



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2018/19**

---

*Simulación y optimización de un sistema de AGV y  
almacén automático*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNA**

Jeanette Viramontes Mota

**TUTORES**

Diego Crespo Pereira

Rosa Ríos Prado

**FECHA**

JUNIO 2019

## RESUMEN

### **Simulación y optimización de un sistema de AGV y almacén automático**

En este trabajo se plantea la optimización de dos líneas de producción que contienen vehículos de guiado automático y sistemas de recuperación y almacenamiento automático. Para obtener los resultados esperados se realiza una investigación previa sobre los vehículos de guiado automático y los sistemas de recuperación y almacenamiento así como de las simulaciones de procesos industriales. Luego de esto, se recolecta la información del trabajo que previamente se realizó para poder darle continuidad y así crear un modelado paramétrico por medio del software de simulación de eventos discretos llamado Flexsim. Al finalizar el modelado de los escenarios se comparan los resultados para así concluir que es más eficiente para la empresa con diversos experimentos cambiando diferentes parámetros.

### **Simulación e optimización dun sistema de AGV y almacén automático**

Neste traballo plantease a optimización de dúas liñas de produción que conteñen vehículos de guiado automático e sistemas de recuperación e almacenamento automático. Para obter os resultados esperados realízase unha investigación previa sobre os vehículos de guiado automático e os sistemas de recuperación e almacenamento así como das simulacións de procesos industriais. A continuación, recollese a información do traballo que xa se realizara para poder darlle continuidade e así crear un modelado paramétrico por medio do software de simulación de eventos discretos chamado Flexsim. Ao finalizar o modelado dos escenarios, compáranse os resultados para saber que é o máis eficiente para a empresa con diversos experimentos cambiando diferentes parámetros.

### **Simulation and optimization of an AGV system and automatic warehouse**

This dissertation presents the optimization of two production lines containing automatic guided vehicles and automatic storage and retrieval systems. To obtain the expected results, a preliminary investigation is carried out on the vehicles of automatic guidance and the systems of warehouse recovery, as well as the industrial processes of simulations. After this, the information of the work that was previously made is collected to be able to give continuity and thus create a parametric modeling by means of discrete event simulation software called Flexsim. At the end of modeling the scenarios, the results are compared to conclude which scenario it is more efficient for the company with different experiments changing different parameters.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2018/19**

---

*Simulación y optimización de un sistema de AGV y  
almacén automático*

---

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Documento**

**MEMORIA**

## Índice

Resumen.....	2
1 Introducción .....	9
2 Objetivos.....	10
3 Marco Teórico.....	11
3.1 Definición de AGV.....	11
3.2 Definición de Almacén automático .....	11
3.3 Historia de los AGV.....	11
3.4 Almacenes automáticos.....	12
3.5 AGV en la actualidad .....	13
3.6 Aplicación de AGV en la industria .....	14
3.7 Tipos de AGV´s.....	14
3.7.1 Vehículos de horquillas.....	15
3.7.2 Vehículos con plataforma .....	15
3.7.3 Vehículo para Bobina .....	15
3.8 Simulación de procesos industriales .....	16
3.8.1 Flexsim.....	19
3.9 Antecedentes .....	21
3.9.1 Caso practico .....	21
3.9.2 Industria 4.0 .....	22
4 Metodología .....	26
4.1 Capacitación.....	26
4.2 Descripción de la simulación .....	27
4.3 Desarrollo del modelo .....	30
5 Resultados.....	37
5.1 Muestra de datos .....	37
5.1.1 12 AGVs y líneas de producción separadas.....	37
5.1.2 12 AGV y líneas de producción juntas .....	40
5.1.3 10 AGVs y líneas de producción juntas .....	42
5.1.4 Líneas de producción separadas 12 AGVs.....	44
5.1.5 Líneas de producción separadas 10 AGVs.....	45
5.1.6 Líneas de producción separadas 8 AGVs.....	47
5.1.7 Líneas de producción separadas 6 AGVs.....	48
5.1.8 Líneas de producción separadas 4 AGVs.....	49

5.2 Analizar resultados.....	50
5.2.1 AGVs.....	50
5.2.2 ASRS .....	51
5.2.3 Cambio en tasa de producción.....	53
6 Conclusiones .....	54
7 Referencias Bibliograficas.....	55

## Índice de Figuras

Figura 1: Primer AGV .....	11
Figura 2: Ejemplos de un almacén automático.....	12
Figura 3: Ejemplo de AGV en la actualidad .....	14
Figura 4: Ejemplo de AGV de horquillas .....	15
Figura 5: Ejemplo de AGV con plataforma .....	15
Figura 6: Ejemplo de un AGV de bobina .....	16
Figura 7: Gráfica de las publicaciones de simulaciones.....	17
Figura 8: Mapa conceptual de la clasificación de la simulación.....	18
Figura 9: Logotipo del simulador .....	19
Figura 10: Librería de Flexsim para modelado en 3D .....	19
Figura 11: Librería del proceso de flujo en Flexsim.....	20
Figura 12: Ejemplo de proceso de flujo con Flexsim .....	21
Figura 13: Recorte de pantalla del Software Anylogic.....	22
Figura 14: Evolución de la industria .....	23
Figura 15: Demostración grafica de los elementos previamente mencionados .....	27
Figura 16: Recorte de pantalla de la simulación de la planta completa.....	28
Figura 17: Recorte de pantalla de la línea de producción previamente descrita.....	29
Figura 18: Recorte de pantalla de la simulación de la planta.....	30
Figura 19: nuevas conexiones para que funcionaran las seis estaciones .....	31
Figura 20: Estaciones de desempaque colocadas .....	32
Figura 21: Process Flow de la actividad previamente descrita .....	33
Figura 22: AGV añadidos para el funcionamiento de las dos líneas de producción .....	34
Figura 23: Simulación 12 AGVs .....	35
Figura 24: Simulación 10 AGVs .....	36
figura 25: Resultados arrojados sobre dos dispatchers y 12 AGVs.....	38
figura 26: Resultados arrojados sobre los operarios con dos dispatchers .....	38
Figura 27: Resultados de ASRS con dos dispatchers.....	39
Figura 28: Resultados de 12 AGVs con un dispatcher.....	40
Figura 29: Resultados de operarios con un dispatcher .....	41
figura 30: Resultados de los ASRS con un dispatcher .....	41
Figura 31: Resultados de 10 AGVs con un dispatcher.....	42
Figura 32: Resultados de operarios con 10 AGVs y un dispatcher .....	43
figura 33: Resultados de ASRS con 10 AGVs y un dispatcher .....	43
Figura 34: Gráficas de líneas conforme al tiempo con 12 AGVs .....	45
Figura 35: Gráfica de líneas de tasa conforme el tiempo con 10 AGVs .....	46

Figura 36: Gráfica de líneas conforme el tiempo con 8 AGVs .....	47
Figura 37: Gráfica de líneas conforme al tiempo con 6 AGVS.....	48
Figura 38: Gráfica de líneas conforme al tiempo con 4 AGVS.....	49
Figura 39: Histograma comparando los resultados .....	53

## Índice de tablas

Tabla 1: Recorte de pantalla del programa Flexsim. Se anexa como evidencia .....	40
Tabla 2: Evidencia de la tasa de producción con 10 AGVs .....	44
Tabla 3: Tasa de producción de 12 AGVs .....	44
Tabla 4: Tasa de producción de 10 AGV .....	45
Tabla 5: Tasa de producción con 8 AGVs .....	47
Tabla 6: Tasa de producción de 6 AGVs .....	48
Tabla 7: Tasa de producción de 4 AGVs .....	49
Tabla 8: Resultados de 12 AGVs con dos dispatcher .....	50
Tabla 9: Resultados de 12 AGVs con un dispatcher .....	50
Tabla 10: Resultados de 10 AGVs con un dispatcher .....	50
Tabla 11: Media de resultados AGV .....	51
Tabla 12: Resultados en porcentaje de ASRS con dos dispatcher .....	51
Tabla 13: Resultados en porcentaje de ASRS con un dispatcher .....	52
Tabla 14: Resultados en porcentaje de ASRS con 10 AGVs y un dispatcher .....	52
Tabla 15: Comparativa de la media de los resultados arrojados por ASRS .....	52
Tabla 16: Comparativa de las tasas de producción.....	53



## 1 INTRODUCCIÓN

La mejora continua es siempre el objetivo de cualquier empresa, el minimizar tiempos muertos, disminuir los materiales que sobran en la producción, la seguridad en las tareas que tiene que hacer un operario, etc. Sin embargo, estos cambios suelen estar sujetos a incertidumbre y, sobre todo en grandes empresas con sistemas productivos complejos, estas decisiones pueden implicar grandes riesgos. Un cambio mal planteado puede provocar que la productividad no aumente de una manera significativa o, incluso, resultar en paradas de producción y pérdidas. Está claro que para una empresa lo más importante es mejorar, pero si se toman cambios abruptos sin considerar los riesgos, podría llegar a afectar inmensamente a la empresa en cuestión. Así es como nace la simulación, de la necesidad de optimizar procesos con modelos realistas que arrojen resultados reales sin tener que comprometer las líneas de producción de una empresa en la realidad.

El presente trabajo presenta la simulación realizada de los procesos de una empresa con el objetivo de identificar cómo podría mejorarse la línea de producción haciendo cambios en algunas condiciones. Con esto en mente, se trata de un trabajo donde previamente se analizó el proceso y como resultado del trabajo se alcanzaron objetivos como la recreación de la planta en un modelo virtual, se optimizó el número de operarios y el número de vehículos, etc. Todo esto fue estudiado bajo las especificaciones de la empresa.

En este trabajo se discutirá brevemente sobre lo que es un vehículo guiado automático, así como lo que es un sistema de recuperación y almacenamiento automático para entrar en contexto sobre el tema a discutir. También se hablará de la simulación, y un poco más específico sobre la simulación de procesos industriales, que es en lo que se basa este trabajo. Más tarde se tocará el tema de los antecedentes donde se argumentará a lo largo de la historia cuales han sido los temas claves para que, a día de hoy, la simulación sea tan imprescindible en las empresas como lo es.

Posteriormente, en este trabajo se describirá la metodología que seguida para modelar el proceso real y simularlo en el software Flexsim. Por último, se detallan los escenarios de análisis que han sido planteados y la experimentación que se ha llevado a cabo mediante el modelo, así como las mejoras analizadas y los resultados con las conclusiones que se derivan de ellos.

## 2 OBJETIVOS

Este trabajo de fin de grado tiene como finalidad el estudio de un caso real correspondiente a una empresa que quería analizar la incorporación de vehículos guiados automáticos (AGV) para el transporte interno de materiales, por medio de la simulación. El objetivo fundamental del trabajo es desarrollar un modelo de simulación de la planta que permita dimensionar la flota de AGV necesaria para realizar los movimientos internos de material requeridos. Por lograr este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar los flujos de transporte interno en la planta y la lógica de operación de los nuevos AGV.
2. Modelizar en Flexsim los procesos de transporte interno de material.
3. Realizar una experimentación inicial variando el número de AGV de manera que se demuestre la capacidad del modelo para dimensionar el número de recursos necesarios.

## 3 MARCO TEÓRICO

### 3.1 Definición de AGV

Los vehículos de guiado automático AGV <sup>1</sup>son máquinas de transporte para el almacén, similares a las carretillas, que se desplazan automáticamente siguiendo una trayectoria trazada o programada de antemano. Hay máquinas con elevación y diferentes tipos de horquilla para la manipulación de pallets o bultos. Y en el mercado existen modelos de AGV y LGV específicamente diseñados para el transporte de pallets, cajas, bobinas y cargas voluminosas.

### 3.2 Definición de Almacén automático

Un almacén automático o bien por sus siglas ASRS <sup>2</sup>se define como un lugar o espacio físico donde se guardan las materias primas, productos que están por terminar su elaboración o productos totalmente elaborados que esperan ser transferidos a su próximo punto en la cadena. Los almacenes automáticos tienen la habilidad de optimizar la gestión de acopio, mientras aprovecha al máximo el espacio pues se evita la entrada y salida de AGV y operarios. La característica principal es automatizar las tareas de un almacén sin la necesidad de intervenciones de terceros.

### 3.3 Historia de los AGV

La historia de los vehículos guiados automáticos (AGV) comenzó en 1953. A Mac Barret se le ocurrió la idea de un carro remolque guiado por un campo magnético, este carro remolque se conducía con un hombre a bordo y mediante unos sensores debajo del vehículo y una serie de imanes (combinación norte/sur) que se encontraban en el suelo del vehículo se podía leer y detenerse en cada estación. Este invento se usó en fábricas durante años, aproximadamente hasta los años setenta. Después llegaron los controles de estado sólido, esto significó permitirles a los sistemas la capacidad de expandirse y ser más flexible. Los relés de estado sólido incrementaron notablemente el número de aplicaciones en la industria, los vehículos no sólo remolcaban trailers, sino que también se utilizaban en la entrega de cargas unitarias, sistemas de producción en proceso y sistemas de ensamblaje de vehículos.



Figura 1: Primer AGV

---

<sup>1</sup> Automated Guided Vehicle

<sup>2</sup> Automated Storage Retrieval

### 3.4 Almacenes automáticos

Con la tendencia de la industria 4.0, las empresas se ven obligadas a posicionarse y ofrecer propuestas de valor competitivas con respecto a empresas rivales de su mismo sector. Hace solo algunos años, hablar de la automatización era referirse a empresas que contaban con los ingresos necesarios para poder realizar estas inversiones, sin embargo, en la actualidad, cada vez más empresas detectan la necesidad de actualizarse en este tipo de sistemas automáticos que ofrecen una optimización de tiempos que al final resulta atractivo para el futuro de la empresa.

A pesar de lo que podría pensarse, los almacenes automáticos no solo tienen la finalidad de almacenar los productos de una empresa, sino hacer que circulen, un almacén automático tiene la tarea de conseguir que la mercancía circule lo más rápido posible. De acuerdo con Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C (2003-2004) existe una secuencia de las tareas que son designadas para los almacenes automáticos y se explicaran en breve:

- *Entrada de bienes:* Recepción de las mercancías a través de los muelles de carga, pasando por los controles de calidad, cuarentenas y cambios de embalaje necesarios.
- *Almacenamiento:* Disposición de las cargas en su ubicación con el objeto de retenerlas hasta su puesta a disposición.
- *Recogida de pedidos:* Conocida también como picking, es la operación por la que se convierten las unidades de carga de compra en unidades de venta.
- *Agrupación-Ordenación:* Dependiendo del procedimiento de generación de pedidos, y de la configuración del sistema de distribución será necesario establecer un sistema para agrupar y ordenar los pedidos según las rutas de distribución.
- *Salida de bienes:* El control de salidas, recuento numérico o control de calidad y el embarque en el medio de transporte correspondiente son las funciones con las que finaliza el proceso.



Figura 2: Ejemplos de un almacén automático

Se cree que la transformación de los almacenes comenzó con los nuevos sistemas de producción, como el JIT<sup>3</sup>. Con la llegada de JIT en los años ochenta, los almacenes comenzaron a tomar gran importancia refiriéndose a la mejora continua y crearse un proceso de almacenamiento eficiente. Los sistemas de almacenamiento pueden clasificarse como: estáticos, dinámicos, semiautomáticos y automáticos.

- **Sistemas estáticos:** Se refieren a un sistema convencional de almacenamiento, se componen por estanterías fijas, estos sistemas son simples y económicos.
- **Sistemas dinámicos:** Este sistema suele tener estructuras compactas que incorporan bandas transportadoras de rodillos, que están colocadas con una ligera pendiente para así desplazarse. Están hechas para almacenes tipo FIFO<sup>4</sup>. Suelen ser costosos.
- **Sistemas semiautomáticos:** Son sistemas que están compuestos por una serie de almacenes en paralelo que contienen motores y dispositivos para poder manipular los elementos almacenados.
- **Sistemas automáticos:** Estos almacenes no sólo manipulan la mercancía, sino que no necesitan la intervención de operarios para la carga y descarga. Son costosos, pero optimizan los tiempos.

### 3.5 AGV en la actualidad

Hoy en día la tecnología ha evolucionado, aunque el alambre en el piso sigue utilizándose, en una aplicación correcta y apropiada, es en una cantidad mínima, existen ahora diseños que funcionan sin el alambre. En el presente los vehículos están equipados con sistemas informáticos sofisticados que pueden comunicar, dirigir y administrar el sistema. Las nuevas configuraciones de vehículos también han proliferado.

Los sistemas básicos de AVG aún se encuentran disponibles, aunque ahora existe una gran variedad como: de llamada automática, carga de oportunidad, carga/descarga automática y acoplamiento y desacoplamiento automático y estos están ahora disponibles para la correcta aplicación de remolque. Los sistemas de carga unitaria han sido redefinidos también y existen distintas soluciones como sistema de accionamiento parasito, fijación personalizada, plataformas de carga múltiple, etc.

---

<sup>3</sup> “Just in time” se traduce como un sistema que produce justo lo que requiere cuando se necesita, con una buena calidad y sin desperdiciar recursos.

<sup>4</sup> “First in first out” se traduce como un método contable diseñado para teoría de colas en donde el primero en llegar es el primero en salir.



**Figura 3: Ejemplo de AGV en la actualidad**

### **3.6 Aplicación de AGV en la industria**

El uso de los AGV está especialmente indicado para realizar tareas repetitivas en todo tipo de industrias, pero especialmente en las áreas de producción y espacios logísticos. A pesar de que la aplicación de estos vehículos guiados puede realizarse en una amplia gama de sectores industriales son realmente adecuados para algunos sectores concretos, Como lo son la automatización o la alimentación. El nivel de empleo de los sistemas AGV es muy bajo, algunos ejemplos podrían ser:

- Transporte de grandes cargas.
  - Tren autoguiado. Se utiliza para el movimiento de grandes cantidades de material para distancia relativamente grandes.
- Almacenamiento y distribución.
  - Movimiento de pallets cargados entre la zona o muelle de carga y los estantes (stands) de almacenamiento.
  - Carretillas automáticas y transportes de unidades de carga.
  - Interacción con almacenes automatizados. o Almacenamiento centralizado de productos inacabados.
- Operaciones en las líneas de ensamblaje:
  - Movimiento de los cuerpos de los automóviles y grandes subconjuntos (por ejemplo, motores) a través de las estaciones de ensamblaje. Flexibilidad para transportar elementos diversos entre puntos de fabricación intermedios la tasa de producción es relativamente baja (entre 4 y 10 minutos por estación), ya que se tienen diferentes modelos de productos en las líneas que requieren de un tiempo de proceso diferente. Por ello las estaciones de trabajo se ponen en paralelo y entre estaciones los componentes se ponen por encima del vehículo y se llevan a la siguiente estación.

Los AGV tiene un extenso uso en la industria, entre otros se encuentran: Aeroespacial, Automotriz, Alimentos, Farmacéutica, Textil, etc.

### **3.7 Tipos de AGV's**

Hoy en día existen diferentes tipos de AGV's, así como se pueden diseñar nuevos y producirse para las necesidades específicas de las empresas, pero también existen algunos modelos que son los más conocidos y por ende tienen una mayor aplicación. Estos modelos tienen diferentes capacidades de pesos y cargas.



### 3.7.1 Vehículos de horquillas

Este modelo es uno de los más utilizados en las empresas gracias a su alta funcionalidad en los diferentes sistemas que requieran carga y descarga del material, así como el transporte. Su característica más importante es que contenga horquillas fijas, o de apertura automática.



Figura 4: Ejemplo de AGV de horquillas

### 3.7.2 Vehículos con plataforma

Este tipo de vehículo es idealmente para cargas muy pesadas pues tiene una capacidad de hasta 10 toneladas (dependiendo del fabricante), una de sus características es que es uno de los más lentos.



Figura 5: Ejemplo de AGV con plataforma

### 3.7.3 Vehículo para Bobina

Las características de este modelo son que principalmente se utilizan para la industria textil o de papelera por su materia prima (bobinas), tiene una gran capacidad de carga con hasta 2 toneladas dependiendo del fabricante y se puede alzar el producto hasta 4 metros.



Figura 6: Ejemplo de un AGV de bobina

### 3.8 Simulación de procesos industriales

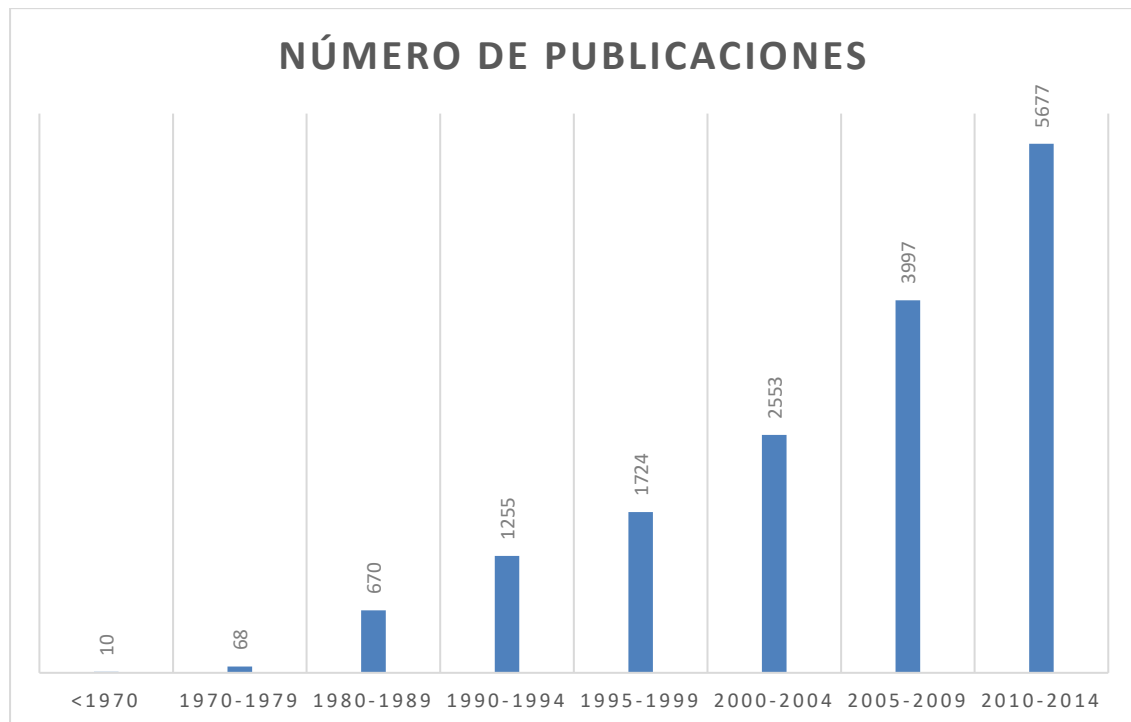
Se le conoce como simulación a la técnica experimental, que normalmente se realiza mediante un computador para analizar el comportamiento de algún sistema que se pueda operar en el mundo real. Por lo tanto, cuando se simula se necesita realizar un modelo de algún proceso que produzca una respuesta al sistema del mundo real.

Existe una gran variedad de softwares que ofrece el mercado para simular distintos procesos hoy en día, esta variedad se debe a las necesidades del consumidor y los procesos que necesite implementar, la complejidad de lo que quiera simular, etc. Dada la naturaleza de este trabajo, se hablará de los simuladores de procesos industriales.

Los simuladores de procesos industriales permiten conocer el comportamiento de un sistema industrial en su conjunto, incluyendo los componentes que puedan integrarse, estos simuladores suelen normalmente estar orientados a la optimización y estadística de un diseño global. La simulación es una herramienta importante para disminuir riesgos y facilitar la toma de decisiones, las inversiones en la tecnología, el personal, instalaciones. La creación de estos modelos significa para cualquier empresa una ventaja competitiva puesto que se pueden realizar pruebas, así como analizar el modelo y sus resultados sin tener que interferir en la actividad diaria de su empresa.

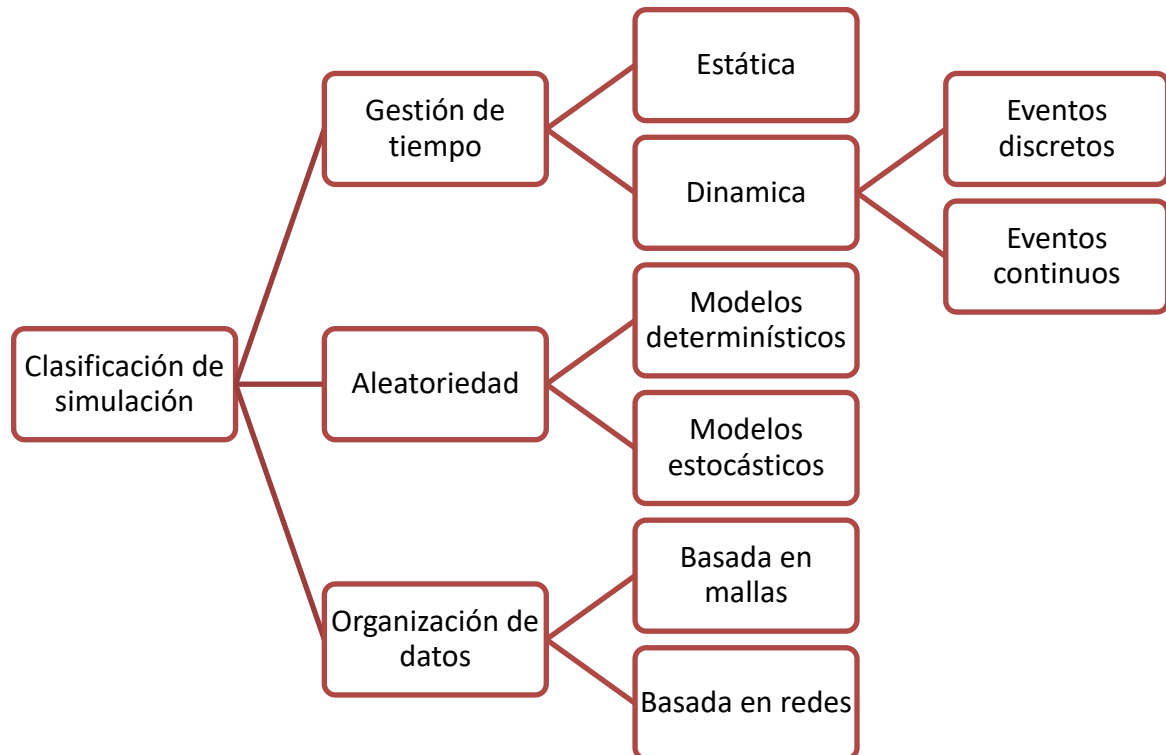
Según (Mourtzis, Doukas y Bernidaki, 2014) existe un incremento en el número de proyectos publicados desde los años 70 hasta la actualidad, con esto en mente podemos denotar la importancia de la simulación y como ha afectado de forma positiva en el ámbito industrial.





**Figura 7: Gráfica de las publicaciones de simulaciones**

Los modelos de simulación se pueden categorizar en tres dimensiones básicas: Gestión de tiempo, aleatoriedad, organización de datos. Para saber si la simulación depende o no de gestión de tiempo se necesitaría saber si lo que se simula es estático o dinámico, las simulaciones estáticas no dependen del tiempo mientras que las dinámicas sí. Las simulaciones dinámicas pueden categorizarse como continuas y discretas. En las continuas la variable del tiempo es continua, mientras que la discreta ocurre en ciertos puntos de tiempo.



**Figura 8: Mapa conceptual de la clasificación de la simulación**

Se ha discutido el hecho de que el uso de la simulación tiene ventajas para empresas, entre algunas ventajas están:

- Obtención de ahorros significativos debidos a:
  - Evitar inversiones innecesarias.
  - Evitar retrabajos innecesarios en las plantas y oficinas.
- Mejora de Gestión de procesos:
  - Incremento en la productividad.
  - Mejor y más información para la adecuada toma de decisiones.
- Mayor agilidad a la hora de realizar análisis de procesos, comparado contra el tiempo de hacer el análisis en forma manual o utilizando técnicas que consumen mucho más tiempo.
- Además, como beneficios Intangibles encontramos que la simulación posibilita que el personal técnico junto a la gerencia entienda y comprenda los procesos de una forma completa. Además, permite definir la problemática de una forma clara y concisa. Por otra parte, debido al entorno gráfico de las herramientas de simulación, permite exponer y entender más fácilmente las derivaciones de los cambios propuestos.

Aunque es cierto que no todo sistema funciona al 100 por ciento, la simulación podría también no ser lo mejor opción en ciertos casos en concreto, por ejemplo: si el coste es muy alto para una microempresa que aún no cuenta con los ingresos necesarios para realizar esa inversión. Existen diversos softwares que son específicamente para simular procesos

industriales entre algunos: Anylogic, arena, Flexsim. El software en el cual se centrará este trabajo es Flexsim.

### 3.8.1 Flexsim

Flexsim es un programa de simulación de eventos discretos completo que permite analizar, modificar y visualizar un proceso de manufactura, logística y manejo de materiales. Además, este software cuenta con la ventaja de que permite construir y ejecutar la simulación desarrollada dentro de un modelo 3D. Un modelo desarrollado con el software Flexsim es básicamente un sistema de flujo de entidades, colas, procesos y sistemas de transporte.



Figura 9: Logotipo del simulador

Este programa tiene la intención de ayudar al usuario a programar y planear la operación de un sistema en determinado tiempo inferior al que se necesitaría si se ejecutara el plan realmente. Cuenta con dos maneras de programar: con el modelo 3D que contiene una librería prediseñada (ilustración 10) dónde se pueden encontrar elementos para recrear un proceso industrial. Las ventajas de usar un software como Flexsim es que tiene la posibilidad de modelar en 3D en donde se generan conexiones por medio de los elementos. Estos elementos también pueden configurarse si no se desea quedarse con la configuración predeterminada y así crear un sistema funcional. Otra gran ventaja de Flexsim es que también se puede programar procesos de flujo en 2D (ilustración 2D) que se podría considerar como una manera más sencilla de controlar lo que podría ser un modelo complicado.

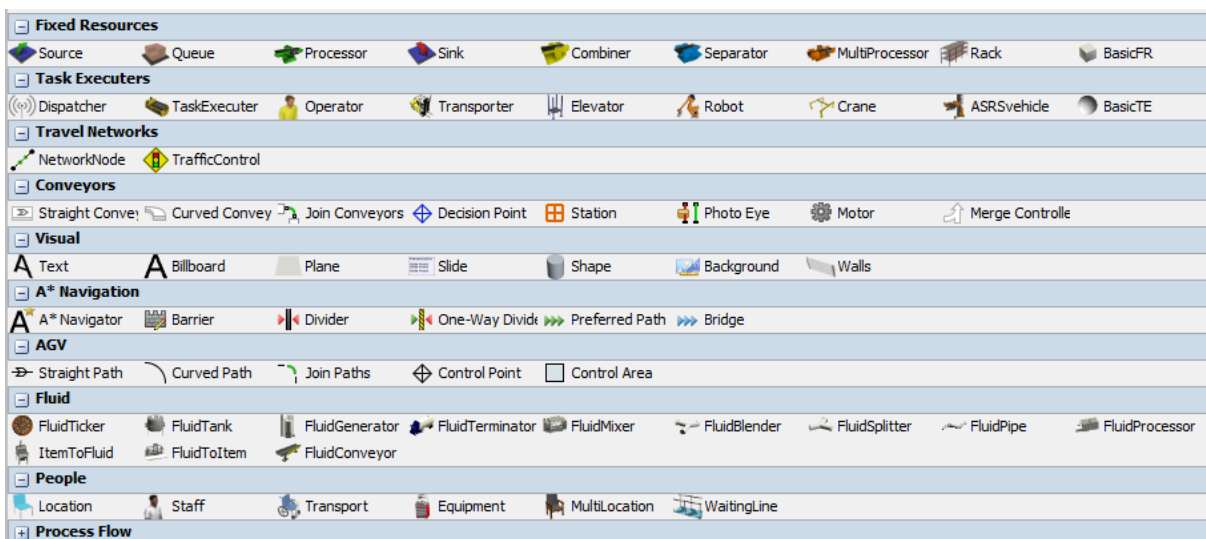


Figura 10: Librería de Flexsim para modelado en 3D

Aunque es cierto que los detalles para recrear un proceso industrial o una línea de producción con el software son enormes, la verdadera potencialidad se encuentra en crear lógicas con los procesos de flujo que se encuentran dentro de Flexsim. Process Flow es una herramienta que te permite facilitar la programación en modelos de simulación que se consideran como complejos sin la necesidad de programar con líneas y líneas de código contando con dos ventajas significativas:

- Desaparece casi toda necesidad de escribir códigos y los convierte en graficas.
- Te mantiene más organizado.

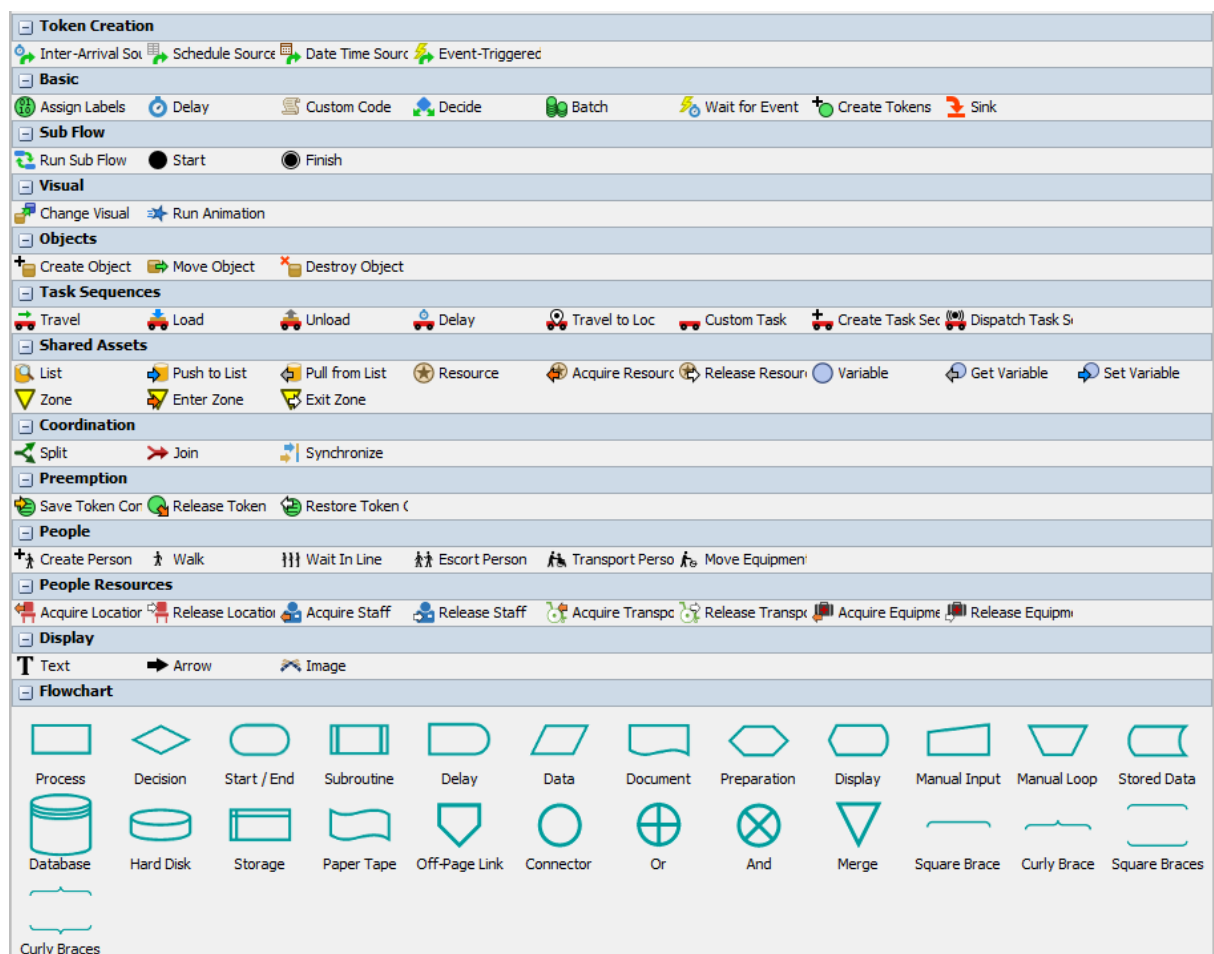


Figura 11: Librería del proceso de flujo en Flexsim

Process Flow tiene la opción que en realidad es muy práctica en el mundo real, especialmente en empresas. Los procesos de flujo también cuentan con la habilidad de poder expandirse y convertirse en modelos con más detalle. Cada proceso en tu sistema puede ser ajustado con más o menos detalles para que este proyecto encaje con las necesidades deseadas. Los procesos de flujo, como debería esperarse, cuentan con la cualidad de conectarse con el modelo de 3D, esta característica de poder combinar procesos en 3D y 2D es una llave importante para programar pues te permite programar aún que no tengas gran conocimiento en el área.

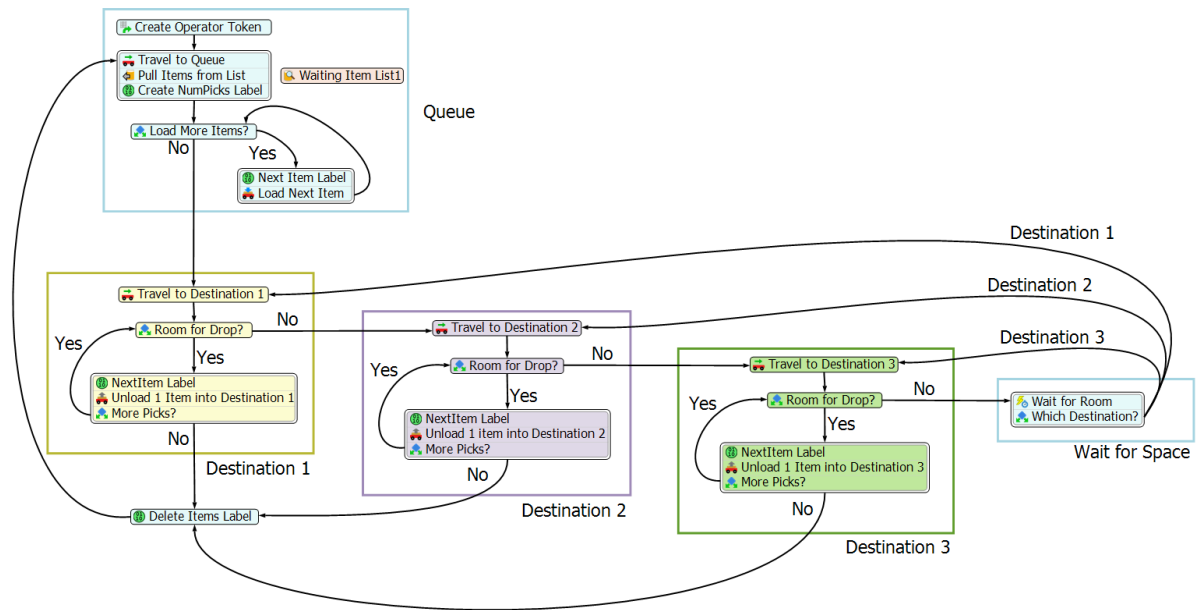


Figura 12: Ejemplo de proceso de flujo con Flexsim

### 3.9 Antecedentes

En cuestión de este trabajo se necesita investigar sobre la industria 4.0 ya que esta se concentra en la automatización de procesos en líneas de producción; la robótica, sensores, AGVs, almacenes automáticos, etc. Para este trabajo el tema central es la simulación de los AGVs y almacenes automáticos, por lo tanto, se hablará de un caso en concreto donde se utilice un software para simular y así prever si vale la pena llevar a cabo la inversión.

#### 3.9.1 Caso practico

Para empezar, cabe destacar que en junio de 2012 fue presentado en la Universitat Autònoma de Barcelona, el trabajo de fin de grado **vehículos-robot de guiado automático para almacenes y plantas de manufacturación** por Moreno Villafranca, José Miguel, en el que se estará basando como antecedente para este proyecto.

El tema central de la investigación es un estudio de los procesos los logísticos de almacenaje y manejo de tráfico en los vehículos AGV con la finalidad de crear un sistema de transporte más flexible que permita una restauración del área de trabajo más rápido y con un bajo costo en los materiales. El tema del proyecto es una simulación de un caso sencillo en un laboratorio en el que los vehículos transportan muestras de sangre hasta los diferentes analizadores encontrándose en el camino con cruces, bifurcaciones y actualizaciones de rutas. Las muestras de sangre han de ser cargadas en el AGV en un área destinada a ello, transportadas hasta las máquinas de análisis y seguir en la zona de análisis hasta que se confirme que el análisis ha sido satisfactorio y llevar las muestras para ser retiradas del AGV dejándolo listo para un nuevo transporte o recargar las baterías.

Los problemas que se plantean resolver el proyecto tenían que ver con el control del tráfico de Los AGV'S que circulaban por la planta de análisis. Existía un problema con las uniones debido a que, en caso de haber un vehículo en cada carril de la unión, hay que especificar cuál de los dos tiene preferencia de paso. Los atascos en su caso eran difíciles de resolver debido a que no tenían diferentes rutas para llegar a un mismo punto y por tanto no se pueden evitar las zonas conflictivas.

Los objetivos que se plantearon resolver fueron:

1. Obtener un software de gestión de AGV capaz de controlar el tráfico y parcialmente los AGV en nuestro laboratorio de análisis.
2. Obtener una simulación para verificar la utilidad de los algoritmos en diferentes situaciones de densidad de tráfico y velocidad de trabajo.
3. Crear una simulación completa con los algoritmos seleccionados y generar órdenes aleatorias para ver la simulación global.
4. Tratar casos puntuales de batería baja, cambios de ruta, análisis de urgencia, etc.

Se utilizó Anylogic en este proyecto. Anylogic es un software de simulación que permite, entre otras cosas, crear fácilmente una animación para ver el comportamiento de los procesos. La programación se realiza mediante instrucciones en lenguaje java, dando la opción de crear clases ya sean nuevas o heredadas de las que ofrece Anylogic. Esto permite, en especial en este proyecto, agregar funciones a la clase que representa los vehículos para facilitar las consultas de ruta y decidir los caminos que deben seguir, modificar el estado de los análisis realizados o por realizar, asignar de forma específica la ruta a seguir o, para la simulación, generar rutas aleatorias, etc.

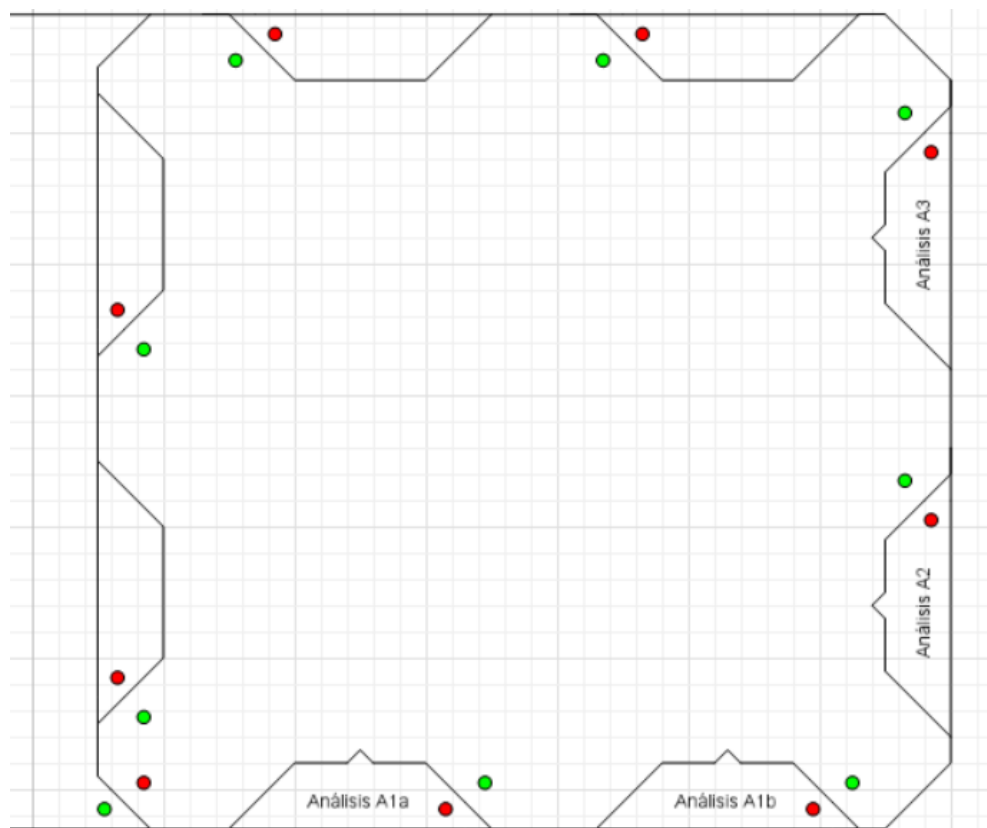


Figura 13: Recorte de pantalla del Software Anylogic

### 3.9.2 Industria 4.0

La inteligencia artificial en la industria forma parte cómo un movimiento conocido como industria 4.0 o “la cuarta revolución de la industria”. Conforme los años pasan, esta idea ha pasado de ser un sueño a una realidad que se puede encontrar en grandes compañías donde

la automatización, forma gran parte de cómo funcionan las líneas de producción. La industria 4.0 comenzó en Alemania en la feria de Hannover de 2011, aquí es donde sus creadores suponen el inicio de la transformación de la industria, pues se marcó un objetivo, es decir, algo a que aspirar en los próximos años. La industria 4.0 nace por el gobierno federal y su ministro de educación e investigación en un intento para hacer crecer la tecnología de Alemania y así retomar la posición de desarrollo industrial y tecnológico; aunque se consolidó en el año 2013 en la misma feria de Hannover.

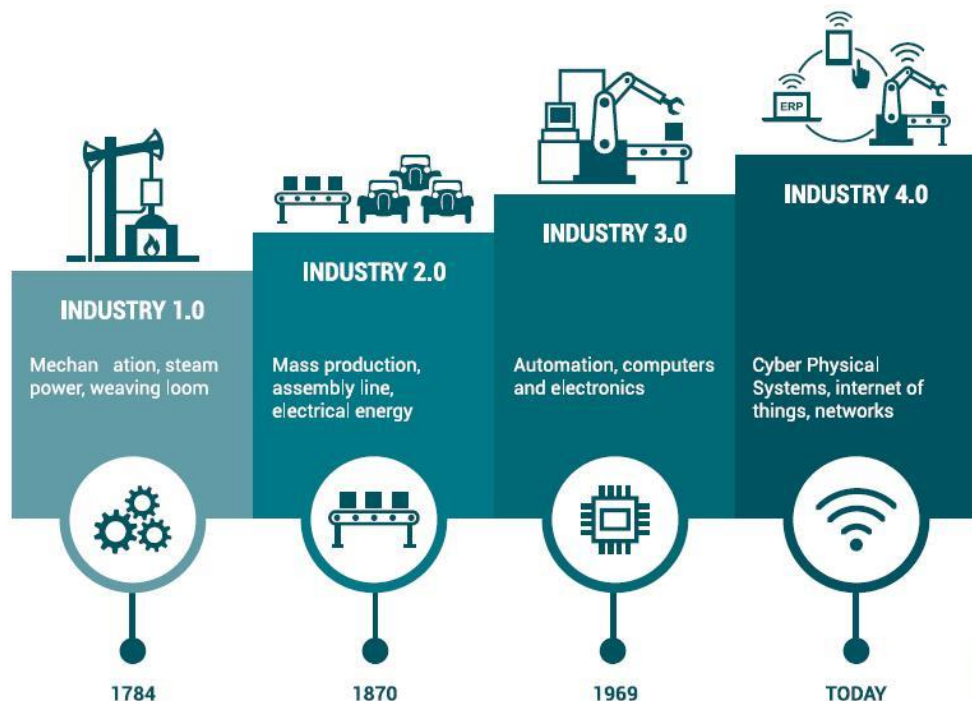


Figura 14: Evolución de la industria

Pero con la llegada de esta revolución surge una pregunta: ¿Qué es la Industria 4.0? Existe un conjunto de definiciones acerca de este nuevo movimiento y aquí se describirán algunas:

- Industria 4.0 es el nombre que se le da a la iniciativa estratégica alemana para establecer a Alemania como un mercado líder y proveedor de soluciones de fabricación avanzada. Está decidida a revolucionar la fabricación y la producción, Industria 4.0 representa un cambio paradigmático de fabricación inteligente y producción centralizada a descentralizada. (Germany Trade & Invest)
- Industria 4.0 es la transformación de la esfera global de la producción industrial a través de la unión de la tecnología digital y el internet con la industria convencional. (Angela Merkel, Canciller Alemana)
- El concepto de Industria 4.0 es relativamente reciente y se refiere a la cuarta revolución industrial que consiste en la introducción de las tecnologías digitales en la industria. Los “habilitadores digitales” son el conjunto de tecnologías que hacen posible que esta nueva industria explote todo su potencial. En efecto, éstas permiten la hibridación entre el mundo físico y el digital, es decir, vincular el mundo físico al virtual para hacer de la industria una industria inteligente. (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Gobierno de España)

- Industria 4.0 es un término aplicado a un grupo de rápidas transformaciones en el diseño, fabricación, operación y servicio de los sistemas de fabricación y sus productos. La designación 4.0 significa que es la cuarta revolución industrial en el mundo, sucesora de tres revoluciones anteriores que supusieron pasos agigantados en la productividad y cambiaron las vidas de las personas en todo el mundo. (European Parliament Research Service)

- El término “Industria 4.0” describe la digitalización esperada de las cadenas de valor industriales con la idea de utilizar las tecnologías emergentes para implementar el Internet de las cosas y los servicios con el objeto de integrar diferentes procesos de ingeniería y negocio, permitiendo que la producción opere de una manera eficiente y flexible con bajos costos y alta calidad. (Kateryna Bondar, investigadora del grupo SCOEM)

- La integración de dispositivos y maquinaria física completa, conectados por sensores y software que son utilizados para predecir, controlar y planificar mejor al negocio y los resultados. (Lu 2017)

Como se puede ver, no existe una definición única en este tema, pero existen varias similitudes o palabras clave que se repiten en estas definiciones: Internet de las cosas, datos masivos, ciber seguridad.

Cuando se menciona la industria 4.0, así como la automatización en la industria, es importante aludir a la robótica. Aunque es cierto que la robótica forma parte de la tercera generación de la industria dado a que los robots solo realizaban trabajos repetitivos, hoy en día también forman parte importante de la industria 4.0 gracias a la inteligencia artificial que permiten que el trabajo de los robots sea colaborativo, es decir trabajo entre humanos y robots.

### **3.9.2.1 Internet de las cosas**

El internet de las cosas o (IoT<sup>5</sup>) se refiere a una tecnología basada en la conexión de objetos cotidianos al internet que procesan información sobre su entorno físico, también reconoce eventos o cambios y estos sistemas pueden trabajar de forma autónoma. Por lo tanto, el fin de este es brindar una infraestructura que supere la barrera entre los objetos del mundo físico y la representación en los sistemas de información. Con esta integración de sensores y dispositivos electrónicos en objetos que quedan conectados a Internet ha ayudado a un nuevo modo de interacción en el mundo físico y facilitado el desarrollo de las tecnologías de información y comunicación. Hablando de la ventaja que tiene el internet de las cosas es que no solo establece una relación entre cosa-persona, sino que también puede crear una conexión cosa-cosa, es decir que no hace falta alguna intervención de una persona para que se realicen ciertas tareas entre dos dispositivos o se procese información, con esto en mente, significa que se puede automatizar tareas sin necesidad de intervención.

### **3.9.2.2 Datos Masivos**

Datos masivos o “Big data” tiene como fin el análisis y almacén de un conjunto de datos, que por su gran volumen y velocidad ultrapasan la capacidad de los sistemas informáticos habituales. Pero no es la cantidad de datos lo que es importante. Lo que importa con el Big Data es lo que las organizaciones hacen con los datos.

Cuando se habla de Big Data, damos a referencia no como tal a una cantidad de información, sino a que esta cantidad de información de la que ahora se tiene a disposición no puede ser tratada como anteriormente se ha procesado en empresas; esto se refiere a que no solo se posee una gran cantidad de información, pero también esta información debe actualizarse en tiempo real, debe distinguir que algunos datos necesitan ser procesados de manera diferente.

---

<sup>5</sup> Internet of things



### **3.9.2.3 Ciber seguridad**

Teniendo en cuenta que en la industria 4.0 los pilares o las bases son: el internet de las cosas y los datos masivos se tiene que tomar en cuenta un problema y este es la ciber seguridad. La seguridad es uno de los temas más conflictivos, pues el hecho de contar con todo un sistema que se basa en conexiones en la nube para el funcionamiento de una empresa hace que ésta se convierta en un blanco para ciber ataques. Si hablamos de los problemas que un ciber ataque podría generar se tendría que tomar en cuenta la confidencialidad de los datos de los usuarios, el funcionamiento de la empresa, el manejo de los objetos que están siendo manejados.

### **3.9.2.4 Sistemas Integrados**

Cuando se habla de sistemas integrados, se refiere a sistemas flexibles que están integrados por una cadena de valor que tienen la finalidad de ser eficiente. En la actualidad, no todos los sistemas están completamente integrados, faltando una cohesión empresa-cliente e incluso un proceso de producción de la industria requiere la plena integración. Con la industria 4.0 se pretende tener armonía entre todos los que forman parte del ecosistema, con esto se asegura una gestión integral en donde las cadenas de valor sean realmente automatizadas.

## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 Capacitación

Es importante añadir que antes de este trabajo de fin de grado no se contaba con previa capacitación sobre el software ni los alcances que este podría alcanzar. Se realizó por dos meses una capacitación por parte de la universidad, que contaba con una serie de tareas para simular así como descripciones y definiciones que se consideraban importantes. Luego de los tutoriales, se realizaron los tutoriales que cuenta el software Flexsim para aprender más a fondo algunos conceptos clave para este trabajo. Es cierto que el software es amigable y brinda resultados adecuados y verídicos sobre los sistemas de modelado en los que se trabaja, pero también se requiere cierto nivel de conocimiento, especialmente si se pretende comenzar de un proyecto donde previamente se había trabajado.

Esto se menciona para describir algunos conceptos, materiales y elementos que más tarde serán esenciales para la comprensión de todo lector.

- Operator: los operarios pueden ser llamados por objetos que más tarde pueden ser utilizados en una situación o proceso. Ellos se quedarán en el objeto que los ha llamado hasta que estos sean liberados. Una vez liberados podrán trabajar en una tarea diferente a la previamente asignada. Los operarios también sirven para cargar objetos hasta otros elementos.
- Rack: estos son usados como se utilizaría un almacén normal. El tamaño puede variar según las especificaciones definidas por el usuario.
- AGV Path: Estos nodos se usan para definir el camino de los agvs u operarios. Estos caminos pueden ser modificados a las especificaciones del usuario teniendo en cuenta que los medios de transporte siempre escogerán el camino más corto como predeterminado.
- Queue: La cola es usada como un pequeño almacén o standby mientras que el siguiente elemento aun no puede recibir el objeto de la cola. Como predeterminado la cola funciona con FIFO pero esta característica puede ser modificada.
- Conveyor: Las bandas transportadoras son utilizadas para el flujo de objetos que pueden pasar por múltiples entradas y salidas. Estas entradas pueden ser especificadas por el usuario así como las salidas, la dirección de la banda, el ángulo, aceleración, etc. Son un elemento importante para transportar material de un punto A a un punto B, C o D, etc.
- Cart: Cart fue un elemento creado para la simulación específicamente y funciona como un carro plataforma que desplaza bajo un pallet la mercancía, que en este caso son cuatro cajas (Box), hacia el operario.
- Box: Es una caja que lleva adentro 8 cajas pequeñas (RMBox)
- Pallet: Se le puede conocer como paletas o tarimas de madera.
- Tray: Es una bandeja para transportar RMBox
- RMBox: Es una caja pequeña que simula mercancía en este escenario.
- Cartshelves: se le conoce como un carro transportador en donde se transporta mercancía son niveles
- CartEuropallet: Estos se llaman carros plataforma pues solo tienen un nivel para transportar material.
- Task executor: El task executor es un medio de transporte. Puede viajar gracias a los network node que trazan hacia donde ir y la dirección. Este sirve para recoger objetos de un punto A y llevarlo a un punto B.
- Conexiones: Las conexiones se utilizan para unir a dos elementos en un proceso. Es decir, le indica a un objeto a donde tendrá que ir después. Las conexiones

también pueden utilizar un medio de transporte para que el objeto se mueva entre estos dos puntos

- **Dispatcher:** Es un despachador es usado para controlar un grupo de vehículos u operadores. Las secuencias de tareas se envían al despachador desde un objeto y el despachador las delega a los transportes u operadores que están conectados a sus puertos de salida.

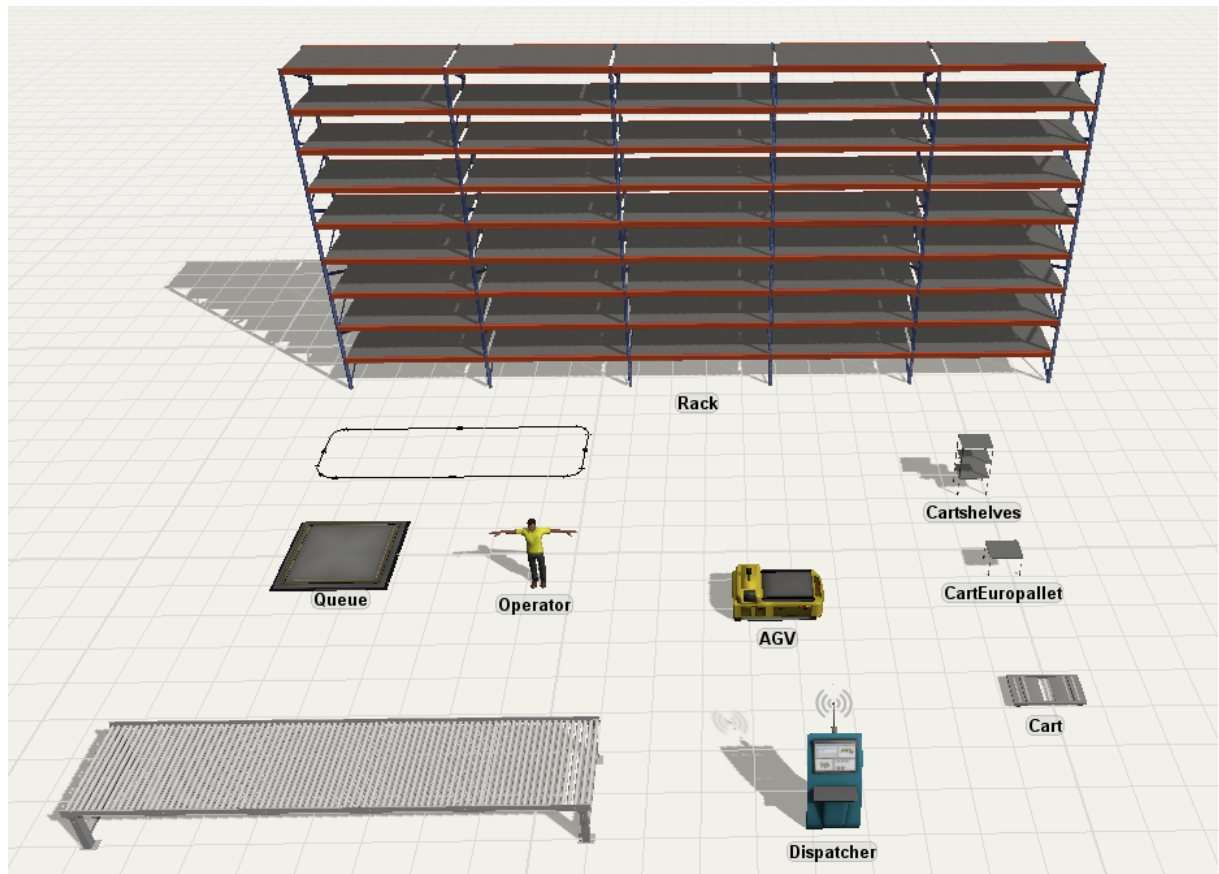
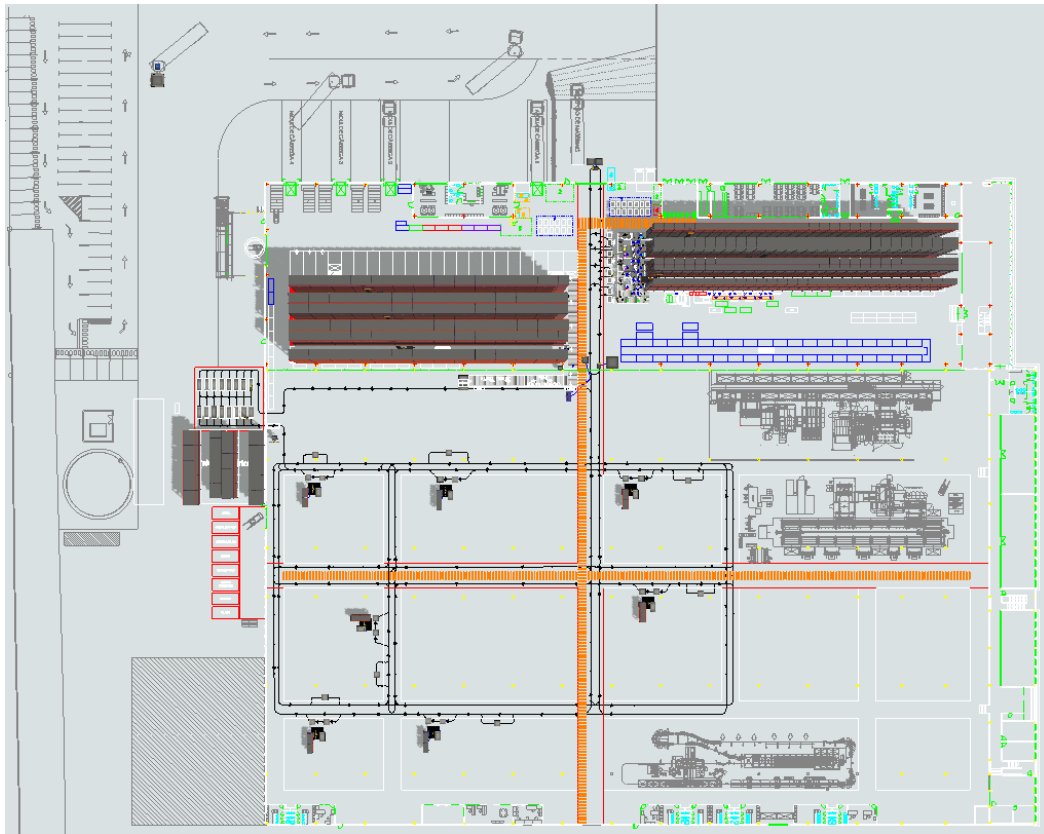


Figura 15: Demostración gráfica de los elementos previamente mencionados

## 4.2 Descripción de la simulación

La simulación en la que se está trabajando trata de dos líneas de producción que corren a la par, las dos cuentan con AGVs y ASRS's. Este caso está inspirado en una empresa que cuenta con estas especificaciones y busca experimentar cambiando ciertas variables para así optimizar sus líneas de producción. Variables como: el número de AGVs, los operarios, los carts, velocidades, los caminos en los que se desplazan los AGVs pueden ser alteradas, para así conocer los diferentes resultados que serían arrojados. La tarea principal que se realiza con esta simulación es tomar carts, normalmente vacíos, por medio de un AGV, llevarlos a una estación para que un operario se encargue de llenarlos o vaciarlos, dependiendo el caso, de cajas o mercancía, una vez que un AGV los tome, cargue, y descargue tendrá que volver a la estación en cuestión y esperar para que tenga que hacer otra tarea. Lo anterior mencionado describe las similitudes de los procesos de ambas líneas de producción, sin embargo, estas dos líneas tienen tareas diferentes, y se explicarán a continuación.

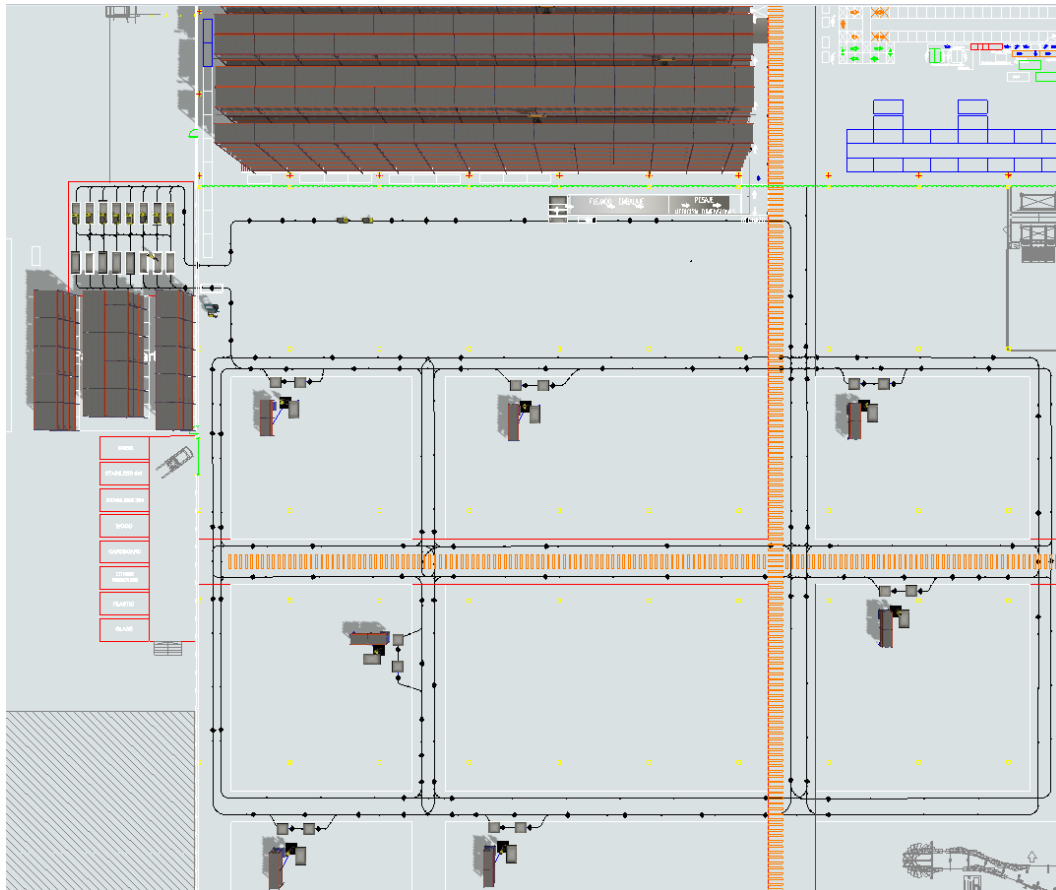
Aunque es cierto que esta simulación que se describirá es como se recibió el proyecto en cuestión, a partir de aquí se contemplará hacer unos cambios comparativos y algunas tareas para mejorar los resultados.



**Figura 16: Recorte de pantalla de la simulación de la planta completa**

Como se mencionó antes, esta línea de producción que se describirá parte de un trabajo previamente hecho, sin embargo, esta simulación estaba en un archivo independiente a la otra línea de producción, es decir que se entregaron dos archivos independientes, se puede observar en la figura 15 y hacer que corrieran a la par fue uno de los objetivos por realizar.

El proceso que se realiza en la primera línea de producción trata sobre varios cars que llegan a ocho diferentes estaciones que están colocadas juntas, es decir, una a lado de la otra de manera horizontal, un operario las desplaza a otra estación donde más tarde toma un pallet que proviene de un almacén para después colocar sobre él donde posteriormente un AGV se posicionará debajo del cart y la desplazará a alguna de las siete estaciones que existen en la planta como se puede observar en la (figura16), luego de esto otro operario tomará el cart y lo moverá fuera del camino del AGV con el fin de empaquetar el producto que se simula como cajas, se empaquetarán 4 cajas grandes que llevan 5 cajas más pequeñas dentro y luego volverá a mover el cart, ahora llena del producto en cuestión, para que más tarde en cuanto un AGV haya terminado su recorrido vuelva por el cart llena y sea trasladada hasta una banda transportadora de rodillos que la dirigirán a un ASRS. Este almacén cuenta con seis racks y tres pasillos, a lo que esto se refiere es que se cuenta con tres vehículos ASRS. Este proceso se repite para que cada uno de los AGV, en esta línea de producción hay diez, llegue a una de las siete estaciones que previamente se mencionó. Los vehículos guiados deberán de seguir de principio a fin el proceso, desplazándose de manera inteligente, que se debe a los procesos de flujo en Flexsim, hacia la estación más cercana siempre y cuando esté libre, teniendo en cuenta también si los operarios llegaran a estar ocupados con pedidos previamente colocados por los mismos AGVs estos tendrían que estar en la primera estación esperando.



**Figura 17: Recorte de pantalla de la línea de producción previamente descrita**

La segunda línea de producción tiene dos vehículos guiados, cuatro estaciones de desmontar aunque una de estas estaciones es específicamente para desmontar a carts llenos mientras que las otras tres son para desmontar carts vacíos, también tiene un ASRS que contiene nuevamente 6 racks y tres vehículos de ASRS como se observa en la (figura 18), el ASRS va circulando pallets llenos de cajas que previamente ya estaban en el almacén llevándolos por unas bandas transportadoras de rodillos así como cogiendo nuevos pallets con cajas llenas que serán almacenadas en un futuro.

La simulación comienza con carts que se encuentran sobre un pallet que contiene 120 cajas del producto en cuestión, estos carts llegan llenos previamente y se colocan en una cola, a lado de esta cola, se encuentra otra donde se sitúan carts con tres niveles en un tipo de estantería en donde cada nivel contiene 40 cajas. Para ese momento se encuentran 2 AGVs aunque se plantea la posibilidad de agregar más y ver como esto puede afectar la simulación, el desempeño así como los tiempos; uno de los vehículos guiados coge una de los dos carts previamente armadas y las deja en una estación donde un operario va tomando de dos en dos cajas para dejarlas en una bandeja hasta juntar 40 cajas; luego de dejar el cart lleno en la estación, el vehículo se retira para ir hacia otra cola que se encuentra al otro extremo del circuito que conforma la línea de producción. En esta cola llena carts con tres niveles como en la segunda cola previamente mencionada pero esta vez son carts vacíos.

El primer AGV que se encuentre libre de tareas se encargará de tomar uno de los carts vacíos o en su defecto, cart vacío y llevarlos a una de las tres estaciones tomando en cuenta si está libre y que tan cerca esté de alguna de ellas, cuando el AGV deje el cart vacío se retirará nuevamente a recoger otro cart ya sea lleno o vacío dependiendo de la distancia que tendrá que recorrer, así como las necesidades y las estaciones libres. Cuando se encuentre un cart vacío en una estación, un operario esperará a que uno de los pallets que están llenos de cajas que provienen del almacén automático se detenga en una de las bandejas para tomar dos cajas y colocarlas en el cart que se encontraba vacío, luego de coger dos cajas, este

pallet empezara a moverse por medio de las bandas transportadoras hacia uno de los almacenes en donde el ASRS lo volverá a almacenar. El operario tendrá que repetir esta tarea 60 veces, es decir, que el cart de tres niveles tendrá que llenarse con 120 cajas. Luego de esto, los carts desaparecerán para repetir el ciclo una y otra vez.

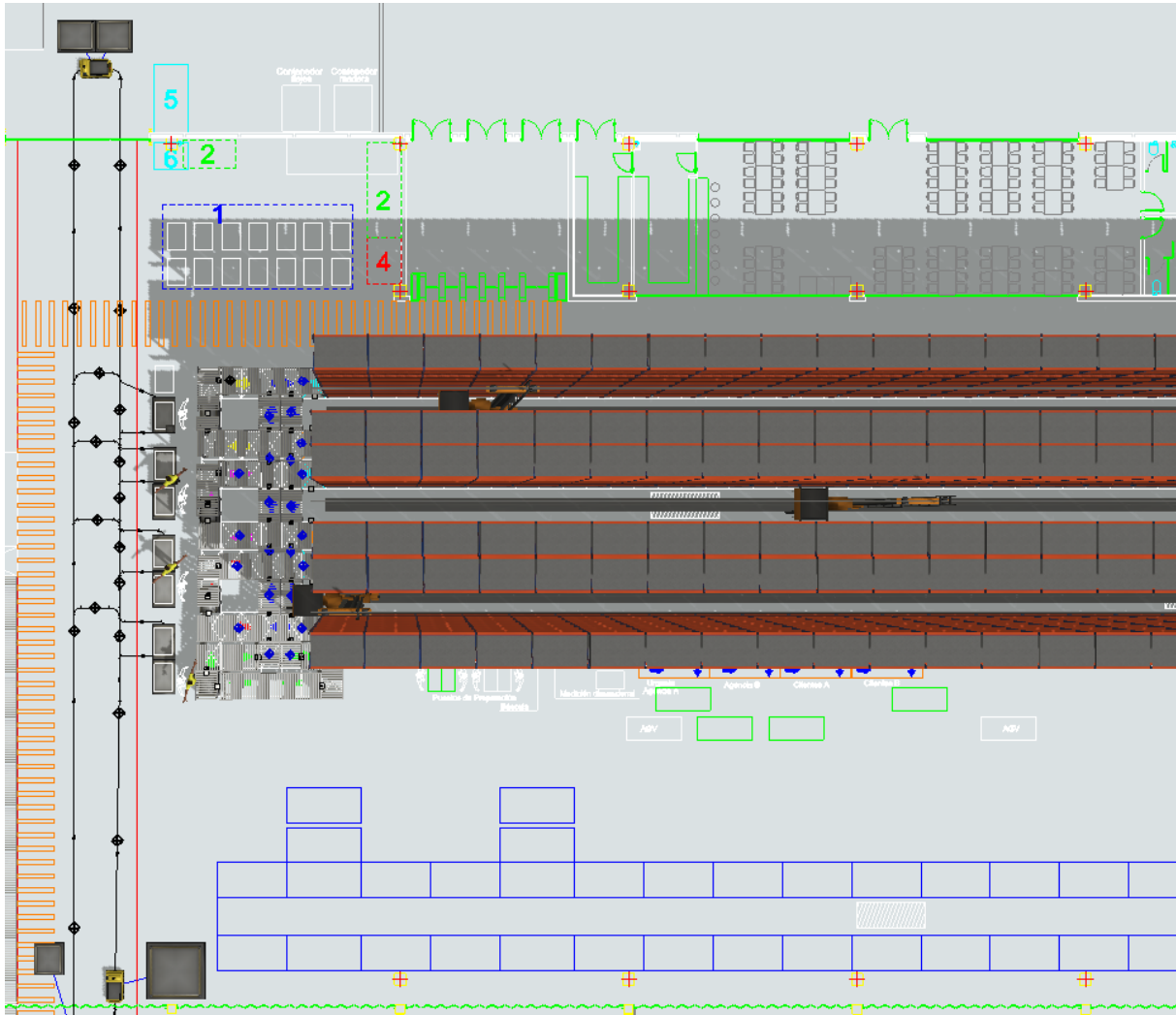


Figura 18: Recorte de pantalla de la simulación de la planta

### 4.3 Desarrollo del modelo

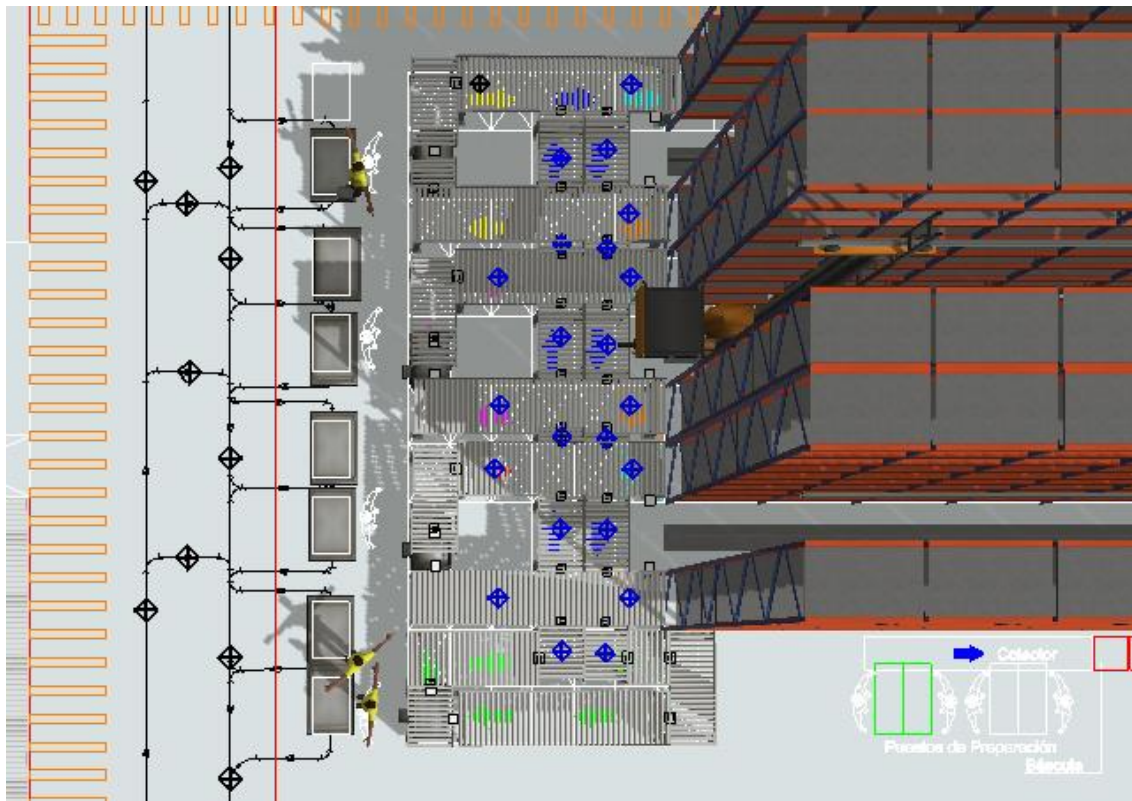
Una vez que se explicó el modelo, las tareas que desempeñaba y los objetivos de la empresa, se proseguirá con hablar el trabajo realizado.

Lo primero que pareció esencial para el modelado fue unir estas dos simulaciones a una para detectar las áreas en las que puede mejorar este proyecto, que cosas podrían faltar, sobrar y que cosas deberían de ser modificadas, por ejemplo en que puntos los AGVs gastan mucho tiempo por el recorrido, si existe tráfico entre AGVs o si están en stand by por largos periodos, lo primero que se tenía que considerar era como estaba la simulación tal cual y ver a donde se podía dirigir desde ese punto.

Después de observar la simulación como estaba se encontró con que en la segunda línea de producción (la que se encuentra del lado derecho) tenía la necesidad de que en las estaciones donde se empaquetaban las cajas que provenían del ASRS estaban sin conexión,



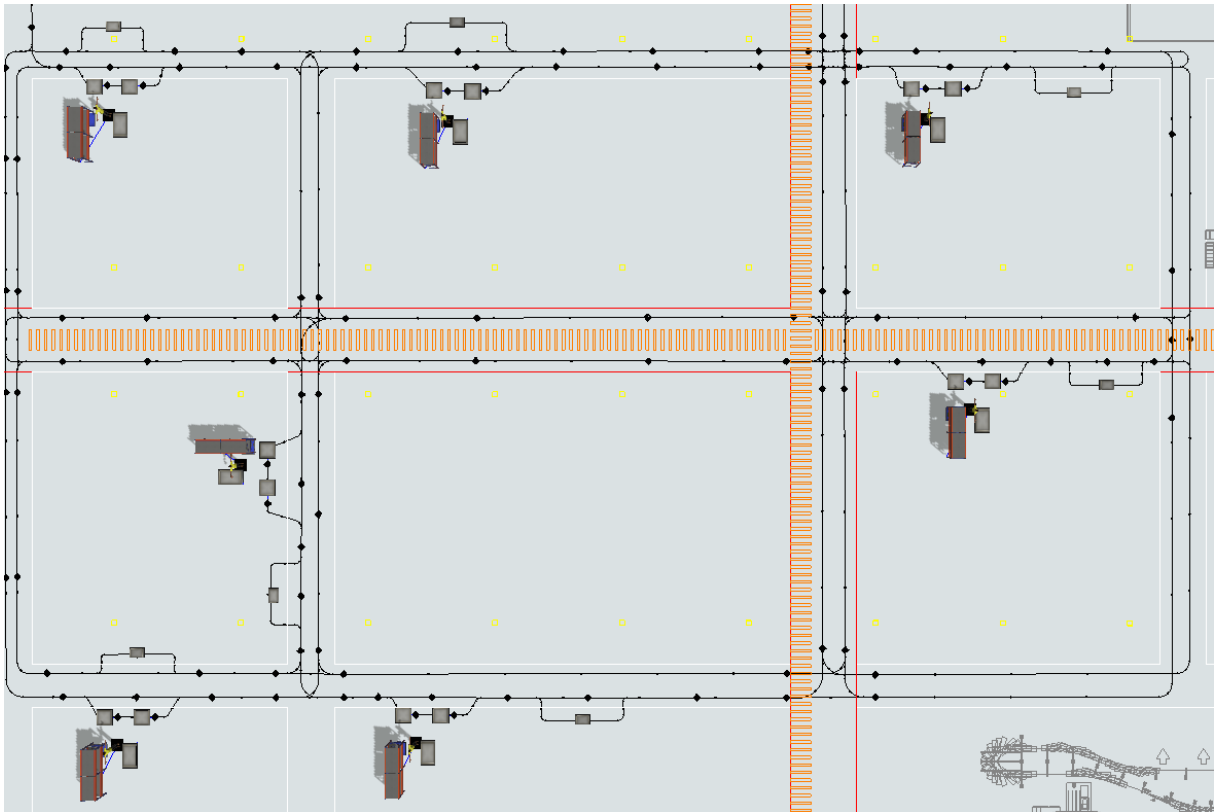
es decir se tenían 6 estaciones, pero solo 3 funcionaban, para esto se efectuaron las conexiones necesarias.



**Figura 19: nuevas conexiones para que funcionaran las seis estaciones**

Esto fue una de las primeras decisiones ya que la simulación revelaba que los AGVs de esta línea de producción pasaban bastante tiempo en stand by, se consideró que al crear este cambio existiría un cambio significativo en la productividad de los AGVs. Después de hacer esta modificación, las cajas que provenían de los ASRS hacia las bandas transportadoras chocaban y esto daba como conclusión un paro en la simulación, por lo tanto, se incrementó la aceleración de los ASRS para coger las cajas que las transportaba hacia las bandas transportadoras y de las bandas transportadoras hacia los almacenes. Se incrementó a 3 m/s los ASRS, dado que se considera que los ASRS tienen un rango de 1m/s hasta 4m/s se valoró que era una velocidad aceptable.

Otro aspecto importante fue colocar los carts llenos en alguna estación para que más tarde se hiciera algo con ese producto ya que por el momento estas desaparecían. Por esto se decidió crear 7 nuevas estaciones que estuvieran cerca de las estaciones de la primera línea de producción en donde ahora los AGVs tendrían que dejarlas ahí.



**Figura 20: Estaciones de desembarque colocadas**

Para que los AGVs pudieran llevar la mercancía llena a cada una de estas estaciones se tenía que modificar el Process Flow. Se optó por no modificar la idea de la programación ya existente, solo se modificó el hecho de que no se eliminara el carrito transportador al llegar a las 120 cajas, se realizaron conexiones y se usó la opción de «use transport». Para la distribución de los carritos transportadores hacia las estaciones de desembarque se escogió la opción de transportar aleatoriamente ya que es la más realista.

Posteriormente se tomó en cuenta el cambiar las rutas de los AGVs, pero se optó por mantener todo igual y solo añadir nuevos caminos para ciertos puntos donde se creía necesario para acortar caminos a los vehículos, entonces se añadieron especiales para cada estación de la segunda línea de producción, también a los retornos para que todo fuese más rápido y efectivo.

Al terminar de estos cambios se notó que en la segunda línea de producción aún existía mucho tiempo que se perdía para los AGVs, es decir, que pasaban demasiado tiempo sin hacer nada, esto pasaba ya que la mayoría del tiempo de la simulación, los operarios están llenando los carts y estos operarios dependen de las cajas que existen en el almacén automático, que éste los transporte y que lleguen a las estaciones específicas para que los operarios puedan empezar a transportar las cajas hacia los carts. Para eliminar este inconveniente se decidió unir las dos líneas de producción, lo que quiere decir esto es que todos los AGVs tendrían que hacer las tareas de la primera línea de producción y de la segunda. Esto significa que debería de probarse la teoría de que con doce AGVs trabajando simultáneamente resultaba más productivo que estos mismo doce por separado. También se consideró no sólo juntarlas, sino que además eliminar o añadir AGVs cuando los resultados arrojaran si era más factible tener menos o más cantidad de vehículos trabajando en la planta.

Lo primero que se hizo para la comparación fue analizar de qué manera funcionada la primera línea de producción, para así entender cómo se podría añadir los 2 AGVs de la segunda línea.



La primera línea de producción funciona por medio de varios procesos de flujo que se encuentran ya programados gracias al trabajo anterior, pero específicamente la tarea de que los AGVs se muevan hacia las 7 estaciones, recojan el material necesario y vuelvan a la primera estación en forma de ciclo es mediante un proceso de flujo, y este fue el que se analizó. En él se encontró que trabaja por medio de listas.

Las listas en Flexsim son un activo compartido que representan una lista de Tokens, elementos de flujo, ejecutores de tareas, números, cadenas, secuencia de tareas, etc. Usando las listas puedes empujar y jalar actividades de esas listas, es decir, que el contenido de una lista se puede actualizar dinámicamente durante una simulación mientras está corriendo. Por ejemplo, una lista podría representar elementos de flujo o token que están esperando para ir a la siguiente actividad disponible. Cuando un objeto o actividad se vuelve disponible, el elemento de flujo o el token se puede extraer de la lista y enviar al objeto o la actividad posterior.

Con esto en mente, el Process Flow que corría en un Run Sub Flow <sup>6</sup> que ya existía en la simulación lo que hacía era por medio de listas escogía al AGV disponible en ese momento y lo transportaba hacia la estación más cercana que también estuviera disponible, así mismo cuando se desocupara recogía la mercancía, la llevaba a un ASRS y luego regresaba al inicio del ciclo en donde hay ocho estaciones y entonces el AGV por medio de las listas escogía la estación que estuviese libre para llegar y estacionarse y así repetir el ciclo. Pero las listas no sólo se encontraban en la programación del proceso de flujo, sino que también estaban en las primeras ocho estaciones por medio de etiquetas que se colocaban dentro de la configuración de cada uno de ellos, también en etiquetas de los AGV que también se encontraban dentro de la configuración de cada uno éstos, así como las estaciones en donde tenían que desmontar el pallet y más tarde a recogerlo. Si bien las etiquetas no eran las mismas todas tenían que ver con la programación del proceso de flujo y a su vez con la lista de los AGVs disponibles.

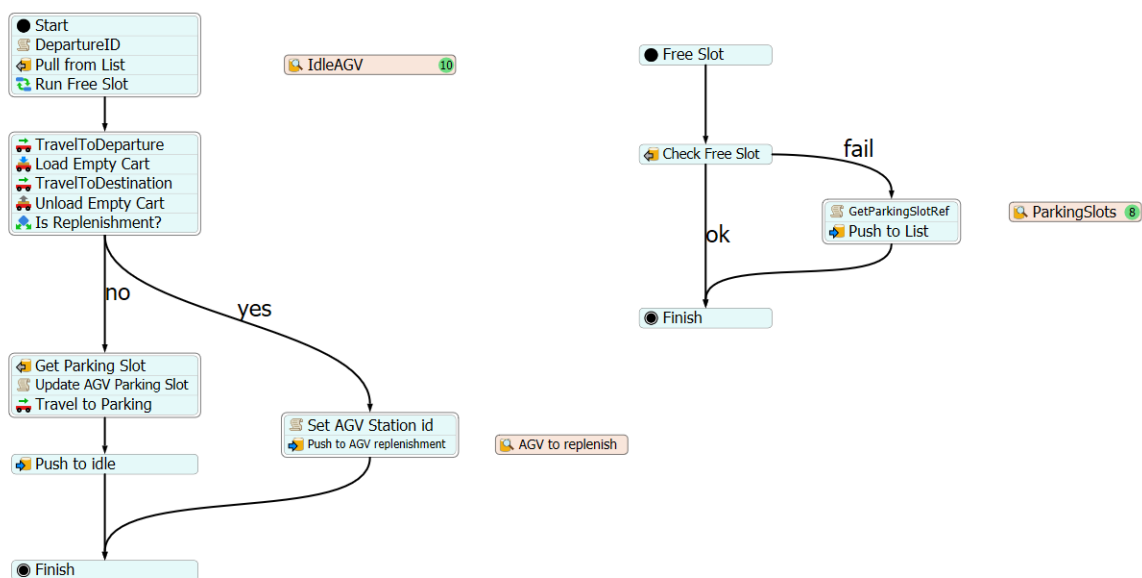


Figura 21: Process Flow de la actividad previamente descrita

Considerando esto lo que se realizó para que las dos líneas de producción se unieran fue añadir etiquetas a los AGVs con los nombres que ya estaban previamente establecidos,

<sup>6</sup> Es una actividad que inicia un flujo de subproceso. El token permanecerá en la actividad hasta que sus tokens secundarios hayan completado su flujo.

también se añadieron las etiquetas a las estaciones en donde los operarios toman las cajas que llegan desde el almacén automático y por último se etiquetan a las estaciones en donde se descargan los carts. Como ya se mencionó antes no son las mismas etiquetas, pero todas tienen que ver con la programación ya existente ya que en la figura 20 se puede observar que existen tres listas diferentes. Por último, para que se tomaran en cuenta los nuevos AGVs fue añadirlos a la lista de "IdleAGV".

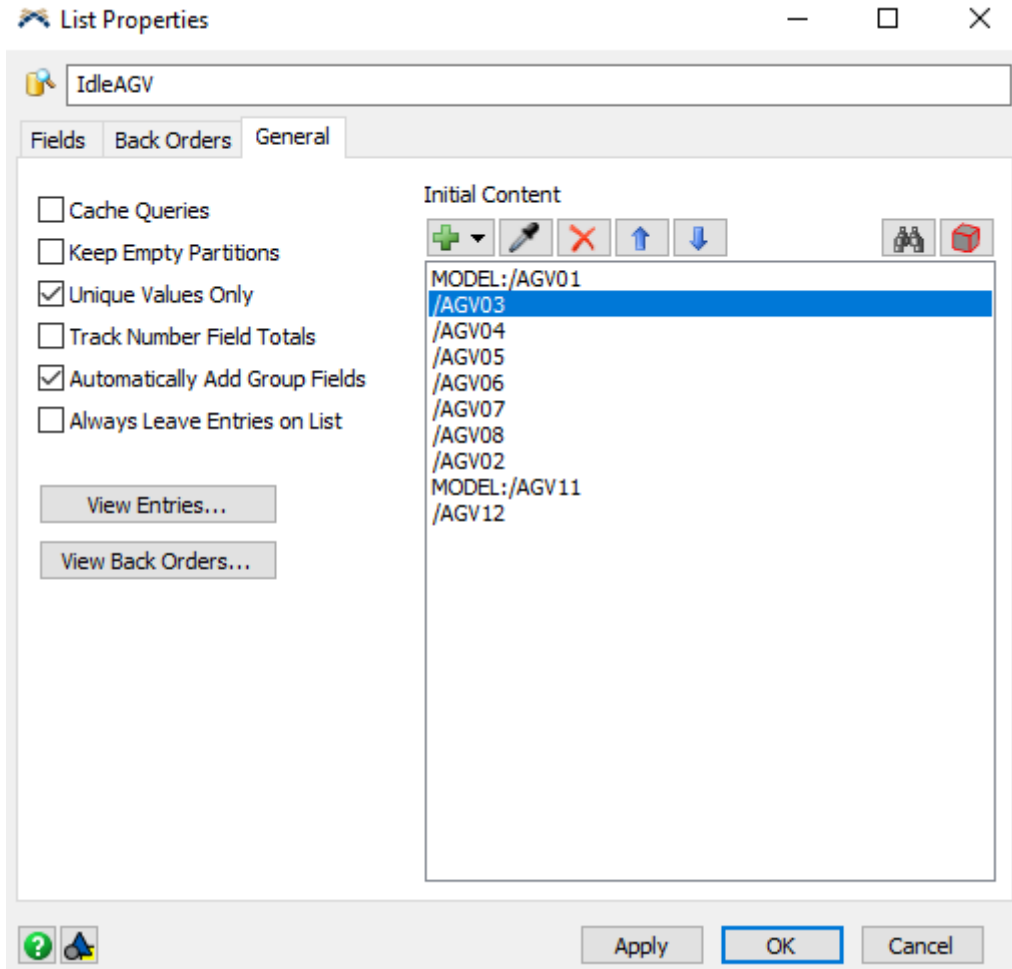


Figura 22: AGV añadidos para el funcionamiento de las dos líneas de producción

Después de esto se consideró eliminar algunos vehículos de guiado automático para ver cómo difería la simulación.



Figura 23: Simulación 12 AGVs





Figura 24: Simulación 10 AGVs

## 5 RESULTADOS

Ahora que se ha explicado y presentado el modelo, así como su funcionamiento se procederá a comentar los resultados obtenidos. En esta sección se presentarán los resultados que se produjeron después del estudio realizado en la simulación que se desarrolló para el presente trabajo, se compararán los siguientes análisis realizados:

Para los análisis que se van a estar comparando, las condiciones consideradas en el tema de la experimentación son las siguientes:

- Se simulará una hora en la línea de producción,
- Se simulará una comparativa entre un dispatcher y dos dispatcher
- Por lo tanto, se comparará si las dos líneas de producción deberían de trabajar en conjunto o separado

También se tomó en cuenta realizar un tercer y cuarto análisis en donde, en lugar de adaptarse al número base de 12 AGVs, considerar subir o bajar la cifra conforme se vean los resultados. Primero se contempló simular un escenario varias veces cambiando una variable, los AGVs y cómo afectan a la tasa de producción. En el escenario que se toma como base, es decir, cuando existen menos cambios, se consideró dos líneas de producción separadas, se pretende probar como cambia la tasa de producción mientras se eliminan de dos en dos AGVs hasta que se comparen los cinco escenarios. Y, por último, se eliminarán dos AGVs en la simulación donde las líneas de producción trabajan en conjunto, con esto habrá un apartado comparando las tres muestras de datos para así poder llegar a una conclusión. Con esta simulación se va a considerar el comportamiento de los AGVs así como de los operarios, el almacén automático, y de la mercancía colocada en la salida.

### 5.1 Muestra de datos

Se consideró simular la planta trabajando por una hora solamente dado que se comprobaba que el trabajo funciona y porque la simulación resultaba pesada para la tarjeta de memoria, también se pudo observar que con una hora se realizaban las tareas necesarias para poder arrojar resultados.

#### *5.1.1 12 AGVs y líneas de producción separadas*

Se tomará como base la simulación con 12 AGVs y dos líneas de producción separadas por dos dispatchers dado que así se encontró el modelo inicialmente.



figura 25: Resultados arrojados sobre dos dispatchers y 12 AGVs

En la figura anterior se puede observar los resultados que se arrojan después de correr la simulación por 3600 segundos que equivale a una hora, en donde se enfoca en los AGVs y las actividades que se realizan durante la simulación. Se colocaron enumerados justo como en la simulación, del uno al diez: son los AGVs que están desempeñando las tareas de la primera línea de producción, mientras que del 11 al 12 son los vehículos restantes para efectuar el trabajo de la segunda línea de producción.

Como puede ser observado, los AGVs de la segunda línea de producción pasan el mayor tiempo de la simulación en reposo, esto porque en su mayoría los operarios tienen que colocar cajas para los carts, aunque estos dependan del ASRS y de las bandas transportadoras que lleven las cajas a las estaciones.

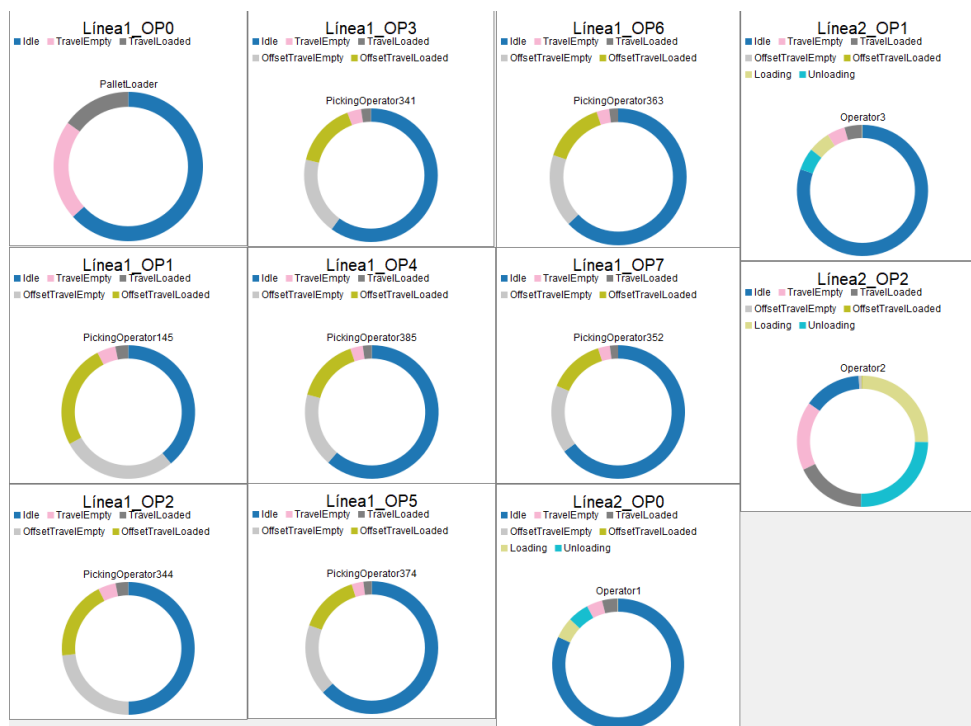


figura 26: Resultados arrojados sobre los operarios con dos dispatchers

Se explicará brevemente los nombres dados en los gráficos. Primero se dividió en líneas de producción, que es como se seguirá dividiendo para mayor comprensión del lector. El operario 0 se refiere al operario que tiene que trasladar los carts de una estación a otra para luego colocar sobre estos carts un pallet. Los operarios del 1 al 7 son los operarios que se encuentran en las estaciones para cargar material sobre la tarima previamente mencionada y los operarios de la segunda línea de producción son los que se han descrito en el apartado 4.24.2.

Luego de observar los gráficos obtenidos se puede examinar que el operario número 2 de la segunda línea de producción es el que menos trabaja aun así que tiene dos estaciones, también se entiende que en las bandas transportadoras existe una preferencia de trasladarse a la estación número tres, que es donde el operario tres se encuentra.

En los resultados de ASRS se tomó en cuenta los vehículos ASRS, así como las entradas y salidas de mercancía de los almacenes.

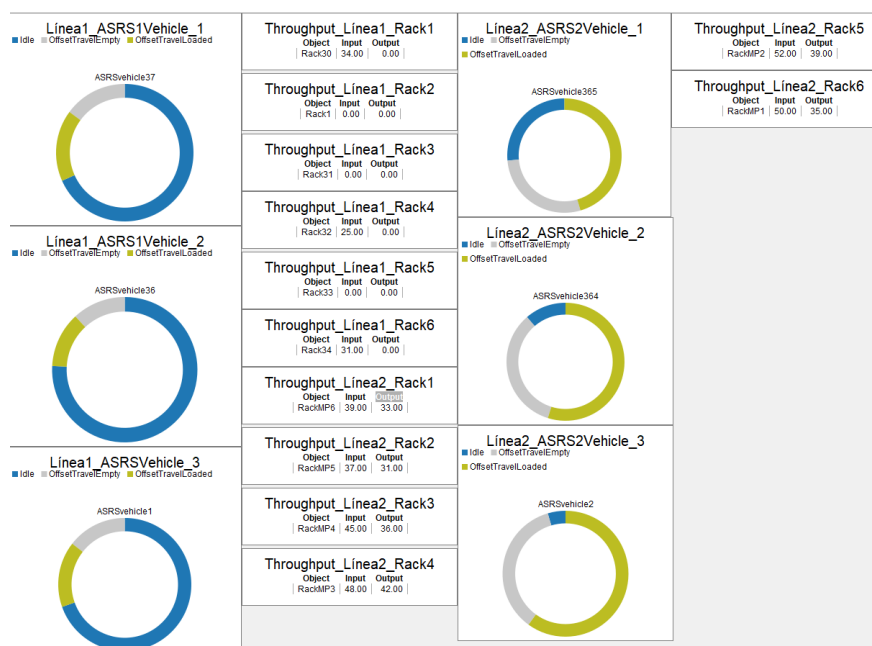


Figura 27: Resultados de ASRS con dos dispatchers

Así como se mencionó anteriormente en el apartado 3.4 los almacenes automáticos tienen la característica de ciclar la mercancía y con los resultados arrojados se puede apreciar que, así como entra mercancía, sale. Posteriormente de examinar los resultados se puede ver que en la primera línea de producción los vehículos ASRS tienen mucho tiempo muerto ya que toma tiempo para que el AGV desplace los carts llenos de mercancía.

Se anexa también la tasa de producción que se simula en este escenario aunque en el apartado 5.1.4 se comentará más a fondo.

Throughput	
Object	Throughput
AGVUnload3	1.00
AGVUnload2	6.00
AGVUnload1	4.00
AGVUnload4	1.00
AGVUnload6	4.00
AGVUnload7	7.00
UnloadPalletStation1	18.00
UnloadPalletStation313	18.00
UnloadPalletStation314	11.00
UnloadPalletStation315	11.00
UnloadPalletStation316	11.00
UnloadPalletStation317	11.00
UnloadPalletStation318	11.00

Tabla 1: Recorte de pantalla del programa Flexsim. Se anexa como evidencia

### 5.1.2 12 AGV y líneas de producción juntas

Después de observar los resultados anteriores se encontró una gran área de oportunidad en referencia a remover un dispatcher de la simulación para así juntar las tareas de los AGVS y disminuir el tiempo en reposo.



Figura 28: Resultados de 12 AGVs con un dispatcher

Con estos resultados en mente se puede comprobar que aún existe tiempo muerto con los AGVs y se detecta que dos especialmente pasan muy poco tiempo trabajando o ejerciendo tareas, esos AGVs son los que se encuentran en la primera línea de producción mas no dentro de alguna estación, se pueden observar mejor en la (figura 29). La razón de por qué estos vehículos se comportan diferente se desconoce, pero no fue necesario arreglarlo puesto que se puede inferir que si eliminamos esos dos AGVs el rendimiento de la planta incrementaría.



En relación con los operarios los resultados sólo difirieron en la segunda línea de producción.

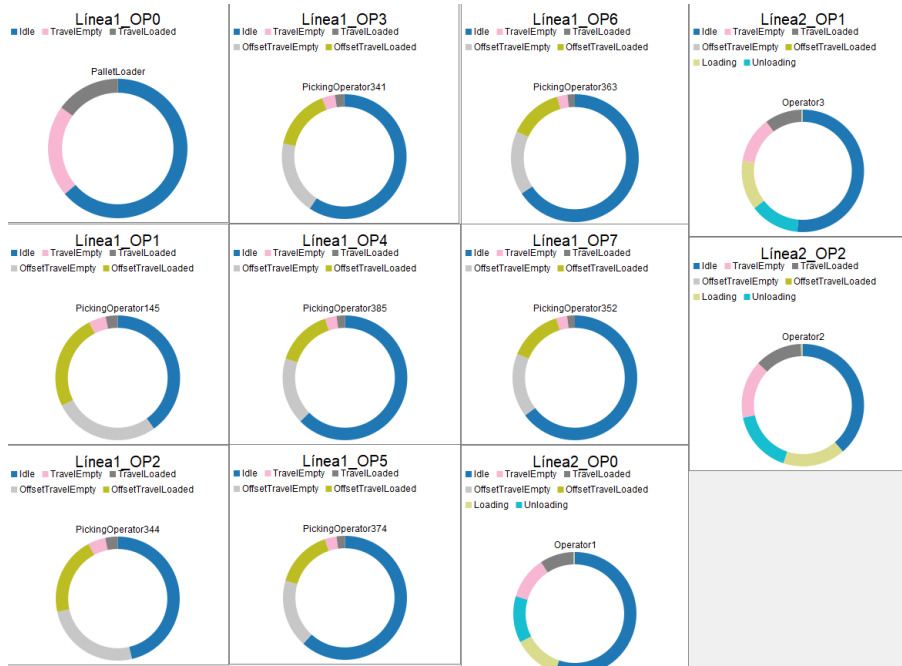


Figura 29: Resultados de operarios con un dispatcher

Los resultados sobre los operarios de la segunda línea de producción son evidentes en todos los operarios. En los operarios 0 y 1 su productividad incrementa de manera considerable mientras que el operario numero dos disminuye, con esto se percibe que el número de mercancía recibida desde el almacén es similar a la simulación anterior.



figura 30: Resultados de los ASRS con un dispatcher

Para apreciar los resultados comparativos con la simulación anterior hay que enfocarse en los «Troughout<sup>7</sup>». En la primera línea se nota una mejoría diminuta pero significativa, mientras que en la segunda existe una pérdida de productividad, con esto se infiere que al tener a todos los AGVs haciendo todas las tareas simultáneamente genera un retraso en esta área.

### 5.1.3 10 AGVs y líneas de producción juntas

Luego de los resultados anteriores se tomó la decisión de probar con una simulación en donde se eliminarán dos AGVs, puesto que con uno se creyó habría una diferencia poco significativa y con tres resultaría un poco complicado manejar todas las tareas tomando en cuenta que con la primera línea de producción se necesitarían ocho AGVs al comenzar la simulación por el número de estaciones.



Figura 31: Resultados de 10 AGVs con un dispatcher

Con estos resultados se puede ver que se compromete un porcentaje importante de la zona gris «TraveledLoaded<sup>8</sup>» por «Blocked<sup>9</sup>» sin embargo, existe una uniformidad en todos los AGVs y también es cierto que ninguno de los 10 llega a un porcentaje menor al 50% en la zona gris.

<sup>7</sup> Crea un gráfico de tabla con una columna que muestra el rendimiento combinado de todos los objetos incluidos

<sup>8</sup> Transporte cargado

<sup>9</sup> El camino se encuentra bloqueado

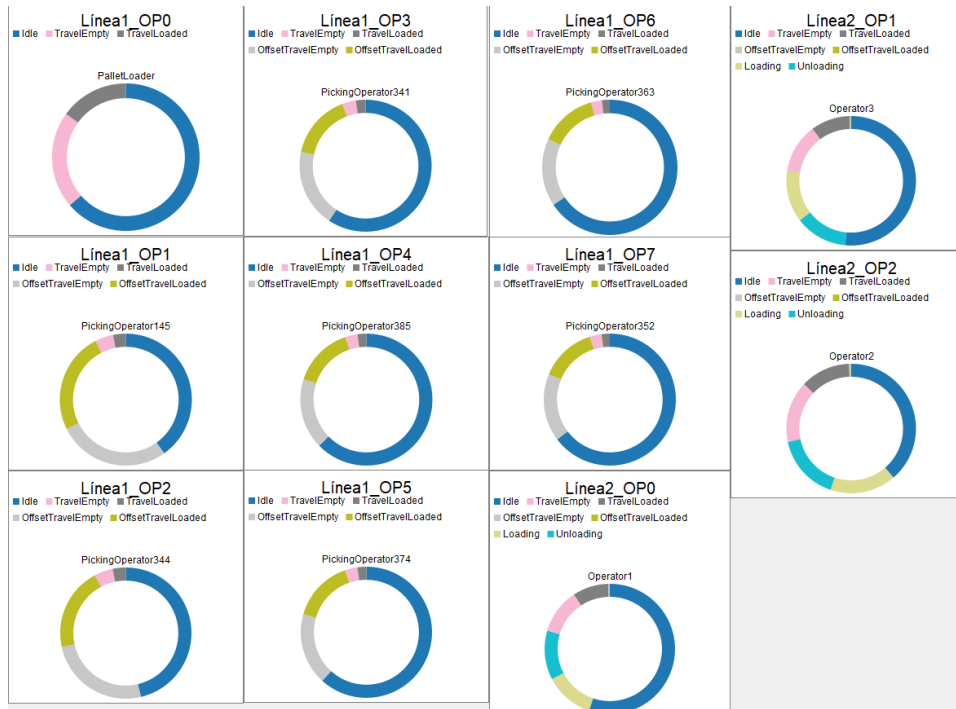


Figura 32: Resultados de operarios con 10 AGVs y un dispatcher

Existe una disminución en la productividad de los operarios con un dispatcher, que en realidad el cambio de dos dispatchers a uno solo influye para los AGVs, pero con esto se puede ver el cambio que genera en toda la planta; en cambio en base a la segunda línea de producción incrementa la producción pues disminuye el «Idle<sup>10</sup>».

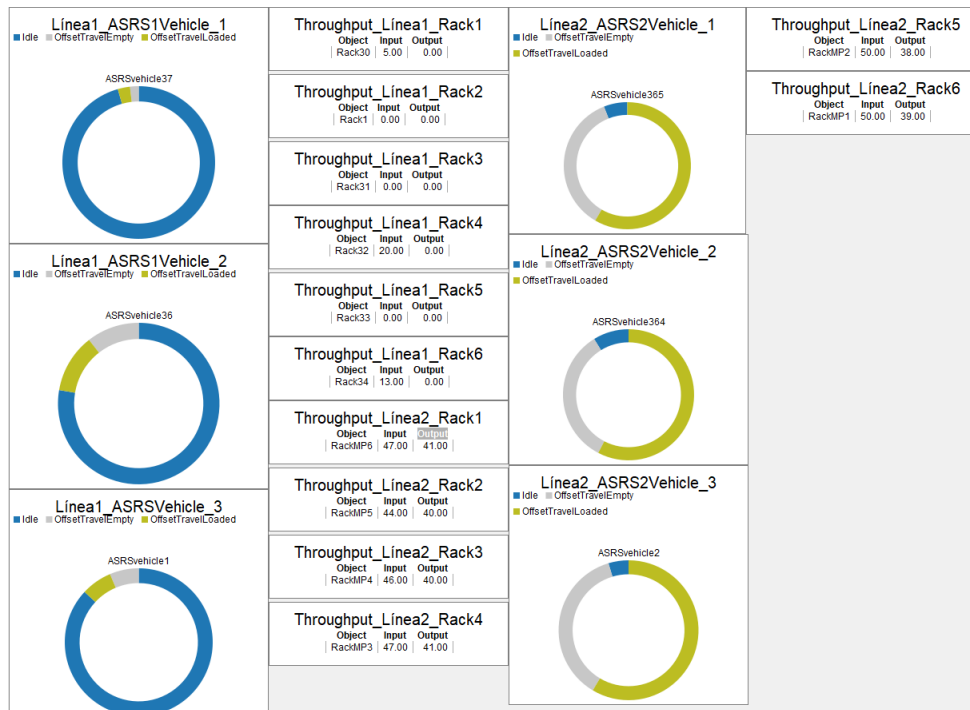


figura 33: Resultados de ASRS con 10 AGVs y un dispatcher

<sup>10</sup> Tiempo desocupado

Estos resultados arrojan porcentajes muy diferentes a los anteriores especialmente en la primera línea de producción, con un impacto negativo, con las graficas de pie se puede observar fácilmente, pero con los resultados «Throughput» se comprueba la disminución de productividad tanto en los inputs como en los outputs, mientras que en la segunda línea de producción se genera un cambio positivo pues incrementa la productividad del vehículo ASRS y en los almacenes también existe un mejor resultado.

Throughput	
Object	Throughput
AGVUnload3	2.00
AGVUnload2	6.00
AGVUnload1	4.00
AGVUnload4	2.00
AGVUnload6	4.00
AGVUnload7	6.00
UnloadPalletStation1	16.00
UnloadPalletStation313	16.00
UnloadPalletStation314	9.00
UnloadPalletStation315	10.00
UnloadPalletStation316	2.00
UnloadPalletStation317	10.00
UnloadPalletStation318	9.00

**Tabla 2: Evidencia de la tasa de producción con 10 AGVs**

La tasa de producción con 10 AGVs y un dispatcher da de 96 unidades por hora, lo cual es un factor a considerar con la tasa de producción con 12 AGVs y comparar costo vs beneficio.

#### 5.1.4 Líneas de producción separadas 12 AGVs

Como se mencionó anteriormente, se toma como escenario base cuando existen 12 AGVs puesto que así se recibió el trabajo. La tasa de producción en una hora de trabajo es la siguiente:

THROUGHPUT 12 AGV	
OBJECT	Throughput
AGVUNLOAD3	1
AGVUNLOAD2	6
AGVUNLOAD1	4
AGVUNLOAD4	1
AGVUNLOAD6	4
AGVUNLOAD7	7
UNLOADPALLETSTATION1	18
UNLOADPALLETSTATION313	18
UNLOADPALLETSTATION314	11
UNLOADPALLETSTATION315	11
UNLOADPALLETSTATION316	11
UNLOADPALLETSTATION317	11
UNLOADPALLETSTATION318	11

**Tabla 3: Tasa de producción de 12 AGVs**

Esto significa que en una hora la tasa de producción es de 114 unidades y con este número de unidades es con el que se debería de comparar las siguientes simulaciones. Luego de analizar el numero de unidades llegan al final de la producción en el tiempo especificado, se puede realizar también una gráfica que muestre mediante al tiempo, como va incrementando y en que estaciones existe mayor frecuencia de salida.

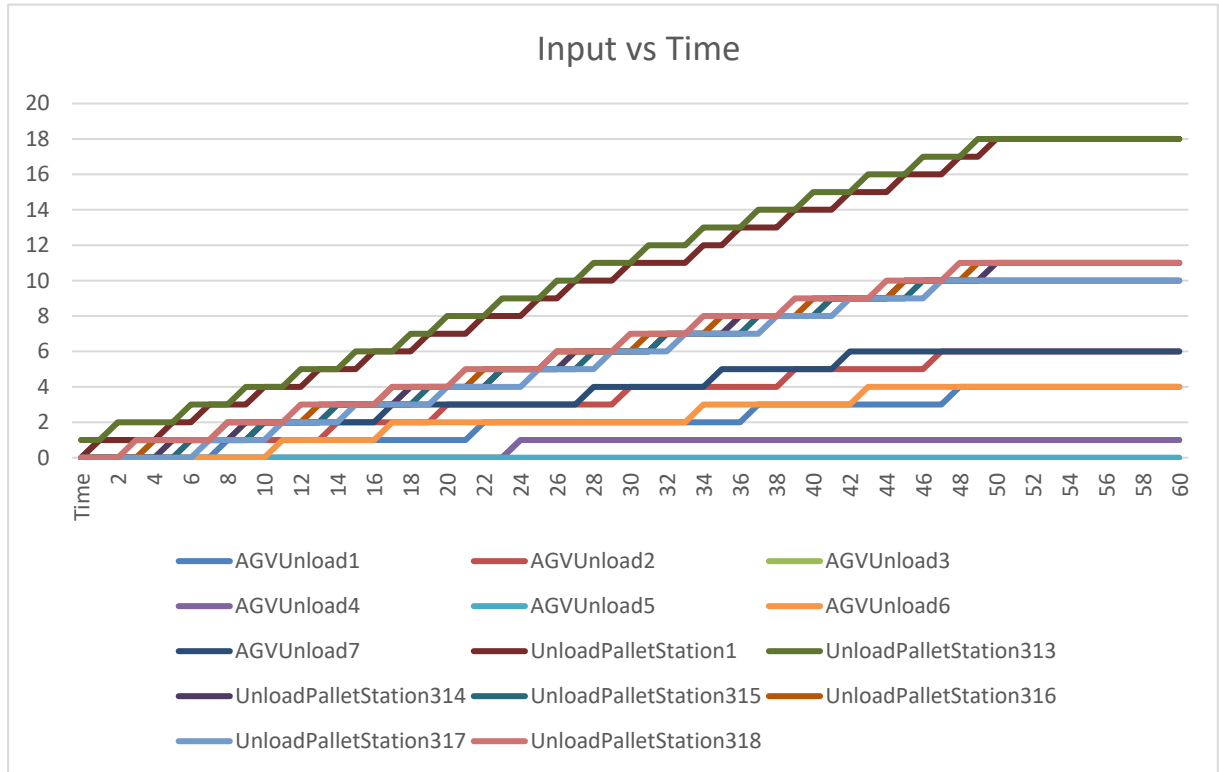


Figura 34: Gráficas de líneas conforme al tiempo con 12 AGVs

### 5.1.5 Líneas de producción separadas 10 AGVs

#### THROUGHPUT 10 AGV

OBJECT	Throughput
AGVUNLOAD3	1
AGVUNLOAD2	3
AGVUNLOAD1	2
AGVUNLOAD4	1
AGVUNLOAD6	3
AGVUNLOAD7	5
UNLOADPALLETSTATION1	14
UNLOADPALLETSTATION313	14
UNLOADPALLETSTATION314	9
UNLOADPALLETSTATION315	10
UNLOADPALLETSTATION316	5
UNLOADPALLETSTATION317	7
UNLOADPALLETSTATION318	10

Tabla 4: Tasa de producción de 10 AGV

Con estos resultados se puede verificar claramente como disminuye la tasa de producción con menos AGVs en la simulación anterior llegaba a 114 unidades por hora y en la actual salen 84 unidades por hora.

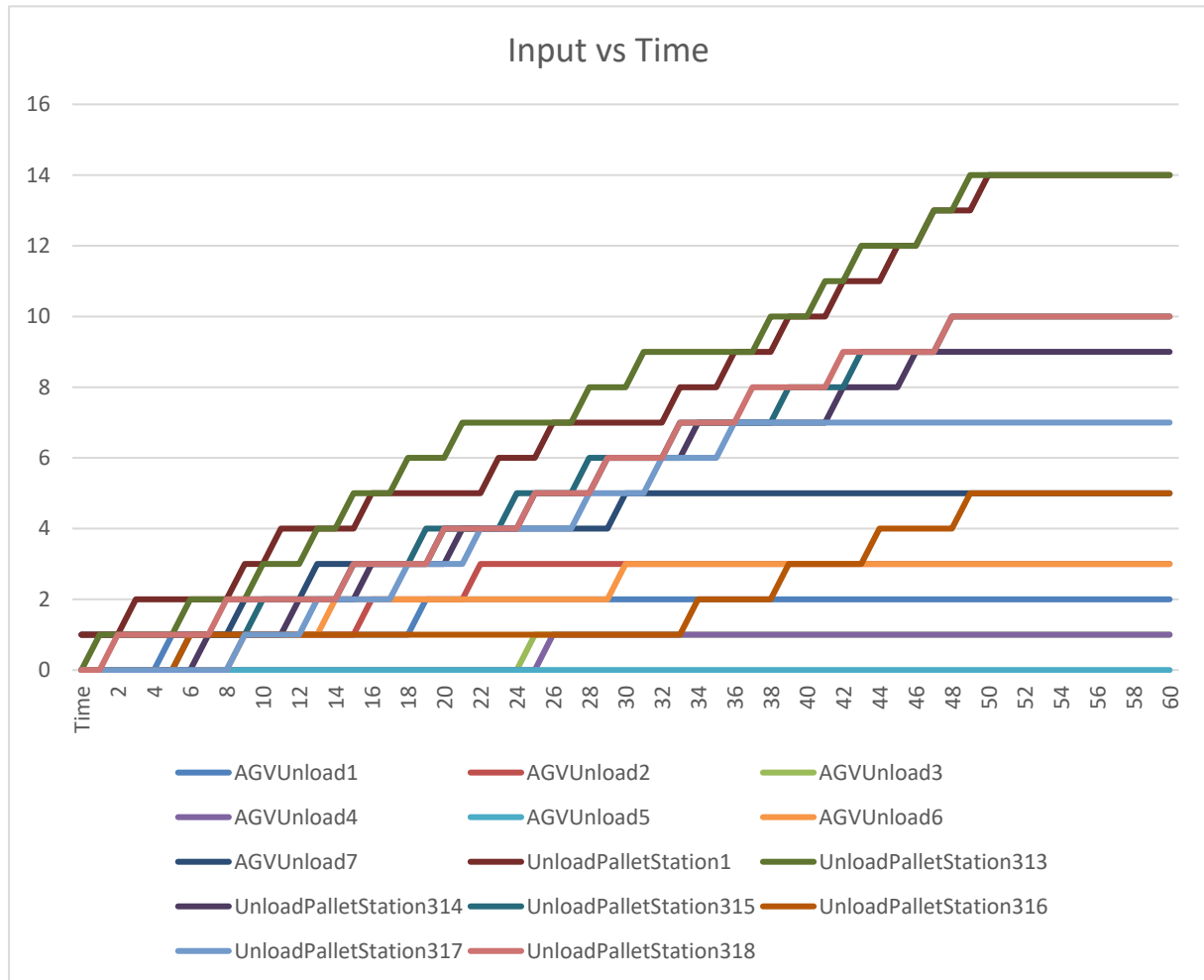


Figura 35: Gráfica de líneas de tasa conforme el tiempo con 10 AGVs

Con esta grafica que se desarrolla conforme al tiempo se puede observar como la productividad progresa conforme al tiempo más la mayoría de las estaciones dejan de recibir mercancía en algún momento de la simulación.





### 5.1.7 Líneas de producción separadas 6 AGVs

THROUGHPUT 6 AGV

OBJECT	Throughput
AGVUNLOAD3	2
AGVUNLOAD2	6
AGVUNLOAD1	4
AGVUNLOAD4	2
AGVUNLOAD6	4
AGVUNLOAD7	7
UNLOADPALLETSTATION1	5
UNLOADPALLETSTATION314	4
UNLOADPALLETSTATION315	5
UNLOADPALLETSTATION316	4
UNLOADPALLETSTATION317	6
UNLOADPALLETSTATION318	4

Tabla 6: Tasa de producción de 6 AGVs

Estos son los resultados de la tasa de producción con 6 AGVs, la tasa decrementa con un 32.47 %, es decir con 25 unidades por hora. También se nota el cambio de que en este escenario hay menos estaciones en la tabla 6 en comparación con las anteriores.

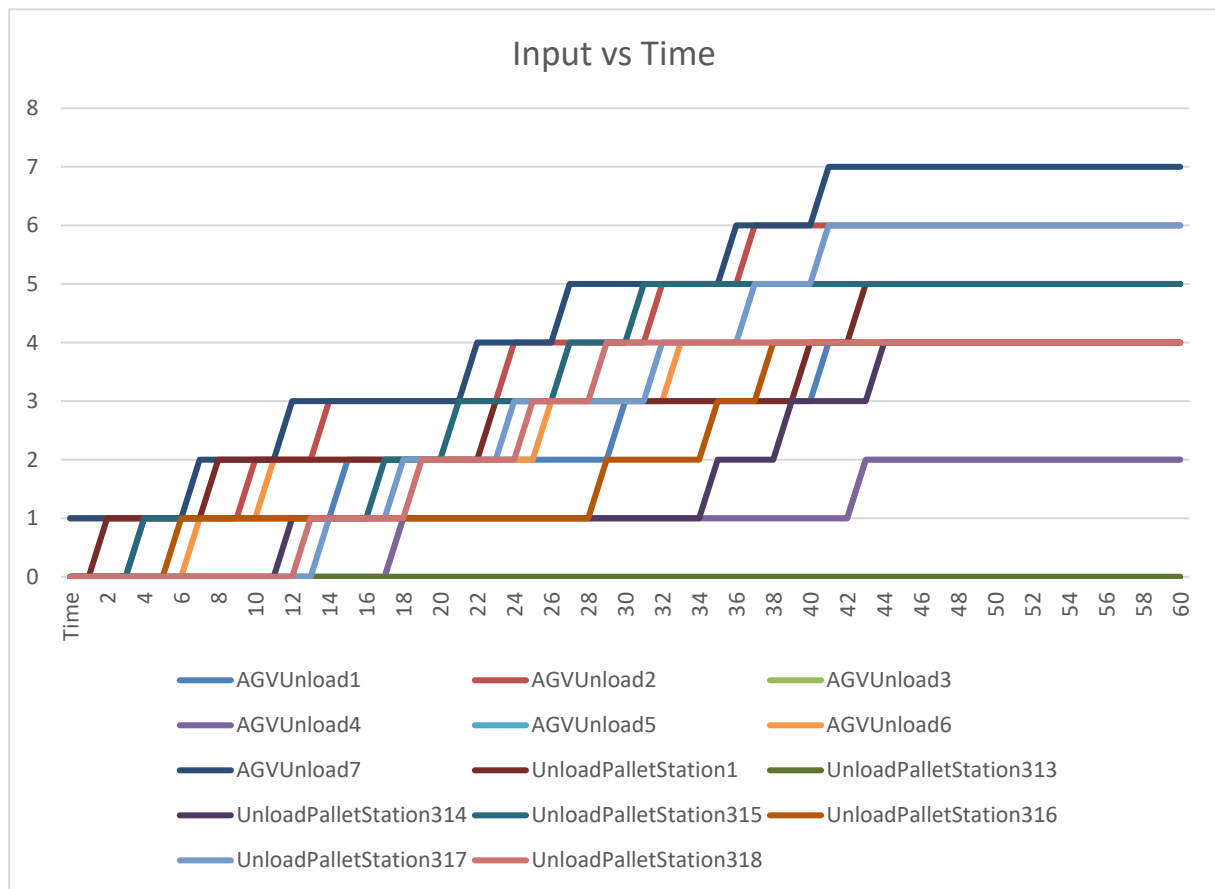


Figura 37: Gráfica de líneas conforme al tiempo con 6 AGVS

### 5.1.8 Líneas de producción separadas 4 AGVs

THROUGHPUT 4 AGV	
OBJECT	Throughput
AGVUNLOAD3	1
AGVUNLOAD2	7
AGVUNLOAD1	4
AGVUNLOAD4	1
AGVUNLOAD6	4
AGVUNLOAD7	6
UNLOADPALLETSTATION1	3
UNLOADPALLETSTATION313	2
UNLOADPALLETSTATION316	1
UNLOADPALLETSTATION317	1

Tabla 7: Tasa de producción de 4 AGVs

Por último, se compara con 4 AGVs, 2 en la primera línea de producción y dos en la segunda. Teniendo en cuenta que son solo dos vehículos por la línea de producción se considera que realizan un trabajo significativo aunque es mucho menor a la tasa de producción original con 73.68% tomando la primera simulación como 100% lo cual significa 84 unidades menos por hora

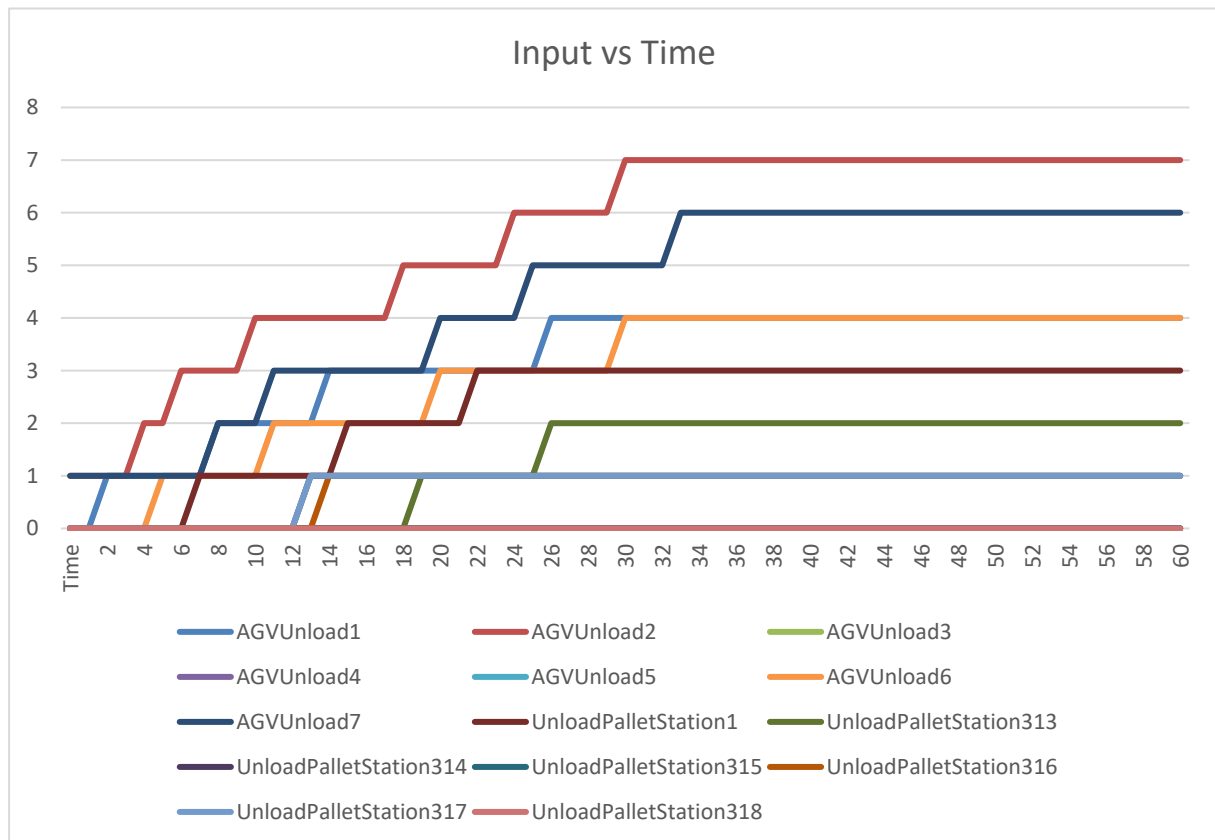


Figura 38: Gráfica de líneas conforme al tiempo con 4 AGVs

## 5.2 Analizar resultados

Para analizar los resultados que se discutieron anteriormente se crearan tablas que contengan en porcentaje los resultados de los tres escenarios que se están comparando, luego se hará una media de fila en las tablas para poder comparar un escenario con otro. Se compararán los resultados de AGVs y ASRS solamente, ya que es de en lo que se enfoca el trabajo.

### 5.2.1 AGVs

#AGV	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
<b>IDLE</b>	9%	10%	10%	10%	9%	11%	9%	10%	11%	11%	87%	63%
<b>BLOCKED</b>	2%	1%	3%	2%	2%	1%	3%	3%	2%	2%	1%	19%
<b>TRAVELEMPY</b>	12%	13%	9%	10%	8%	10%	13%	13%	10%	10%	7%	9%
<b>TRAVELLOADE</b>	69%	68%	70%	70%	72%	69%	68%	67%	69%	69%	3%	7%
<b>D</b>												
<b>LOADING</b>	4%	4%	4%	5%	4%	5%	4%	4%	4%	4%	1%	1%
<b>UNLOADING</b>	4%	4%	4%	4%	4%	5%	4%	4%	4%	4%	1%	1%

**Tabla 8: Resultados de 12 AGVs con dos dispatcher**

Despues de examinar los resultados con los porcentajes se puede notar la gran diferencia y el area de oportunida sobre la productividad de los AGVs, pasan muy poco tiempo trbajando a diferencia de los otros diez vehiculos y demasiado tiempo desperdiciado, o sea en Idle.

#AGV	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
<b>IDLE</b>	9%	10%	10%	9%	9%	9%	9%	8%	76%	84%	8%	9%
<b>BLOCKED</b>	2%	3%	3%	2%	2%	2%	3%	3%	2%	2%	2%	2%
<b>TRAVEL EMPTY</b>	13%	11%	9%	9%	8%	8%	13%	13%	9%	6%	9%	9%
<b>TRAVEL LOADED</b>	68%	68%	70%	71%	72%	72%	67%	67%	6%	4%	72%	69%
<b>LOADING</b>	5%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	2%	4%	5%
<b>UNLOADING</b>	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	2%	4%	4%

**Tabla 9: Resultados de 12 AGVs con un dispatcher**

Los resultados arrojados en esta simulación son interesantes pues los vehículos guiados que ahora parecen trabajar menos son los que estaban dentro de la primera línea de producción mas fuera de las estaciones, por lo que se llega a la conclusión de que por lo menos dos AGVs sobran en la simulación y aunque podrían arrojar resultados no tan altos, en promedio resultaría mejor.

#AGV	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
<b>IDLE</b>	4%	13%	12%	22%	10%	9%	8%	16%	7%	26%
<b>BLOCKED</b>	8%	9%	9%	2%	7%	8%	12%	5%	8%	1%
<b>TRAVEL EMPTY</b>	27%	14%	14%	8%	11%	28%	11%	11%	13%	8%
<b>TRAVEL LOADED</b>	53%	56%	56%	62%	62%	47%	62%	60%	64%	57%
<b>LOADING</b>	4%	4%	5%	3%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
<b>UNLOADING</b>	4%	4%	4%	3%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

**Tabla 10: Resultados de 10 AGVs con un dispatcher**

Como se puede observar con los resultados anteriores, existían puntos críticos en las filas que se encuentran subrayadas de color amarillo en la tabla 3, si bien los porcentajes no son tan altos como los pasados, existe una uniformidad y eso quiere decir que los AGVs trabajan por igual y arrojan resultados de igual manera, por lo que podría ahorrarse efectivo si se removieran.

SIMULACIÓN	12AGV 2 DISPATCHER	12AGV 1 DISPATCHER	10AGV 1 DISPATCHER
<b>IDLE</b>	21%	21%	13%
<b>BLOCKED</b>	3%	2%	7%
<b>TRAVEEMPTY</b>	10%	10%	15%
<b>TRAVELLOADED</b>	58%	59%	58%
<b>LOADING</b>	4%	4%	4%
<b>UNLOADING</b>	4%	4%	4%

**Tabla 11: Media de resultados AGV**

Basándonos en la media de los resultados anteriores se pueden notar dos cosas importantes:

- Los tiempos muertos con 10 AGV bajan por lo menos 8 por ciento. En una línea de producción es gigantesco el cambio que este podría ofrecerle a la empresa en cuestión. También cabe recordar que estos resultados son solamente de una hora de trabajo, el porcentaje podría ser mayor con una jornada de trabajo de ocho horas.
- El porcentaje de los vehículos trabajando es prácticamente el mismo, tomando en cuenta que los vehículos tiene que viajar más para poder hacer las mismas tareas que podrían hacer con dos AGVs más, esto significa que, aunque no incrementa la productividad, no la disminuye y el ahorro se encuentra en tener menos elementos que no se necesitan.

### 5.2.2 ASRS

Tomando en cuenta que no se realizó ningún cambio en referencia a los ASRS de la simulación podría pensarse que no afectaría el comportamiento de estos con los cambios realizados, pero efectivamente se efectuaron cambios. La razón del porque no se realizaron cambios fue sencilla: los ASRS dependen directamente de los AGVs para que la mercancía llegue a su sitio, luego de esto el vehículo es lo suficientemente rápido para poder ejecutar la tarea efectivamente. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de alterar a los AGVs para así cambiar a ambos y su productividad.

# DE ASRS	L1 01	L1 02	L1 03	L2 01	L2 02	L2 03
<b>IDLE</b>	62%	76%	73%	26%	14%	4%
<b>OFFSET TRAVEL EMPTY</b>	18%	12%	13%	30%	32%	36%
<b>OFFSET TRAVEL LOADED</b>	20%	12%	14%	45%	54%	60%

**Tabla 12: Resultados en porcentaje de ASRS con dos dispatcher**

Con los resultados de los ASRS se puede percatar que en la segunda línea de producción existe más movimiento de entrada y salida de material, esto se puede apreciar mejor en el apartado 5.1 puesto que se incluye tablas que indican el número de pallets que entran y salen durante la simulación.

Como se mencionó anteriormente, esta simulación se toma como base ya que no presenta cambios drásticos a como se recibió la simulación, por ende estos resultados sirven para comparar.

# DE ASRS	L1 01	L1 02	L1 03	L2 01	L2 02	L2 03
IDLE	62%	76%	73%	19%	29%	10%
OFFSET TRAVEL EMPTY	18%	11%	13%	30%	29%	34%
OFFSET TRAVEL LOADED	20%	13%	14%	51%	42%	56%

Tabla 13: Resultados en porcentaje de ASRS con un dispatcher

Con los resultados arrojados se puede reconocer fácilmente que en la primera línea de producción no existe cambio significativo, casi nulo si se refiere a los comportamientos de los vehículos ASRS, en donde se puede verificar diferencias es en el apartado 5.1.2, que como ya ha sido mencionado, con las capturas de pantalla de la mercancía que entra y sale facilita la comparativa. En cambio con la segunda línea de producción se comprueba un decremento del rendimiento en general.

# ASRS	L1 01	L1 02	L1 03	L2 01	L2 02	L2 03
IDLE	93%	76%	84%	7%	10%	6%
OFFSET TRAVEL EMPTY	4%	11%	8%	33%	31%	34%
OFFSET TRAVEL LOADED	3%	13%	8%	60%	59%	60%

Tabla 14: Resultados en porcentaje de ASRS con 10 AGVs y un dispatcher

Gracias al cambio de eliminar dos AGVs y juntar las tareas de estos con las dos líneas se reconoce un cambio considerable y completamente distinto, por lo tanto se partirá en dos la descripción. Con respecto a la primera línea de producción existe un cambio negativo ya que el Idle aumenta en la simulación, esto no es necesariamente malo, implica simplemente que el vehículo no es utilizado tanto como anteriormente, pero si el vehículo trabaja igual o similar según algún porcentaje solo significa que el vehículo consume menos energía. Luego la segunda línea de producción tiene una reacción distinta pues:

- El idle disminuye considerablemente
- El porcentaje de viaje vacío es relativamente igual, incluso un poco menor
- El porcentaje de viaje con mercancía es mayor

Aún con estos resultados, dado que en las dos líneas fuese tan distintos, la comparativa de estos tres escenarios queda prácticamente igual

	12 AGV 2 DISPATCHER	12 AGV 1 DISPATCHER	10 AGV 1 DISPATCHER
IDLE	43%	45%	46%
OFFSET TRAVEL EMPTY	24%	23%	20%
OFFSET TRAVEL LOADED	34%	33%	34%

Tabla 15: Comparativa de la media de los resultados arrojados por ASRS

Aunque la media de los resultados previamente discutidos es similar, se sigue apoyando la razón de que al invertir en menos vehículos AGVs, se obtienen resultados similares e

incluso en situaciones, con mejores resultados lo cual significa que es el mejor escenario de los tres.

### 5.2.3 Cambio en tasa de producción

#### TASAS DE PRODUCCIÓN

<b>12 AGVS</b>	114
<b>10 AGVS</b>	84
<b>8 AGVS</b>	77
<b>6 AGVS</b>	53
<b>4 AGVS</b>	30

Tabla 16: Comparativa de las tasas de producción

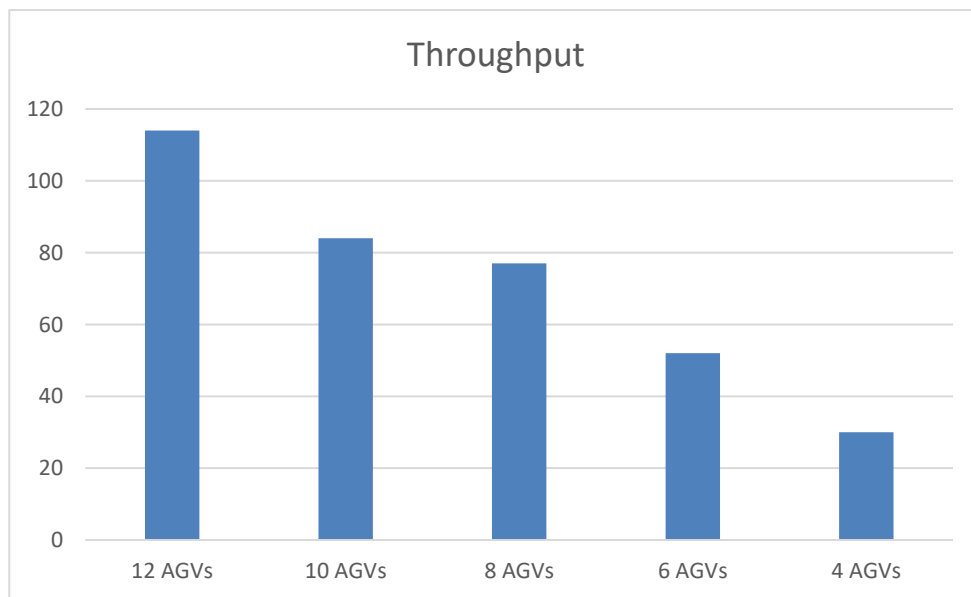


Figura 39: Histograma comparando los resultados

## 6 CONCLUSIONES

Al analizar los objetivos que se encuentran al principio del trabajo, se considera que se han alcanzado satisfactoriamente, pues no sólo se implementó la simulación del sistema de AGV sino que también se estudiaron mejoras y cambios que podrían ser de utilidad para la empresa en cuestión.

Conforme a los resultados obtenidos, se consideran dos soluciones posibles que podrían cumplir con las expectativas de la empresa. Una de las dos soluciones propuestas maximizaría la capacidad de transporte interno de material y la otra maximizaría el aprovechamiento de los recursos y su productividad.

Si se desea alcanzar la máxima capacidad de transporte interno, se consideraría tomar la solución con 12 AGV. Al realizar simulaciones de una hora de operación, se encontró que fue el escenario que más productividad tuvo con 114 unidades por hora y un promedio de 58% de ocupación. Se compararon dos modos de operación, con AGVs independientes para cada tipo de flujo y con AGV compartidos, obteniendo resultados similares aunque con una ligera mayor eficiencia en el caso de estar zonificados independientemente.

La solución alternativa con 10 AGV conlleva un decremento de un 15.78% en la capacidad de transporte, pero también los vehículos pasan significativamente a tener menos tiempo muerto en la simulación (un 8% menos) lo que demuestra que su capacidad está mejor aprovechada. Mientras la demanda de transporte interno de la empresa sea asumible con la capacidad alcanzada en este escenario, se recomendaría adoptar esta solución.

Para finalizar, se consideran los resultados proporcionados para ese trabajo como una información de gran utilidad para guiar a la empresa a tomar decisiones sobre alguna inversión a futuro que puedan tener. Los experimentos sobre los escenarios del modelo permiten conocer de antemano los resultados que podrían resultar favorecedores, así como negativos, para cada hipótesis de carga y demanda de transporte interno que la empresa desee formular.



## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ATIGA. (noviembre 2017). Oportunidades Industria 4.0 en Galicia. Marzo 28, 2019, de Xunta de Galicia Sitio web file ://C:/Users/Mota/AppData/Local/Temp/EA\_Logist\_avanzada\_rev-1.pdf

ECHEVERRI, J., & ESCOBAR, M. (2012). 4CARACTERIZACIÓN DE UN AGV (VEHÍCULO GUIADO AUTOMÁTICAMENTE) EN EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE; CASO CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN CTAI DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Abril, 2019, de PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA Sitio web: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10296/EcheverriEstradaJuanMarti2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, J. (junio 7, 2012). VEHÍCULOS-ROBOT DE GUIADO AUTOMÁTICO PARA ALMACENES Y PLANTAS DE MANUFACTURACIÓN. Abril 1, 2019, de Universitat Autònoma de Barcelona Sitio web: [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl\\_2072\\_212656/PFC\\_JoseMiguelMorenoVillafranca.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_212656/PFC_JoseMiguelMorenoVillafranca.pdf)

Barrio, M. (2018). INTERNET DE LAS COSAS. abril 30, 2019, de Reus Editorial Sitio web: [https://www.editorialreus.es/static/pdf/primeraspaginas\\_9788429020380\\_internetdelascosas.pdf](https://www.editorialreus.es/static/pdf/primeraspaginas_9788429020380_internetdelascosas.pdf)

Fernández, M. (Julio, 2017). SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE EMBALAJE DE KITS. abril 30, 2019, de Escola Politècnica Superior Sitio web: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19726/FernandezFernandezCampoamor\\_Marina\\_TFG\\_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19726/FernandezFernandezCampoamor_Marina_TFG_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Barros, T. (2017). La Industria 4.0: Aplicaciones e Implicaciones. abril 30, 2019, de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla Sitio web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91146/fichero/La+Industria+4.0+Aplicaciones+e+Implicaciones.pdf>

Puche, J., Carpena, J., Gómez, J., López, R., Santa, S., & Sanz, S. (junio 2005). Guía práctica para la simulación de procesos industriales. Región de Murcia: Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia.

Mourtzis, D., Doukas, M. & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. mayo, 2019, de ELSEVIER Sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114010634>

Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C. (2004). Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos: Almacenes. mayo, 2019, de Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C. Sitio web: <http://personales.upv.es/jpgarcia/linkeddocuments/7%20almacenes.pdf>

San José, J. (noviembre, 2010). Sistema de Gestión Automatizado: Diseño, Interfaz e Implantación. mayo, 2019, de UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA Sitio web: <http://joseivansanjosievioco.es/wp-content/uploads/2017/01/Memoria-TFG-Jos%C3%A9-Iv%C3%A1n-San-Jos%C3%A9-Vieco.pdf>