



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

TRANSPORTE INTELIGENTE Y AUTÓNOMO EN
INDUSTRIA 4.0

INTELLIGENT AND AUTONOMOUS TRANSPORT
IN INDUSTRY 4.0

Autor

Diego Marín Díez

Director

Luis Mariano Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Noviembre 2022



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**TRANSPORTE INTELIGENTE Y AUTÓNOMO EN
INDUSTRIA 4.0**

**INTELLIGENT AND AUTONOMOUS TRANSPORT
IN INDUSTRY 4.0**

425.22.88

Autor: Diego Marín Díez

Director: Luis Mariano Esteban Escaño

Fecha: Noviembre 2022

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. DESARROLLO	25
5. RESULTADOS	45
6. CONCLUSIONES	52
7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	54
8. BIBLIOGRAFÍA	55

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
2.1. KEY WORDS	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1. INDUSTRIA 4.0	3
3.1.1. Ciclo de datos e información	4
3.1.2. Pilares tecnológicos de la industria 4.0	5
3.1.3. Ejemplos de digitalización en procesos industriales.	8
3.1.4. Ventajas e inconvenientes de la industria 4.0	9
3.1.4.1. Ventajas	9
3.1.4.2. Inconvenientes	10
3.2. TRANSPORTE INTELIGENTE Y AUTÓNOMO EN INDUSTRIA.	11
3.2.1. Historia de los vehículos de transporte sin conductor	12
3.2.2. Tipos de vehículos	13
3.2.2.1. AGV (Automated Guided Vehicle)	13
3.2.2.1.1. Tipos de guiado de los AGV	14
3.2.2.2. AMR (Autonomous Mobile Robot)	15

3.2.3. Comparación	15
3.2.3.1. Rutas fijas vs navegación inteligente	16
3.2.3.2. Pocas aplicaciones vs alta flexibilidad	17
3.2.3.3. Adecuado para modelos tradicionales vs modelos ágiles	18
3.2.3.4. Costes	19
3.2.4. Beneficios de los AGVs y AMRs	19
3.2.5. Sistemas de seguridad	20
3.3. SIMULACIÓN	21
3.3.1. Aplicaciones de la simulación en procesos industriales	22
3.3.2. Beneficios de la simulación	23
4. DESARROLLO	25
4.1. ARENA SIMULATION SOFTWARE	25
4.1.1. Módulos de arena	26
4.2. DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN	30
4.2.1. Etapas de proceso	31
4.3. MONTAJE DE LA SIMULACIÓN	34
5. RESULTADOS	45
5.1. PRUEBA DE SIMULACIÓN CON UN ROBOT	45
5.2. PRUEBA DE SIMULACIÓN CON DOS ROBOTS	46
5.3. SIMULACIÓN CON TRACTOR DE ARRASTRE	48
5.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	49
5.4.1. Comparación pruebas con robots	49
5.4.2. Comparación pruebas con robots	50
6. CONCLUSIONES	52
7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	54
8. BIBLIOGRAFÍA	55

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Evolución hasta Industria 4.0.....	4
Ilustración 2. Ciclo physical-to-digital-to-physical	5
Ilustración 3. Pilares Industria 4.0	7
Ilustración 4. Robots de servicio para uso profesional por aplicación.	12

Ilustración 5. Primer vehículo autónomo por Barrett Electronics Corporation	12
Ilustración 6. AGV de Hermes Logistics.....	14
Ilustración 7. AMR de SEAT.....	15
Ilustración 8. AGV vs AMR.	17
Ilustración 9. Robots de AMAZON.	18
Ilustración 10. Sistema de detección de personas u objetos.	21
Ilustración 11. Modelo de simulación en Siemens.....	22
Ilustración 12. Logo Arena Software.....	25
Ilustración 13. Módulos avanzados en Arena.	26
Ilustración 14. Módulos básicos Arena.	26
Ilustración 15. Tractor de arrastre Toyota Material Handling.....	31
Ilustración 16. Descripción de proceso a simular.....	33
Ilustración 17. Simulación completa.	34
Ilustración 18. Datos entrada módulos entrada de pedidos para líneas.	35
Ilustración 19. Entrada de pedidos para líneas.....	35
Ilustración 20. Asignación tiempo de fabricación.	35
Ilustración 21. Assign Tfabricación.	35
Ilustración 22. Datos entrada assign pedidos para línea 1.	36
Ilustración 23. Datos entrada assign pedidos para línea 2.	36
Ilustración 24. Datos entrada assign pedidos para línea 3.	36
Ilustración 25. Tiempo de fabricación.	37
Ilustración 26. Datos entrada tiempo de fabricación.	37
Ilustración 27. Proceso toma de pedido.	37
Ilustración 28. Datos entrada toma de pedido.	37
Ilustración 29. Toma en máquina de pedidos.	38
Ilustración 30. Datos de entrada en toma en máquina de pedidos.....	38
Ilustración 31. Liberar operario.	39
Ilustración 32. Datos entrada liberar operario.....	39

Ilustración 33. Selección línea de destino.....	39
Ilustración 34. Datos entrada selección de línea de destino.	39
Ilustración 35. Entity type.	39
Ilustración 36. Recursos utilizados.	40
Ilustración 37. Transporte a ubicación en líneas.....	40
Ilustración 38. Datos de entrada a transporte a ubicación en líneas.	40
Ilustración 39. Liberar carro.....	41
Ilustración 40. Datos de entrada liberar carro.	41
Ilustración 41. Recurso robot.	42
Ilustración 42. Fase de retorno desde línea de ensamblaje 1.	42
Ilustración 43. Fase de retorno desde línea de ensamblaje 2.	43
Ilustración 44. Fase de retorno desde línea de ensamblaje 3.	43
Ilustración 45. Módulos de salida.	44
Ilustración 46. Parámetros de la replicación.	45
Ilustración 47. Datos recopilados.	45
Ilustración 48. Datos simulación con tractor arrastre.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Digitalización en Procesos Industriales	9
Tabla 2. Módulos de Arena.....	30
Tabla 3. Carros en cola prueba.	46
Tabla 4. Tiempo medio en cola.	46
Tabla 5. Porcentaje de llegadas a destino.	46
Tabla 6. Utilización robot.	46
Tabla 7. Carros en cola prueba dos.	47
Tabla 8. Tiempo medio en cola prueba dos.	47
Tabla 9. Tiempo total del proceso prueba dos.....	47

Tabla 10. porcentaje de llegadas a destino prueba dos.	47
Tabla 11. Utilización robots prueba dos.	47
Tabla 12. Tiempo en cola con tractor de arrastre.	48
Tabla 13. Tiempo medio en cola con tractor de arrastre.	48
Tabla 14. Tiempo total del proceso con tractor de arrastre.	48
Tabla 15. Porcentaje de llegadas a destino con tractor de arrastre.	49
Tabla 16. Utilización tractor de arrastre.	49
Tabla 17. Comparación prueba uno y dos.	50
Tabla 18. Comparación prueba dos robots y tractor arrastre.	51

1. RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo conocer el concepto de Industria 4.0 y mostrar el potencial que tiene. También se verán las aplicaciones que puede tener en las empresas actuales, los pilares que la forman y como la cuarta revolución industrial y las nuevas tecnologías pueden mejorar los procesos industriales incrementando los ingresos en las organizaciones y reduciendo los costes.

Dentro de los pilares de la Industria 4.0 centrará el foco en los robots de transporte inteligente y autónomos y en la simulación de procesos industriales.

Se plantea la optimización del transporte interno de materiales en una fábrica mediante robots autónomos que transportan el material desde las máquinas que lo producen hasta las líneas de ensamblaje donde son requeridos para que el proceso productivo se lleve a cabo correctamente. Para obtener los resultados se hará uso del software de simulación de procesos industriales Arena. Al finalizar el modelado de los escenarios se comparan los resultados para así concluir que es más eficiente para la empresa mediante diversos experimentos cambiando diferentes parámetros.

1.1. PALABRAS CLAVE

Industria 4.0, Transporte inteligente, Transporte autónomo, Arena, Simulación de procesos industriales.

2. ABSTRACT

This project aims to introduce the concept of Industry 4.0 and understand its potential. It will also show the applications it could have in current companies, the main components that form it and how the fourth industrial revolution and new technologies can improve industrial processes, increasing revenues in organizations and decreasing costs.

Within the pillars of Industry 4.0, the focus will be on intelligent and autonomous transport robots and industrial process simulation.

The goal is to optimise the internal transport of goods in a factory employing autonomous robots to transport the materials from the machines that produce them to the assembly lines where they are required for the production process to run properly. To achieve the results, the industrial process simulation software Arena will be used. At the end of modelling the scenarios, the results are compared in order to conclude which is more efficient for the company with different experiments modifying certain parameters.

2.1. KEY WORDS

Industry 4.0, Intelligent transport, Autonomous transport, Arena, Industrial processes simulation.

3. INTRODUCCIÓN

La elección de este Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene su origen en el interés personal y la curiosidad que me ha surgido a lo largo de todo el grado universitario por la Industria 4.0 y las nuevas tecnologías, concretamente en las nuevas formas de transporte y como estas pueden mejorar los procesos en las empresas.

La mejora continua debería ser siempre uno de los objetivos de cualquier empresa, sin embargo, en la mayoría de los casos estos cambios suelen estar sujetos a una gran incertidumbre, sobre todo en empresas de gran tamaño con sistemas productivos muy complejos, donde ciertas decisiones pueden implicar grandes riesgos que hay que asumir y costes muy elevados. Un cambio mal efectuado o planteado puede afectar enormemente a la productividad de la compañía, incluso provocar paradas en las líneas de fabricación o montaje.

Es así es como nace la simulación, de la necesidad de optimizar procesos con modelos realistas que arrojen resultados muy cercanos a la realidad sin tener que comprometer las líneas de producción de una empresa en la realidad.

Por todo esto, el TFG tiene como fundamento aplicar las nuevas tecnologías de simulación y la utilización de robots de transporte inteligentes y autónomos para obtener una mejora en el proceso de suministro de material a las líneas de montaje.

3.1. INDUSTRIA 4.0

El término Industria 4.0 empezó a usarse en Alemania, en el sector de la automoción, en la primera década de este siglo, para agrupar todo el conjunto de tecnologías y procesos de producción que serán la industria del futuro.

La Industria 4.0 es la inmersión de las tecnologías digitales dentro de las fábricas. El desarrollo de este campo supone una transformación digital considerable en los procesos de producción actuales, un salto cualitativo en la organización y gestión de la cadena de valor, donde las relaciones comerciales y productivas están en constante conexión: cliente, proveedor, distribuidor-logística y fabricante. En este tipo de industria se dispone en tiempo real de toda la información referente al proceso de producción en cualquier área empresarial.

Es importante entender el potencial de esta cuarta revolución industrial porque no solo afectará a los procesos de fabricación. Su alcance es mucho más amplio, afectando a todas las industrias y sectores e incluso a la sociedad. La industria 4.0 puede mejorar las

operaciones de negocio y el crecimiento de los ingresos, transformado los productos, la cadena de suministro y las expectativas de los clientes. (Gómez, 2020)

Si miramos la Industria 4.0 desde el punto de vista empresarial, supone nuevas oportunidades y modelos de negocio y una forma de mejorar mediante nuevas oportunidades nuestros propios sistemas de diseño, fabricación y mantenimiento. (Deloitte Spain, 2022)

Llamémoslo como queramos; Smart Industry, Industria Conectada o IoT Industrial. La transformación industrial de las industrias manufactureras permite que todos los objetos físicos y procesos estén integrados en una red de información (conectada o no a internet), permitiendo descentralizar la producción, su adaptación a tiempo real y anticiparse al futuro. (Gómez, 2020)

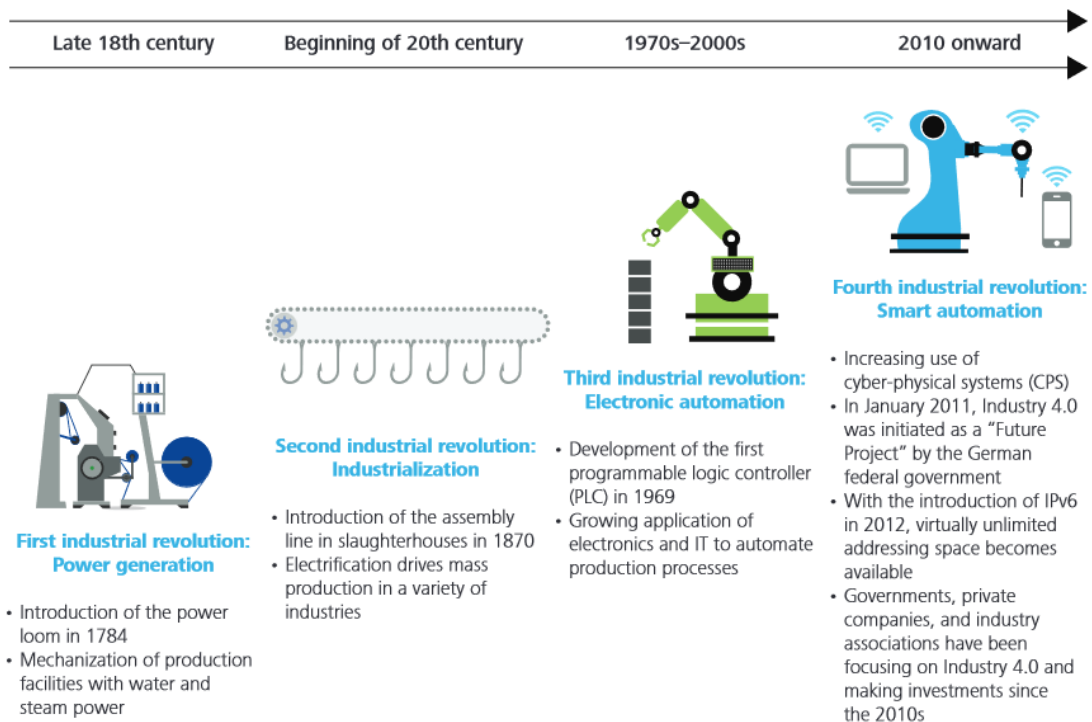


Ilustración 1. Evolución hasta Industria 4.0

3.1.1. Ciclo de datos e información

Según el artículo de Deloitte University Press, Forces of change: Industry 4.0 (2022), esta nueva revolución industrial ofrece un acceso en tiempo real a los datos. La integración digital de la información desde diferentes fuentes y localizaciones permite llevar a cabo negocios en un ciclo continuo. A lo largo de este ciclo, el acceso en tiempo real a la información está impulsado por el continuo y cíclico flujo de información y acciones entre los mundos físicos y digitales. Este flujo

tiene lugar a través de una serie de pasos iterativos conocido como PDP (physical-to-digital-to-physical):

- Del mundo físico al digital. Se captura la información del mundo físico y se crea un registro digital de la misma.
- De digital a digital. En este paso, la información se comparte y se interpreta utilizando analítica avanzada, análisis de escenarios e inteligencia artificial para descubrir información relevante.
- Del mundo digital al físico. Se aplican acciones para traducir las decisiones del mundo digital a datos efectivos, estimulando acciones y cambios en el mundo físico.

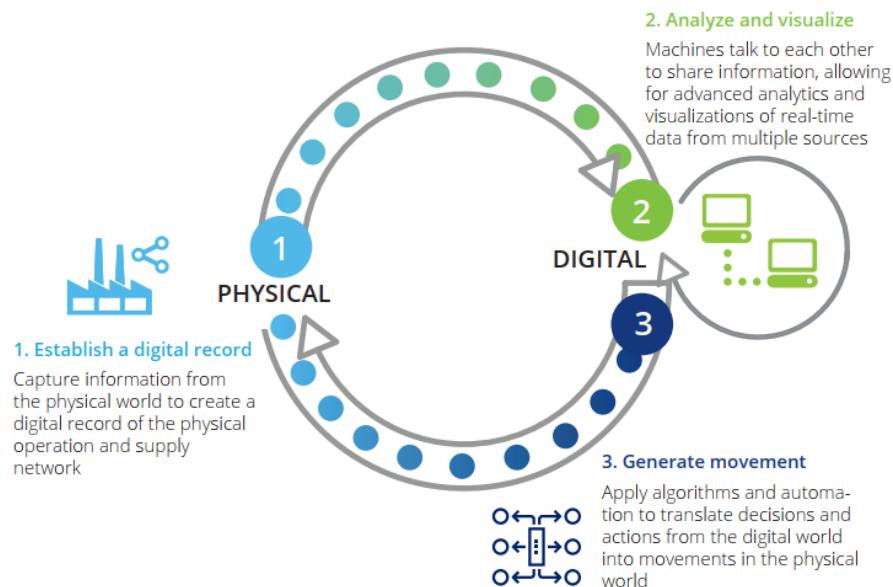


Ilustración 2. Ciclo physical-to-digital-to-physical

3.1.2. Pilares tecnológicos de la industria 4.0

Según la multinacional alemana SAP (SAP Insights, 2022), dedicada al diseño de productos informáticos de gestión empresarial, la Industria 4.0 se basa en nueve pilares tecnológicos. Estas innovaciones conectan los mundos físico y digital y habilitan sistemas inteligentes y autónomos. Las empresas y cadenas de suministro ya utilizan algunas de estas tecnologías avanzadas, pero todo el potencial de la Industria 4.0 cobra vida cuando se utilizan juntas.

- El Big Data y las analíticas de la IA: en la industria 4.0, el Big Data se recopila desde una amplia gama de fuentes, desde equipos de fábrica y dispositivos de internet de las cosas (IoT), hasta sistemas de ERP. La información

estratégica obtenida se aprovecha para mejorar la toma de decisiones y la automatización en todas las áreas de la gestión de la cadena de suministro: planificación de la cadena de suministro, logística, fabricación, I+D e ingeniería y compras.

- Integración horizontal y vertical: la columna vertebral de la Industria 4.0 es la integración horizontal y vertical. Con la integración horizontal, los procesos están estrechamente integrados en la planta de producción, en múltiples instalaciones de producción y en toda la cadena de suministro. Con la integración vertical, la producción está estrechamente integrada con procesos de negocio como I+D, calidad, ventas, marketing, etc.
- Computación en la nube: Los datos que alimentan las tecnologías de la Industria 4.0 residen en la nube y los sistemas ciberfísicos de la empresa utilizan la nube para comunicarse y coordinarse.
- Realidad aumentada (AR): La realidad aumentada, que superpone el contenido digital en un entorno real, es un concepto central de la Industria 4.0. Con un sistema de AR, los empleados utilizan lentes inteligentes o dispositivos móviles para visualizar datos de IoT en tiempo real, piezas digitalizadas, instrucciones de reparación o montaje, localización de referencias en almacenes, etc.
- Fabricación Aditiva e Impresión 3D. La posibilidad de crear piezas a demanda abre la posibilidad a la personalización de los productos y a la reducción de costes. Esto supone una revolución en los procesos y sistemas de fabricación.
- Internet de las cosas industrial (IIoT). La mayoría de las cosas físicas de la Industria 4.0 (dispositivos, robots, maquinaria, equipos, productos) utilizan sensores y etiquetas RFID para proporcionar datos en tiempo real sobre su estado, rendimiento o ubicación. Esta tecnología les permite a las empresas operar cadenas de suministro más fluidas, diseñar y modificar rápidamente productos, hacer seguimiento de los productos y el inventario, y mucho más
- Robots autónomos: con la Industria 4.0, una nueva generación de robots autónomos está emergiendo. Programados para realizar tareas con mínima intervención humana, los robots autónomos varían mucho en tamaño y función, desde drones de escaneo de inventario hasta

robots móviles autónomos para operaciones de recoger y ubicar materiales. Equipados con software de vanguardia, IA, sensores y visión de máquina, estos robots son capaces de realizar tareas difíciles y delicadas y pueden reconocer, analizar y actuar sobre la información que reciben de sus alrededores.

- Simulación virtual de una máquina, producto, proceso. Este componente de la Industria 4.0 permite a las empresas comprender, analizar y mejorar el rendimiento y el mantenimiento de los sistemas y productos industriales. Al simular un proceso de producción, por ejemplo, los fabricantes pueden probar cambios en el proceso para encontrar formas de minimizar el tiempo de inactividad o mejorar la capacidad.
- Ciberseguridad: con el aumento de la conectividad y el uso de Big Data en la Industria 4.0, la ciberseguridad efectiva es primordial. Las empresas tienen una gran tarea de detección, prevención y respuesta ante amenazas y minimizar el riesgo de violaciones a los datos y demoras en la producción en todas sus redes.

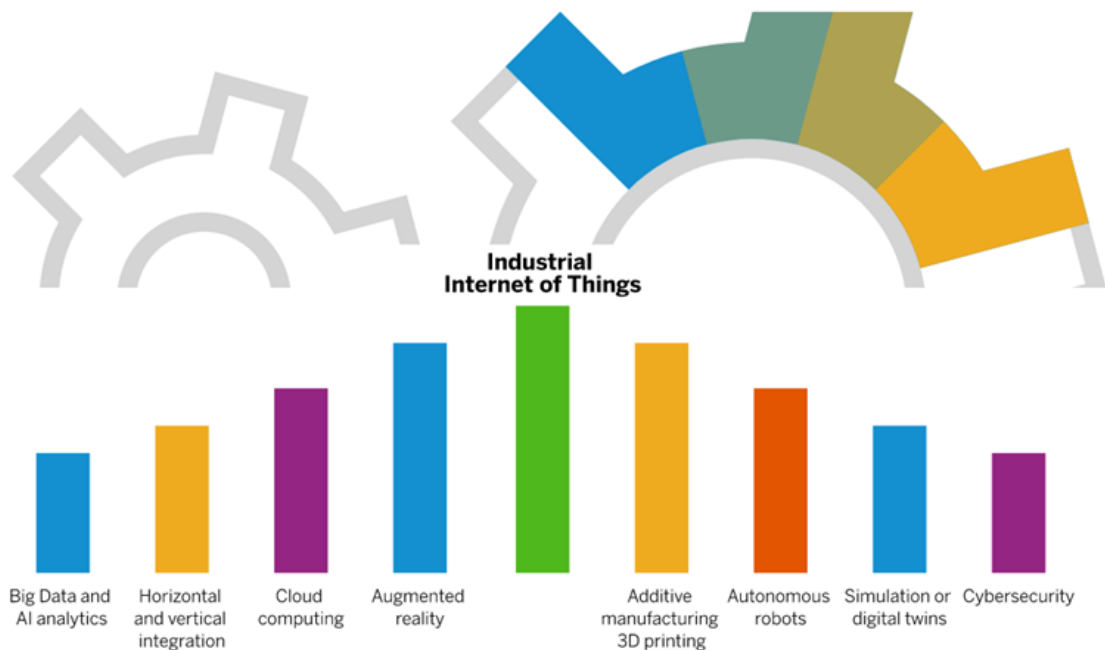


Ilustración 3. Pilares Industria 4.0

3.1.3. Ejemplos de digitalización en procesos industriales.

Los fabricantes pueden aplicar las nuevas tecnologías a sus procesos de muchas maneras diferentes y reconfigurarlas para ajustarse a medida que cambian las prioridades existentes o surgen otras nuevas. Cada fabricante u organización tiene unas características propias por lo que es muy importante que identifiquen cuáles son sus necesidades específicas y aplicar la tecnología que las solventa.

La siguiente tabla muestra una serie de procesos básicos de producción de fábrica inteligente junto con una serie de oportunidades de digitalización de muestra.

PROCESOS	EJEMPLOS DE DIGITALIZACIÓN
PRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Planificación utilizando datos de producción e inventario en tiempo real para minimizar el desperdicio y el tiempo de ciclo. Robots autónomos para ejecutar procesos de rutina de manera efectiva con alta precisión a un coste reducido. Gemelo digital y herramientas de simulación para realizar análisis predictivos.
ALMACENAMIENTO Y LOGÍSTICA	<ul style="list-style-type: none"> Realidad aumentada para ayudar al personal en tareas de picking. Robots autónomos para movimiento de mercancías.
CALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> Control de calidad mediante sensores ópticos. Monitoreo en tiempo real de equipos para predecir problemas de calidad.
INVENTARIADO	<ul style="list-style-type: none"> Sensores para rastrear en tiempo real la ubicación y movimiento de materiales y productos. Utilización de drones y sensores para conocer el inventario disponible y reposición automática.
DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> Fabricación aditiva para producir prototipos rápidos.
MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Realidad aumentada para ayudar al personal en tareas de mantenimiento. Monitoreo a tiempo real de los equipos mediante sensores para

<p>SEGURIDAD, SALUD Y MEDIOAMBIENTE</p>	<p>realizar un mantenimiento predictivo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensores en los equipos peligrosos que detecten la presencia de personas para evitar accidentes. • Sensores en el personal para monitorear las condiciones ambientales, falta de movimiento u otras amenazas potenciales.
---	---

Tabla 1. Digitalización en Procesos Industriales

3.1.4. Ventajas e inconvenientes de la industria 4.0

Implementar nuevas tecnologías siempre trae comparativas. Esta es la manera en la que entendemos si los cambios son convenientes o no y por esto es bueno recorrer las ventajas y posibles desventajas que se puede apreciar en este modelo de producción moderno.

3.1.4.1. Ventajas

La Industria 4.0 llevada a cabo, supone una serie de ventajas (UAH, 2019). Entre ellas, podemos destacar:

- **Mejora de la productividad.** Optimización de los procesos que se llevan a cabo en las organizaciones. En este caso, es apreciable la disminución del tiempo y de los recursos que se destinan para concretarlos. Al mismo tiempo, con la ciberindustria o Industria 4.0. se eliminan los fallos e interrupciones en la producción.
- **Optimización de los niveles de calidad.** La automatización de procesos permite mayor precisión, evitando los tiempos muertos e interrupciones.
- **Mayor ahorro de costes.** Los procesos automatizados exigen de menor personal, menos errores y mayor eficacia energética y/o de materias primas.
- **Mayor seguridad en los procesos.** Este punto es especialmente importante para entornos peligrosos, en algunos escenarios, introducir máquinas o robots puede hacer que se incremente la seguridad de las personas que en ellas trabajan.
- **Producción más flexible.** El producto es adaptable a los requerimientos de cada empresa en concreto.

- **Ayuda en la toma de decisiones.** Las empresas disponen de grandes volúmenes de información, que, al ser tratada y clasificada adecuadamente, mejora el proceso de toma de decisiones.
- **Mayor trazabilidad.** Se incrementa la trazabilidad de todos los registros propios del día a día, generados como resultado del proceso de gestión del negocio.
- **Mayor competitividad empresarial.** Se da mejor respuesta las necesidades de los mercados, se ofrecen productos de alta calidad y se reacciona de forma más veloz y flexible a los cambios.

3.1.4.2. Inconvenientes

Así como la 4ª Revolución Industrial ha traído grandes beneficios para las empresas y fábricas, también han sido identificados algunos inconvenientes a los que se debe hacer frente:

- **Falta de adaptación de nuevo métodos.** No todas las organizaciones se están adaptando adecuadamente a la Industria 4.0. De hecho, con los constantes cambios que supone, muchas industrias corren el riesgo de quedarse desactualizadas en poco tiempo.
- **Personal complejo y de mayor coste.** El personal necesario en los nuevos procesos es más especializado, y no siempre es fácil acceder a estos perfiles. Además, debido a sus conocimientos requieren una mayor remuneración.
- **Mayor coste de inversión.** El coste de la inversión es elevado en sus comienzos. Sin embargo, hay que tener en cuenta el ROI, y a medio y largo plazo se suele recuperar. Pero en un inicio tal vez no todos puedan hacer frente a los costes.
- **Dependencia tecnológica.** La industria 4.0 vive bajo una enorme dependencia tecnológica por su maquinaria. Es por ello que, se desarrollan necesidades específicas nuevas que deben ser identificadas y solucionadas lo antes posible.
- **Obsolescencia de la tecnología.** El riesgo es muy alto y debe ser tenido en cuenta en todo proyecto inicial para calcular el ROI y la amortización de la inversión, entre otros factores.
- **Incremento de los residuos.** A medida que se van creando nuevas versiones de productos, varios objetos se vuelven obsoletos. Por lo tanto, aumenta el riesgo de que estos sean

desechados y tratados inadecuadamente, propiciando la contaminación ambiental.

3.2. TRANSPORTE INTELIGENTE Y AUTÓNOMO EN INDUSTRIA.

El uso de vehículos sin conductor promueve la automatización industrial flexible y autónoma necesaria para crear fabricas inteligentes, adaptando los movimientos de los vehículos inteligentes y autónomos a la información que reciben, procesan y comparten, gracias a las últimas tecnologías.

Esto ha provocado cambios muy significativos en las distintas industrias, por ejemplo, en la aplicación de la robótica y la manipulación móvil para tareas logísticas de pick & place o para aplicaciones industriales como alimentación de piezas a líneas o células de ensamblaje, donde la repetibilidad y uniformidad de las acciones son claves para ahorrar costes y agilizar los procesos.(Robotnik, 2021)

IFR (International Robots Federation) publica un documento "A Mobile Revolution" donde se muestra que la robótica móvil es un campo de desarrollo dinámico y se esperan avances emocionantes durante la próxima década.

Los robots móviles están en auge en todo el mundo, un ejemplo son las ventas unitarias de Robots Móviles Autónomos (AMR) en el sector de la logística está aumentando en torno a un 31% entre 2020 y 2023 anualmente. Al mismo tiempo, el uso de AMR en entornos públicos también aumentará rápidamente: IFR predice que las ventas de unidades crecerán cerca de un 40% por año en todo el mundo.

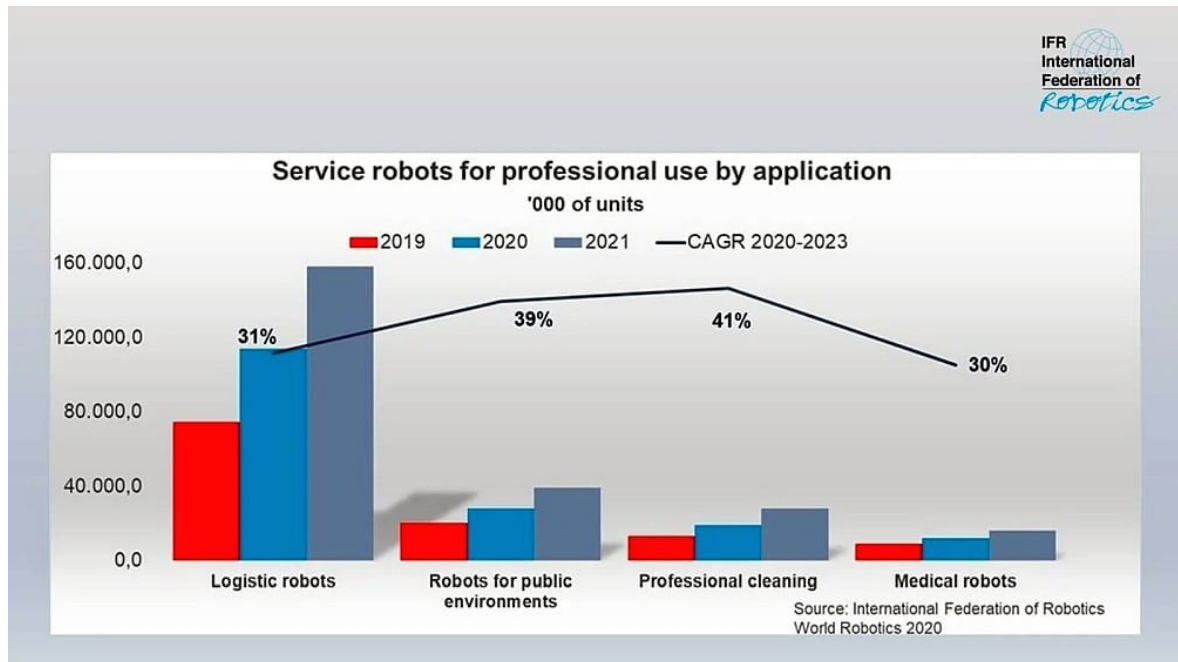


Ilustración 4. Robots de servicio para uso profesional por aplicación.

3.2.1. Historia de los vehículos de transporte sin conductor

Arthur "Mac" Barrett construyó el primer vehículo de guiado autónomo en 1953 al modificar un tractor de remolque para que siguiera un cable aéreo. Su compañía, Barrett Electronics Corporation, debutó con su vehículo sin conductor en 1954, llamándolo Guide-o-Matic. Básicamente, la Guide-o-Matic era una grúa que seguía automáticamente un cable incrustado en el suelo.

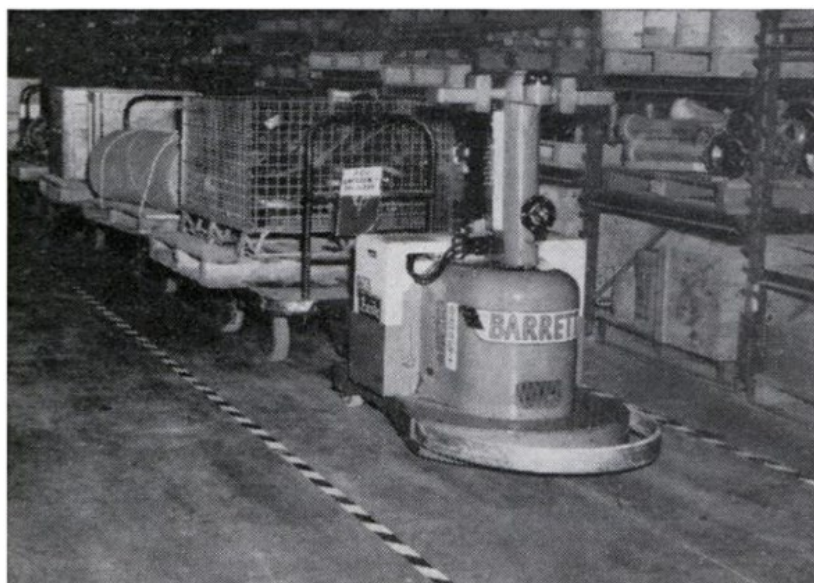


Ilustración 5. Primer vehículo autónomo por Barrett Electronics Corporation

Los AGV y la automatización pronto se hicieron populares en almacenes y fábricas de todo tipo. Aunque los mejoraron constantemente durante el resto de los años 50 y 60, no volvieron a hacer un cambio significativo hasta los años 70. En 1973, Volvo desarrolló un nuevo sistema de ensamblaje que utilizaba 280 AGV controlados por ordenador. Su sistema era más eficiente que la línea de ensamblaje de cintas transportadoras, y otras empresas pronto solicitaron sistemas para sus propias instalaciones. Más tarde en esa misma década, los fabricantes desarrollaron vehículos de carga unitaria.

En la década de 1980, los líderes de la industria acuñaron el nombre de "vehículo guiado autónomo". Antes de eso, estas máquinas se conocían simplemente como "vehículos sin conductor". Además, durante los años 80, los ingenieros introdujeron mecanismos de guía sin cables, como láseres y cintas magnéticas. La guía láser se introdujo específicamente en 1987. En 1989, los ingenieros introdujeron los controles por ordenador.

En 1992, se diseñaron los primeros sistemas que podían guiar los AGV con cables e inalámbricos. Más recientemente, en 2003, fueron desarrollados AGV que pueden cambiar de ruta. Hoy en día, los AGV son más autónomos que nunca, lo que hace que levantar, bajar y transferir cargas sea más seguro y fácil. (Suntech, 2021)

3.2.2. Tipos de vehículos

Existen varios tipos de vehículos que son utilizados para el transporte de mercancías en industria, en este apartado se van a estudiar los dos más utilizados en la mayoría de las industrias: los AGV (Automated Guided Vehicle o Automatic Guided Vehicle) y los AMR (Autonomous Mobile Robot).

3.2.2.1. AGV (Automated Guided Vehicle)

Los sistemas AGV, son dispositivos automatizados que se mueven de manera guiada, por ejemplo, siguiendo una cinta magnética incrustada en el suelo. Están concebidos para la realización del transporte de materiales, especialmente en tareas repetitivas y con alta cadencia. Este tipo de dispositivo surge con la idea de poder realizar tareas sin la necesidad de un piloto o una persona que dirija el dispositivo.

Tiene una inteligencia mínima integrada, para navegar, debe guiarse por cable, banda magnética o sensores. El AGV puede detectar obstáculos a su alrededor, pero no puede salir del circuito si un obstáculo se interpone, por lo que simplemente se detiene en seco hasta que su camino quede libre de nuevo.

Pueden llegar a transportar y desplazar grandes cargas. Son utilizados cada vez por más empresas ya que ayudan a facilitar distintos tipos de procesos e incluso a tener más control de estos.



Ilustración 6. AGV de Hermes Logistics

3.2.2.1.1. Tipos de guiado de los AGV

Una de las primeras decisiones que hay que tomar a la hora de instalar un AGV es elegir el tipo de guiado, la empresa ATRIA Innovación(2018) diferencia varios tipos de guiado:

1. **Filoguiado.** El AGV se desplaza guiándose por un hilo conductor instalado bajo el suelo, al que se accede mediante pequeñas ranuras donde se introduce un vástago conectado al vehículo. Este método de guiado es muy sencillo pero es el que posee menor flexibilidad, ya que las rutas de movimiento del AGV se limitan a las rutas con el hilo instalado. Hay algunas alternativas más cómodas como las cintas magnéticas que evitan hacer obra para instalar el hilo.
2. **Optoguiado.** El AGV se desplaza guiándose por una tira de espejo que se extiende por los recorridos del AGV, colocado de forma continua en los laterales de los caminos (o en el suelo) o en las esquinas donde el AGV tiene que tomar una decisión. Mediante catadióptrico el AGV puede detectar la guía. La instalación de estas guías de espejo no requiere de una obra como en el caso del filoguiado, y la modificación o creación de nuevas rutas es menos compleja, ya que basta con dibujar con tiras de espejo las nuevas zonas para definir los movimientos en el AGV.
3. **Visión Artificial.** El AGV reconoce mediante visión artificial una tira de espejo catadióptrico, calculando y corrigiendo en cada instante la desviación existente entre el AGV y la ruta. En función de la ruta que tiene programada y la distancia obtenida mediante la visión artificial, el AGV realiza los movimientos necesarios para continuar con la ruta prefijada.

4. **Guiado Láser.** El AGV va equipado con una unidad láser giratoria que realiza barridos para identificar en su entorno el mayor número de reflectores posibles para determinar su posición en el mapa de la instalación que tiene en memoria. Para realizar el mapa de la instalación se sitúan espejos catadióptricos en posición vertical en puntos estratégicos de toda instalación. Estos espejos serán puntos de referencia con los que calcular la posición del AGV, de la misma manera que el optoguiado. La principal ventaja de este método de guiado es la increíble sencillez con la que se puede crear una estación de carga/descarga de palés o se puede modificar una ruta. En apenas 10 minutos, una persona formada puede crear una nueva ruta, sin que sea preciso realizar ninguna modificación en la instalación de los reflectores.

3.2.2.2. AMR (Autonomous Mobile Robot)

Un AMR (Autonomous Mobile Robot), por su parte, es un robot que se mueve y trabaja de manera autónoma, no necesita ningún tipo de guía y es capaz de tomar decisiones.

Por definición un robot AMR es un robot móvil autónomo que ha sido desarrollado para automatizar el transporte de material de un punto de recogida a uno de entrega. Su objetivo es aumentar la productividad de la empresa delegando en ellos los trabajos rutinarios y repetitivos que no aportan valor productivo.

Los robots AMR se diferencian principalmente de los robots AGV por ser más flexibles, económicos y rápidos de instalar.



Ilustración 7. AMR de SEAT

3.2.3. Comparación

Los AGVs y los AMR tienen características concretas que los hacen útiles para aplicaciones distintas. No se puede determinar que los AMR

sean mejor que los AGV, ni viceversa, sino que cada uno es idóneo según el contexto de producción determinado. En este apartado, se muestran algunas de las diferencias entre los AGVs y AMRs según la empresa Robotnik(2022) y la empresa MIR(2022).

En algunos ámbitos se utilizan indistintamente los términos AMR y los AGV tradicionales, pero, de hecho, un AGV no es un robot, sino un dispositivo robótico, ya que carece de autonomía para determinar o redefinir su propia ruta. En cambio, un AMR puede navegar sin guía externa. Es decir, los AMR cuentan con navegación libre y capacidad para tomar decisiones.

Hasta hace poco, los vehículos de guiado automático (AGV) tradicionales eran la única opción para automatizar las tareas de transporte interno. Los AGV son un vehículo común en grandes instalaciones fijas donde existe la necesidad de entregas de materiales repetitivas y consistentes, y donde se pueden tolerar grandes desembolsos de costes iniciales y un largo retorno de la inversión (ROI). Hoy, sin embargo, los AGV están siendo desafiados por la tecnología más sofisticada, flexible y rentable de los robots móviles autónomos (AMR). Si bien, tanto los AGV como los AMR mueven materiales de un lugar a otro, ahí es donde cesan las similitudes.

3.2.3.1. Rutas fijas vs navegación inteligente

Un AGV tiene una inteligencia mínima a bordo y solo puede obedecer instrucciones de programación simples. Para navegar, debe guiarse por cables, bandas magnéticas o sensores, que normalmente requieren actualizaciones extensas (y costosas) de las instalaciones, tiempo durante el cual la producción puede verse interrumpida. El AGV está restringido a seguir estas rutas fijas, que requieren costos adicionales e interrupciones si se necesitan cambios en el futuro. El AGV puede detectar obstáculos frente a él, pero no puede sortearlos, por lo que simplemente se detiene en seco hasta que se elimina el obstáculo.

En contraste, el AMR navega a través de mapas que su software construye en el sitio a través de dibujos de instalaciones precargados. Esta capacidad se puede comparar con un coche con GPS y un conjunto de mapas precargados. Cuando se le enseña la dirección de la casa y del trabajo del propietario, genera la ruta más directa basada en posiciones simples en el mapa. Esto es similar a la forma en que se le enseña al AMR las ubicaciones para recoger y dejar piezas. El AMR utiliza datos de cámaras y sensores integrados y escáneres láser, así como un software sofisticado que le permite detectar su entorno y elegir la ruta más eficiente hacia el objetivo. Funciona de forma totalmente autónoma y si frente a él se encuentran carretillas elevadoras, palés, personas u otros obstáculos, el AMR parará en mitad

del camino de forma segura, sorteará el obstáculo y redefinirá su ruta. Esto optimiza la productividad al garantizar que el flujo de material se mantenga según lo programado.

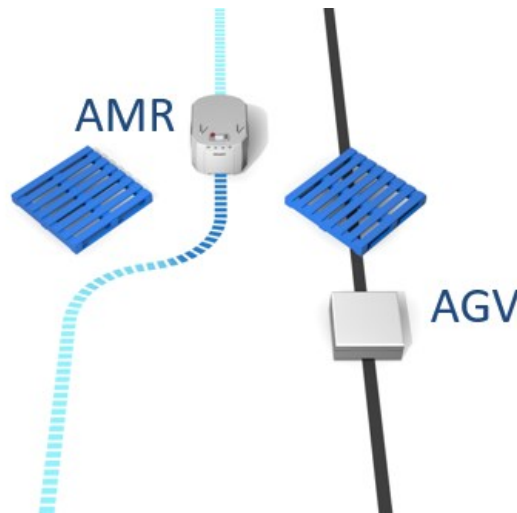


Ilustración 8. AGV vs AMR.

3.2.3.2. Pocas aplicaciones vs alta flexibilidad

Esta operación autónoma también hace que un AMR sea mucho más flexible que un AGV. Los AGV se limitan a seguir una ruta estricta que está integrada en la instalación, generalmente instalada en el suelo. Eso significa que las aplicaciones son limitadas y que un AGV realiza la misma tarea de entrega a lo largo de su vida útil. Los cambios son simplemente demasiado costosos y disruptivos para ser rentables.

Sin embargo, el AMR solo necesita ajustes de software simples para cambiar sus misiones, por lo que el mismo robot puede realizar una variedad de tareas diferentes en diferentes ubicaciones, haciendo ajustes automáticamente para cumplir con los requisitos de producción y entornos cambiantes. Las tareas de AMR pueden controlarse a través de la interfaz del robot o configurarse mediante un software de control de flotas para múltiples robots que prioriza automáticamente los pedidos y el robot más adecuado para una tarea determinada en función de la posición y la disponibilidad. Una vez que se establece una misión, los empleados no tienen que dedicar tiempo a coordinar el trabajo de los robots, lo que les permite concentrarse en el trabajo de alto valor que contribuye al éxito de la empresa.

Como se ha comentado anteriormente, los AMR no necesitan de una infraestructura concreta por la que moverse, sino que se implementan en cualquier espacio.

Y debido a que un AMR no es una estructura permanente en la instalación, se puede mover y volver a implementar con un costo mínimo a medida que el negocio crece y cambia con el tiempo. De hecho, un AMR puede trabajar en una parte de la instalación por la mañana y desplegarse para una tarea completamente diferente más tarde en el día.

Un robot móvil autónomo no es simplemente una máquina programada. El AMR es aquel que, además de la programación inicial, posee cierta independencia para tomar decisiones en medio del entorno de trabajo, sin necesidad de intervención humana. Es decir, no cualquier máquina industrial es un AMR porque no cualquier máquina tiene capacidad de decisión en función de la información que percibe (obstáculos imprevistos, por ejemplo).

Esto hace que en los almacenes y lugares donde se comparte entorno de trabajo con humanos, funcionen mejor los AMRs por su dinamismo y eficiencia para compartir tareas. Además, los robots móviles autónomos cuentan con un software y hardware mucho más avanzado, integrando en sus robots sensores y diversos componentes que reciben, procesan y analizan datos a tiempo real y actúan en consecuencia.



Ilustración 9. Robots de AMAZON.

3.2.3.3. Adecuado para modelos tradicionales vs modelos ágiles

La flexibilidad de los AMR es crucial para los entornos de fabricación modernos que requieren agilidad y flexibilidad si es necesario modificar los productos o la línea de producción. Los AMR son altamente adaptables para una producción ágil en instalaciones de cualquier tamaño. Si se mueven las líneas de producción o se agregan nuevas líneas o procesos, se puede cargar rápida y fácilmente un nuevo mapa del edificio o se puede volver a mapear el AMR en el sitio, de

modo que se pueda usar de inmediato para nuevas tareas. En lugar de estar limitados por una infraestructura AGV inflexible, los propietarios pueden volver a implementar fácilmente el robot ellos mismos a medida que evolucionan sus necesidades comerciales para ayudarlos a optimizar la producción incluso en entornos altamente dinámicos.

La capacidad de los AMRs para trabajar en distintas localizaciones implica, por ejemplo, una mayor facilidad respecto a la escalabilidad del número de unidades y zonas de trabajo o una definición clara del ROI (especialmente medible en proyectos pequeños que luego se pueden escalar).

3.2.3.4. Costes

Aunque un AMR consta de una tecnología mucho más avanzada que un AGV, suele ser una solución menos costosa. Un AMR no necesita cables, bandas magnéticas u otras modificaciones costosas añadidas a la infraestructura del edificio, por lo que es más rápido y menos costoso poner en funcionamiento los AMR, y sin interrupciones costosas en la producción en el proceso. Debido a que los AMR se pueden implementar rápida y fácilmente, agregan nuevas eficiencias casi de inmediato. Con costos iniciales bajos y una rápida optimización de los procesos, ofrecen un retorno de la inversión notablemente rápido. A medida que crecen las empresas, la implementación de AMR puede expandirse simultáneamente con costos adicionales mínimos.

Normalmente, los AGV tienen un coste inicial más alto que los AMR y su ROI es más largo. No por ello hay que concluir que uno es más costoso que otro. Dependiendo del objetivo y el ámbito de aplicación, utilizar uno u otro puede ser más o menos económico. Tal y como se ha comentado anteriormente, si el ámbito de trabajo de la fábrica donde va a funcionar el robot tiene como características principales trayectos largos y cambiantes que incluyan muchos obstáculos y constante movilidad, entonces resultará más eficiente y económico pensar en un AMR. Si, por el contrario, los productos que se fabrican o se transportan tienen siempre un método fijo y no haya obstáculos en las rutas y en el proceso de producción, sería más inteligente decantarse por un AGV.(EDS Robotics, 2021)

3.2.4. Beneficios de los AGVs y AMRs

En la última década se ha experimentado un aumento considerable en el uso de AGVs y AMRs en el sector industrial debido a la gran cantidad de ventajas y beneficios que estos pueden aportar a las empresas, algunas de ellas son:

- Automatización de tareas rutinarias lo que conlleva una importante reducción de costes.
- Aumento de la seguridad de los trabajadores de planta, reduciendo el número de accidentes.
- Reducción de daños a las estructuras y productos durante la manipulación de cargas.
- Incremento de la productividad.
- Pueden trabajar en condiciones climáticas o en entornos desfavorables como pueden ser cámaras de frío.
- Permite mejorar y hacer más fácil el control de los stocks y sistemas de inventariado.
- Permite tener un flujo más constante de los materiales y piezas.
- El tiempo de respuesta desde que se recibe la orden hasta que se ejecuta y comienza el transporte es prácticamente nulo.

3.2.5. Sistemas de seguridad

Uno de los elementos más importantes en los AGVs y en los AMR es su seguridad. Los dos tipos de vehículos se caracterizan porque son sistemas dotados con una gran tecnología en este aspecto, como sensores láser, cámaras, protecciones, etc.

Como hablamos de vehículos de transporte autónomo es necesario que integren todo tipo de medidas que les permitan evitar posibles obstáculos. Por ejemplo, es sencillo que una persona se cruce en la trayectoria del AGV o AMR sin darse cuenta. Para evitar este tipo de situaciones se hace uso de toda clase de herramientas, como sensores de presencia o la visión por computador. De esta forma, son capaces de moverse en su zona de trabajo de forma segura, ya que les permite reconocer obstáculos que no se encuentren registrados en su mapa y readaptar su ruta (en el caso de los AMR) en función de dichos obstáculos.



Ilustración 10. Sistema de detección de personas u objetos.

Los AGV proporcionan una mayor sensación de seguridad, al desplazarse por un recorrido ya definido, porque los operarios saben de memoria cuál es el recorrido y el comportamiento que tendrán los robots en todo momento.

En cambio, el comportamiento de los AMR es más impredecible, con cambios de dirección y frenadas bruscas cuando se encuentran con algún objeto. Eso sí, garantizando siempre una circulación libre de accidentes.

En cualquiera de los casos, puede afirmarse que un robot o un vehículo equipado con múltiples sensores es generalmente más seguro que un humano al volante de una carretilla u otro tipo de vehículo, al estar este expuesto a distracciones o equivocaciones. De cualquier modo, los empleados deberán familiarizarse con el funcionamiento de los AGV o los AMR para saber cómo comportarse en sus proximidades y cómo detenerlos en caso de emergencia (ATRIA, 2018).

3.3. SIMULACIÓN

La simulación en procesos industriales es uno de los pilares de la industria 4.0, se entiende como el uso de tecnologías basadas en modelos informáticos con los que podemos probar de una forma virtual métodos y procedimientos como pueden ser procesos de producción o fabricación, líneas o células de montaje, inventariado, transporte, etc.

Gracias a la simulación se puede imitar un proceso real mediante un software, replicando de una forma casi exacta su funcionamiento lo que permite ver cómo evoluciona el modelo a lo largo del tiempo y en

diferentes condiciones. Se pueden simular modificaciones en un proceso real y comprobar si serían beneficiosas o no para la compañía.

Otro de los beneficios es que con la simulación se puede formar o comprender los modelos de una forma más visual, sencilla e intuitiva.

En definitiva, las empresas pueden utilizar todos estos sistemas en diferentes niveles de la organización. Esto reduce en gran medida el tiempo y los costes que supondrían las pruebas físicas de un sistema de fabricación.

El software de simulación puede utilizarse para predecir el rendimiento de un sistema de fabricación planificado y comparar soluciones para cualquier problema descubierto en el diseño del sistema.

Esto hace que la simulación de procesos industriales sea una capacidad bastante competitiva, ya que permite a los fabricantes probar una serie de escenarios antes de comprar maquinaria, reservar capacidad o coordinar otros costosos recursos de producción.

Al utilizar el software de simulación para determinar exactamente lo que se necesita, el fabricante puede evitar problemas durante la producción, reduciendo al mismo tiempo los desperdicios y las repeticiones (Aula21, 2022).

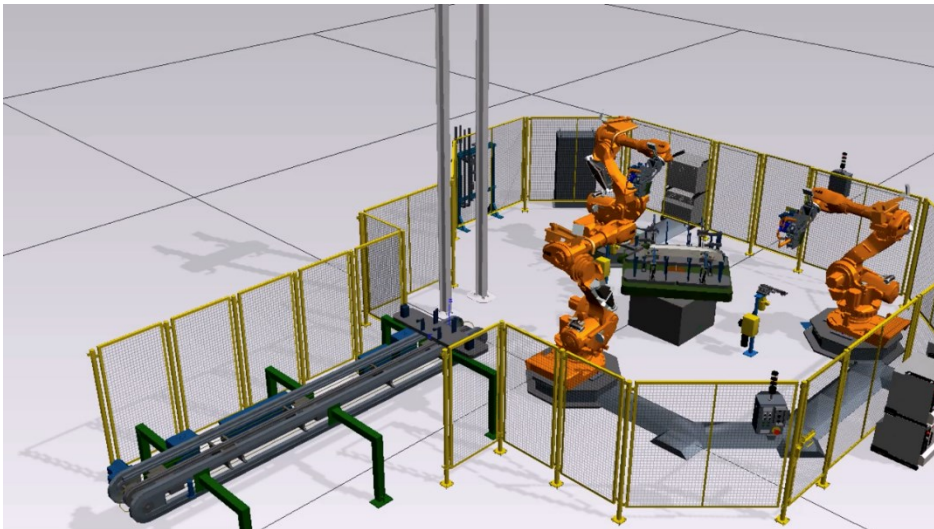


Ilustración 11. Modelo de simulación en Siemens.

3.3.1. Aplicaciones de la simulación en procesos industriales

La simulación de procesos industriales tiene multitud de aplicaciones aunque normalmente las empresas lo suelen utilizar para ver cómo afectan los cambios en los procesos, evaluar los nuevos procedimientos y las inversiones de capital en maquinaria o equipos

nuevos, para cuantificar el rendimiento de un sistema existente o predecir el rendimiento de un sistema previsto, comparando soluciones y diseños alternativos.

Después de todo, la simulación se utiliza como alternativa a cambios en el mundo real, que suelen ser mucho más costosas.

En el fondo, puede medir factores como la duración de los ciclos del sistema, el rendimiento bajo diferentes cargas, la utilización de los recursos, los cuellos de botella y los puntos de estrangulamiento, las necesidades de almacenamiento, las necesidades de personal, etc.

Además de validar medios de producción totalmente nuevos en las primeras fases del ciclo de vida del producto, la simulación de la fabricación también puede aplicarse a instalaciones o procesos existentes para identificar ineficiencias o analizar el impacto de la introducción de nuevos equipos, materiales u otros cambios (Aula21, 2022).

Estas son algunas de las aplicaciones comunes donde se puede usar la simulación:

- Diseño de líneas o células de montaje.
- Análisis y planificación del rendimiento y la capacidad.
- Logística y flujo de materiales.
- Mejora en los tiempos de producción.
- Gestión de los niveles de inventario, tasas de reposición, tamaños de lotes, planificación de la producción, etc.
- Diseño de layout.
- Diseño de modelos de mantenimiento preventivo.
- Mejora de la calidad de fabricación y validación de materias primas alternativas.
- Estimación de la eficiencia / productividad.

3.3.2. Beneficios de la simulación

Las ventajas de aplicar la simulación de procesos industriales son:

1. Flexibilidad

Como se ha explicado en los apartados anteriores las aplicaciones y situaciones que se pueden estudiar con la simulación son muy amplias independientemente del tipo de industria o empresa.

2. Estudio de casos de gran complejidad.

Si se dispone de suficiente potencia de cálculo, es posible simular escenarios increíblemente complejos, como las operaciones diarias de un sistema de automatización y control industrial o el tráfico de robots móviles en un almacén (Aula21, 2022).

3. Aislado de la vida real

Con el modelado de una simulación, se pueden generar grandes cantidades de información sin afectar al mundo real y evitar grandes pérdidas.

La introducción de un solo cambio en un proceso complejo a gran escala puede provocar retrasos y problemas de calidad por valor de decenas de millones de euros, si se usa la simulación se ven posibles riesgos de antemano y puedes prepararte para ellos (Aula21, 2022).

5. Estudiar el impacto de diferentes variables interrelacionadas

Es habitual que en las operaciones complejas intervengan muchos factores diferentes. En la fabricación, por ejemplo, se depende de gran cantidad de maquinaria, una cadena logística, proveedores, acceso a materiales y mano de obra, etc.

Mediante una simulación, puedes adquirir una comprensión de cómo tus operaciones de fabricación se verán afectadas como resultado de una variable proporcionando información muy valiosa para la toma de decisiones (Aula21, 2022).

6. Información a largo plazo.

Se puede obtener información futura y a largo plazo con relativa rapidez.

7. Optimización y mejora continua.

Se pueden realizar estudios y análisis tantas veces como se quiera para hacer mejoras y cambios en los procesos de una forma sencilla y sin paralizar o hacer cambios reales en el sistema productivo evitando las pérdidas que eso conlleva, y comprobando si las acciones realizadas van a funcionar según lo previsto.

4. DESARROLLO

En el siguiente apartado se va a realizar un estudio del proceso de transporte de material desde el punto donde se fabrica hasta su destino, tres líneas de ensamblaje situadas en la misma fábrica.

Como se ha visto anteriormente aventurarse a hacer inversiones y cambios en los procesos conlleva asumir un gran riesgo, por lo que se va a hacer uso de la simulación de procesos industriales para realizar un estudio de una forma virtual antes de arriesgarse a llevarla a cabo en el mundo real.

Se va a hacer uso del software Arena, conociendo las herramientas de las que dispone y explicando paso a paso del modelado de una simulación cuyo objetivo es conocer si sería de interés realizar una serie de mejoras o modificaciones en los procesos con las que conseguir la optimización del transporte.

4.1. ARENA SIMULATION SOFTWARE

Arena es un software de automatización y simulación de eventos desarrollado por Systems Modeling y adquirido por Rockwell Automation en el año 2000. Utiliza el procesador y lenguaje de simulación SIMAN.



The logo for Arena Simulation Software features the word "Arena" in a large, bold, italicized serif font with a registered trademark symbol (®) to its upper right. Below "Arena", the words "Simulation" and "Software" are stacked in a clean, sans-serif font.

Ilustración 12. Logo Arena Software.

En Arena, el usuario construye un modelo experimental colocando módulos (cajas de diferentes formas) que representan procesos o lógicas. Las líneas de conector se utilizan para unir estos módulos y para especificar el flujo de entidades. Mientras que los módulos tienen acciones específicas relativas a entidades, flujo y tiempo. Los datos estadísticos, como el tiempo de ciclo y los niveles de WIP (trabajo en proceso), se pueden registrar y producir como informes.

Se ha diseñado para analizar el impacto de los cambios que suponen los complejos y significativos rediseños asociados a la cadena

de suministros, procesos, logística, distribución y almacenaje y sistemas de servicio. Tiene gran flexibilidad y cubre gran cantidad de aplicaciones a modelar con cualquier nivel de detalle o complejidad.

Arena es utilizado por grandes empresas como General Motors, Bank of America, UPS, IBM, Nike, Xerox, Lufthansa, Ford Motor Company, y otros.

4.1.1. Módulos de arena

Para llevar a cabo la simulación se van a usar algunos de los módulos del panel de procesos básicos y avanzados de arena (Jiménez Luengo, 2010):

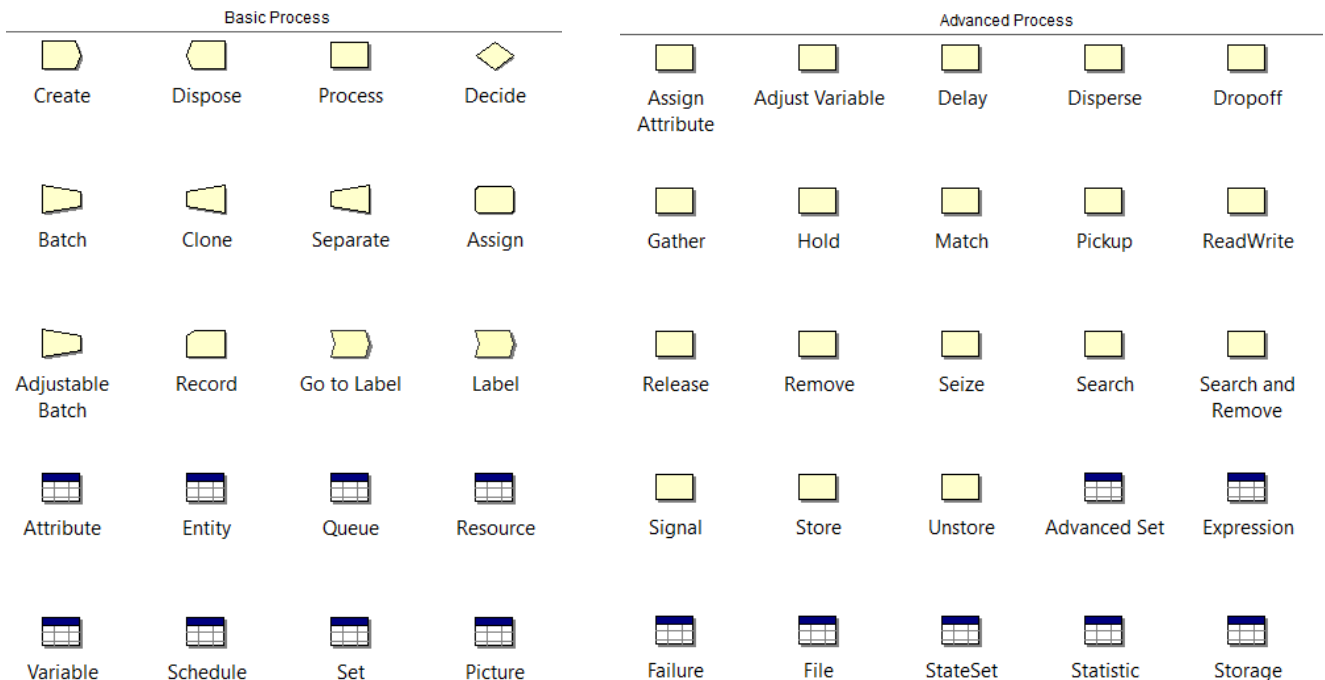








Ilustración 14. Módulos básicos Arena.

Ilustración 13. Módulos avanzados en Arena.

<p>Módulo Create</p>  <p>Create</p>	<p>Este módulo representa la llegada de entidades al modelo de simulación. Las entidades se crean usando una planificación o basándose en el tiempo entre llegadas. En este módulo se especifica también el tipo de entidad de que se tratay el número de entidades creadas.</p> <p>Posibles Usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Punto de inicio de producción en una línea de fabricación. • Llegada de un documento (por ejemplo, un pedido, una factura, una orden) en un proceso de negocio. • Llegada de un cliente a un proceso de servicio. <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: identificador único del módulo
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Entity Type: nombre del tipo de entidad a ser generada. • Type: tipo de flujo de llegada a generar.
<p>Módulo Dispose</p>  <p>Dispose</p>	<p>Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación. Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.</p> <p>Posibles Usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Partes que abandonan un servicio • Finalización de un proceso de negocio • Clientes abandonando un comercio • Materiales que llegan a su destino. <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: identificador único del módulo. • Record EntityStatistics: determina si las estadísticas de las entidades entrantes se registrarán o no. Estas estadísticas incluyen value-added time, nonvalue-added time, wait time, transfer time, other time, total time, valueadded cost, non-value-added cost, wait cost, transfer cost, other cost, y total cost.
<p>Módulo Process</p>  <p>Process</p>	<p>Este módulo corresponde a la principal forma de procesamiento en simulación. Se dispone de opciones para ocupar y liberar un recurso. Adicionalmente, existe la opción de especificar un "submodelo" y especificar jerárquicamente la lógica definida por el usuario. El tiempo de proceso se le añade a la entidad y se puede considerar como valor añadido, valor no-añadido, transferencia, espera u otros. Una vez se introduce en el modelo, aparece un número en la parte inferior del símbolo que indica el número de entidades que actualmente están procesándose.</p> <p>Posibles Usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fabricación de un componente. • Proceso de transporte de mercancías de un punto a otro. • Mecanizado de una pieza. • Revisión de un documento para completarlo. • Rellenar órdenes. • Servir a un cliente. <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: identificador único del módulo • Type: método que especifica la lógica dentro del módulo. Un procesado Standard significa que toda la lógica se guardará dentro de un módulo Process y se definirá por una acción (Action) particular. • Submodel indica que la lógica se definirá jerárquicamente en un "submodelo" que puede incluir un número indeterminado de módulos lógicos. • Action: tipo de proceso que tendrá lugar dentro del módulo. Existen cuatro tipos: Delay, Seize Delay y Seize Delay Release. Delay indica que solamente se llevará a cabo un proceso de retardo sin que existan restricciones de recursos. Seize Delay indica que un recurso será asignado en este módulo y que habrá un retardo y la liberación del recurso ocurrirá más tarde. Seize Delay Release indica que se asignará un recurso seguido por un retardo y luego, se liberará el recurso reservado. Delay Release

	<p>indica que un recurso ha sido reservado previamente y que la entidad se retardará simplemente, y luego se liberará el recurso especificado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Priority: valor de prioridad de la entidad que espera acceder en este módulo un determinado recurso si una o más entidades esperan el mismo recurso(s) en cualquier lugar en el modelo. • Resources: lista del recurso o conjunto de recursos utilizados para procesar la entidad. No se aplica cuando Action tiene el valor de Delay o cuando Type es submodel. • Delay Type: tipo de distribución o método de especificar los parámetros del retardo. Constant y Expression requieren valores simples, mientras que Normal, Uniform, y Triangular requieren varios parámetros. • Units: unidades de tiempo para los parámetros de retardo. • Allocation: determina cómo se asigna el tiempo de procesado y el coste del proceso a la entidad. • Minimum. valor mínimo en el caso de una distribución uniforme o triangular. • Value: valor medio para una distribución normal, el valor constante para un retardo de tiempo constante, o la moda para una distribución triangular. • Maximum: valor máximo para una distribución uniforme o triangular. • Std Dev: desviación estándar para una distribución normal. • Expression: expresión cuyo valor se evalúa y se usa para el procesado del retardo de tiempo.
<p>Módulo Decide</p>  <p>Decide</p>	<p>Este módulo permite a los procesos tomar decisiones en el sistema. Incluye la opción de tomar decisiones basándose en una o más condiciones (por ejemplo, si el tipo de la entidad es Gold Car) o basándose en una o más probabilidades (por ejemplo, 75% verdadero, 25% falso). Las condiciones se pueden basar en valores de atributos (por ejemplo, prioridad), valores de variables (por ejemplo, número de rechazados), el tipo de entidad o una expresión.</p> <p>Hay dos puntos de salida del módulo Decide cuando se especifica el tipo 2-way chance o 2-way condition. Hay un punto de salida para las entidades "verdaderas" y una para las entidades "falsas". Cuando se especifica el tipo Nway chance o condition, aparecen múltiples puntos de salida para cada condición o probabilidad y una única salida "else". Una vez incluido en el modelo, cerca de cada una de las ramas que salen del símbolo que representa el módulo, aparece un número. En la rama "True" corresponde al número de entidades que toman la rama de verdadero y el de la rama "False" el número de entidades que toman la rama de falso.</p> <p>Posibles Usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envío de partes defectuosas para que se vuelvan a hacer. • Proceso de decisión de envío de material a los distintos destinos. • Ramas aceptadas frente a rechazadas. • Envío de clientes prioritarios a procesos dedicados <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: identificador único del módulo. • Type: indica si la decisión se basa en una condición o es

	<p>aleatoria/porcentual. El tipo se puede especificar como 2-way o N-way. 2-way permite definir una condición o probabilidad (más la salida "false"). N-way permite definir cualquier número de condiciones o probabilidades, aparte de la salida "false".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conditions: define una o más condiciones que se usan para dirigir las entidades a los distintos módulos. • Percentages: define uno o más porcentajes usados para encaminar las entidades a los distintos módulos. • Percent True: valor que se comprobará para determinar el porcentaje de entidades que se han enviado a través de la salida True. • If: tipos de condiciones disponibles para ser evaluados. • Named: especifica el nombre de la variable, atributo, o tipo de entidad que se evaluarán cuando una entidad entre en el módulo. • Is: evaluador de la condición. • Value: expresión que se comparará con un atributo o variable o que se evaluará como una única expresión para determinar si es verdadero o falso.
<p>Módulo Assign</p>  <p>Assign</p>	<p>Este módulo se emplea para asignar valores nuevos a las variables, a los atributos de las entidades, tipos de entidades, figuras de las entidades, u otras variables del sistema. Se pueden hacer múltiples asignaciones con un único módulo Assign. Para añadir una nueva variable al modelo, simplemente se selecciona Add, Type: Entity, el nombre de la variable y el valor que se desea tome a partir de ese momento.</p> <p>Posibles Usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acumular el número de subensamblados añadidos a una parte. • Cambiar el tipo de entidad para representar una copia de un formulario multicopia. • Establecer una prioridad del cliente. <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: identificador único del módulo. • Assignments: especifica la o las asignaciones que se llevarán a cabo cuando la entidad ejecute el módulo. • Type: tipo de asignación que se va a realizar. Other, puede incluir variables del sistema, tales como capacidad de los recursos o tiempo de finalización de la simulación. • Variable Name: nombre de la variable a la que se asignará un nuevo valor. • Attribute Name: nombre del atributo de la entidad al que se le asignará un nuevo valor. • Entity Type: nuevo tipo de entidad que se le asignará a la entidad cuando entre en el módulo. • Entity Picture: nueva imagen de la entidad que se le asignará. • Other: Identifica la variable del sistema especial a la que se le asignará un nuevo valor. • New value: Valor asignado al atributo, variable, u otras variables del sistema.
<p>Módulo Delay</p>  <p>Delay</p>	<p>Este permite simular un retraso programado en el sistema. Cuando una entidad llega al módulo "Delay" esta es retrasada de acuerdo a la duración del retraso que se le haya asignado. El tiempo puede ser asignado de acuerdo a las categorías "value-added", si el proceso agrega valor, "non-value added", si no</p>


	<p>agrega valor; "transfer", si es un tiempo de movimiento entre procesos; "wait", si es de espera; "other", si no aplican las anteriores. Los costos asociados son calculados de igual manera de acuerdo a la asignación.</p> <p>Posibles usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Duración de un proceso en una empresa de servicio. • Duración del "setup" o ajuste de una máquina. • Duración de la transferencia de un documento entre departamentos <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: Nombre del bloque en el modelo. • Allocation: Tipo de categoría a la que se añadirá el tiempo de retardo. • Delay Time: El valor del retardo para la entidad. • Units: Unidades de tiempo para el retardo
<p>Módulo Release</p>  <p>Release</p>	<p>Sirve para liberar unidades de un recurso o un grupo de recursos con propiedades similares. Una vez el recurso ha sido liberado, éste se encuentra disponible para que sea capturado por otras entidades en espera.</p> <p>Posibles usos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Finalización de una actividad • Liberar un operario <p>Parámetros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name: Nombre del bloque en el modelo. • Quantity: Cantidad de recursos que se liberan.

Tabla 2. Módulos de Arena

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN

La simulación que se va a desarrollar está basada en una fábrica en la que se quiere optimizar y mejorar el suministro de material desde una máquina donde se realiza el proceso de fabricación de un componente hasta tres líneas de ensamblaje donde necesitan ese componente para montarlo en sus productos.

Actualmente ese movimiento de materiales se realiza a través de un tractor de arrastre conducido por un operario que lleva los carros con el material desde la máquina que lo fabrica hasta las líneas de ensamblaje, el problema surge cuando además de desempeñar esa tarea el operario tiene que realizar otras, lo que hace que se produzcan esperas en la línea de montaje por falta de material o retrasos ya que el tiempo de reacción de una persona es mayor que el de una máquina. Disponer de un operario solo para esa tarea sería ineficiente ya que estaría gran parte del tiempo parado y los costes se incrementarían.



Ilustración 15. Tractor de arrastre Toyota Material Handling.

Uno de los objetivos que se quiere lograr es contar únicamente con la cantidad necesaria de material en el lugar y momento adecuado, es decir, que el material llegue justo a tiempo. De esta forma se evita acumular grandes cantidades de material o stocks que quiten espacio si el material llega demasiado pronto y también evitar el bloqueo o parada de las líneas por falta de material si este llega tarde.

Con este sistema, se evita tener un sistema "Push" en el que cada fase de la cadena acumula su producción hasta ser requerida por la siguiente fase y se consigue sistema "Pull" en el que las líneas de montaje solicitan a la fase anterior la cantidad requerida, y de esta forma solo se produce lo necesario.

4.2.1. Etapas de proceso

El proceso de mejora que se va a analizar es el de transporte del material mediante robots autónomos para sustituir al transporte que se realiza actualmente con un tractor de arrastre. El proceso de transporte por analizar se descompone en las siguientes etapas:

1. Se recibe el pedido u orden de fabricación del material desde las distintas líneas.
2. Proceso de fabricación del producto en la máquina.
3. Un operario carga manualmente el material en un carro/vagón.
4. Se transportará de forma manual el carro con el material hasta una ubicación próxima predefinida y cercana a la máquina donde será estacionado.
5. El robot recibirá la información de que el material ha sido aparcado en la ubicación e ira hacia ahí.
6. El robot enganchará de forma autónoma el carro.

7. Transporte del vagón utilizando el robot hacia las líneas de montaje.
8. El robot decidirá a cuál de las tres líneas de ensamblaje tiene que ir en función del pedido que haya recibido.
9. Localizará la ubicación que se encuentra al final de cada una de las líneas de montaje donde hay que dejar el material.
10. Aparcará el carro con el material y lo desenganchará de forma autónoma.
11. Retorno a la base de carga donde espera a la siguiente llamada.

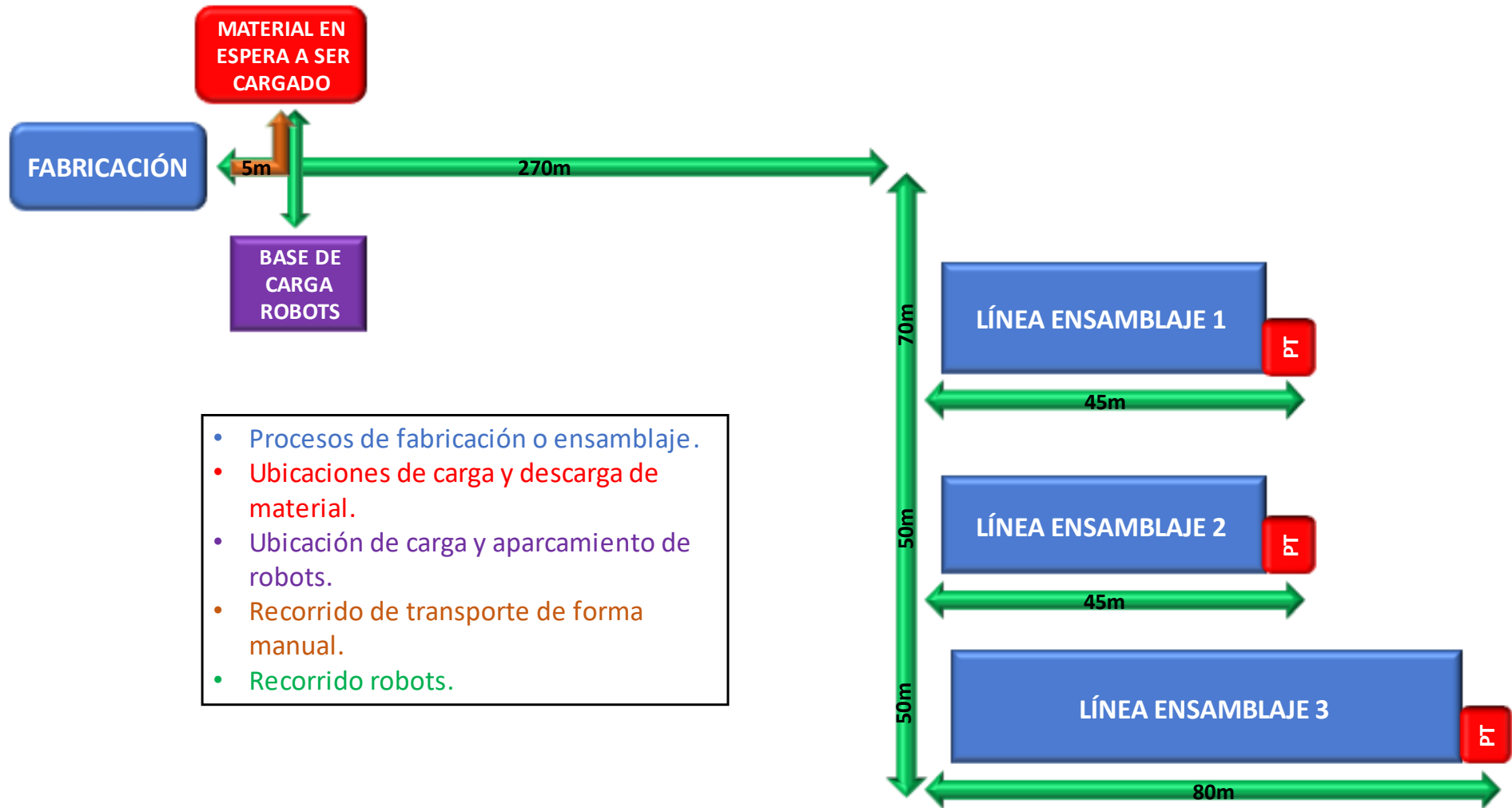


Ilustración 16. Descripción de proceso a simular.

4.3. MONTAJE DE LA SIMULACIÓN

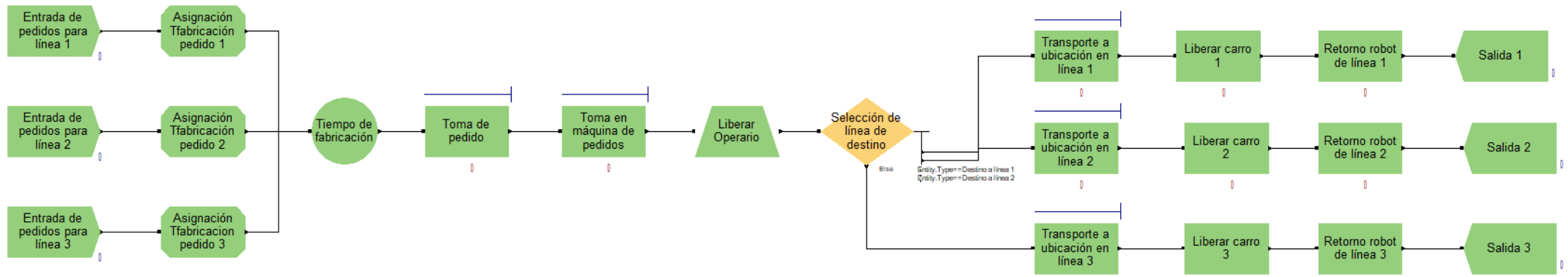
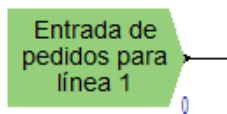
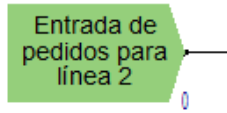


Ilustración 17. Simulación completa.

A continuación se va a describir paso a paso del montaje de la simulación por orden del proceso, de principio a fin, es decir, de izquierda a derecha en la imagen anterior:



El primer paso es el de crear los pedidos u ordenes de fabricación del material solicitado, para ello utilizamos 3 módulos "create" diferenciando entre los pedidos que se reciben desde la línea de ensamblaje uno, los de la dos y por último los de la línea tres.



Para cada uno de los tres tipos de pedido se define la entidad de entrada, el tipo y los valores de la expresión (la frecuencia con la que se recibe una pedido u orden), después también se indica la unidad de medida que en este caso es siempre en minutos, y como serán las llegadas de los pedidos, en este caso de una en una y sin límite máximo. Lo último que se indica son los minutos en los que llegará el primer pedido desde que se da inicio a la simulación.

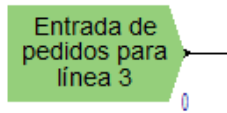
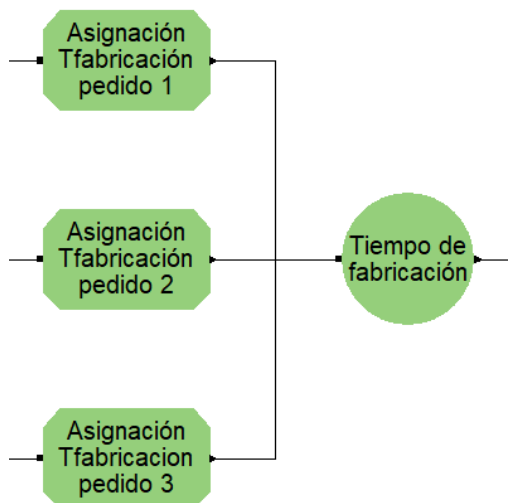


Ilustración 19. Entrada de pedidos para líneas.

	Name	Entity Type	Type	Expression	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
1	Entrada de pedidos para línea 1	Destino a línea 1	Expression	UNIF(20,25)	Minutes	1	Infinite	0.0
2	Entrada de pedidos para línea 2	Destino a línea 2	Expression	UNIF(30,35)	Minutes	1	Infinite	30
3	Entrada de pedidos para línea 3	Destino a línea 3	Expression	UNIF(35,40)	Minutes	1	Infinite	40

Ilustración 18. Datos entrada módulos entrada de pedidos para líneas.

Una vez se han recibido los pedidos viene la etapa de fabricación del material. Como hay tres tipos de pedidos se utilizan tres módulos "Assign" con valores distintos donde se asignará el tiempo de fabricación que tiene cada tipo de pedido. Es de forma triangular ya que el tiempo no es siempre el mismo puede haber desviaciones.

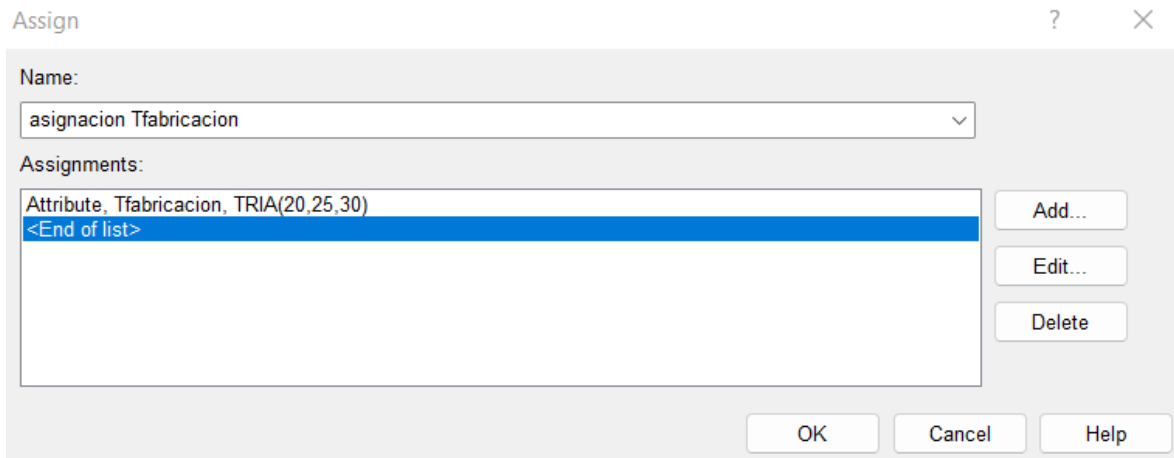


	Name	Assignments
1	asignacion Tfabricacion	1 rows
2	asignacion Tfabricacion pedido 2	1 rows
3	asignacion Tfabricacion pedido 3	1 rows

Ilustración 20. Asignación tiempo de fabricación.

Ilustración 21. Assign Tfabricación.

Tiempo de fabricación pedidos para la línea 1:



Assign ? X

Name:
asignacion Tfabricacion

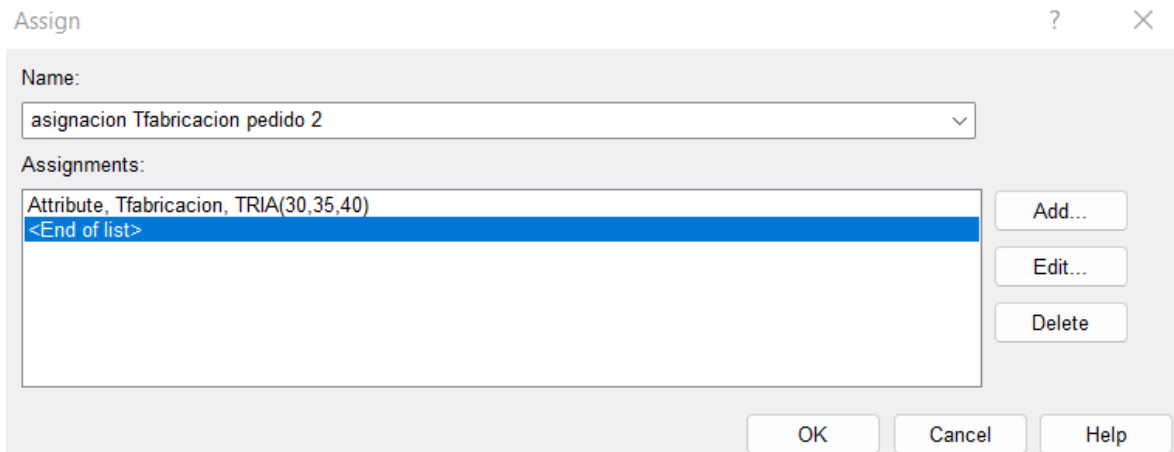
Assignments:
Attribute, Tfabricacion, TRIA(20,25,30)
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

OK Cancel Help

Ilustración 22. Datos entrada assign pedidos para línea 1.

Tiempo de fabricación pedidos para la línea 2:



Assign ? X

Name:
asignacion Tfabricacion pedido 2

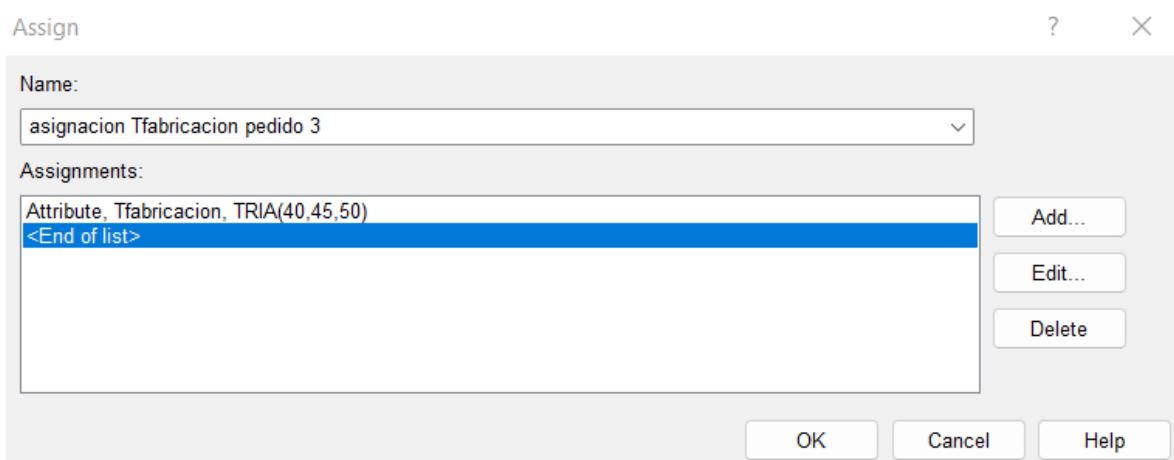
Assignments:
Attribute, Tfabricacion, TRIA(30,35,40)
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

OK Cancel Help

Ilustración 23. Datos entrada assign pedidos para línea 2.

Tiempo de fabricación pedidos para la línea 3:



Assign ? X

Name:
asignacion Tfabricacion pedido 3

Assignments:
Attribute, Tfabricacion, TRIA(40,45,50)
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

OK Cancel Help

Ilustración 24. Datos entrada assign pedidos para línea 3.

Cuando ya se han asignado los tiempos de fabricación (Tfabricacion), se usa un módulo "Delay" para cada tipo de pedido y de esta forma hacer efectivo ese tiempo en la simulación, expresado en minutos.



Ilustración 25.
Tiempo de fabricación.

Ilustración 26. Datos entrada tiempo de fabricación.

Para representar el tiempo que tarda un operario en cargar todo el material en un vagón y llevarlo de forma manual a la ubicación definida se utiliza un módulo "Process" que se llamará "Toma de Pedido".

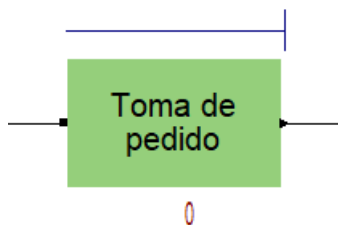


Ilustración 27.
Proceso toma de pedido.

Ilustración 28. Datos entrada toma de pedido.

Este módulo "Process" es de tipo estándar, la acción elegida es "Seize Delay" que indica que un recurso (Operario) será asignado, seguido de un retardo que expresa el tiempo que se tarda en completar el proceso. La liberación del recurso ocurrirá más tarde. La distribución es de tipo triangular y esta expresada en segundos.

Cuando el operario ha dejado aparcado el vagón en la ubicación esperando a ser recogido, será necesario hacerle llegar la información al robot para que vaya a enganchar el vagón, para ello se usa otro módulo "Process":

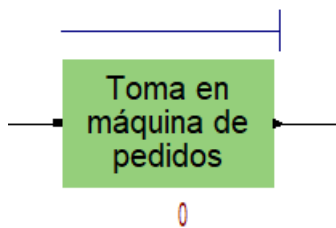


Ilustración 29. Toma en máquina de pedidos.

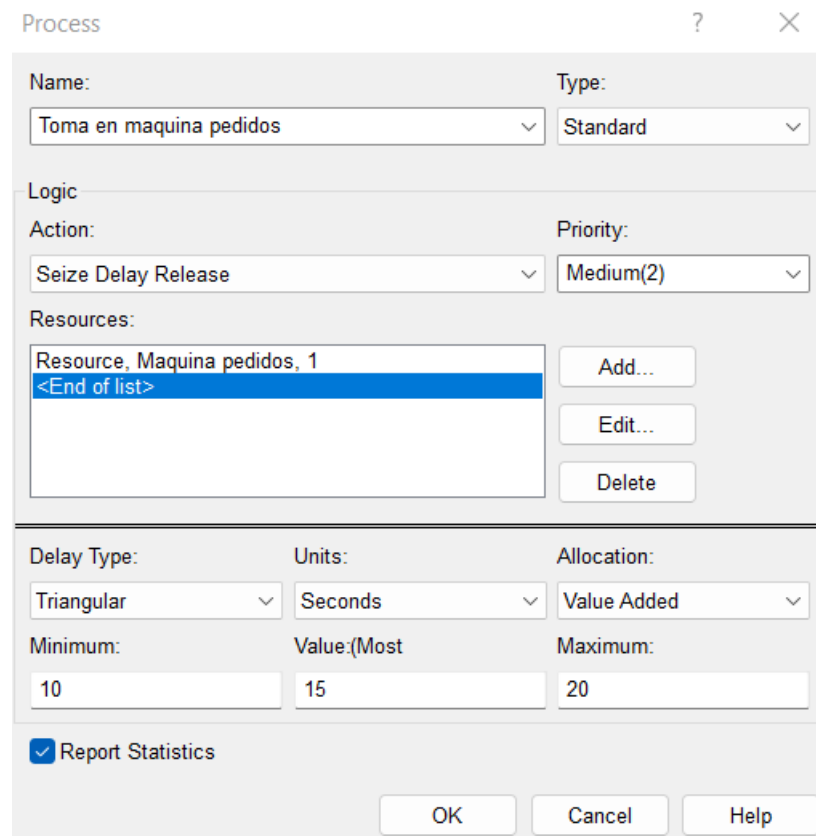


Ilustración 30. Datos de entrada en toma en máquina de pedidos.

Este módulo será del tipo estándar, la acción es "Seize Delay Release", que indica que se asignará un recurso (Máquina de pedidos) seguido por un retardo del tipo triangular expresado en segundos que es lo que tarda en completarse el proceso y luego, se liberará el recurso reservado.

Como el robot ya tiene la orden de ir a recoger el material, el operario ya no es necesario porque no va a intervenir más por lo que ya se le puede dejar libre. Se hace uso del módulo "Release" para liberar el recurso "Operario".

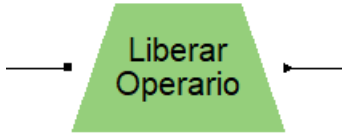


Ilustración 31.
Liberar operario.

Ilustración 32. Datos entrada liberar operario.

Cuando el robot ya ha enganchado el carro con el material deberá iniciar la marcha hacia su destino. Al haber tres destinos distintos, uno para cada una de las tres líneas de montaje, es necesario indicarle a cuál debe ir. Para que tome la decisión se utiliza un módulo "Decide", que permite a los procesos tomar decisiones en el sistema.



Ilustración 33.
Selección línea de destino

Ilustración 34. Datos entrada selección de línea de destino.

El módulo "Selección de línea de destino" será del tipo "N-way by Condition" que incluye la opción de tomar decisiones basándose en una o más condiciones. Las condiciones se van a basar en el tipo de entidad de entrada que se han definido anteriormente en el primer paso de la simulación en los tres módulos "Create":

Entity Type
Destino a línea 1
Destino a línea 2
Destino a línea 3

Ilustración 35. Entity type.

Hay dos puntos de salida del módulo "Decide" cuando se especifica el tipo "N-way by condition"; hay un punto de salida para las entidades "verdaderas" (Destino a línea 1 y Destino a línea 2) y una para las entidades "falsas" (Destino a línea 3).

Una vez el robot ha identificado la línea a la que tiene que dirigirse, pasamos a la etapa de transporte del material desde la ubicación donde ha dejado el carro el operario hasta las distintas ubicaciones de destino, situadas al final de cada línea de montaje. Para el representar el transporte utilizaremos varios módulos "Process", un módulo para cada una de las tres líneas.

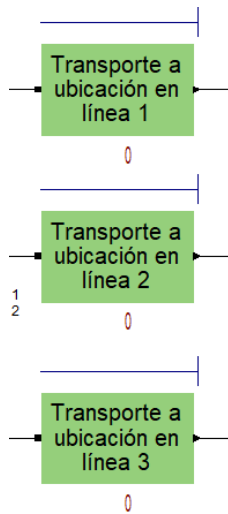


Ilustración 37.
Transporte a ubicación en líneas.

Estos módulos son nombrados como transporte a línea uno/dos/tres, según corresponda. Se ha elegido un tipo estándar y un tipo de acción "Seize Delay", esto indica que un recurso será asignado en este módulo y que habrá un retardo y la liberación del recurso ocurrirá más tarde.

Los recursos utilizados son:

Resource, Carro, 1
Resource, Robot, 1

Ilustración 36. Recursos utilizados.

El tiempo de proceso se considera como valor añadido.

Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum
3 Transporte a ubicación de línea 1	Standard	Seize Delay	Medium(2)	2 rows	Triangular	Seconds	Value Added	385	400	450
4 Transporte a ubicación de línea 2	Standard	Seize Delay	Medium(2)	2 rows	Triangular	Seconds	Value Added	435	450	500
5 Transporte a ubicación de línea 3	Standard	Seize Delay	Medium(2)	2 rows	Triangular	Seconds	Value Added	520	535	585

Ilustración 38. Datos de entrada a transporte a ubicación en líneas.

Tal y como se ha explicado anteriormente en el proceso hay un retardo, en este caso es el tiempo que tarda el robot en llegar a la ubicación de destino.

Como el robot va a una velocidad de 1m/s cuando está cargado de material, el tiempo expresado en la tabla superior es igual al número de metros que tiene que recorrer en cada una de las rutas.

Se elige una distribución triangular donde se expresa el valor mínimo, el máximo y una moda, el motivo de esta elección es porque el tiempo que tarda en hacer cada recorrido no es siempre constante, el robot puede tener retrasos durante el trayecto derivados de otros vehículos o personas que se cruzar por el camino y obligan a reducir su

velocidad o detenerse y/o porque tiene que esquivar o realizar pequeños cambios de ruta por diversas alteraciones como pueden ser obstáculos en el camino.

Cuando el robot ha llegado a la zona de estacionamiento del material situada al final de cada línea de ensamblaje, deberá aparcar y estacionar el carro de forma autónoma antes de iniciar el retorno hacia su zona de carga. El tiempo que tarda en hacer toda esta etapa en la simulación se representara mediante módulos "Process".

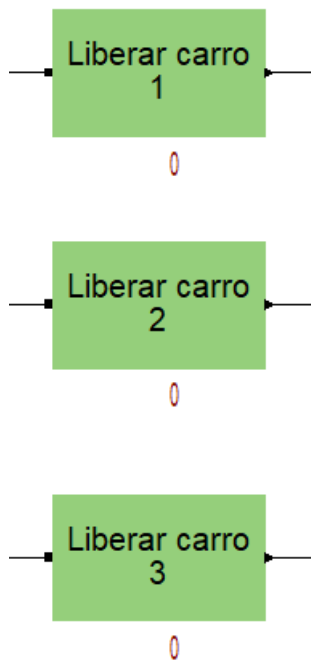


Ilustración 39.
Liberar carro.

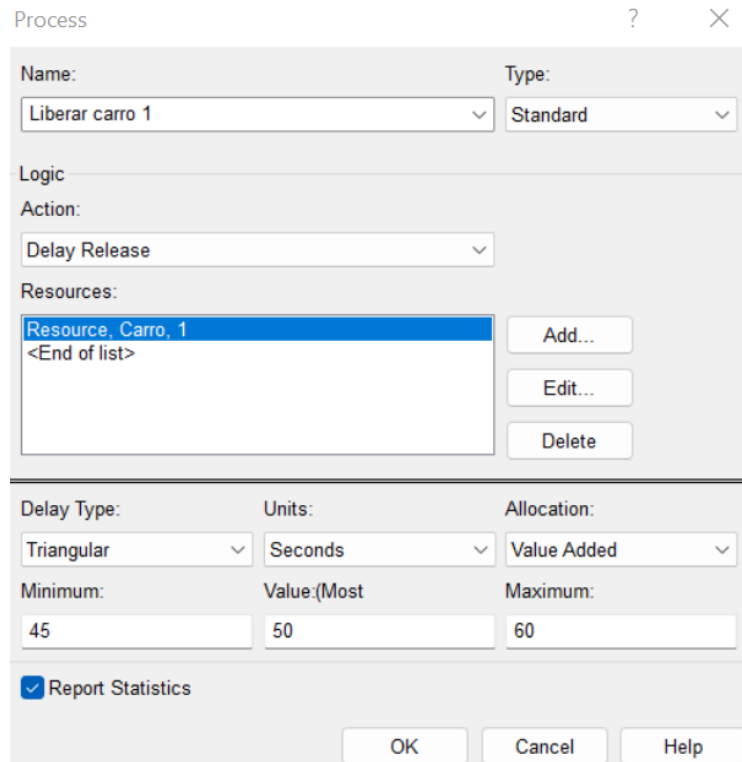


Ilustración 40. Datos de entrada liberar carro.

Se elige una acción "Delay release" donde se hace uso del recurso "Carro" para realizar todo el proceso de estacionamiento del material, el tiempo que tarda es el mismo independientemente de si es en la línea de montaje uno, la línea dos o la tres y será expresado mediante una distribución triangular midiendo el tiempo en segundos. Se considera que es un valor añadido.

Cuando se termina el proceso el recurso utilizado es liberado para que se pueda volver a hacer uso de él.

Una vez el robot ha estacionado el carro en su ubicación, es necesario que vuelva a la posición de partida para volver a hacer todo el proceso con una carga nueva. Para conseguir esto en la simulación se han utilizados tres módulos "Process" uno para cada línea. El tiempo de proceso se considera como valor añadido, se ha elegido un tipo

estándar y un tipo de acción "Delay Release", que indica que se asignará un recurso seguido por un retardo y luego, se liberará el recurso reservado.

Los recursos asignado en los tres casos es el robot:

Resource, Robot, 1

Ilustración 41. Recurso robot.

Para calcular el retardo, en este caso el tiempo que tarda el robot en volver desde el final de las líneas de ensamblaje hasta la ubicación de carga se supone una velocidad del robot de 1.2m/s.

Se elige una distribución triangular donde se expresa el valor mínimo, el máximo y una moda, el motivo de esta elección es porque el tiempo que tarda en hacer cada recorrido no es siempre constante ya que al igual que ocurre en la ida, en la vuelta el robot puede tener retrasos durante el trayecto derivados de otros vehículos o personas que se cruzan por el camino y este tiene que esquivar o pequeños cambios de ruta o interrupciones.

Fase de retorno desde línea de ensamblaje 1:

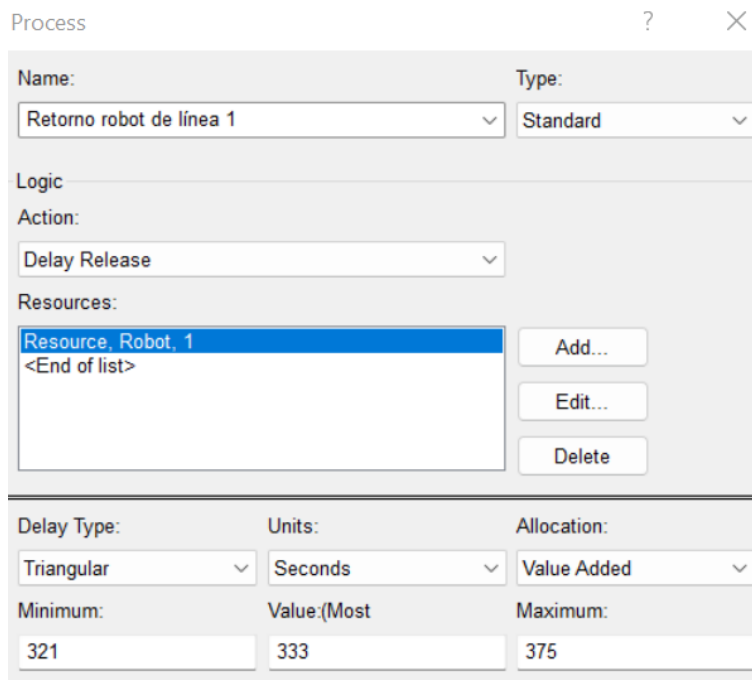


Ilustración 42. Fase de retorno desde línea de ensamblaje 1.

Fase de retorno desde línea de ensamblaje 2:

Process ? X

Name: Type:

Logic

Action:

Resources:

Resource, Robot, 1	Add...
<End of list>	

Edit...
Delete

Delay Type:	Units:	Allocation:
<input type="text" value="Triangular"/>	<input type="text" value="Seconds"/>	<input type="text" value="Value Added"/>
Minimum:	Value:(Most)	Maximum:
<input type="text" value="363"/>	<input type="text" value="375"/>	<input type="text" value="417"/>

Ilustración 43. Fase de retorno desde línea de ensamblaje 2.

Fase de retorno desde línea de ensamblaje 3:

Process ? X

Name: Type:

Logic

Action:

Resources:

Resource, Robot, 1	Add...
<End of list>	

Edit...
Delete

Delay Type:	Units:	Allocation:
<input type="text" value="Triangular"/>	<input type="text" value="Seconds"/>	<input type="text" value="Value Added"/>
Minimum:	Value:(Most)	Maximum:
<input type="text" value="433"/>	<input type="text" value="446"/>	<input type="text" value="488"/>

Ilustración 44. Fase de retorno desde línea de ensamblaje 3.

Para finalizar y que la simulación funcione correctamente, es necesario poner módulos "Dispose" al final de los últimos procesos.

Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación.

Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.

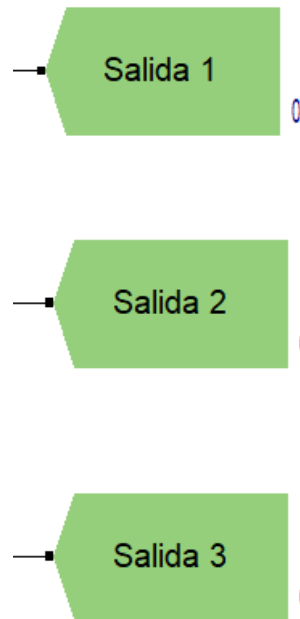


Ilustración 45. Módulos de salida.

5. RESULTADOS

Tras realizar el modelado completo de la simulación, es el momento de obtener los resultados para saber si el proceso planteado cumple con los objetivos previstos o si hay que realizar variaciones para conseguir mejoras.

El primer paso es configurar los parámetros de la replicación, para este caso se hará una única replicación, siendo objeto de estudio un turno de trabajo de 8h durante cinco días, es decir 40h.

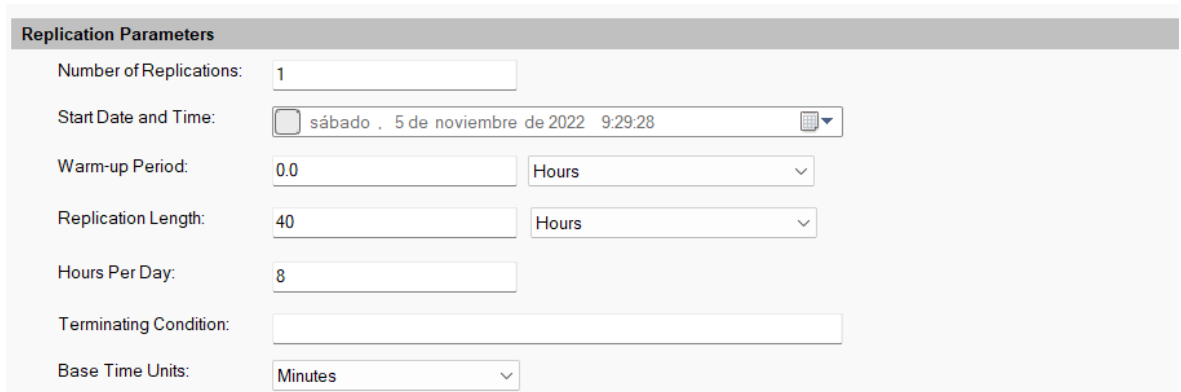


Ilustración 46. Parámetros de la replicación.

Los datos que son recopilados para el reporte de resultados son los siguientes:

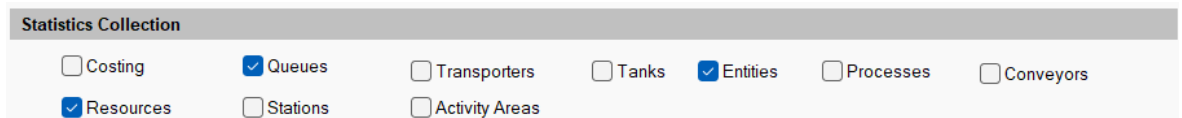


Ilustración 47. Datos recopilados.

5.1. PRUEBA DE SIMULACIÓN CON UN ROBOT

En la primera prueba se va a simular el suministro de material a las tres líneas de montaje con un único robot, los parámetros y los datos de entrada en los módulos de arena son los expuestos durante el apartado de montaje de la simulación (véase apartado 4.3).

Evaluando los resultados se puede llegar a la conclusión de que el sistema funciona correctamente hasta el momento en el que los carros tienen que ser transportados, es en ese punto donde se forma un cuello de botella importante, ya que el robot no es capaz de recoger todos los pedidos que se fabrican provocando un gran número de colas y haciendo que cada carro tenga que estar esperando mucho tiempo en

su ubicación hasta que es recogido. Si el proceso simulado se llevara a cabo en la realidad provocaría el bloqueo de las líneas de montaje por falta de material.

NÚMERO MEDIO DE CARROS EN COLA PARA SER TRANSPORTADOS(UDS)		
Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
17,63	12,27	10,58

Tabla 3. Carros en cola prueba.

TIEMPO MEDIO DE ESPERA DEL MATERIAL SIN SER RECOGIDO(SEG)		
Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
400,41	404,34	411,30

Tabla 4. Tiempo medio en cola.

TIEMPO TOTAL DEL PROCESO		
A línea 1	A línea 2	A línea 3
434,18	455,17	470,13

Otro dato significativo que también nos lleva a la conclusión de que el proceso está mal planteado es el porcentaje de carros que llegan a destino, que no supera el 60% en ningún caso.

COMPARACIÓN CARROS QUE ENTRAN/SALEN(UDS)			
	Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
Números entrada	107	74	63
Números salida	70	47	41
%Llegadas a destino	65,42%	63,5%	65,08%

Tabla 5. Porcentaje de llegadas a destino.

Punto positivo es la utilización del robot que es muy cercano al 100%

UTILIZACIÓN DEL ROBOT
98,3%

Tabla 6. Utilización robot.

Se obtiene la conclusión de que el sistema es muy ineficiente y sería imposible el correcto funcionamiento de la fábrica con este diseño, se deben buscar fórmulas nuevas.

5.2. PRUEBA DE SIMULACIÓN CON DOS ROBOTS

Como se ha visto en los datos obtenidos en la prueba anterior los carros que contienen el material no llegaban a tiempo y se provocaría un bloqueo de las líneas en el caso de que se llevara a cabo, para tratar de mejorar el proceso se decide aumentar el número de robots encargados de transportar el material a dos unidades. Al igual que en la prueba anterior, los parámetros y los datos de entrada en los módulos

de arena son los expuestos durante el apartado de montaje de la simulación (véase apartado 4.3) a excepción del recurso "Robot" que será incrementado hasta dos unidades.

Una vez ejecutada la nueva simulación se puede ver en las siguientes tablas que las mejoras son considerables, mediante la utilización de dos robots se consigue que el número de carros que tienen que esperar en cola a que llegue el robot sea prácticamente cero y cuando lo tienen que hacer solo sobrepasan los dos segundos de espera en la línea dos.

NÚMERO MEDIO DE CARROS EN COLA PARA SER TRANSPORTADOS(UDS)		
Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
0,05	0,06	0,03

Tabla 7. Carros en cola prueba dos.

TIEMPO MEDIO DE ESPERA DEL MATERIAL SIN SER RECOGIDO(SEG)		
Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
1,16	2,09	0,97

Tabla 8. Tiempo medio en cola prueba dos.

El tiempo total del proceso también ha experimentado una gran reducción de casi 400 segundos en cada una de las líneas.

TIEMPO TOTAL DEL PROCESO		
A línea 1	A línea 2	A línea 3
40,46	53,49	59,53

Tabla 9. Tiempo total del proceso prueba dos.

Por otro lado, se ha logrado un dato muy importante que es que se consigue que casi el 100% del material llegue a destino.

COMPARACIÓN CARROS QUE ENTRAN/SALEN(UDS)			
	Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
Números entrada	108	74	64
Números salida	106	72	62
%Llegadas a destino	98,15%	97,3%	96,9%

Tabla 10. porcentaje de llegadas a destino prueba dos.

El porcentaje de utilización de los robots se reduce debido a que ahora todo el trabajo se hace entre dos por lo que se considera como aspecto positivo y además, esto permite que estén más tiempo en la base de carga ampliando así el número de horas que podrían llegar a trabajar.

UTILIZACIÓN ROBOTS
74,9%

Tabla 11. Utilización robots prueba dos.

5.3. SIMULACIÓN CON TRACTOR DE ARRASTRE

En este apartado se hace una simulación del proceso de transporte con el tractor de arrastre. Los parámetros y los datos de entrada en los módulos de arena son los expuestos durante el apartado de montaje de la simulación (véase apartado 4.3) a excepción del recurso "Robot" que será sustituido por un recurso "Tractor de arrastre", los tiempos de transporte se reducen ya que este tipo de vehículos son capaces de alcanzar velocidades superiores (6-8 km/h) y el tiempo que se tarda en desenganchar el carro también se reducirá.

Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum
Transporte a ubicación en línea 1	Standard	Seize Delay	Medium(2)	2 rows	Triangular	Seconds	Value Added	230	240	270
Transporte a ubicación en línea 2	Standard	Seize Delay	Medium(2)	2 rows	Triangular	Seconds	Value Added	260	270	300
Transporte a ubicación en línea 3	Standard	Seize Delay	Medium(2)	2 rows	Triangular	Seconds	Value Added	311	321	351
Liberar carro 1	Standard	Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	25	30	40
Liberar carro 2	Standard	Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	25	30	40
Liberar carro 3	Standard	Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	25	30	40
Retorno tractor de línea 1	Standard	Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	197	209	229
Retorno tractor de línea 2	Standard	Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	223	235	255
Retorno tractor de línea 3	Standard	Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	267	279	299

Ilustración 48. Datos simulación con tractor arrastre.

En los datos que se muestran en las tablas inferiores se puede ver como los resultados son bastante buenos, el número de carros en cola no supera las 0,2 unidades en ningún caso y cuando hay que hacer esperas el tiempo medio es menor de cinco segundos por lo que consideramos que el proceso de transporte no provocaría ninguna afección a las líneas de montaje.

NÚMERO MEDIO DE CARROS EN COLA PARA SER TRANSPORTADOS(UDS)		
Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
0,20	0,13	0,12

Tabla 12. Tiempo en cola con tractor de arrastre.

TIEMPO MEDIO DE ESPERA DEL MATERIAL SIN SER RECOGIDO(SEG)		
Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
5	4,43	4,8

Tabla 13. Tiempo medio en cola con tractor de arrastre.

El tiempo total del proceso se encuentra en valores adecuados y no se aprecia ningún funcionamiento anormal.

TIEMPO TOTAL DEL PROCESO		
A línea 1	A línea 2	A línea 3
39,34	49,66	56,74

Tabla 14. Tiempo total del proceso con tractor de arrastre.

Por otro lado, se ha logrado un dato muy importante que es que casi el 100% del material llegue a destino.

COMPARACIÓN CARROS QUE ENTRAN/SALEN(UDS)			
	Para línea 1	Para línea 2	Para línea 3
Números entrada	108	73	64
Números salida	107	72	62
%Llegadas a destino	99,07%	98,6%	96,9%

Tabla 15. Porcentaje de llegadas a destino con tractor de arrastre.

El porcentaje de utilización de utilización del tractor de arrastre es muy bueno ya que supera el 90%.

UTILIZACIÓN TRACTOR DE ARRASTRE
91,4%

Tabla 16. Utilización tractor de arrastre.

5.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se van a recopilar los resultados obtenidos en cada una de las tres pruebas, para ver cuáles son las mejoras obtenidas en el caso de que se produzcan.

5.4.1. Comparación pruebas con robots

La primera comparación que se va a hacer es entre las simulaciones realizadas con un robot y con dos robots:

PRUEBA CON UN ROBOT Y PRUEBA CON DOS ROBOTS			
	Prueba un robot	Prueba dos robots	Mejora (%)
Número medio de carros en cola (uds)	17,63	0,05	35160%
	12,27	0,06	20350%
	10,58	0,03	35167%
Tiempo medio de carros en cola (seg)	400,41	1,16	34418%
	404,34	2,09	19246%
	411,30	0,97	42302%
Tiempo total del proceso (seg)	434,18	40,46	973%
	455,17	53,49	751%

	470,13	59,53	690%
Llegadas a destino (%)	65,42%	98,15%	33%
	63,5%	97,3%	35%
	65,08%	96,9%	33%
Utilización robots (%)	98,3%	74,9%	-31%

Tabla 17. Comparación prueba uno y dos.

Tras realizar la comparación se descarta la utilización de un único robot ya que los datos obtenidos no proporcionan ninguna seguridad en el suministro de material a las líneas y las mejoras obtenidas con la utilización de dos robots son elevadas. Se antepone la utilización de dos robots sobre el uso de un único robot.

5.4.2. Comparación pruebas con robots

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre la simulación realizada con un tractor de arrastre y la realizada con dos robots:

PRUEBA CON DOS ROBOTS Y PRUEBA CON TRACTOR DE ARRASTRE			
	Prueba dos robots	Prueba tractor de arrastre	Mejora (%)
Número medio de carros en cola (uds)	0,05	0,2	-300%
	0,06	0,12	-100%
	0,03	0,13	-333%
Tiempo medio de carros en cola (seg)	1,16	5	-331%
	2,09	4,43	-112%
	0,97	4,8	-395%
Tiempo total del proceso (seg)	40,46	39,34	3%
	53,49	49,66	7%
	59,53	56,74	5%

Llegadas a destino (%)	98,15%	99,07%	1%
	97,3%	98,06%	1%
	96,9%	96,9%	0%
Utilización robots (%)	74,4	91,4%	23%

Tabla 18. Comparación prueba dos robots y tractor arrastre.

Al igual que ocurría en la comparación anterior se puede ver como la mejor de las opciones es la utilización de dos robots, el número medio de colas y el tiempo de espera del material en cola que son los datos más importantes son inferiores. Hay datos que se puede ver que son peores con dos robots pero la diferencia es muy escasa.

6. CONCLUSIONES

Como se ha visto a lo largo del trabajo, la Industria 4.0 ofrece a las empresas grandes retos pero también importantes oportunidades de crecimiento pudiendo conseguir un entorno de producción más eficiente y, por lo tanto, una ventaja competitiva.

Las empresas que quieran mantener su posición en el mercado y mantener su competitividad deberán producir y trabajar de una forma más eficiente y una forma de lograrlo es apostar, invertir y saber adaptarse a las nuevas tecnologías que conecten entre si toda la cadena de valor en las organizaciones, de esta forma se pueden obtener datos e información en tiempo real o incluso de forma anticipada para ayudar a la toma correcta de decisiones.

En este trabajo se han repasado todos los pilares que componen la Industria 4.0 y se ha puesto el foco en dos de ellos: la simulación de procesos industriales que ha permitido estudiar un proceso de forma virtual hasta lograr la optimización de ese proceso evitando los riesgos que se pudieran haber causado debido a mal planteamientos o pruebas mal efectuadas si se hace directamente en el proceso real y también se han estudiado los robots de transporte autónomo para transportar materiales de una forma más efectiva.

Al finalizar el estudio práctico se puede concluir que el sistema inicialmente planteado con un único robot era erróneo ya que no se lograba ningún tipo de mejora pero gracias a la simulación realizada se ha conseguido información para ver de una forma anticipada que la mejor opción para lograr el objetivo es utilizar dos robots por lo que se considera que se ha cumplido el objetivo que se planteó de inicio ya que el proceso se ha mejorado. Esto ha sido posible mediante la utilización de dos grandes tecnologías como son la simulación de procesos industriales mediante software y la utilización de dos robots de transporte inteligentes y autónomos con los que consigue mejorar el proceso de suministro de material desde el inicio del proceso en el punto de fabricación donde está la máquina que lo produce hasta las tres líneas de montaje que eran el destino, consiguiendo un flujo continuo de material que hace que no se produzcan bloqueos o paradas en las líneas por falta de material ni tampoco acumulaciones excesivas de stock en la zona de ensamblaje que puedan disminuir la productividad o incluso suponer un riesgo para la salud de los operarios por la reducción del espacio que ello conllevaría pudiendo incrementar el número de accidentes.

En resumen, se ha logrado que el material llegue justo en el momento en el que es requerido para su utilización de una forma eficiente, eliminando en gran parte los problemas causados por errores



humanos gracias a la automatización de los procesos y las nuevas tecnologías, haciendo que la actividad de la empresa sea más eficiente, productiva y segura.

7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, de la Agenda 2030 (ONU, 2022):

- Objetivo 4 - Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos



- Meta 4.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento

- Objetivo 8 - Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos



- Meta 8.2 Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra

- Objetivo 9 - Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación



- Meta 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas

8. BIBLIOGRAFÍA

ATRIA. (2018). AGVs, ¿Vehículos de Guiado Automático todavía no sabes lo que son? ATRIA Innovation. <https://www.atriainnovation.com/agvs-vehiculos-de-guiado-automatico-todavia-no-sabes-lo-que-son/>

Aula21. (2022). Qué es la simulación de procesos industriales y cómo se realiza. aula21 | Formación para la Industria. <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-simulacion-de-procesos-industriales/>

Deloitte. (2022). Forces of change: Industry 4.0. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/manufacturing/Deloitte-ES-manufacturing-industria-4.0.pdf>

Deloitte Spain. (2022). ¿Qué es la Industria 4.0? | Deloitte España. Deloitte Spain. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>

Deloitte University Press. (2016). Industry 4.0 and manufacturing ecosystems. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/Deloitte-Industry-4-0-and-manufacturing-ecosystems.pdf>

Deloitte University Press. (2017). The Smart Factory. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf

EDS Robotics. (2021, enero 14). ▷ AGV vs AMR ¿Cuál es mejor? Diferencias principales. EDS Robotics. <https://www.edsrobotics.com/blog/agv-vs-amr-diferencias/>

Gómez, C. M. y A. (2020, agosto 6). Guía para la transformación digital a la industria 4.0. ITAINNOVA. <https://www.itainnova.es/blog/industria-4-0/guia-para-la-transformacion-digital-a-la-industria-4-0/>

Jiménez Luengo, E. I. (2010). Análisis de los sistemas de control de la producción Kanban y conwip bajo escenarios de reprocesado.

MIR. (2022). Mobile Industrial Robots—AGV vs. AMR - What's the Difference? <https://www.mobile-industrial-robots.com/es/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>

ONU. (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible—Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Robotnik. (2021, enero 12). Robots móviles y Industria 4.0: Automatización y flexibilidad. Robotnik. <https://robotnik.eu/es/robots-moviles-en-la-industria-4-0-automatizacion-y-flexibilidad/>

Robotnik. (2022, febrero 28). ¿Cuál es la diferencia entre AGV y AMR? Robotnik. <https://robotnik.eu/es/cual-es-la-diferencia-entre-agv-y-amr/>

SAP Insights. (2022). ¿Qué es la Industria 4.0? | Definición, tecnologías, beneficios | SAP Insights. SAP. <https://www.sap.com/spain/insights/what-is-industry-4-0.html>

Suntech. (2021). Although the global textile industry is developing vigorously, it is facing the dilemma of transformation. Intelligent textile production machinery is undergoing technological innovation. Suntech AGV is helping the global textile industry. <https://www.suntech-machine.com/events/suntech-agv-automated-guided-vehicle-126.html>

UAH. (2019, marzo 4). Ventajas y Desventajas de la Industria 4.0. Master en Industria 4.0: Universidad de Alcalá - Madrid. <https://www.masterindustria40.com/ventajas-desventajas-industria-4-0/>

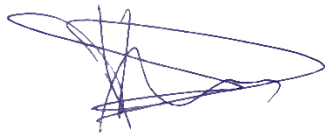
Viramontes Mota, J. (2019). Simulación y optimización de un sistema de AGV y almacén automático. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24190/ViramontesMota_Jeanette_TFG_2019.pdf

Relación de documentos

(X) Memoria 68 páginas

() Anexos 11 páginas

La Almunia, a 23 de Noviembre de 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned below the date.

Firmado: Diego Marín Díez



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

ANEXOS

**TRANSPORTE INTELIGENTE Y AUTÓNOMO EN
INDUSTRIA 4.0**

**INTELLIGENT AND AUTONOMOUS TRANSPORT
IN INDUSTRY 4.0**

425.22.88

Autor: Diego Marín Díez

Director: Luis Mariano Esteban Escaño

Fecha: Noviembre 202

INDICE DE CONTENIDO

1. RESULTADOS SIMULACIÓN CON UN ROBOT	1
2. RESULTADOS SIMULACIÓN CON DOS ROBOTS	3
3. RESULTADOS SIMULACIÓN CON TRACTOR DE ARRASRE	5

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de proyecto con un robot.	1
Tabla 2. Estadísticas de tiempos discretos con un robot.	1
Tabla 3. Estadísticas de tiempos continuos con un robot.	2
Tabla 4. Estadísticas de salida con un robot.	2
Tabla 5. Información de proyecto con dos robots.	3
Tabla 6. Estadísticas de tiempos discretos con dos robots.	3
Tabla 7. Estadísticas de salida con dos robots.	4
Tabla 8. Estadísticas de tiempos continuos con dos robots.	4
Tabla 9. Información de proyecto con tractor de arrastre.	5
Tabla 10. Estadísticas de tiempos discretos con tractor de arrastre.	5
Tabla 11. Estadísticas de salida con tractor de arrastre.	6
Tabla 12. Estadísticas de tiempos continuos con tractor de arrastre.	6

1. RESULTADOS SIMULACIÓN CON UN ROBOT

ProjectName	ModelFile	ModelRunDate	TimeUnits	NumberOfReplications	AvgStatCollectionLength	ConfidenceInterval
Simulación TFG	C:\Users\luses\Downloads\Simulación con un AGV_DiegoMarín.p	2022-11-01 12:16:29	Minutes	1	2400	0,95

Tabla 1. Información de proyecto con un robot.

Discrete-Time Statistics (Tally)			Average Of Replication Averages	Minimum Replication Average	Maximum Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	Avg Observations Per Replication
Name	Type	Source						
Destino a línea 1	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	70
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	70
	Total Time	Entity	434,1788776	434,1788776	434,1788776	36,35536742	837,8418319	70
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	70
	VA Time	Entity	39,52629076	39,52629076	39,52629076	36,2083529	44,12106533	70
	Wait Time	Entity	394,6525868	394,6525868	394,6525868	0	798,5292116	70
Destino a línea 2	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	47
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	47
	Total Time	Entity	455,1715887	455,1715887	455,1715887	53,3465173	841,0075693	47
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	47
	VA Time	Entity	50,80974164	50,80974164	50,80974164	46,90826468	55,66754101	47
	Wait Time	Entity	404,361847	404,361847	404,361847	0	787,0142273	47
Destino a línea 3	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	41
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	41
	Total Time	Entity	470,1249786	470,1249786	470,1249786	74,4559534	858,958931	41
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	41
	VA Time	Entity	58,80897609	58,80897609	58,80897609	53,82638911	62,76512391	41
	Wait Time	Entity	411,3160025	411,3160025	411,3160025	12,50076473	797,1574436	41
Toma de pedido.Queue	Waiting Time	Queue	0,024278666	0,024278666	0,024278666	0	0,962574465	241
Toma en máquina de pedidos.Queue	Waiting Time	Queue	0	0	0	0	0	241
Transporte a ubicación en línea 1.Queue	Waiting Time	Queue	400,4129211	400,4129211	400,4129211	0	805,6761476	71
Transporte a ubicación en línea 2.Queue	Waiting Time	Queue	404,3424251	404,3424251	404,3424251	0	787,0142273	47
Transporte a ubicación en línea 3.Queue	Waiting Time	Queue	411,2960805	411,2960805	411,2960805	12,50076473	797,1574436	41

Tabla 2. Estadísticas de tiempos discretos con un robot.



Continuous-Time Statistics (Time Persistent)										
Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Half-Width	StDev Of Replication Averages	Min Replication Average	Max Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	
Carro	Instantaneous	Resource	0,005625146	Insufficient	0	0,005625146	0,005625146	0	0,01	
	Number Busy	Resource	0,562514551	Insufficient	0	0,562514551	0,562514551	0	1	
	Number Scheduled	Resource	100	Insufficient	0	100	100	100	100	
Destino a línea 1	WIP	Entity	19,18755595	Insufficient	0	19,18755595	19,18755595	0	37	
Destino a línea 2	WIP	Entity	13,65956652	Insufficient	0	13,65956652	13,65956652	0	27	
Destino a línea 3	WIP	Entity	11,97314275	Insufficient	0	11,97314275	11,97314275	0	23	
Máquina de pedidos	Instantaneous	Resource	0,025350962	0,001500386	0	0,025350962	0,025350962	0	1	
	Number Busy	Resource	0,025350962	0,001500386	0	0,025350962	0,025350962	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Operario	Instantaneous	Resource	0,109067506	0,006014438	0	0,109067506	0,109067506	0	1	
	Number Busy	Resource	0,109067506	0,006014438	0	0,109067506	0,109067506	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Robot	Instantaneous	Resource	0,982843544	Insufficient	0	0,982843544	0,982843544	0	1	
	Number Busy	Resource	0,982843544	Insufficient	0	0,982843544	0,982843544	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Toma de pedido.Queue	Number Wait	Queue	0,002437983	Insufficient	0	0,002437983	0,002437983	0	1	
Toma en máquina de pedidos.Queue	Number Wait	Queue	0	Insufficient	0	0	0	0	0	
Transporte a ubicación en línea 1.Queue	Number Wait	Queue	17,63057766	Insufficient	0	17,63057766	17,63057766	0	36	
Transporte a ubicación en línea 2.Queue	Number Wait	Queue	12,2781125	Insufficient	0	12,2781125	12,2781125	0	26	
Transporte a ubicación en línea 3.Queue	Number Wait	Queue	10,58948379	Insufficient	0	10,58948379	10,58948379	0	22	

Tabla 3. Estadísticas de tiempos continuos con un robot.

Output Statistics (Reports End of Replication Value)									
Name	Type	Source	Average Across Replications	Half-Width	Overall StDev	Min Replication Value	Max Replication Value		
System.NumberOut	Number Out	System	158	NoCalc	0	158	158		
Carro.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	159	NoCalc	0	159	159		
Carro.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,005625146	NoCalc	0	0,005625146	0,005625146		
Destino a línea 1.NumberIn	Number In	Entity	107	NoCalc	0	107	107		
Destino a línea 1.NumberOut	Number Out	Entity	70	NoCalc	0	70	70		
Destino a línea 2.NumberIn	Number In	Entity	74	NoCalc	0	74	74		
Destino a línea 2.NumberOut	Number Out	Entity	47	NoCalc	0	47	47		
Destino a línea 3.NumberIn	Number In	Entity	63	NoCalc	0	63	63		
Destino a línea 3.NumberOut	Number Out	Entity	41	NoCalc	0	41	41		
Máquina de pedidos.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	241	NoCalc	0	241	241		
Máquina de pedidos.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,025350962	NoCalc	0	0,025350962	0,025350962		
Operario.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	241	NoCalc	0	241	241		
Operario.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,109067506	NoCalc	0	0,109067506	0,109067506		

Tabla 4. Estadísticas de salida con un robot.

2. RESULTADOS SIMULACIÓN CON DOS ROBOTS

ProjectName	ModelFile	ModelRunDate	TimeUnits	NumberOfReplications	AvgStatCollectionLength	ConfidenceInterval
Simulación TFG	C:\Users\luses\Downloads\Simulación con dos AGV_DiegoMarín.p	2022-11-01 12:25:00	Minutes	1	2400	0,95

Tabla 5. Información de proyecto con dos robots.

Discrete-Time Statistics (Tally)								
Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Minimum Replication Average	Maximum Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	Avg Observations Per Replication
Destino a línea 1	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	106
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	106
	Total Time	Entity	40,46002461	40,46002461	40,46002461	35,11861263	51,10269592	106
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	106
	VA Time	Entity	39,24525955	39,24525955	39,24525955	35,11861263	43,70898499	106
	Wait Time	Entity	1,214765055	1,214765055	1,214765055	0	11,07094867	106
Destino a línea 2	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	72
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	72
	Total Time	Entity	53,4898127	53,4898127	53,4898127	47,48936155	64,22905513	72
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	72
	VA Time	Entity	51,33752453	51,33752453	51,33752453	47,48936155	55,52442475	72
	Wait Time	Entity	2,152288169	2,152288169	2,152288169	0	12,9310071	72
Destino a línea 3	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	62
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	62
	Total Time	Entity	59,5301713	59,5301713	59,5301713	54,34625582	68,31944306	62
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	62
	VA Time	Entity	58,51865105	58,51865105	58,51865105	54,34625582	63,04282234	62
	Wait Time	Entity	1,011520253	1,011520253	1,011520253	0	12,717121	62
Toma de pedido.Queue	Waiting Time	Queue	0,036429836	0,036429836	0,036429836	0	0,969049934	243
Toma en máquina de pedidos.Queue	Waiting Time	Queue	0	0	0	0	0	242
Transporte a ubicación en línea 1.Queue	Waiting Time	Queue	1,162821067	1,162821067	1,162821067	0	11,07094867	106
Transporte a ubicación en línea 2.Queue	Waiting Time	Queue	2,091448007	2,091448007	2,091448007	0	12,50622674	73
Transporte a ubicación en línea 3.Queue	Waiting Time	Queue	0,978681142	0,978681142	0,978681142	0	12,51915168	63

Tabla 6. Estadísticas de tiempos discretos con dos robots.

Continuous-Time Statistics (Time Persistent)										
Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Half-Width	StDev Of Replication Averages	Min Replication Average	Max Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	
Carro	Instantaneous Utilization	Resource	0,008568924	0,000418171	0	0,008568924	0,008568924	0	0,02	
	Number Busy	Resource	0,856892447	0,041817088	0	0,856892447	0,856892447	0	2	
	Number Scheduled	Resource	100	Insufficient	0	100	100	100	100	
Destino a línea 1	WIP	Entity	1,798803135	Insufficient	0	1,798803135	1,798803135	0	3	
Destino a línea 2	WIP	Entity	1,621223438	Insufficient	0	1,621223438	1,621223438	0	2	
Destino a línea 3	WIP	Entity	1,557500332	Insufficient	0	1,557500332	1,557500332	0	2	
Máquina de pedidos	Instantaneous Utilization	Resource	0,02545814	0,001538381	0	0,02545814	0,02545814	0	1	
	Number Busy	Resource	0,02545814	0,001538381	0	0,02545814	0,02545814	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Operario	Instantaneous Utilization	Resource	0,109038641	0,005529826	0	0,109038641	0,109038641	0	1	
	Number Busy	Resource	0,109038641	0,005529826	0	0,109038641	0,109038641	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Robot	Instantaneous Utilization	Resource	0,749904392	Correlated	0	0,749904392	0,749904392	0	1	
	Number Busy	Resource	1,499808785	Correlated	0	1,499808785	1,499808785	0	2	
	Number Scheduled	Resource	2	Insufficient	0	2	2	2	2	
Toma de pedido.Queue	Number Waiting	Queue	0,003688521	Insufficient	0	0,003688521	0,003688521	0	1	
Toma en máquina de pedidos.Queue	Number Waiting	Queue	0	Insufficient	0	0	0	0	0	
Transporte a ubicación en línea 1.Queue	Number Waiting	Queue	0,05135793	Insufficient	0	0,05135793	0,05135793	0	1	
Transporte a ubicación en línea 2.Queue	Number Waiting	Queue	0,063614877	Insufficient	0	0,063614877	0,063614877	0	1	
Transporte a ubicación en línea 3.Queue	Number Waiting	Queue	0,02569038	Insufficient	0	0,02569038	0,02569038	0	1	

Tabla 8. Estadísticas de tiempos continuos con dos robots.

Output Statistics (Reports End of Replication Value)									
Name	Type	Source	Average Across Replications	Half-Width	Overall StDev Across Replications	Min Replication Value	Max Replication Value		
System.NumberOut	Number Out	System	240	NoCalc	0	240	240		
Carro.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	242	NoCalc	0	242	242		
Carro.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,008568924	NoCalc	0	0,008568924	0,008568924		
Destino a línea 1.NumberIn	Number In	Entity	108	NoCalc	0	108	108		
Destino a línea 1.NumberOut	Number Out	Entity	106	NoCalc	0	106	106		
Destino a línea 2.NumberIn	Number In	Entity	74	NoCalc	0	74	74		
Destino a línea 2.NumberOut	Number Out	Entity	72	NoCalc	0	72	72		
Destino a línea 3.NumberIn	Number In	Entity	64	NoCalc	0	64	64		
Destino a línea 3.NumberOut	Number Out	Entity	62	NoCalc	0	62	62		
Máquina de pedidos.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	242	NoCalc	0	242	242		
Máquina de pedidos.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,02545814	NoCalc	0	0,02545814	0,02545814		
Operario.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	243	NoCalc	0	243	243		
Operario.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,109038641	NoCalc	0	0,109038641	0,109038641		
Robot.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	242	NoCalc	0	242	242		
Robot.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,749904392	NoCalc	0	0,749904392	0,749904392		

Tabla 7. Estadísticas de salida con dos robots.

3. RESULTADOS SIMULACIÓN CON TRACTOR DE ARRASTRE

ProjectName	ModelFile	ModelRunDate	TimeUnits	NumberOfReplications	AvgStatCollectionLength	ConfidenceInterval
Simulación TFG	C:\Users\DOWNLOADS\Simulación con carretilla.p	2022-11-19 08:05:36	Minutes	1	2400	0,95

Tabla 9. Información de proyecto con tractor de arrastre.

Discrete-Time Statistics (Tally)								
Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Minimum Replication Average	Maximum Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	Avg Observations Per Replication
Destino a línea 1	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	107
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	107
	Total Time	Entity	39,33938364	39,33938364	39,33938364	30,87767862	51,56560972	107
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	107
	VA Time	Entity	34,29012073	34,29012073	34,29012073	29,72478837	38,3128513	107
Destino a línea 2	Wait Time	Entity	5,049262909	5,049262909	5,049262909	0	17,76454137	107
	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	72
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	72
	Total Time	Entity	49,65907636	49,65907636	49,65907636	40,48352492	60,90153102	72
	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	72
Destino a línea 3	VA Time	Entity	45,20583751	45,20583751	45,20583751	40,48352492	49,84172273	72
	Wait Time	Entity	4,453238854	4,453238854	4,453238854	0	15,90139336	72
	NVA Time	Entity	0	0	0	0	0	62
	Other Time	Entity	0	0	0	0	0	62
	Total Time	Entity	56,74031851	56,74031851	56,74031851	48,15490809	63,14627929	62
Toma de pedido.Queue	Transfer Time	Entity	0	0	0	0	0	62
	VA Time	Entity	51,90913583	51,90913583	51,90913583	47,3331349	56,2569139	62
	Wait Time	Entity	4,831182679	4,831182679	4,831182679	0	10,74275711	62
	Waiting Time	Queue	0,034162744	0,034162744	0,034162744	0	1,034115944	241
	Waiting Time	Queue	0	0	0	0	0	241
Transporte a ubicación en línea 1.Queue	Waiting Time	Queue	5,004594596	5,004594596	5,004594596	0	16,73042543	107
	Waiting Time	Queue	4,433047138	4,433047138	4,433047138	0	15,90139336	72
	Waiting Time	Queue	4,798926094	4,798926094	4,798926094	0	10,72912754	62

Tabla 10. Estadísticas de tiempos discretos con tractor de arrastre.



Continuous-Time Statistics (Time Persistent)										
Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Half-Width	StDev Of Replication Averages	Min Replication Average	Max Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	
Carro	Instantaneous Utilization	Resource	0,005175386	0,000241199	0	0,005175386	0,005175386	0	0,01	
	Number Busy	Resource	0,517538633	0,024119913	0	0,517538633	0,517538633	0	1	
	Number Scheduled	Resource	100	Insufficient	0	100	100	100	100	
Destino a línea 1	WIP	Entity	1,762265404	Insufficient	0	1,762265404	1,762265404	0	3	
Destino a línea 2	WIP	Entity	1,498476573	Insufficient	0	1,498476573	1,498476573	0	2	
Destino a línea 3	WIP	Entity	1,484610933	Insufficient	0	1,484610933	1,484610933	0	2	
Máquina de pedidos	Instantaneous Utilization	Resource	0,024877716	Correlated	0	0,024877716	0,024877716	0	1	
	Number Busy	Resource	0,024877716	Correlated	0	0,024877716	0,024877716	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Operario	Instantaneous Utilization	Resource	0,107439346	0,005480691	0	0,107439346	0,107439346	0	1	
	Number Busy	Resource	0,107439346	0,005480691	0	0,107439346	0,107439346	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Toma de pedido.Queue	Number Waiting	Queue	0,003430509	Insufficient	0	0,003430509	0,003430509	0	1	
Toma en máquina de pedidos.Queue	Number Waiting	Queue	0	Insufficient	0	0	0	0	0	
Tractor arrastre	Instantaneous Utilization	Resource	0,913707564	Insufficient	0	0,913707564	0,913707564	0	1	
	Number Busy	Resource	0,913707564	Insufficient	0	0,913707564	0,913707564	0	1	
	Number Scheduled	Resource	1	Insufficient	0	1	1	1	1	
Transporte a ubicación en línea 1.Queue	Number Waiting	Queue	0,223121509	Insufficient	0	0,223121509	0,223121509	0	1	
Transporte a ubicación en línea 2.Queue	Number Waiting	Queue	0,132991414	Insufficient	0	0,132991414	0,132991414	0	1	
Transporte a ubicación en línea 3.Queue	Number Waiting	Queue	0,123972257	Insufficient	0	0,123972257	0,123972257	0	1	

Tabla 12. Estadísticas de tiempos continuos con tractor de arrastre.

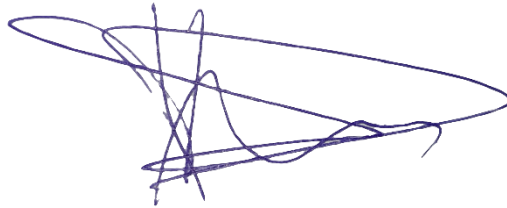
Output Statistics (Reports End of Replication Value)								
Name	Type	Source	Average Across Replications	Half-Width	Overall StDev Across Replications	Min Replication Value	Max Replication Value	
System.NumberOut	Number Out	System	241	NoCalc	0	241	241	
Carro.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	241	NoCalc	0	241	241	
Carro.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,005175386	NoCalc	0	0,005175386	0,005175386	
Destino a línea 1.NumberIn	Number In	Entity	108	NoCalc	0	108	108	
Destino a línea 1.NumberOut	Number Out	Entity	107	NoCalc	0	107	107	
Destino a línea 2.NumberIn	Number In	Entity	73	NoCalc	0	73	73	
Destino a línea 2.NumberOut	Number Out	Entity	72	NoCalc	0	72	72	
Destino a línea 3.NumberIn	Number In	Entity	64	NoCalc	0	64	64	
Destino a línea 3.NumberOut	Number Out	Entity	62	NoCalc	0	62	62	
Máquina de pedidos.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	241	NoCalc	0	241	241	
Máquina de pedidos.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,024877716	NoCalc	0	0,024877716	0,024877716	
Operario.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	241	NoCalc	0	241	241	
Operario.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,107439346	NoCalc	0	0,107439346	0,107439346	
Tractor arrastre.NumberSeized	Total Number Seized	Resource	241	NoCalc	0	241	241	
Tractor arrastre.ScheduledUtilization	Scheduled Utilization	Resource	0,913707564	NoCalc	0	0,913707564	0,913707564	

Tabla 11. Estadísticas de salida con tractor de arrastre.

Relación de documentos

(_) Memoria 68 páginas
(X) Anexos 11 páginas

La Almunia, a 23 de Noviembre de 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned below the date.

Firmado: Diego Marín Díez

