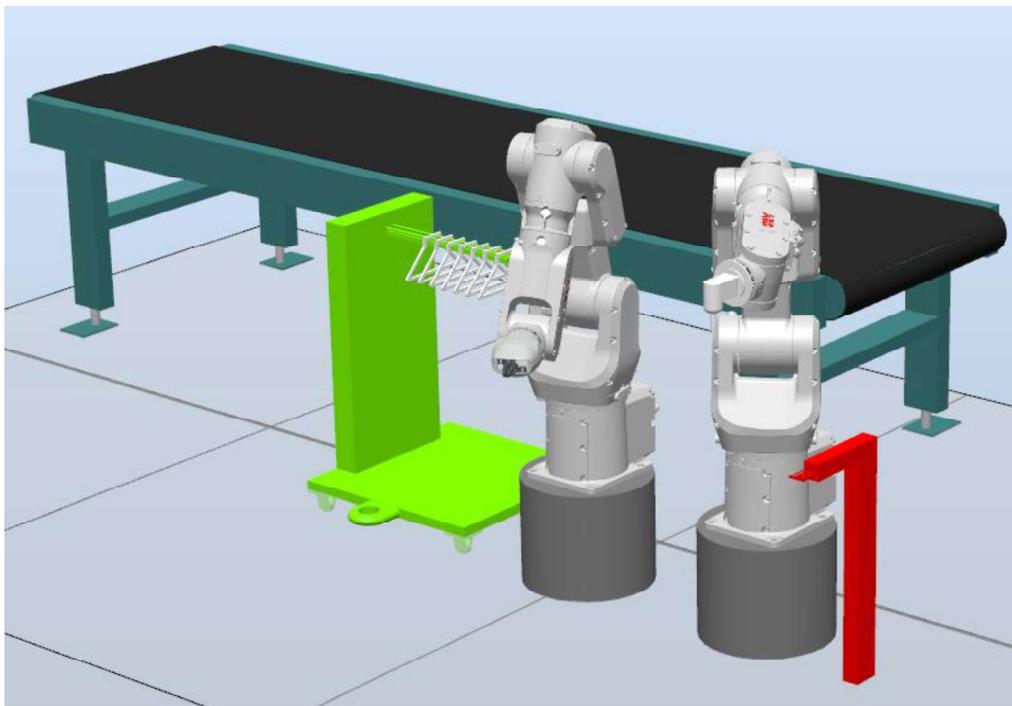


Ilustración 80. Estación 5, montaje final. Fuente: elaboración propia

5.6.1 Descripción del proceso

Cuando llega el AGV, se inicia el movimiento del brazo robótico con la pinza, coge el dron y lo voltea, dejando la parte inferior hacia arriba. Después, va al carrito con los trenes de aterrizaje y coge uno. Lo saca de las guías y lo lleva hasta el dron. Despacio, lo inserta en el hueco preparado para anclarlo haciendo coincidir los agujeros. En ese momento, el otro robot va a por un tornillo. Espera a que salga del dispensador, lo coge y lo lleva hasta el dron. allí, lo atornilla y repite la operación con el otro. Al acabar, ambos vuelven a la posición de inicio.

A continuación, el robot con pinza vuelve a coger al dron y lo rota 180 grados respecto a su eje vertical, dejando los agujeros del otro anclaje del dron en la posición que estaban los otros. Entonces, ambos robots repiten el mismo proceso que con el del otro lado para colocar el otro tren de aterrizaje, pero el robot con la pinza coge y deja el tren de forma lateral, puesto que si lo colocase de la misma forma chocaría con el tren ya montado.

Para finalizar, el robot con pinza toma el conjunto del dron y lo deja sobre la cinta. Después el robot vuelve al inicio y acaba la simulación.

5.6.2 Descripción de la programación

En cuanto a la programación, por última vez, se hace la sustitución de los elementos del AGV por los ocultos de la estación usando los bloques “Show” y “Hide”, conforme el AGV llega a la estación y manda la señal “Llegada_st4”. Esta orden da comienzo al movimiento del robot con la pinza haciendo que se aproxime al dron lateralmente, tal y como está programado en su fichero en RAPID. El brazo abre las pinzas con la señal “Abrir_tomar” en la posición previa a coger el dron y se espera a recibir la señal “Abierto”. Cuando se abre del todo, manda esta señal y se dirige a tomar el dron. Cuando llega a la posición en que las pinzas lo envuelven, activa la señal “Cerrar_tomar” haciendo que las pinzas se junten hasta que tocan la carcasa. Cuando esto ocurre, manda la señal “Tomar” para conectar el dron a la herramienta y “Cerrado” con la que eleva completamente al dron y lo voltea. Después, lo vuelve a bajar y lo deja sobre las garras abiertas de la mesa. Acto seguido, activa la señal “Abrir_dejar” para que se separen las garras y “Dejar” para desconectar al dron. Cuando finaliza la apertura, se dispara la señal “Abierto” haciendo que se separe el robot del dron y volviendo al inicio. Toda la gestión de señales de la pinza y los movimientos se encuentran en el componente inteligente “St5_pinza” y se encuentra en la Ilustración 81.

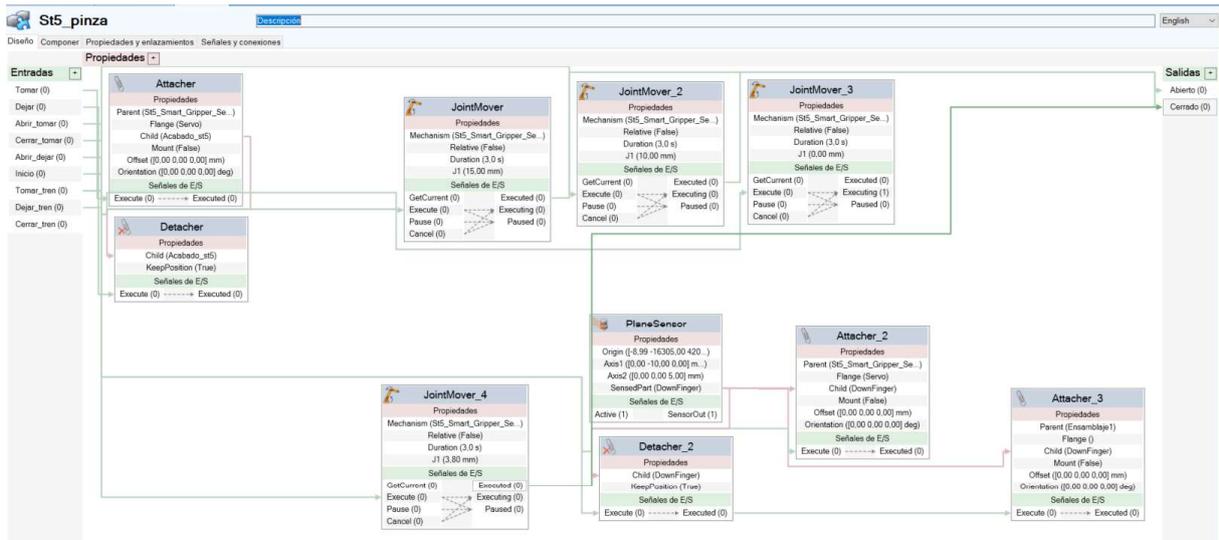


Ilustración 81. Componente inteligente del brazo robótico con pinza de la estación 5. Fuente: elaboración propia

A continuación, el robot con pinza va a por un tren de aterrizaje. Para el primero, se posiciona en frente del carrito y se aproxima a la barra inferior del tren perpendicularmente. Cuando las dos pinzas rodean a la pieza, se cierran a la orden de “Tomar_tren”. Esta señal cierra las pinzas y vincula el tren a la herramienta. Cabe destacar que la pinza tiene conectado un sensor plano que le permite detectar a la pieza. El brazo retrocede para extraer el tren y lo lleva hasta el dron, posicionando el extremo sobre el dron. Seguidamente, baja la pieza haciendo que encaje entre las dos placas agujereadas en la segunda estación. En ese instante, activa la señal “Posicionado” haciendo que el robot atornillador se mueva a coger un tornillo, el cual genera con la señal “Crear_tornillo”. El tornillo aparece dentro del dispensador y avanza hasta la posición para que lo coja. Este componente inteligente se visualiza en la Ilustración 82. Coge el tornillo con la señal “Tomar_tornillo” y lo coloca en el hueco para el tren. Para ello, se aproxima, avanza hasta que la cabeza del tornillo alcanza la pieza y, lentamente, avanza hasta el fondo atornillándolo. En el momento que llega al final del orificio se activa la señal “Soltar_tornillo” y desconecta el tornillo de la herramienta. Repite esta operación para el otro tornillo y va al inicio.

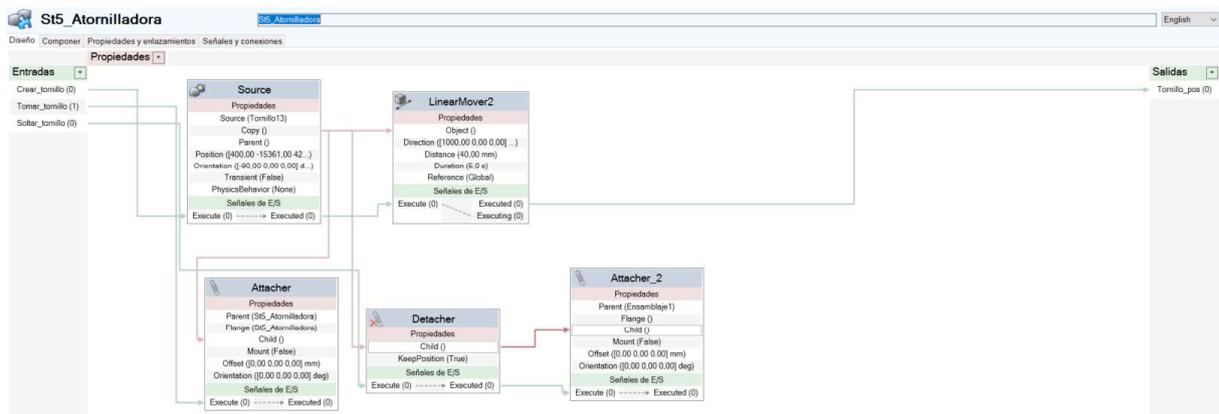


Ilustración 82. Componente inteligente del brazo con atornilladora de la estación 5. Fuente: elaboración propia

Acabado el anclaje del tren, el robot con la pinza lo desconecta de la herramienta, señal “Dejar_tren”, y vuelve a la posición inicial para, seguidamente, ir a coger lateralmente el dron, tal y como hizo al

principio. El proceso para tomar y dejar el dron es el mismo que al principio, la única diferencia es la ruta que, en este caso, rota 180º al dron respecto al eje vertical, o eje Z del plano. Cuando acaba el desplazamiento, vuelve al inicio.

Otra vez se dirige el robot con la pinza a por los trenes de aterrizaje. No obstante, esta vez lo agarra lateralmente y se ve modificada la ruta para adecuarse a este cambio. Las acciones de tomar y dejar son exactamente las mismas que antes y el brazo con el atornillador también hace exactamente lo mismo. Acabada esta operación, el dron ya está completo.

Para finalizar, el brazo con la pinza coge al dron y lo deja sobre la cinta, empleando las misma señales que antes para coger y dejar. Luego el robot vuelve al inicio.

5.7 Reposición de materiales

Aunque no se ha simulado, es necesario tener constantemente piezas para montar los drones. Por ello, se debe reabastecer todos los carritos y puntos de suministro de materiales. Para mantener la facilidad de reajuste de la planta que otorga el sistema de fabricación flexible junto a los AGVs, se deben descartar sistemas de abastecimiento que restrinjan la posición de los elementos de las estaciones. Por ello, sería conveniente tener un elemento de transporte de materiales para suministrar a las estaciones. Para ello, se puede contar con unos AGVs que periódicamente cambien los carritos vacíos por unos nuevos. Para los dispensadores, podría introducirse una caja con un cierto número de piezas las cuales se reemplazasen cuando se finalicen. Para ello se requeriría de un AGV con, o bien un brazo robótico, o bien algún tipo de suministrador tipo brazo retráctil.

6 Aplicación de la fabricación flexible a la línea de montaje

Una vez detallada la estación diseñada, se va a explicar el potencial que se le puede sacar gracias al método de fabricación flexible y al tener como forma de transporte los AGVs.

6.1 Reorganización de procesos de producción

Al tener una serie de estaciones modulares, por ejemplo, en caso de que se cambie el producto a fabricar, se puede reprogramar los robots y cambiar las rutas según sea necesario. Esto supone un gran abaratamiento en las maniobras de reubicación y reestructuración de la planta, principalmente, porque no es necesario mover toda la maquinaria encargada del transporte, como las cintas de transporte de material.

6.2 Reajuste de tareas por avería o mantenimiento

En caso de avería de alguno de los robots, pueden ser fácilmente reubicadas algunas de las tareas. Este hecho se puede aprovechar entre las estaciones 3 y 5. Como ambas cuentan con los mismos robots, si se les proporciona los mismos elementos de abastecimiento, pueden realizar las mismas operaciones. Es decir, aunque la producción se viese notablemente mermada ya que el tiempo de fabricación de una estación se incrementaría, se podría seguir produciendo hasta que se repare la avería. De esta forma, en un hipotético caso de avería de la estación 3, se podría modificar la ruta para que el orden fuese primero la estación 1, luego la 2, después la 5, retrocedería a la 4 y acabaría en la 5.

Si además hubiese varias de las líneas descritas, es decir, varios conjuntos de las 5 estaciones anteriores, reajustar el trabajo de una estación averiada a otra de estas líneas, sería sencillo puesto que solo habría que reprogramar la ruta del AGV a otra línea próxima. Dependiendo de cual fuese la estación, en el caso de que fuese un fallo en la estación con mayor carga de trabajo, podría suponer un importante incremento de tiempo en esta otra línea, pero, por lo general, supondrá un aumento de la producción respecto a detener la línea averiada.

6.3 Reajuste de rutas con estaciones duplicadas

El punto más crítico de la planta descrita es la estación 3. Es la que más tarda para cualquier cantidad de hélices. En la simulación descrita, que se ha hecho con el dron de 3 hélices, ya es la que más tiempo requiere de las 5, suponiendo que se trabaje a máxima capacidad y con las dos máquinas de extrusión, la cual debería ser la situación normal de funcionamiento. Una forma de incrementar notablemente la producción sería duplicar esta estación. De esta forma, cuando un AGV se dirija a la estación 3, en caso de que no haya terminado su anterior tarea, se redirigirá al AGV a la estación duplicada, evitando esperas innecesarias. En caso de que las dos estuviesen ocupadas, el AGV decidiría esperar en aquella estación con menor tiempo restante. Como en la fabricación es sumamente importante el control del tiempo, se analizará más en detalle los tiempos de fabricación de la planta y sus posibles mejoras en los apartados 6 y 7.

Adicionalmente, si se tienen varias líneas en paralelo, teniendo una estación 3 duplicada para ambas líneas, el tiempo de aprovechamiento de la estación duplicada se incrementaría en gran medida, mejorando la producción y el rendimiento de toda la planta.

6.4 Modificación de rutas por obstáculos

En caso de haber algún tipo de incidencia o elemento que obstaculice el avance del material, se puede reajustar la ruta del AGV para salvar dicho bloqueo. Esto se podrá lograr en caso de haber espacio suficiente. Como se han dejado grandes distancias entre estaciones, es posible aprovechar estos huecos como rutas alternativas. Un posible caso de obstrucción es el momento en el que se reponen materiales en las estaciones.

7 Estudio de tiempos

Uno de los factores más importantes para tener en cuenta en la industria es el tiempo de fabricación. A menor tiempo de fabricación, mayor cantidad de productos terminados. Por ello, se va a estudiar la duración de cada una de las tareas de las diferentes estaciones para cada uno de los modelos diseñados. Para este estudio se tendrán en cuenta los siguientes modelos de dron:

- Dron de 3 hélices sin cámara
- Dron de 3 hélices con cámara
- Dron de 4 hélices sin cámara
- Dron de 4 hélices con cámara
- Dron de 6 hélices sin cámara
- Dron de 6 hélices con cámara
- Dron de 8 hélices sin cámara
- Dron de 8 hélices con cámara

7.1 Análisis de la estación simulada

Como base para el estudio de los tiempos, se ha utilizado el caso que se ha simulado, es decir, el de 3 hélices con cámara. Los resultados de contar el tiempo de simulación de este modelo son los que se muestran en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del Anexo 3. Estudios de tiempo de la célula.

Tabla 1. Cronometraje de tiempos del modelo de 3 hélices con cámara. Fuente: elaboración propia

Estudio de tiempos de la simulación		
Operación	Tiempo total (s)	Tiempo base (s)
Robot estación 1	60	60
Extrusora	240	480
Estación 2	131	52
Par de agujeros	19	0
Agujero cámara	22	0
Estación 3	472	0
Pletina	30	0
Varilla	80	0
Soporte cámara	52	0
Estación 4 (3-6)	220	220
Estación 5	380	380

En la Tabla 1, se muestra el tiempo de trabajo de cada una de las 5 estaciones y algunas de las operaciones que se realizan en ellas. En la columna “Tiempo total” se muestra el tiempo de trabajo que han tardado en realizarse las acciones descritas en la columna “Operación”. Sabiendo el tiempo total y el desglose de las operaciones cuyo número de repeticiones varia, se puede calcular el tiempo de fabricación de cada modelo en cada estación. En la columna “Tiempo base” se ha dejado

únicamente el tiempo común para todos los modelos, extrayéndoles aquellas tareas que difieran de unos a otros.

Con tal de tener recogidos todos los tiempos de fabricación de los diferentes modelos en cada una de las estaciones de la planta, se ha elaborado la Tabla 2.

Tabla 2. Tiempos de procesado por estaciones y modelos. Fuente: elaboración propia

Modelos		Tiempos (s)					
Hélices	Cámara	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Total
3	0	240	109	420	220	380	19,82
3	1	240	131	472	220	380	21,05
4	0	240	128	560	242	380	22,83
4	1	240	150	612	242	380	24,07
6	0	240	166	660	220	380	24,77
6	1	240	188	712	220	380	26,00
8	0	240	204	880	242	380	29,43
8	1	240	226	932	242	380	30,67
Media		240,00	158,31	634,24	230,74	380	24,39

La Tabla 2 desglosa por número de hélices y si tiene cámara, representado con un 1, o no la tiene, representado con un 0, todos los modelos. Además, empleando los tiempos base de cada estación y los tiempos de las operaciones con diferente número de repeticiones junto con el número de hélices y si tiene o no cámara, se puede parametrizar mediante ecuaciones los tiempos de fabricación de cada estación para cada modelo. Antes de mostrar las ecuaciones de cada estación, hay que razonar el tiempo de la estación 1.

La primera vez que se pone a trabajar la línea, el tiempo de trabajo para el primer dron en la estación 1 es de 9 minutos, es decir, 8 minutos de extrusión y un minuto de extracción. Si están trabajando las dos extrusoras con un desfase de 4 minutos, cada 4 minutos saldrá una pieza. Sumado al minuto del robot, daría un tiempo de 5 minutos. Aun así, en régimen nominal de trabajo, este tiempo no es correcto. Cuando trabajan de forma continua y sin retardos las máquinas extrusoras y el robot, el tiempo desde que sale un dron sobre un AGV hasta que sale el siguiente es de 4.5 minutos. Esto sucede porque, en realidad, mientras el brazo robot trabaja, hay parte del tiempo de la máquina extrusora que se solapa con el del robot. Por tanto, el tiempo real se corresponde a los 4 minutos de esta máquina más el tiempo que tarda el robot en sacar las piezas de esta, que aproximadamente son 30 segundos.

De cara a la formulación, para cada estación consiste en lo mostrado en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Cálculo de tiempos de trabajo por modelos. Fuente: elaboración propia

$$Tiempo_{estación} = Tiempo_{base_{estación}} + Tiempo_{varilla} * N^{\circ}_{varillas} + Tiempo_{cámara} * \zeta_{Cámara?}$$

Dicho de otro modo, el tiempo de una estación es la suma del tiempo común, más el tiempo necesario para incluir el elemento de una varilla por el número de varillas, más el tiempo que se tarda en poner el soporte de la cámara en caso de que sea un modelo que tenga cámara. Esta ecuación sirve para las

estaciones 2 y 3, puesto que tiene elementos repetitivos que se pueden cuantificar fácilmente. Las estaciones 1 y 5, no varían su tiempo según los modelos. Y la estación 4, solo se puede saber el tiempo de la variante de 3 o 6 hélices ya que la diferencia radica en el tiempo de aplicación de adhesivo por todo el perímetro. Como estimación holgada, se ha considerado un 10% más de tiempo para el modelo de 4 y 8 hélices que para el de 3 y 6.

7.2 Consideraciones de demanda

Para realizar este estudio de tiempo, se debe suponer una demanda de producto estimada. Para este análisis se ha considerado el porcentaje de uso empleado en la Tabla 3.

Tabla 3. Probabilidad de demanda de cada modelo. Fuente: elaboración propia.

Modelos		Probabilidad			
Hélices	Cámara	Hélices	Cámara	Máquina	Total
3	0	70%	80%	50%	28%
3	1	70%	20%	50%	7%
4	0	80%	50%	50%	20%
4	1	80%	50%	50%	20%
6	0	30%	40%	50%	6%
6	1	30%	60%	50%	9%
8	0	20%	20%	50%	2%
8	1	20%	80%	50%	8%
Total					100%

Estos porcentajes se han estimado siguiendo varios criterios. El primero, que ambas máquinas deben trabajar todo el tiempo. Por ello, la mitad de las piezas producidas vendrá de cada máquina. Como segundo criterio, el precio. Es más habitual vender un producto más económico, lo cual suele equivaler al producto con menos material. Atendiendo a este razonamiento, cuantas menos hélices, más demanda. Por último, cuando más hélices, mayor estabilidad y, por tanto, mayor capacidad para hacer buenas grabaciones. Consecuentemente, cuanto mayor cantidad de hélices, más probabilidades de que se pida el dron con cámara.

7.3 Programa Arena

Con todos estos datos, se empleará el programa ARENA de simulación de plantas para analizar la producción y los tiempos de procesado. En la Ilustración 83, se muestra el esquema, adecuado a este programa, de la línea de producción.

Lo primero, hay dos máquinas extrusoras, que generan una pieza cada 8 minutos, a partir de las cuales se elige cual será el modelo que se fabricará. Estas están representadas con el símbolo de la Ilustración 84. Seguidamente, hay unos bloques, Ilustración 85, que deciden como separar la producción por modelos. Aplicando los porcentajes descritos en la Tabla 3, se gestiona la segmentación. A continuación, se asigna una categoría con los bloques de la Ilustración 86. En la Ilustración 87, hay un

ejemplo de esta asignación donde se le da un atributo y una imagen para diferenciar más fácilmente en la simulación. Pasados estos pasos, empieza el proceso productivo. El primer elemento tan solo sirve para ocupar un AGV de los 4 que dispone la línea. Este tipo de bloque es una operación, el cual se muestra en la Ilustración 88. El resto de las operaciones parametrizan los tiempos de producción para los diferentes modelos de dron. Cada una se encarga o bien de parametrizar las estaciones, o bien el transporte entre estas, tal y como se muestra en la parte derecha de la Ilustración 83 y con fondo amarillo. Para tener en cuenta todos los modelos, se ha gestionado mediante una ecuación la cual aplique un tiempo distinto según la asignación previamente dada. Un ejemplo de estas ecuaciones se puede ver en la Ilustración 89 Finalmente, a la hora de liberar el AGV, se ha considerado que tarda 2 minutos en volver hasta el punto de inicio del proceso y estar operativo.

Con todos estos datos, se procede a simular, durante una jornada de 8 horas, y analizar los resultados, los cuales se muestran en el Anexo 3. Estudios de tiempo de la célula.

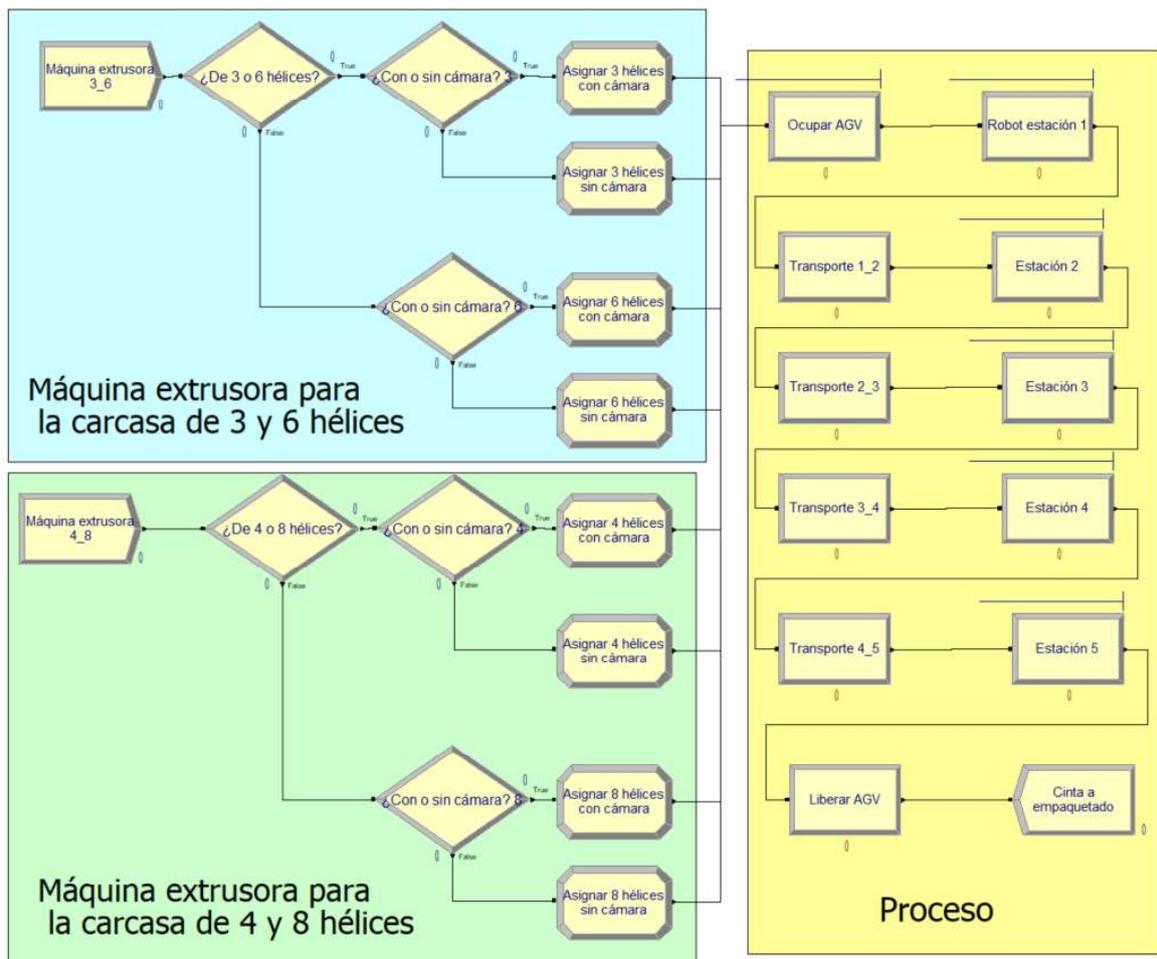


Ilustración 83. Línea de fabricación de drones en ARENA. Fuente: elaboración propia

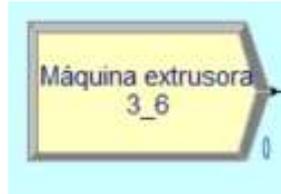


Ilustración 84. Bloque Create. Fuente: elaboración propia



Ilustración 85. Bloque Decide. Fuente: elaboración propia

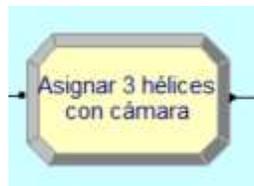


Ilustración 86. Bloque Assign. Fuente: elaboración propia

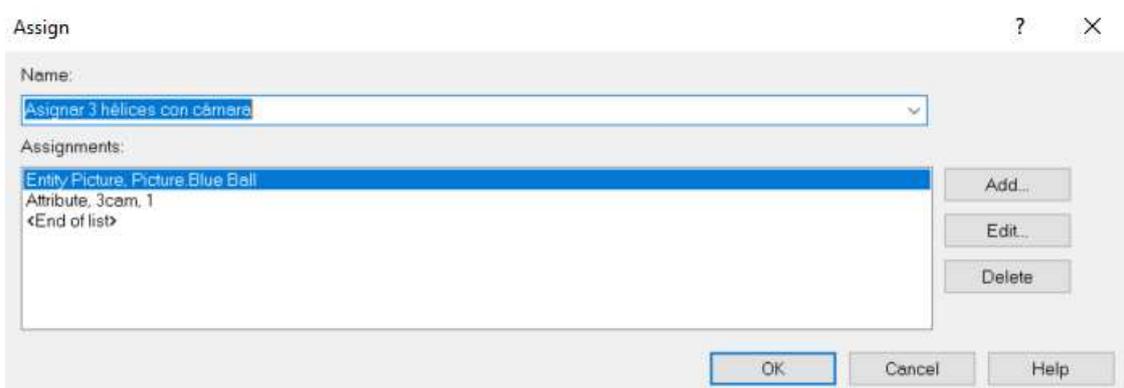


Ilustración 87. Panel de asignación. Fuente: elaboración propia

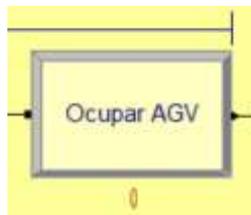


Ilustración 88. Bloque Process. Fuente: elaboración propia

Ilustración 89. Panel de gestión del proceso. Fuente: elaboración propia

En estos resultados se puede ver que a lo largo de la jornada se habrán producido 48 drones, como se indica en la Ilustración 90. Otra información interesante es la de la página 3, donde indica el “Time per Entity” o tiempo empleado por entidad, es decir, la duración por unidad realizada, concretamente el apartado que se muestra en la Ilustración 91. Aquí se puede ver los tiempos medios de producción por estación, siendo la estación 3 la que más duración requiere. Como este tiempo medio es mayor que el tiempo con el que salen las piezas de la máquina extrusora, aquí se producirá una espera de los AGVs.

Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	48

Ilustración 90. Número de productos acabados. Fuente: elaboración propia

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average
Estación 2	2.3772
Estación 3	9.5684
Estación 4	3.8485
Estación 5	6.3333
Robot estación 1	1.0000
Transporte 1_2	0.1667
Transporte 2_3	0.1667
Transporte 3_4	0.1667
Transporte 4_5	0.1667

Ilustración 91. Estudio de tiempo de la línea. Fuente: elaboración propia

Analizando el resto del documento, en la página 6 del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la tabla llamada “Waiting Time” (tiempo de espera), en la columna “Average” (media), la estación con mayor tiempo medio de espera es “Ocupar AGV”. En la Ilustración 92 se muestran estos parámetros.

Queue	
Time	
Waiting Time	Average
Estación 2.Queue	0.04995770
Estación 3.Queue	12.2396
Estación 4.Queue	0.00
Estación 5.Queue	0.00
Ocupar AGV.Queue	131.39
Robot estación 1.Queue	0.03862091

Ilustración 92. Tiempos de espera de la estación base. Fuente: elaboración propia

Esto podría indicar que se necesitarían más AGVs. Para salir de dudas, basta con mirar la gráfica de la página 8 llamada “Scheduled Utilization” (utilización programada), la cual también aparece en la xxx, donde se ve como la estación con mayor uso porcentual es la 3, por encima del uso de los AGVs, aunque están casi a la par.

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AGV 1	0.9917	0,00	0.9917	0.9917
Estacion1	0.1078	0,00	0.1063	0.1104
Estacion2	0.2555	0,00	0.2524	0.2592
Estacion3	0.9929	0,00	0.9915	0.9934
Estacion4	0.3936	0,01	0.3850	0.4084
Estacion5	0.6390	0,01	0.6241	0.6597

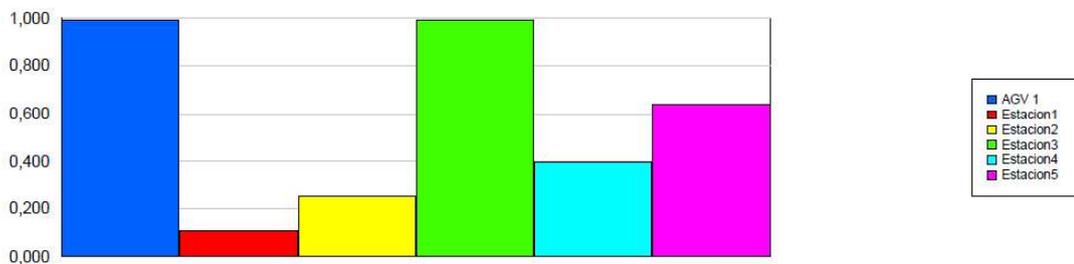


Ilustración 93. Utilización porcentual de las estaciones. Fuente: elaboración propia

Al ser la estación que más ocupada se encuentra, para mejorar la producción se debería reducir los tiempos de estas o duplicarla. Se va a probar a hacer esta duplicación de la estación y se vuelve a

simular. Para hacer este cambio, basta con ir al apartado de recursos y poner que la estación 3 cuenta con 2 recursos, es decir, que existen dos de estas estaciones. Los resultados se pueden ver en el Anexo 3.2. Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada del Anexo 3. Estudios de tiempo de la célula. De este estudio solo se pondrán en los anexos las páginas que se van a analizar. Para modificar estos parámetros es suficiente con cambiar los valores correspondientes a esos elementos en la tabla de recursos que aparece en la Ilustración 94.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Estacion3	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Estacion2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Estacion1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Estacion4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Estacion5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	AGV 1	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Ilustración 94. Tabla de recursos. Fuente: elaboración propia

Por si hubiera duda respecto a duplicar la estación 3 o aumentar el número de AGVs, se ha realizado también este otro estudio, dando como resultado que la producción se mantiene en 48 unidades por jornada, tal y como se muestra en la Ilustración 95. Con esto queda demostrado que la estación 3 era el verdadero cuello de botella. Sabiendo que con tan solo 4 AGVs se puede abastecer las estaciones, puesto que los tiempos de procesado son algo elevados, parece coherente que una línea de producción con suministro continuo de material no sería beneficioso para la línea descrita.

Célula robotizada con 5 AGVs	
Replications: 10	Time Units: Minutes
Key Performance Indicators	
System	Average
Number Out	48

Ilustración 95. Producción con 5 AGVs. Fuente: elaboración propia

Duplicando la estación 3, la producción asciende a 66 drones por jornada, lo que supone un incremento del 37,5% con tan solo añadir 2 robots, con sus respectivas conexiones y carros de materiales, tal y como se puede ver en la Ilustración 96. Poniendo atención a la página 3 del Anexo 3.2. Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada o en la Ilustración 97, el tiempo medio de trabajo de la estación 3 es ligeramente superior, pero esta vez está repartido entre la original y la duplicada. Por ello, en la página 6, el tiempo de espera de esta estación se ha reducido súbitamente hasta los 0,16 minutos, lo que significa que, en cuanto llega un AGV, es inmediatamente procesado por la estación 3. También se puede ver esta mejoría en el porcentaje medio instantáneo de utilización, página 8 e Ilustración 98, siendo ahora de 0.6882.

Célula robótica con AGVs con estación 3 duplicada

Replications: 10 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	66

Ilustración 96. Producción con la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average
Estación 2	2.3968
Estación 3	9.6320
Estación 4	3.8492
Estación 5	6.3333
Robot estación 1	1.0000
Transporte 1_2	0.1667
Transporte 2_3	0.1667
Transporte 3_4	0.1667
Transporte 4_5	0.1667

Ilustración 97. Tiempo de producción medio por unidad con la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AGV 1	0.9917	0,00	0.9917	0.9917
Estacion1	0.1456	0,00	0.1396	0.1479
Estacion2	0.3471	0,01	0.3352	0.3596
Estacion3	0.6882	0,01	0.6709	0.7107
Estacion4	0.5433	0,01	0.5210	0.5531
Estacion5	0.8791	0,01	0.8464	0.8994

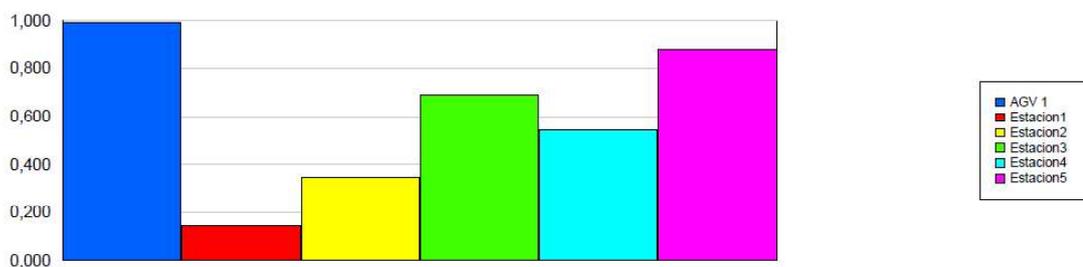


Ilustración 98. Porcentaje de tiempo en uso con la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia

En esta ocasión, el componente limitante de la línea de fabricación es el número de AGVs, por lo que se probará a incrementar de 4 a 5 dichos robots.

En el Anexo 3.3. Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada y AGV adicional del Anexo 3. Estudios de tiempo de la célula, se ve aumentada la producción en 6 unidades añadiendo un nuevo AGV, llegando a la cantidad de 72 drones por jornada (Ilustración 99). De esta forma se podría seguir incrementando el número de estaciones o AGVs hasta alcanzar la producción deseada, a costa de incrementar el coste de implantación.

Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada con AGV adicional

Replications: 10 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	72

Ilustración 99. Producción con 5 AGVs y la estación 3 duplicada. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, se ha probado a mejorar dos veces más la línea, primero duplicando la estación 5, lo que permitiría fabricar 83 drones por jornada y, posteriormente, se añadiría un sexto AGV, lo que proporcionaría 93 drones cada 8 horas. Sin embargo, no se adjuntarán estos informes ya que se considera alcanzado el objetivo, que es demostrar que la duplicación de la estación 3 es considerablemente beneficiosa para la producción.

Puesto que el sistema productivo seleccionado, el método de fabricación flexible empleando AGVs como mesa de transporte, y puesto que se tiene las estaciones distribuidas por células de fabricación independientes, resulta sencillo que se pueda reorganizar la planta, resultando muy interesante este modo de fabricación para empresas cuya capacidad productiva pueda variar a lo largo de su vida útil. Por ello, en este caso planteado en el apartado 5, podría ser muy beneficioso duplicar la estación 3, con los gastos de compra de robots y herramientas que esto conlleva, para aumentar considerablemente la producción.

8 SCADA

Un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) o sistema de supervisión y control de una planta, es un software encargado de monitorizar la planta para comprobar su buen funcionamiento. Es de suma importancia puesto que permite desde una única sala tener el control de toda la fábrica.

Se ha elaborado en el programa Matlab, concretamente con la herramienta “Design App” una pantalla de control de la planta descrita en el apartado 5. En esta, se podría conectar con el programa RobotStudio con tal de monitorizar el estado de la estación, así como poder poner en marcha la estación. No ha sido posible esta comunicación puesto que ABB finalizará el software para hacer esta conexión, con el controlador seleccionado, de cara al 3 de diciembre de 2020. El aspecto de este SCADA se presenta en la Ilustración 100.



Ilustración 100. SCADA de la línea de fabricación de drones. Fuente: elaboración propia.

Se pueden diferenciar 3 partes. La primera, “Conexiones”, permite escanear una IP (Internet Protocol) o protocolo de internet para conectarse y desconectarse al programa de ABB, RobotStudio. Cuando está conectado, el parámetro “Estado del servidor” pasa a “Conectar” y el círculo que actúa de lámpara pasa a verde. Cuando se desconecta vuelve a como se ve en la Ilustración 100.

Dentro de esta zona, hay dos botones que permiten iniciar la lectura de las variables y pararla. El círculo de al lado se pone en verde tras darle a “Escanear variables” y en rojo con “Parar escaneo”.

A la derecha, está el “Panel de control”. Se puede comprobar si la simulación está en marcha a la espera de darle al botón para que se inicie, si se encuentra fabricando o si ha acabado el proceso. Esto lo indica con las 3 lámparas al lado de las 3 correspondientes palabras, las cuales estarán en blanco si no se cumple su correspondiente requisito o en verde en caso contrario. El botón “Marcha” es el que permite inicio de la fabricación.

Por último, en la parte inferior se puede ver el estado de la línea en la parte llamada “Estado célula”. Esta parte sirve para el monitoreo de las señales de la estación permitiendo saber en qué punto de esta se encuentra el AGV. Hay dos filas de elementos controlados. La primera es la de los transportes y la segunda la de las estaciones. De esta forma, si solo circula un AGV, como es el caso de la simulación, solamente estará encendida una luz, lo que permitirá tenerlo localizado. Es útil para comprobar si todo

funciona correctamente puesto que, si una luz estuviese encendida más del tiempo normal de fabricación del normal, se sabría que hay algún fallo.

9 Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha explicado el concepto de fabricación flexible, de AGV, se ha planteado una planta de fabricación de drones donde poder aplicar estas ideas de producción automatizada, se han diseñado en Inventor las piezas para construir todas las variantes planteadas de dron y se ha simulado en RobotStudio, gracias al cual se ha podido hacer un estudio de tiempos en el programa ARENA. Por último, se ha elaborado un SCADA de la célula en Matlab.

Partiendo de la idea de satisfacer las crecientes necesidades del cliente final, el cual desea tener productos hechos a medida, y manteniendo unos precios de fabricación competitivos, se ha elaborado una planta con estaciones modulares, que emplea el método de fabricación flexible y cuyo sistema de transporte entre estaciones son vehículos automáticamente guiados. Esta planta, concretamente de drones, ha sido diseñada de tal forma que se aproveche el espacio para poder generar diferentes rutas para los drones, bien para evitar obstáculos, bien para cambios en el orden de fabricación o duplicaciones de estaciones, sacando el máximo rendimiento a la distribución y a la capacidad de producción. Para ello, se ha tenido que determinar el orden de las estaciones, el espacio de paso, elegir los robots, los AGVs, el sistema de transporte y el orden de operaciones de cada robot.

Además, se han diseñado una serie de piezas, maquinarias, soportes y dispensadores para poder hacer todo este proceso productivo. Estas piezas, se han creado para optimizar la maquinaria necesaria, con lo que es posible fabricar las diferentes versiones, entre las que dispone el cliente para elegir, sin tener un conjunto de herramientas específico para cada modelo.

Todo esto, se ha simulado en un programa comercial como es RobotStudio de la compañía ABB, con vistas a poder hacer la implantación de esta célula en una fábrica real. Se ha empleado el último controlador de ABB, el OmniCore, para el control de la gama de robots IRB 1100, sacándole partido para realizar las operaciones de fabricación necesarias. De esta forma, se ha comprobado la capacidad de interacción entre las estaciones diseñadas y los AGVs cargados con las mesas. A raíz de la simulación, se han analizado diferentes posibilidades que presenta la combinación de la fabricación flexible y los AGVs, siendo muy interesante por la rapidez de reorganización de las rutas.

Al haber podido simular el proceso, se tiene una estimación del tiempo de procesado de esta planta, con lo que se puede analizar la capacidad productiva y, viendo los cuellos de botella, las posibles mejoras de producción, las cuales pueden ser más fácilmente logradas gracias a la simplicidad con la que se adaptan los AGVs. Con estos estudios de tiempo, se puede ir incrementando la producción invirtiendo en aquellos elementos que sean más restrictivos, como en el caso presentado, la estación 3.

Por último, es necesario que todo este sistema productivo este correctamente controlado y supervisado por un SCADA. De esta forma, se garantiza que, si el proceso falla, se pueda tomar medidas. Este control, al estar centralizado, se puede realizar desde un punto de la fábrica común para todas las líneas de producción, lo que permite que un solo grupo de trabajadores lleven la supervisión completa del proceso productivo.

10 Bibliografía

- Robótica industrial [Temas 1 al 5]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia.
- Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012). Capítulo 4. Extrusión. Tecnología de polímeros (pp. 99-150). Alicante, España: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Fabricación asistida por ordenador [Tema 09: Sistemas de Fabricación]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao, Universidad el País Vasco.
- La teoría sobre fabricación flexible se ha obtenido de la web Manufacturing Terms ([https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Flexible-Manufacturing-System-\(FMS\).html](https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Flexible-Manufacturing-System-(FMS).html))
- La teoría sobre fabricación flexible se ha obtenido de la web Guías Jurídicas (https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4sIAAAAAAEA MtMSbF1jTAAASMzcyMDtbLUouLM_DxblwMDS0MjAyOQQGZapUt-ckhIQaptWmJOcSoAXADvPDUAAAA=WKE)
- Información sobre AGVs recogida de la página de la compañía Kivnon (<https://www.kivnon.com/>)

PRESUPUESTO

De cara a cuantificar el impacto económico que supondría la implantación de la línea de producción descrita en el apartado 5, hay que valorar económicamente los robots, las herramientas que emplean, los AGVs y el resto de los elementos mostrados. Cabe destacar que encontrar información detallada de los robots empleados no ha sido posible, ya que las empresas tienden a no dar los precios de estos. Según las búsquedas realizadas, un robot con toda el equipamiento y el software necesarios para funcionar tiene un coste de entre 100.000 y 150.000\$, lo que en euros serían entre 83.500 y 125.000€. Estos robots serán proporcionados por la compañía ABB o sus empresas comercializadoras.

Por la parte de los AGVs, los precios son diversos pudiendo oscilar desde los 10.000 a los 40.000€. Como los vehículos elegidos son de pequeña capacidad, se puede considerar que un precio entorno a los 20.000€ será considerablemente ajustado a la realidad. Se encargará del suministro e implantación de estos robots, la empresa Kivnon.

En el caso de las máquinas extrusoras, el precio de uno de estos dispositivos de pequeño tamaño y de segunda mano ronda los 10.000 a 20.000€. De normal, uno de estos mecanismos nuevo, suele tener el doble del coste respecto al que se encuentra de segunda mano, es decir, unos 20.000 a 40.000€.

El resto de los elementos a valorar son cableado, carritos de material, dispensadores y todo el trabajo de implantación, así como pruebas de funcionamiento por parte de la empresa instaladora. Por tanto, se elaborará un presupuesto tomando unos precios comprendidos entre estas horquillas de precios e incrementándoles en un 20% el coste final en concepto de pequeño material y trabajo de implantación.

Tabla 4. Presupuesto

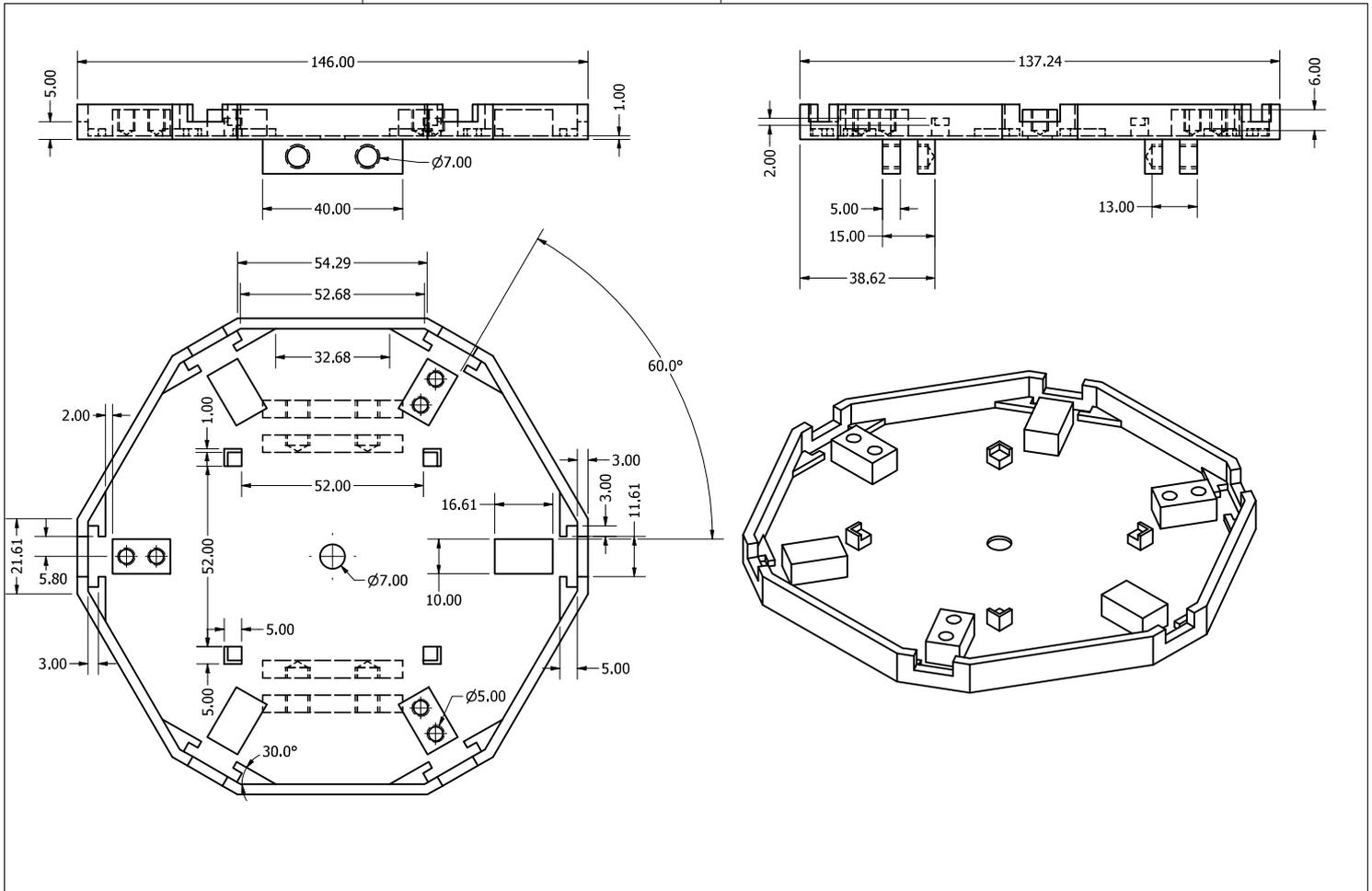
Código	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
ABB.1	Robot IRB 1100 + software + complementos	8	110.000 €	880.000 €
ABB.2	Implantación (20% sobre el coste de los robots)			176.000 €
KV.1	AGV tipo mouse k05 twister	4	20.000,00 €	80.000 €
KV.2	Implantación (20% sobre el coste de los robots)			16.000 €
M.1	Máquina extrusora	2	40.000,00 €	80.000 €

Total	1.232.000 €
-------	-------------

ANEXOS

Anexo 1. Planos de piezas

- Plano 1. Carcasa inferior modelo 3 hélices con cámara
- Plano 2. Carcasa superior modelo de 3 y 6 hélices
- Plano 3. Carcasa inferior modelo 4 y 8 hélices con cámara
- Plano 4. Carcasa superior modelo de 4 y 8 hélices
- Plano 5. Varilla con motor
- Plano 6. Tren de aterrizaje
- Plano 7. Estructura sujeción de la cámara



TRABAJO FIN DE MASTER DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ESPECIALIDAD EN ROBOTICA


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE ROBOTIZADO EMPLEANDO AGVS COMO MESA DE TRABAJO MOVIL. APLICACIÓN A LA PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA DE DRONES

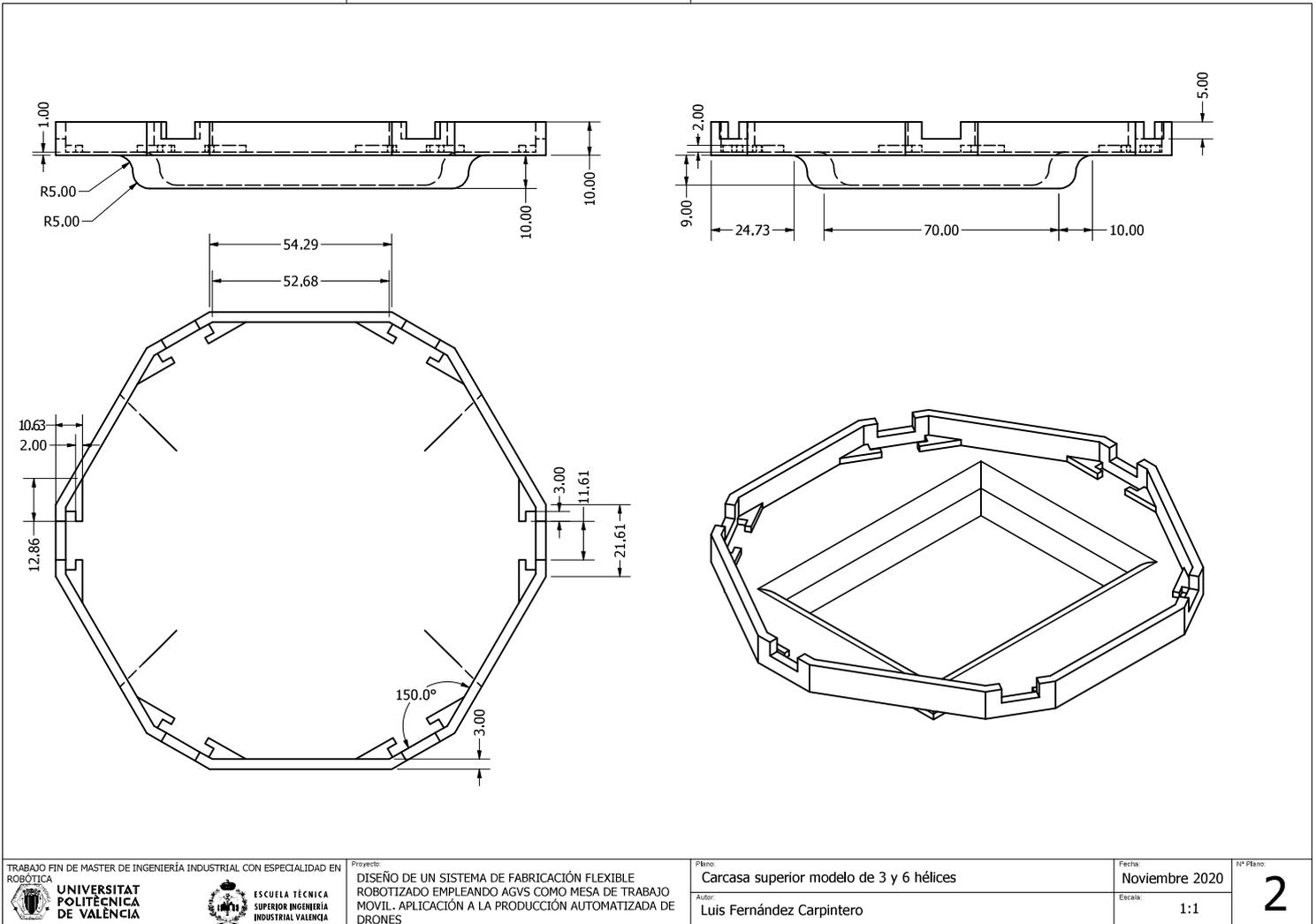
Plano: Carcasa inferior modelo 3 hélices con cámara

Autor: Luis Fernández Carpintero

Fecha: Noviembre 2020

Escala: 1:1

Nº Plano: **1**



TRABAJO FIN DE MASTER DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ESPECIALIDAD EN ROBOTICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE ROBOTIZADO EMPLEANDO AGVS COMO MESA DE TRABAJO MOVIL. APLICACIÓN A LA PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA DE DRONES

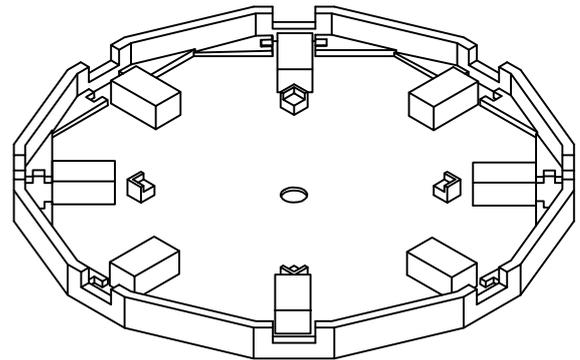
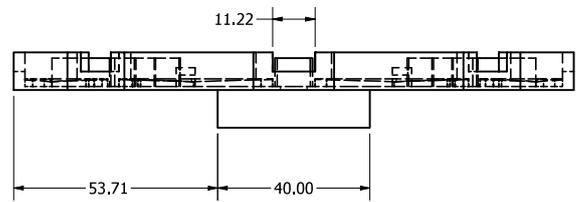
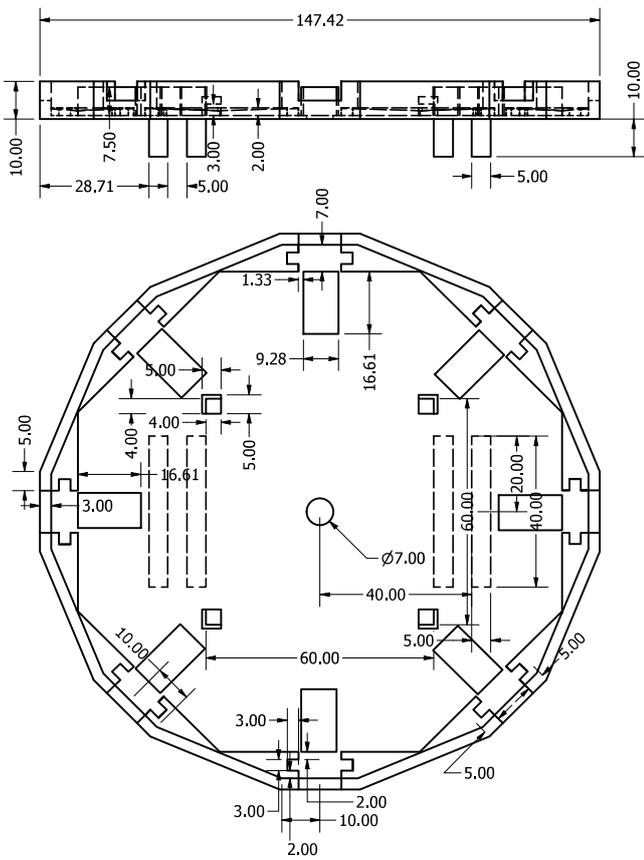
Plano: Carcasa superior modelo de 3 y 6 hélices

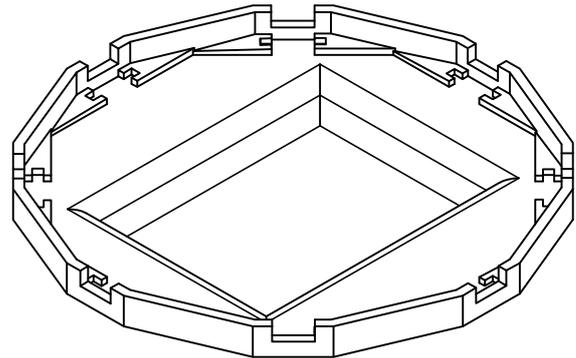
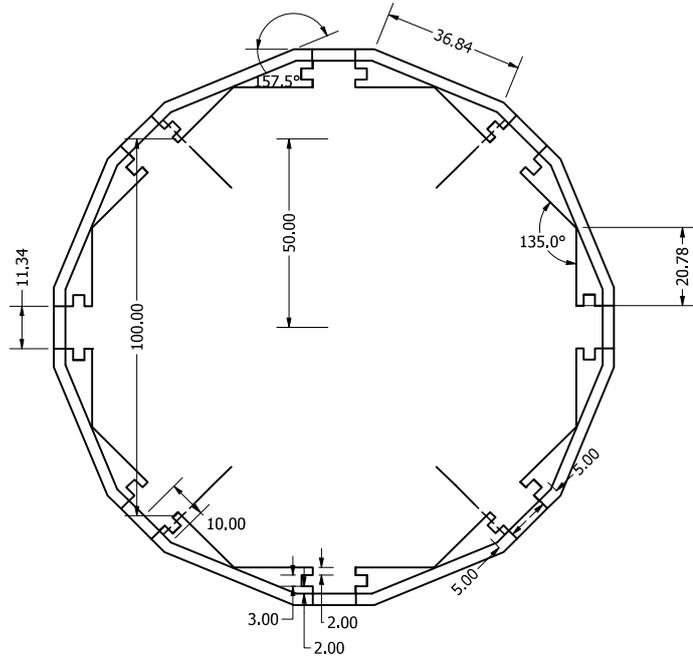
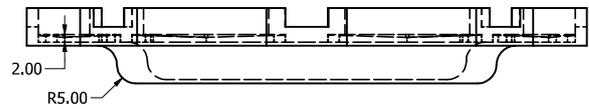
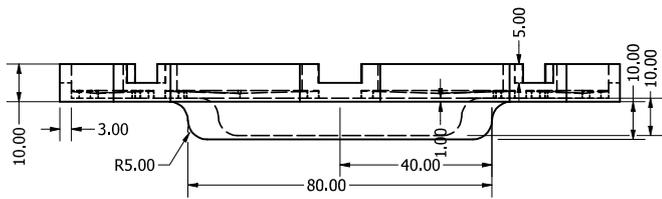
Autor: Luis Fernández Carpintero

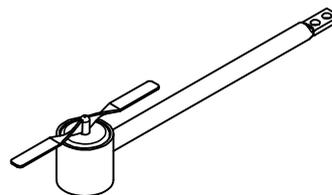
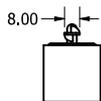
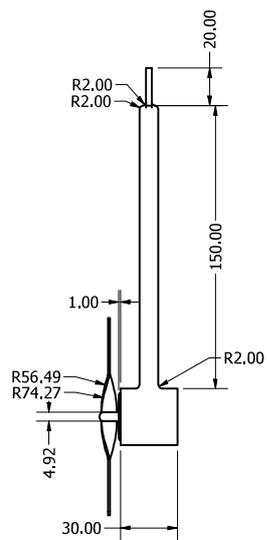
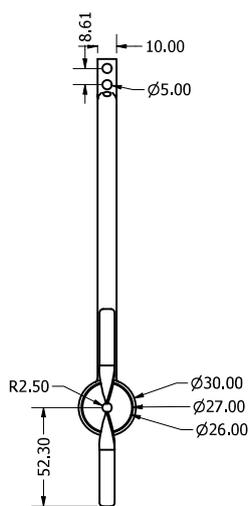
Fecha: Noviembre 2020

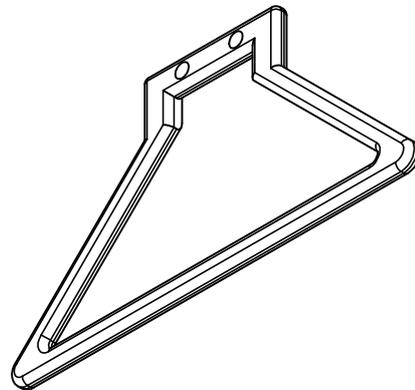
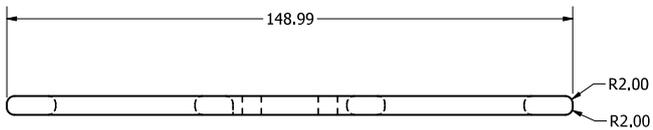
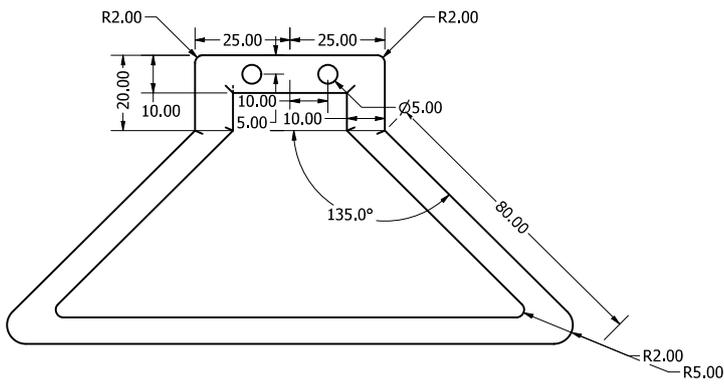
Escala: 1:1

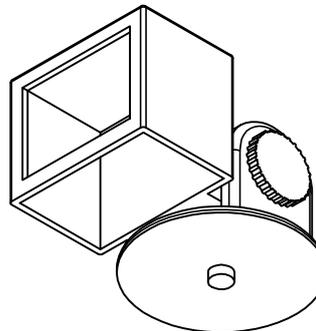
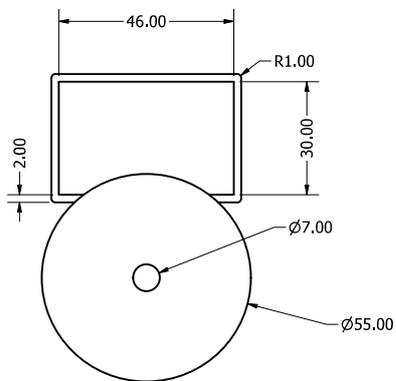
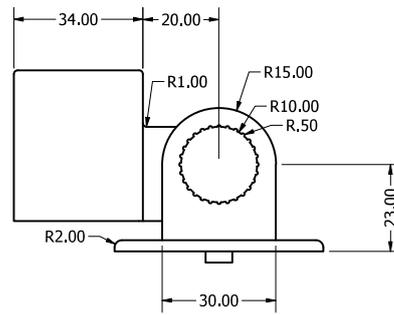
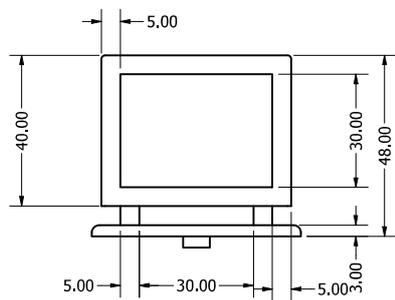
Nº Plano: 2











Anexo 2. Especificaciones de los robots

- Anexo 2.1. Especificaciones del AGV KIVNON K05 Twister



AGV KIVNON K05 Twister

Small-sized automated guided vehicle with rotational capacity. Designed to carry trolleys or to carry load on top. Optional is the addition of active systems such as a lift platform or a roller conveyor. Besides this, a fixed structure can be mounted on top to convert the AGV in a workplace on the assembly line.

- AGV with 360° rotation capacity on its own axis
- Load on top capacity up to 400kg.
- Drag capacity up to 700N (approximately 1.000kg on wheeled trolley).

- Anexo 2.2. Especificaciones de los robots de ABB modelo IRB 1100

IRB 1100

The most compact and fast robot ever



Further expanding ABB's small robot portfolio, IRB 1100 provides 35% increased productivity and up to 10% space savings.

Class-leading performance for high-quality manufacturing

Aimed at increasing manufacturing productivity, IRB 1100 provides up to 35% faster cycle times and best-in-class repeatability for high quality manufacturing. IRB 1100 consistently outperforms similar robots in terms of payload and position repeatability (RP) even when under space constraints. Indeed, IRB 1100 offers the highest payload for a robot of its class.

Compact and small footprint design ensures flexible installation

Compared to the previous generation, the IRB 1100 robot design was optimized with a 10% smaller footprint and over 20% weight reduction for space-efficient installation in diverse environments, such as electronics manufacturing factories.

The small footprint allows multiple robots to be deployed simultaneously in order to collaboratively perform automation operations, enabling more flexible handling for heavy-load operations with complex tools/end effectors.

Powered by ABB's new OmniCore™ controller, IRB 1100 is equipped with advanced motion control capabilities, making it ideal for supporting rapid assembly, pick-and-place, and material handling applications.

Rugged yet compact IP67 rated

The IRB 1100 has IP40 as standard protection and IP67 as option. The entire robot is designed to be IP67 compliant according to IEC 60529 - from base to wrist, which means that the electrical compartments are sealed against water and solid contaminants.

Cleanroom ISO 4

IRB 1100 Cleanroom version provides lower production costs to industries requiring minimal environmental pollutants.

Key benefits

- Offers 35% faster cycle times for increased productivity
- 10% smaller footprint and over 20% weight reduction for easy installation
- The highest payload for a robot of its class
- Equipped with up to 16 I/O connections (C1+C2) for more sophisticated/ complex applications

Main applications

- Assembly & Testing
- Loading & Unloading
- Screw driving
- Rubber insertion
- Polishing, grinding, buffing, deburring and sanding

Specification

Robot version	Reach (m)	Payload (kg)	Armload (kg)
IRB 1100-4/0.475	0.475	4	0.5
IRB 1100-4/0.58	0.58	4	0.5
Number of axes	6		
Protection	Standard IP40. Option IP67.		
Cleanroom	Option ISO 4		
Mounting	Any angle		
Controller	OmniCore C30/C90XT		
Integrated signal and power supply	Up to 16 Signals (C1+C2) on wrist (optional)		
Integrated air supply	4 air on wrist (Max. 6 Bar) (optional)		
Integrated ethernet	One 1000 Base-T ethernet port (optional)		

Performance (according to ISO 9283)

1 kg picking cycle	
25 x 300 x 25 mm	0.42 s

Performance (according to ISO 9283)

	IRB 1100 -4/0.475	IRB 1100 -4/0.58
Pose repeatability, RP	0.01 mm	0.01 mm
Pose stabilization time, PSt (s) within 0.1 mm of the position	0.08	0.19
Path repeatability, RT	0.05 mm	0.05 mm

Technical information

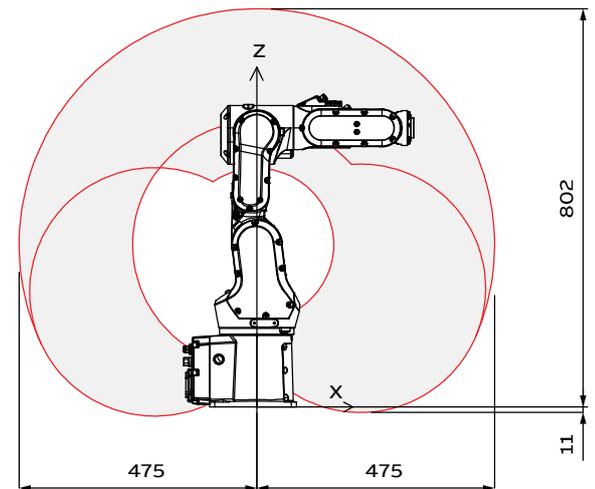
Physical	
Dimensions robot type	160 x 172 mm
Weight IRB 1100-4/0.475	21 kg
Weight IRB 1100-4/0.58	21 kg

Data and dimensions may be changed without notice.

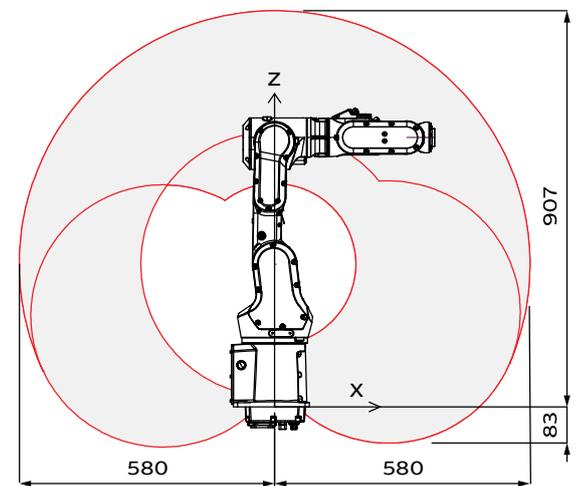
Movement

Axis movement	Working range	Axis max. speed IRB 1100-4/0.475	Axis max. speed IRB 1100-4/0.58
Axis 1 rotation	+230° to -230°	460°/s	460°/s
Axis 2 arm	+113° to -115°	380°/s	360°/s
Axis 3 arm	+55° to -205°	280°/s	280°/s
Axis 4 wrist	+230° to -230°	560°/s	560°/s
Axis 5 bend	+120° to -125°	420°/s	420°/s
Axis 6 turn	+400° to -400°	750°/s	750°/s

Working range, IRB 1100-4/0.475



Working range, IRB 1100-4/0.58



OmniCore™ Controller, FlexPendant & IRB 1100



Anexo 3. Estudios de tiempo de la célula

- Anexo 3.1. Célula robotizada con AGVs
- Anexo 3.2. Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada
- Anexo 3.3. Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada y AGV adicional

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs

Replications: 10

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

48

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	25.8100	0,15	25.4998	26.1023	22.0750	33.9084
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	132.58	2,12	128.93	137.11	0.00	268.32
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	158.39	2,10	154.45	162.97	22.2373	294.97

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	122.00	0,00	122.00	122.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	47.8000	0,66	47.0000	49.0000		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	38.1024	0,26	37.3668	38.4974	0.00	75.0000

Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2	2.3772	0,03	2.2956	2.4278	1.8167	3.7667
Estación 3	9.5684	0,12	9.2771	9.7958	7.0000	15.5333
Estación 4	3.8485	0,00	3.8463	3.8500	3.6667	4.0333
Estación 5	6.3333	0,00	6.3333	6.3333	6.3333	6.3333
Robot estación 1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Transporte 1_2	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 2_3	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 3_4	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 4_5	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2	0.04995770	0,01	0.03679245	0.06405229	0.00	2.4000
Estación 3	12.2642	0,31	11.5549	12.7127	0.00	26.0067
Estación 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estación 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Robot estación 1	0.03869347	0,00	0.03773585	0.03921569	0.00	1.0000
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2	2.4271	0,03	2.3384	2.4784	1.8167	4.6333
Estación 3	21.8325	0,42	20.8320	22.4175	7.0000	37.8734
Estación 4	3.8485	0,00	3.8463	3.8500	3.6667	4.0333
Estación 5	6.3333	0,00	6.3333	6.3333	6.3333	6.3333
Robot estación 1	1.0387	0,00	1.0377	1.0392	1.0000	2.0000
Transporte 1_2	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 2_3	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 3_4	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 4_5	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667

Accumulated Time

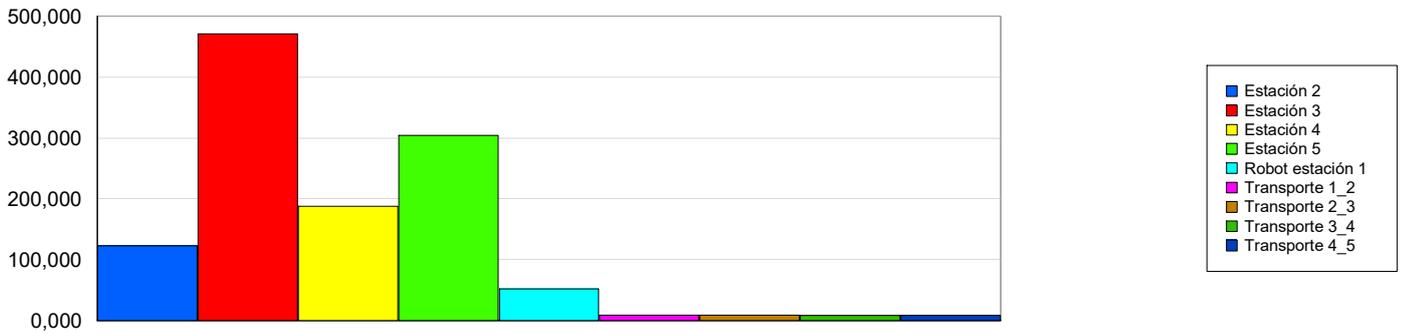
Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

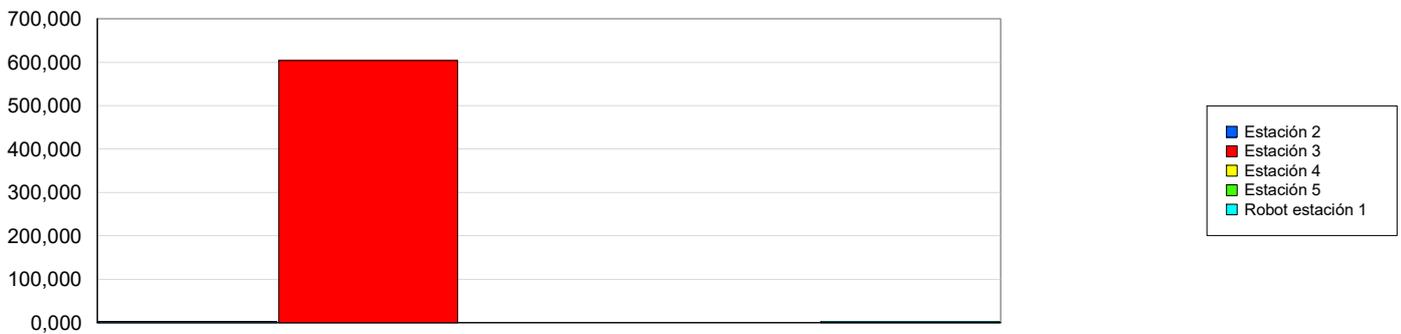
Process

Accumulated Time

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Estación 2	122.63	0,74	121.15	124.42
Estación 3	471.59	2,63	462.87	475.53
Estación 4	187.81	2,16	184.80	192.50
Estación 5	304.63	4,51	297.67	316.67
Robot estación 1	51.7000	0,59	51.0000	53.0000
Transporte 1_2	8.6000	0,10	8.5000	8.8333
Transporte 2_3	8.6000	0,10	8.5000	8.8333
Transporte 3_4	8.2167	0,11	8.0000	8.5000
Transporte 4_5	8.1333	0,09	8.0000	8.3333



Accum Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Estación 2	2.5767	0,37	1.9500	3.2667
Estación 3	604.32	9,51	588.36	622.92
Estación 4	0.00	0,00	0.00	0.00
Estación 5	0.00	0,00	0.00	0.00
Robot estación 1	2.0000	0,00	2.0000	2.0000



Other

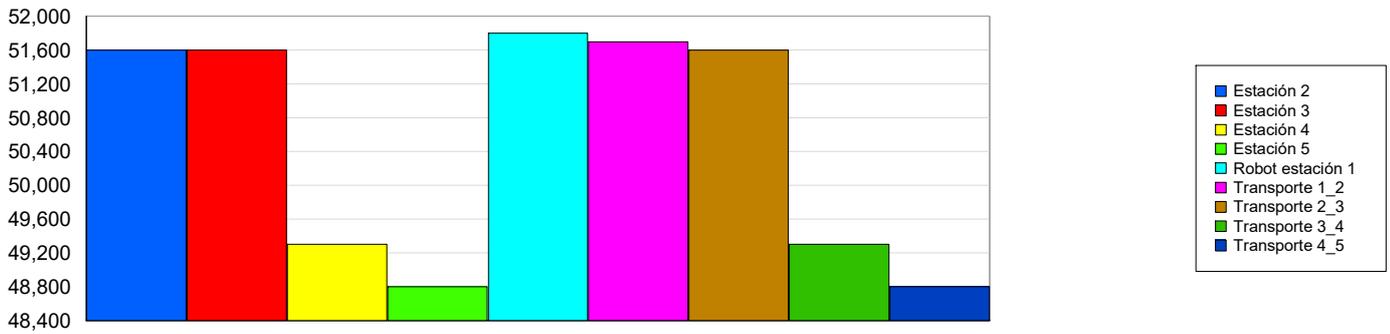
Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Process

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Estación 2	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Estación 3	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Estación 4	49.3000	0,68	48.0000	51.0000
Estación 5	48.8000	0,56	48.0000	50.0000
Robot estación 1	51.8000	0,66	51.0000	53.0000
Transporte 1_2	51.7000	0,59	51.0000	53.0000
Transporte 2_3	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Transporte 3_4	49.3000	0,68	48.0000	51.0000
Transporte 4_5	48.8000	0,56	48.0000	50.0000



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Estación 2	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Estación 3	49.3000	0,68	48.0000	51.0000
Estación 4	48.8000	0,56	48.0000	50.0000
Estación 5	48.1000	0,71	47.0000	50.0000
Robot estación 1	51.7000	0,59	51.0000	53.0000
Transporte 1_2	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Transporte 2_3	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Transporte 3_4	49.3000	0,68	48.0000	51.0000
Transporte 4_5	48.8000	0,56	48.0000	50.0000

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2.Queue	0.04995770	0,01	0.03679245	0.06405229	0.00	2.4000
Estación 3.Queue	12.2396	0,33	11.4776	12.7872	0.00	26.0067
Estación 4.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estación 5.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ocupar AGV.Queue	131.39	1,97	128.00	135.67	0.00	278.97
Robot estación 1.Queue	0.03862091	0,00	0.03773585	0.03921569	0.00	1.0000

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2.Queue	0.00536806	0,00	0.00406250	0.00680556	0.00	1.0000
Estación 3.Queue	1.2992	0,02	1.2525	1.3287	0.00	3.0000
Estación 4.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estación 5.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ocupar AGV.Queue	34.1358	0,26	33.4002	34.5307	0.00	71.0000
Robot estación 1.Queue	0.00416667	0,00	0.00416667	0.00416667	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
AGV 1	0.9917	0,00	0.9917	0.9917	0.00	1.0000
Estacion1	0.1078	0,00	0.1063	0.1104	0.00	1.0000
Estacion2	0.2555	0,00	0.2524	0.2592	0.00	1.0000
Estacion3	0.9929	0,00	0.9915	0.9934	0.00	1.0000
Estacion4	0.3936	0,01	0.3850	0.4084	0.00	1.0000
Estacion5	0.6390	0,01	0.6241	0.6597	0.00	1.0000

Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
AGV 1	3.9667	0,00	3.9667	3.9667	0.00	4.0000
Estacion1	0.1078	0,00	0.1063	0.1104	0.00	1.0000
Estacion2	0.2555	0,00	0.2524	0.2592	0.00	1.0000
Estacion3	0.9929	0,00	0.9915	0.9934	0.00	1.0000
Estacion4	0.3936	0,01	0.3850	0.4084	0.00	1.0000
Estacion5	0.6390	0,01	0.6241	0.6597	0.00	1.0000

Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
AGV 1	4.0000	0,00	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Estacion1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Estacion2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Estacion3	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Estacion4	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Estacion5	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Values Across All Replications

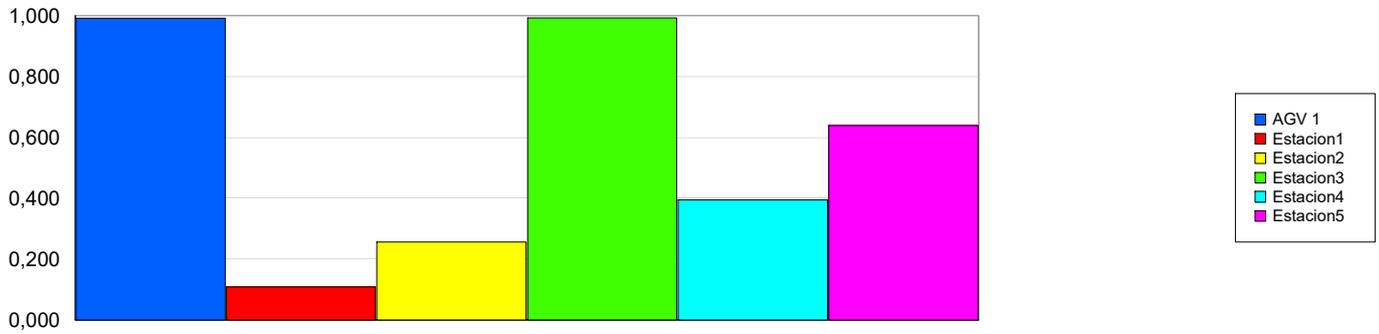
Célula robotizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

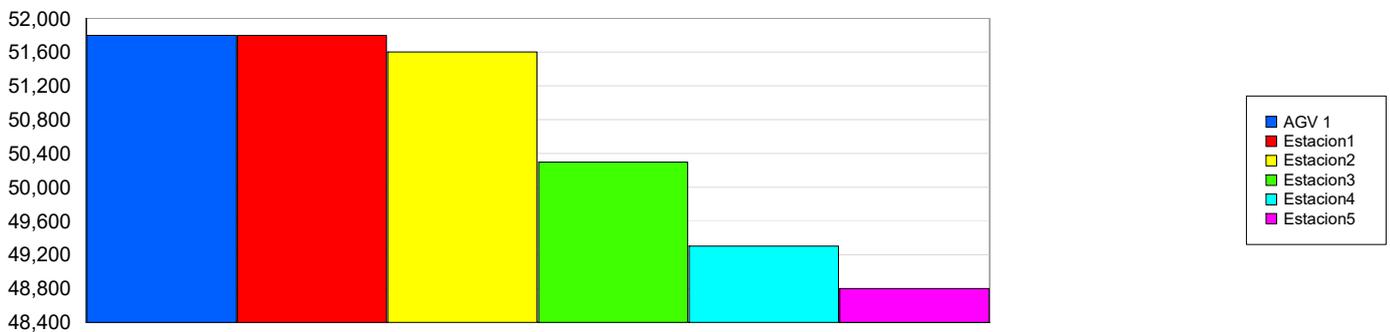
Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AGV 1	0.9917	0,00	0.9917	0.9917
Estacion1	0.1078	0,00	0.1063	0.1104
Estacion2	0.2555	0,00	0.2524	0.2592
Estacion3	0.9929	0,00	0.9915	0.9934
Estacion4	0.3936	0,01	0.3850	0.4084
Estacion5	0.6390	0,01	0.6241	0.6597



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AGV 1	51.8000	0,66	51.0000	53.0000
Estacion1	51.8000	0,66	51.0000	53.0000
Estacion2	51.6000	0,60	51.0000	53.0000
Estacion3	50.3000	0,68	49.0000	52.0000
Estacion4	49.3000	0,68	48.0000	51.0000
Estacion5	48.8000	0,56	48.0000	50.0000



Values Across All Replications

Célula robótizada con AGVs

Replications: 10 Time Units: Minutes

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada

Replications: 10

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

66

Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada

Replications: 10 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2	2.3968	0,05	2.3117	2.5274	1.8167	3.7667
Estación 3	9.6320	0,20	9.2329	10.1887	7.0000	15.5333
Estación 4	3.8492	0,00	3.8446	3.8527	3.6667	4.0333
Estación 5	6.3333	0,00	6.3333	6.3333	6.3333	6.3333
Robot estación 1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Transporte 1_2	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 2_3	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 3_4	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 4_5	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2	0.03712585	0,01	0.02785714	0.04800995	0.00	2.4000
Estación 3	0.1680	0,05	0.08863595	0.2839	0.00	7.9000
Estación 4	0.3546	0,07	0.2028	0.5424	0.00	3.6660
Estación 5	1.5727	0,12	1.3632	1.8604	0.00	7.3918
Robot estación 1	0.02870169	0,00	0.02816901	0.02985075	0.00	1.0000

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2	2.4339	0,05	2.3526	2.5754	1.8167	4.6333
Estación 3	9.8000	0,22	9.3274	10.4726	7.0000	18.4327
Estación 4	4.2038	0,07	4.0474	4.3924	3.6667	7.6993
Estación 5	7.9060	0,12	7.6965	8.1938	6.3333	13.7252
Robot estación 1	1.0287	0,00	1.0282	1.0299	1.0000	2.0000
Transporte 1_2	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 2_3	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 3_4	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
Transporte 4_5	0.1667	0,00	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667

Accumulated Time

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2.Queue	0.03698814	0,01	0.02785714	0.04800995	0.00	2.4000
Estación 3.Queue	0.1644	0,05	0.08735137	0.2754	0.00	7.9000
Estación 4.Queue	0.3527	0,07	0.1999	0.5343	0.00	3.6660
Estación 5.Queue	1.5819	0,13	1.3525	1.9100	0.00	7.3918
Ocupar AGV.Queue	100.54	1,95	97.3206	105.35	0.00	210.85
Robot estación 1.Queue	0.02862004	0,00	0.02816901	0.02985075	0.00	1.0000

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estación 2.Queue	0.00536806	0,00	0.00406250	0.00680556	0.00	1.0000
Estación 3.Queue	0.02365063	0,01	0.01255676	0.03849094	0.00	2.0000
Estación 4.Queue	0.04973073	0,01	0.02873444	0.07458293	0.00	1.0000
Estación 5.Queue	0.2219	0,02	0.1888	0.2626	0.00	2.0000
Ocupar AGV.Queue	25.5216	0,41	24.9540	26.8553	0.00	55.0000
Robot estación 1.Queue	0.00416667	0,00	0.00416667	0.00416667	0.00	1.0000

Values Across All Replications

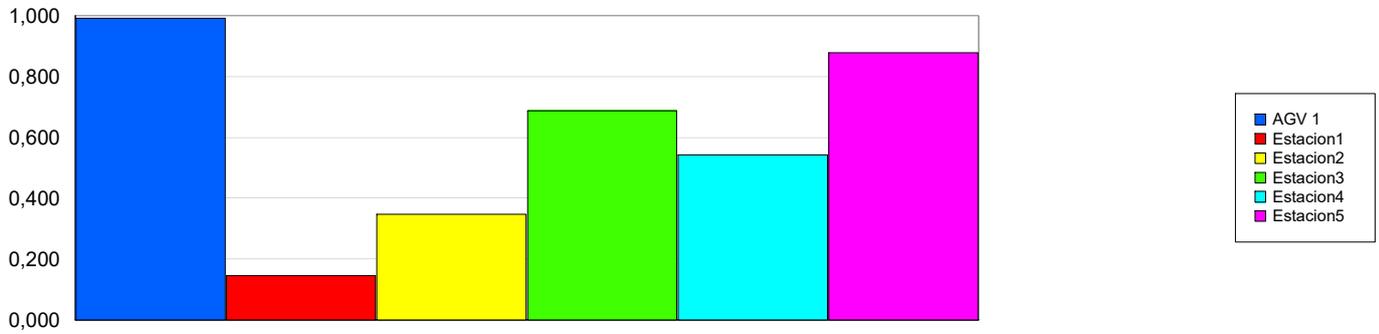
Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada

Replications: 10 Time Units: Minutes

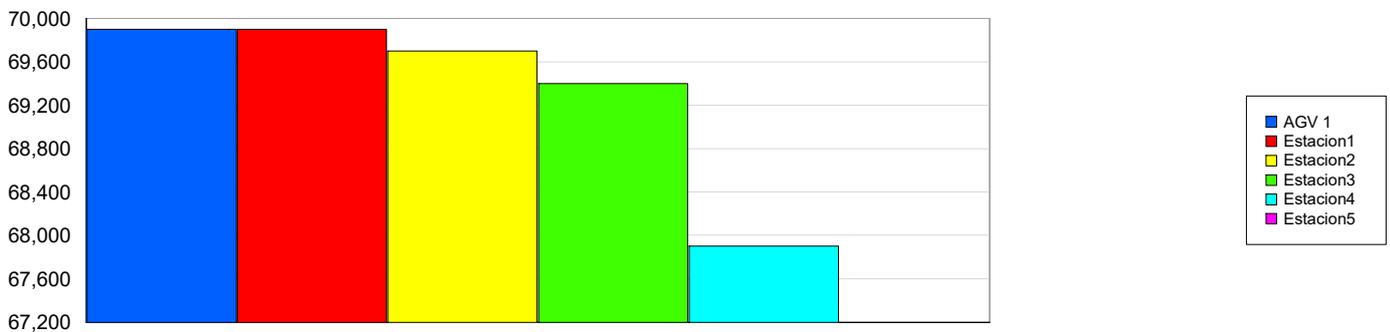
Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AGV 1	0.9917	0,00	0.9917	0.9917
Estacion1	0.1456	0,00	0.1396	0.1479
Estacion2	0.3471	0,01	0.3352	0.3596
Estacion3	0.6882	0,01	0.6709	0.7107
Estacion4	0.5433	0,01	0.5210	0.5531
Estacion5	0.8791	0,01	0.8464	0.8994



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AGV 1	69.9000	0,86	67.0000	71.0000
Estacion1	69.9000	0,86	67.0000	71.0000
Estacion2	69.7000	0,83	67.0000	71.0000
Estacion3	69.4000	0,90	67.0000	71.0000
Estacion4	67.9000	0,86	65.0000	69.0000
Estacion5	67.2000	0,81	65.0000	69.0000



Values Across All Replications

Célula robótizada con AGVs estación 3 duplicada

Replications: 10 Time Units: Minutes

Values Across All Replications

Célula robotizada con AGVs estación 3 duplicada con AGV adicional

Replications: 10

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

72