Resolución de Ejercicio ARENA

Ejercicio B: Cadena de Montaje de Aviones

Ángel María Mármol Fernández

Antonio Martínez Rojas

Jorge Manuel Molina Domínguez

Pablo Narváez Sierra

Contenido

[1. Introducción y Objetivos 2](#_Toc536714472)

[2. Análisis de requisitos 3](#_Toc536714473)

[3. Diseño e implementación de la situación de partida 4](#_Toc536714474)

[4. Pruebas y propuesta de mejoras 5](#_Toc536714475)

[4.1 Prueba Caso Inicial 5](#_Toc536714476)

[4.2 Pruebas 6](#_Toc536714477)

[4.2.1 Configuración de herramientas 1-1-1-2 6](#_Toc536714478)

[4.2.2 Configuración de herramientas 1-2-1-1 7](#_Toc536714479)

[4.2.3 Configuración de herramientas 1-2-1-2 8](#_Toc536714480)

[4.2.4 Configuración de herramientas 1-3-1-1 9](#_Toc536714481)

[4.2.5 Configuración de herramientas 1-3-1-2 10](#_Toc536714482)

[4.2.6 Configuración de herramientas 2-1-1-1 11](#_Toc536714483)

[4.2.7 Configuración de herramientas 2-1-1-2 12](#_Toc536714484)

[4.2.8 Configuración de herramientas 2-2-1-1 13](#_Toc536714485)

[4.2.9 Configuración de herramientas 2-2-1-2 14](#_Toc536714486)

[4.2.10 Configuración de herramientas 2-3-1-1 15](#_Toc536714487)

[4.2.11 Configuración de herramientas 2-3-1-2 16](#_Toc536714488)

[4.2.12 Configuración de herramientas 3-1-1-1 17](#_Toc536714489)

[4.2.13 Configuración de herramientas 3-1-1-2 18](#_Toc536714490)

[4.2.14 Configuración de herramientas 3-2-1-1 19](#_Toc536714491)

[4.2.15 Configuración de herramientas 3-2-1-2 20](#_Toc536714492)

[4.2.16 Configuración de herramientas 3-3-1-1 21](#_Toc536714493)

[4.2.17 Configuración de herramientas 3-3-1-2 22](#_Toc536714494)

[4.3 Mejoras 22](#_Toc536714495)

[5. Conclusiones 22](#_Toc536714496)

# Introducción y Objetivos

Con este documento explicaremos y expondremos tanto el ejercicio al que nos hemos enfrentado, como los resultados obtenidos.

La práctica consiste en llevar a cabo una simulación en Arena sobre la situación actual de una empresa aeronáutica que se dedica a construir aviones, con el objetivo de obtener medias y cálculos de productividad y efectividad para poder entonces optimizar dicha producción cambiando los valores que sean necesarios y así sacar un máximo rendimiento a los recursos que dispone y necesitara la empresa.

Dicho desafío será llevado a cabo por Ángel María Mármol Fernández, Antonio Martínez Rojas, Jorge Manuel Molina Domínguez y Pablo Narváez Sierra, los cuales nos encargaremos de modelar el problema en el programa Arena, como la creación de este mismo documento.

Documento el cual lo dividiremos en cuatro apartados:

Primero: Expondremos el problema al cual nos enfrentamos señalando los puntos y requisitos más importantes.

Segundo: Explicaremos el modelo que se ha llevado a cabo en el programa Arena.

Tercero: Analizaremos los resultados que se ha conseguido con los datos iniciales del problema, así como los resultados obtenidos en diferentes pruebas realizadas en la búsqueda de la solución óptima y por último explicaremos las propuestas que aconsejamos que se realicen para optimizar la producción.

Cuarto: Por último, explicaremos que dificultades nos hemos encontrado al realizar la práctica, como también qué nos ha ayudado a aprender y ventajas que hemos obtenido de cara a nuestro futuro.

# Análisis de requisitos

Estamos ante una planta de montaje de una empresa aeronáutica la cual se compone de 3 estaciones distintas y en cada estación se realizan 3 operaciones distintas de forma consecutiva, en las cuales cada operación necesita de un tipo de herramienta específica, de las cuales solo se tiene una única herramienta de cada tipo.

Los tiempos de duración de las operaciones de cada estación son los siguientes:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tiempo de operación por estación y operación (en horas) | | | |
| Estación | Operación 1 | Operación 2 | Operación 3 |
| 1 | 2 | 3 | 2.5 |
| 2 | 4 | 1.5 | 6 |
| 3 | 2.5 | 4 | 6 |

Y el tipo de herramienta necesaria en cada operación es:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tiempo de Herramienta a usar en cada estación y operación | | | |
| Estación | Operación 1 | Operación 2 | Operación 3 |
| 1 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 4 | 3 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 4 |

Hay que tener en cuenta que en cada operación se necesitará únicamente una sola herramienta, pero hay que tener en cuenta que cada herramienta la maneja un operario que trabaja en turnos de 8 horas y tienen derecho a un descanso de 15 minutos cuando se cumplen 4 horas de su turno, que entonces las operaciones de la planta se paralizan y al terminar los 15 minutos los trabajadores regresan al trabajo desde donde lo dejaron.

También hay que tener en cuenta que en cada estación solo se puede tener un avión trabajando al mismo tiempo, y que no podrá ser enviado a la estación siguiente hasta que dicha estación este libre, manteniéndose por lo tanto en la estación actual en espera hasta que la siguiente estación este libre, por lo tanto, se puede tener hasta tres aviones trabajando al mismo tiempo en la cadena de montaje, una por cada estación.

Por último, hay que tener en cuenta que aunque en la primera estación siempre se empezará a trabajar en una nueva pieza de forma instantánea cada vez que ésta esté libre, hay que considerar que hay un tiempo de transporte de 3 horas entre la primera y segunda estación, y un tiempo de 6 horas entre la segunda y tercera estación, señalar que al ser cintas de transporte automáticas las que se encargan del transporte y no depende de intervención humana, la operaciones de transporte no se paralizarán durante el descanso de los trabajadores.

Se desea por lo tanto saber los **tiempos medios de espera**, así como la **utilización de las herramientas** y que demos una solución al modelo para poder optimizar la producción con el **menor número posible de herramientas**.

# Diseño e implementación de la situación de partida

El Modelo implementado se divide en cuatro partes bien diferenciadas:

La primera parte es únicamente auxiliar y es la que “crea” las nuevas piezas de la primera estación, el funcionamiento es que el Create crea una única pieza en T0 la cual pasamos por un Separate para copiarla mandando la original a la Primera estación con un tiempo 0 de transporte y la copia la guardamos en un Hold que liberara la pieza guardada cuando reciba la señal de que la estación 1 este libre y la mandara de nuevo al Separate para volverla a copiar y repetir el ciclo. Esto se debe ya que según el enunciado las piezas de la estación 1 no llegan de una forma temporal, si no que instantáneamente se empieza a trabajar en una nueva pieza en la estación 1 cuando esta queda libre, de este modo podemos simular ese comportamiento.

La segunda parte corresponde a la estación 1 en que la pieza pasa por 3 procesos correspondiente a las 3 operaciones perteneciente a dicha estación, en los cuales se utilizan las herramientas correspondientes en cada una de ellas y liberando su uso al finalizar el proceso. A continuación, se comprueba si hay espacio en la estación 2, si esta libre la pieza se manda directamente utilizando un Route para poder representar el tiempo de traslado y si no lo hay la pieza se manda a un Hold para mantener la pieza hasta que la estación 2 quede libre. Solo después de esta Decide, la pieza pasa por una señal, que simboliza que la estación 1 queda libre, que se manda al Hold de la primera parte para que se empiece la producción de una nueva pieza. Al mismo tiempo utilizamos un Assign para señalizar el momento en que la pieza llega a la estación 1, lo cual nos servirá para poder calcular el tiempo que la pieza tarda en pasar por las 3 operaciones y el tiempo que la pieza tarda en total dentro de la estación incluido su bloqueo.

La tercera parte, que corresponde a la segunda estación, es idéntica a la segunda parte, con la diferencia de las herramientas usadas en las operaciones y los tiempos generales, el Decide comprueba la disponibilidad de la tercera estación y la señal es para el Hold de la primera parte y la pieza es mandada a la tercera estación.

La cuarta y ultima parte la cual corresponde a la tercera estación es también parecida a la segunda y tercera parte, con las diferencias debidas de tiempos y herramientas, etc… pero a diferencia de las estaciones anteriores, no tiene un Decide y directamente manda la señal que queda libre la estación al Hold de la estación 2 y después las piezas pasan al Dispose, que simboliza el fin de producción de esa pieza y nos ayuda saber cuantas se han terminado de producir.

En referencia a los turnos de descanso, se ha omitido directamente la figura de los operarios ya que no son necesarios y se ha puesto un horario de trabajo a los tipos de herramientas con capacidad de 1 herramienta de cada tipo, así como los horarios de tipo PREEMPT.

La unidad temporal de la simulación está configurada en horas.

# Pruebas y propuesta de mejoras

## Prueba Caso Inicial

Con el caso inicial de partida, el cual es tener en posesión una única herramienta de cada tipo los resultados son:

Que se han terminado con éxito 8 aviones, 1 se ha quedado en mitad del trabajo de la tercera operación de la estación 3, y se han quedado 1 avión en espera en la estación 2 y otro en la estación 1, siendo así que se han empezado a trabajar en un total de 11 aviones.

Sin olvidarnos de los siguientes tiempos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Además, se pueden observar otros tiempos medios como:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Sobre las herramientas se pueden sacar la siguiente información:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |

NumberBusy hace referencia a la media de tiempo que las herramientas de ese tipo han estado ocupadas a lo largo del tiempo y Utilization hace referencia al tiempo de uso de cada una de las herramientas de un tipo en concreto. En este caso coinciden los valores porque solo disponemos, como explicado al principio, una herramienta de cada tipo.

De estos valores de herramientas deducimos que las herramientas 1,2 y 4 han estado ocupadas únicamente poco mas del 50% del tiempo y la herramienta 3 torno a un 8%

De ello podemos extrapolar que aumentar el numero de herramientas puede que no se traduzca en una mayor producción de aviones completados en el tiempo fijo, pero si se pudiese mejorar los tiempos de espera de los aviones y reducir el tiempo que tardan en recibir los aviones las operaciones de cada estación, traduciéndose pues en una mayor producción de aviones completados en un espacio de tiempo mayor de 8 días.

## Pruebas

### Configuración de herramientas 1-1-1-2

En este caso vamos probamos con una herramienta del tipo 1, 2 y 3, y dos herramientas del tipo 4, obteniendo que se han completado con éxito 8 aviones.

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | **0.26488** |

De estos valores de herramientas deducimos que las herramientas 1,2 y 4 han estado ocupadas poco más del 50% del tiempo y la herramienta 3 en torno a un 8% (observando NumberBusy), y como era de esperar vemos como la utilización de las herramientas de los tipos 1,2 y 3 coinciden con el tiempo en el que han estado ocupadas ya que solamente hay una de cada tipo, y al haber aumentado la cantidad de herramientas tipo 4 a dos, vemos que su utilización es del 26’4%, la mitad del tiempo de ocupación de las herramientas de tipo 4 (lógicamente, la utilización = tiempo ocupación / número herramientas).

Podemos observar que esta configuración de herramientas no surte ningún efecto positivo con respecto a la configuración inicial (1-1-1-1), ya que la única diferencia que existe es que las herramientas de tipo 4 están doblemente ociosas, algo que no beneficia en la producción de aviones, obteniéndose los mismos 8 aviones completos.

### Configuración de herramientas 1-2-1-1

En este caso vamos probamos con una herramienta del tipo 1, 3 y 4, y dos herramientas del tipo 2, obteniendo que se han completado con éxito 8 aviones.

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.55506 | **0.25446** | 0.08036 | 0.52976 |

Al igual que en la prueba anterior, obtenemos como resultado que la producción de aviones sigue siendo de 8, por lo que aumentar a dos la cantidad de herramientas de tipo 2 no se ofrece como un cambio positivo, solo hace que cada una de las herramientas de tipo 2 se utilicen la mitad del tiempo que se utilizaba antes una, por lo que estarán aún más tiempo ociosas.

### Configuración de herramientas 1-2-1-2

En este caso vamos probamos con una herramienta del tipo 1, 3 y 4, y dos herramientas del tipo 2, obteniendo que se han completado con éxito 8 aviones.

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.55506 | **0.25446** | 0.08036 | **0.26488** |

Como era de esperar los resultados de la simulación son los mismos que en la configuración inicial, a excepción de que al incluir dos herramientas tipo 2 y dos tipos 4, los tiempos de utilización de estas se reducen a la mitad, estando más tiempo ociosas, lo que no contribuye positivamente a la producción de aviones, ya que seguimos obteniendo 8.

### Configuración de herramientas 1-3-1-1

En este caso vamos probamos con una herramienta del tipo 1, 3 y 4, y tres herramientas del tipo 2, obteniendo que se han completado con éxito 8 aviones.

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.55506 | **0.16964** | 0.08036 | 0.52976 |

Seguimos obteniendo los mismos resultados de producción, 8 aviones completados con éxito, con la única diferencia de que, al incluir tres herramientas de tipo 2, el tiempo de utilización de dichas herramientas de divide por tres, algo que no se erige como un valor positivo ya que tenemos más herramientas para obtener el mismo resultado de la configuración inicial.

### Configuración de herramientas 1-3-1-2

En este caso vamos probamos con una herramienta del tipo 1 y 3, tres herramientas del tipo 2 y dos herramientas del tipo 4, obteniendo que se han completado con éxito 8 aviones.

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.55506 | **0.16964** | 0.08036 | **0.26488** |

Continuamos en la misma línea, obteniendo los mismos resultados que con la configuración inicial (1-1-1-1), pero esta vez utilizando más herramientas, concretamente, 3 de tipo 2 y 2 de tipo 4, lo que hace que el tiempo de utilización de las herramientas de tipo 2 se divida entre 3 y el tiempo de utilización de las de tipo 4 entre dos. Por lo que este cambio no aporta ningún efecto positivo, al estar más tiempo ociosas las herramientas 2 y 4, obteniendo el mismo resultado de 8 aviones con 3 herramientas más que en el caso inicial.

### 4.2.6 Configuración de herramientas 2-1-1-1

En este caso probamos con dos herramientas del tipo 1 y una herramienta del resto de cada tipo. Con estos datos, conseguimos fabricar 8 aviones, y se quedan 3 en proceso de fabricación (uno para a la espera de entrar en la estación 1, otro en la estación 2 y otro en mitad del proceso de la estación 3).

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | **0.27753** | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |

Podemos ver, como en el resto de los ejemplos, que el tiempo de utilización de cada herramienta del tipo 1 pasa a ser la mitad (27.78%), pues ahora hay dos herramientas del tipo 1.

### 4.2.7 Configuración de herramientas 2-1-1-2

En este caso probamos con dos herramientas del tipo 1 y del tipo 4, y una herramienta del resto de cada tipo. Con estos datos, conseguimos fabricar 8 aviones, y se quedan 3 en proceso de fabricación (uno para a la espera de entrar en la estación 1, otro en la estación 2 y otro en mitad del proceso de la estación 3).

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | **0.27753** | 0.50893 | 0.08036 | **0.26488** |

Podemos ver, como en el resto de los ejemplos, que el tiempo de utilización de cada herramienta del tipo 1 y tipo 4 pasa a ser la mitad (27.78% y 26.49%), pues ahora hay dos herramientas de cada tipo.

### 4.2.8 Configuración de herramientas 2-2-1-1

En este caso probamos con dos herramientas del tipo 1 y del tipo 2, y una herramienta del resto de cada tipo. Con estos datos, conseguimos fabricar 8 aviones, y se quedan 3 en proceso de fabricación (uno para a la espera de entrar en la estación 1, otro en la estación 2 y otro en mitad del proceso de la estación 3).

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | **0.27753** | **0.25446** | 0.08036 | 0.52976 |

Podemos ver, como en el resto de los ejemplos, que el tiempo de utilización de cada herramienta del tipo 1 y tipo 2 pasa a ser la mitad (27.78% y 25.45%), pues ahora hay dos herramientas de cada tipo.

### 4.2.9 Configuración de herramientas 2-2-1-2

En este caso probamos con dos herramientas del tipo 1, tipo 2 y del tipo 4, y una herramienta para el tipo 3. Con estos datos, conseguimos fabricar 8 aviones, y se quedan 3 en proceso de fabricación (uno para a la espera de entrar en la estación 1, otro en la estación 2 y otro en mitad del proceso de la estación 3).

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | **0.27753** | **0.25446** | 0.08036 | **0.26488** |

Podemos ver, como en el resto de los ejemplos, que el tiempo de utilización de cada herramienta del tipo 1, tipo 2 y tipo 4 pasa a ser la mitad (27.78%, 25.45% y 26.49%), pues ahora hay dos herramientas de cada tipo.

### 4.2.10 Configuración de herramientas 2-3-1-1

En este caso probamos con dos herramientas del tipo 1, tres herramientas del tipo 2 y una herramienta para el tipo 3 y 4. Con estos datos, conseguimos fabricar 8 aviones, y se quedan 3 en proceso de fabricación (uno para a la espera de entrar en la estación 1, otro en la estación 2 y otro en mitad del proceso de la estación 3).

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | **0.27753** | **0.16964** | 0.08036 | 0.52976 |

Podemos ver, como en el resto de los ejemplos, que el tiempo de utilización de cada herramienta del tipo 1 pasa a ser la mitad (27.78%), pues ahora hay dos herramientas de ese tipo. Por el mismo razonamiento, cada herramienta del tipo 2 tiene un tiempo de utilización de un 30% del total (16.96%).

### 4.2.11 Configuración de herramientas 2-3-1-2

En este caso probamos con dos herramientas del tipo 1 y del tipo 4, tres herramientas del tipo 2 y una herramienta para el tipo 3. Con estos datos, conseguimos fabricar 8 aviones, y se quedan 3 en proceso de fabricación (uno para a la espera de entrar en la estación 1, otro en la estación 2 y otro en mitad del proceso de la estación 3).

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fábrica | 69 h | 41.5h | 75.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | **0.27753** | **0.16964** | 0.08036 | **0.26488** |

Podemos ver, como en el resto de los ejemplos, que el tiempo de utilización de cada herramienta del tipo 1 y tipo 4 pasa a ser la mitad (27.78% y 26.49%), pues ahora hay dos herramientas de cada tipo. Por el mismo razonamiento, cada herramienta del tipo 2 tiene un tiempo de utilización de un 30% del total (16.96%).

### 4.2.12 Configuración de herramientas 3-1-1-1

Los resultados obtenidos en la simulación son los siguientes:

Nº de aviones terminados: 8

Nº de aviones empezados: 11

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.75 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.18502 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |

Aumentar la herramienta 1 hasta 3 unidades no ha surtido ningún cambio al resultado de la simulación

### 4.2.13 Configuración de herramientas 3-1-1-2

Los resultados obtenidos en la simulación son los siguientes:

Nº de aviones terminados: 8

Nº de aviones empezados: 11

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.75 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.18502 | 0.50893 | 0.08036 | 0.26488 |

Junto al cambio anterior, aumentar la herramienta 4 hasta 2 unidades no ha surtido ningún cambio al resultado de la simulación.

### 4.2.14 Configuración de herramientas 3-2-1-1

Los resultados obtenidos en la simulación son los siguientes:

Nº de aviones terminados: 8

Nº de aviones empezados: 11

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.75 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.18502 | 0.25446 | 0.08036 | 0.52976 |

Junto al primer cambio, aumentar la herramienta 2 hasta 2 unidades no ha surtido ningún cambio al resultado de la simulación.

### 4.2.15 Configuración de herramientas 3-2-1-2

Los resultados obtenidos en la simulación son los siguientes:

Nº de aviones terminados: 8

Nº de aviones empezados: 11

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.75 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.18502 | 0.25446 | 0.08036 | 0.26488 |

Unir los tres cambios anteriores no ha surtido ningún cambio en los resultados de la simulación.

### 4.2.16 Configuración de herramientas 3-3-1-1

Los resultados obtenidos en la simulación son los siguientes:

Nº de aviones terminados: 8

Nº de aviones empezados: 11

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.75 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.18502 | 0.16964 | 0.08036 | 0.52976 |

Aumentar la herramienta 2 hasta 3 unidades no ha surtido ningún cambio en los resultados de la operación.

### 4.2.17 Configuración de herramientas 3-3-1-2

Los resultados obtenidos en la simulación son los siguientes:

Nº de aviones terminados: 8

Nº de aviones empezados: 11

Estadísticas de tiempo en fábrica:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 69 h | 41.5h | 75.75 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 28.5 h | 1h | 35.25 h |

Estadísticas de tiempo en estaciones:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 18.906h | 15.906h | 12.906h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 7.7222h | 11.888h | 12.906h |
| Tiempo de espera en la estación | 11.187h | 4.0312h | - |

Estadísticas sobre las herramientas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.55506 | 0.50893 | 0.08036 | 0.52976 |
| Utilization | 0.18502 | 0.16964 | 0.08036 | 0.26488 |

Junto al cambio anterior, aumentar la herramienta 4 hasta 2 unidades no ha surtido ningún cambio en el resultado de la simulación.

## Mejoras

Como hemos visto en el apartado 4.2 la modificación de la cantidad de herramientas no aporta ninguna mejora en la producción porque tanto en el primer caso (1-1-1-1) tanto como en el otro caso límite, una herramienta para cada operación (3-3-1-2), los tiempos de ocupación de las herramientas no varían. Estando en todo momento en torno a un 50% en estado ocioso las herramientas 1,2 y 4 y un 92% la herramienta 3.

Esto se debe a que los tiempos de las operaciones y del transporte son demasiado grandes, por lo que pensamos que la única manera de mejorar la producción sería intentar reducir los tiempos de transporte y/o las operaciones en si mismas en la mayor medida posible.

A continuación, exponemos una simulación con una única herramienta de cada tipo, en la que los tiempos de transporte entre estaciones es 0:

Se terminan con éxito 13 aviones, 1 se ha quedado en mitad del trabajo de la segunda operación de la estación 3, y se han quedado 1 avión en espera en la estación 2 y otro en la estación 1, siendo así que se han empezado a trabajar en un total de 16 aviones.

Sin olvidarnos de los siguientes tiempos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Media | Mínimo | Máximo |
| Tiempo total de estancia en la fabrica | 49.596 h | 32.5 h | 51.750 h |
| Tiempo Total de Espera de los aviones | 18.096 h | 1 h | 20.250 h |

Además, se pueden observar otros tiempos medios como:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
| Tiempo Total de estancia | 12.903 h | 12.903 h | 12.903 h |
| Tiempo Total en recibir las operaciones | 12.365 h | 11.865 h | 12.903 h |
| Tiempo de espera en la estación | 0.53846 h | 1.0384 h | - |

Sobre las herramientas se pueden sacar la siguiente información:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Herramienta 1 | Herramienta 2 | Herramienta 3 | Herramienta 4 |
| NumberBusy | 0.81399 | 0.73661 | 0.11756 | 0.77381 |
| Utilization | 0.81399 | 0.73661 | 0.11756 | 0.77381 |

De estos valores de herramientas deducimos que las herramientas 1 está ocupada el 81.39% del tiempo, la 2 el 73.66%, la 3 el 11.75% y la 4 el 77.38% del tiempo.

Como podemos ver, se ha mejorado la producción al eliminar los tiempos de transporte y además la ocupación y por tanto la utilización de las herramientas ha aumentado sin llegar a valores críticos (entorno al 100%) por lo que aumentar el número de herramientas no influiría en el resultado de la producción.

**Por ello nuestra propuesta es que no se aumente la cantidad de herramientas de ningún tipo y se centren los esfuerzos de la empresa en intentar reducir todo lo posible los tiempos de transporte y operación de las estaciones.**

# Conclusiones

* Nos ha resultado fácil e intuitivo utilizar el software Arena para modelar este problema. Consideramos que la integración entre modelo, datos y animación es bastante sencilla.
* Una vez practicada la simulación de eventos, es de destacar que se facilita la comprensión de ciertas situaciones relacionadas con la producción y la optimización de situaciones complejas.
* A la hora de la división del trabajo se ha encontrado la dificultad de poder trabajar todos de manera simultánea debido a la atomicidad del modelo.