

PROYECTO INTEGRADOR

ETAPA 3

Universidad del Valle de México

Materia: Modelación y Simulación de Sistemas

Docente: Sergio Casasola Santana

Samara Zamudio Toledo

18 DE AGOSTO DE 2024

Proyecto Integrador

Etapa 1

Introducción

La simulación de sistemas es una herramienta poderosa empleada en diversas áreas del sector productivo para optimizar procesos y tomar decisiones informadas. Esta metodología permite modelar y analizar sistemas complejos, facilitando la identificación de cuellos de botella y la evaluación de alternativas de mejora. En este proyecto integrador, se explorará la aplicación de la simulación en la cadena de suministro una cadena de ropa hipotética, conocida por su capacidad para responder rápidamente a las tendencias del mercado.

Reporte

Numerosos estudios han implementado la simulación de sistemas en manufactura, servicios y sistemas de colas, empleando software especializado en el modelado de sistemas complejos. Un ejemplo es Guo et al. (2006), que desarrollaron SimOpt, un sistema de optimización por simulación basado en simulación virtual para sistemas de manufactura. SimOpt separa el modelo de simulación del algoritmo de optimización y emplea técnicas de modelado orientado a objetos junto con un algoritmo híbrido de optimización para mejorar la toma de decisiones en sistemas de producción complejos.

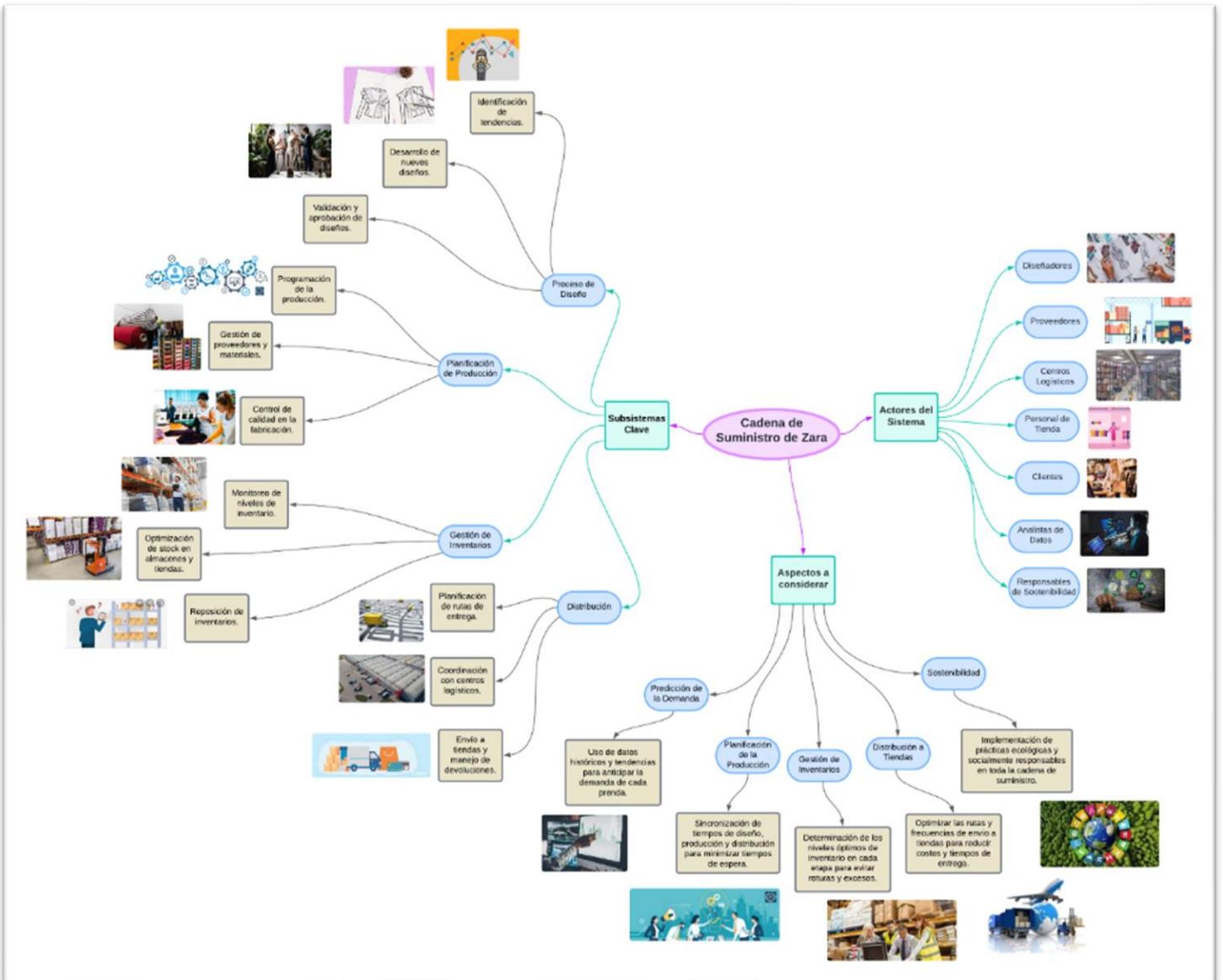
Por otro lado, Gustafsson (2003) propuso la simulación de Poisson como una extensión de la simulación de sistemas continuos para modelar sistemas de colas. Este enfoque permite una representación más realista de eventos discretos en sistemas de espera, como en servicios y manufactura. Otro ejemplo es, Malega et al. (2021), que optimizaron un sistema de producción utilizando Plant Simulation, un software de modelado y simulación, asimismo aplicaron técnicas de optimización para encontrar la configuración óptima del sistema, reduciendo costos y mejorando la eficiencia.

Otro ejemplo es el de Lee et al. (2012), donde analizaron la sostenibilidad de los sistemas de manufactura utilizando simulación y evaluaron el impacto ambiental, social y económico de diferentes escenarios de producción, demostrando cómo la simulación puede guiar hacia sistemas de manufactura más sostenibles. Asimismo, Sadoun (2000) realizó una revisión de la aplicación de simulación de sistemas en diversas áreas, incluyendo manufactura, logística, servicios de salud y transporte, destacando cómo la simulación permite evaluar alternativas, identificar cuellos de botella y optimizar el desempeño de sistemas complejos.

La simulación de sistemas ha demostrado ser una herramienta valiosa para modelar, analizar y optimizar procesos en múltiples sectores. El desarrollo de software especializado y la investigación continua en técnicas de simulación y optimización permiten aprovechar cada vez más el potencial de esta metodología para mejorar la toma de decisiones en sistemas productivos complejos.

Mapa Mental

La cadena de ropa hipotética es conocida por su capacidad para detectar rápidamente nuevas tendencias y enviar prendas a las tiendas para satisfacer las necesidades de sus clientes. Su éxito se basa en el uso de datos y análisis para hacer predicciones y tomar decisiones acertadas. Sin embargo, se han detectado algunas tardanzas en entrega de entregas al cliente final en nuevas colecciones y no se ha logrado identificar los cuellos de botella o las oportunidades de mejora. Para la optimización de la cadena de suministro de la cadena, se analizará el proceso de diseño, producción y distribución de una nueva colección de ropa, con el objetivo de identificar los cuellos de botella y oportunidades de mejora. Para esto se presenta a continuación el mapa de la cadena de suministro, con el fin de identificar inicialmente los actores involucrados, los subsistemas clave y los aspectos clave a considerar.



Realizado con Lucidchart. Link para visualización: [https://lucid.app/lucidchart/f22aafb0-5af6-4a63-a4b0-65c5d4af16f4/edit?viewport_loc=-2406%2C-1023%2C6289%2C2736%2C0_0&invitationId=inv_5901c7cd-7aae-43c2-a1a4-](https://lucid.app/lucidchart/f22aafb0-5af6-4a63-a4b0-65c5d4af16f4/edit?viewport_loc=-2406%2C-1023%2C6289%2C2736%2C0_0&invitationId=inv_5901c7cd-7aae-43c2-a1a4-a2e34a4bfb9a)

[65c5d4af16f4/edit?viewport_loc=-2406%2C-1023%2C6289%2C2736%2C0_0&invitationId=inv_5901c7cd-7aae-43c2-a1a4-](https://lucid.app/lucidchart/f22aafb0-5af6-4a63-a4b0-65c5d4af16f4/edit?viewport_loc=-2406%2C-1023%2C6289%2C2736%2C0_0&invitationId=inv_5901c7cd-7aae-43c2-a1a4-a2e34a4bfb9a)

[a2e34a4bfb9a](https://lucid.app/lucidchart/f22aafb0-5af6-4a63-a4b0-65c5d4af16f4/edit?viewport_loc=-2406%2C-1023%2C6289%2C2736%2C0_0&invitationId=inv_5901c7cd-7aae-43c2-a1a4-a2e34a4bfb9a)

Conclusión Etapa 1

En la primera etapa de este proyecto integrador, se ha demostrado la relevancia y el impacto de la simulación de sistemas en la optimización de procesos productivos a través de la revisión de estudios. De igual forma, se ha realizado la identificación de una situación problemática en la cadena de suministro de una cadena de ropa, con lo que se han sentado las bases para modelar y analizar el sistema con el objetivo de identificar cuellos de botella y mejorar la eficiencia. La utilización de técnicas avanzadas de simulación y análisis de datos permitirá desarrollar estrategias que optimicen la cadena de suministro, mejorando la toma de decisiones y la sostenibilidad de las operaciones de la cadena de suministro de la empresa hipotética.

Etapa 2

Introducción

En esta segunda etapa del Proyecto Integrador, se busca profundizar en el análisis y optimización de la cadena de suministro de una cadena de ropa hipotética, conocida por su capacidad para adaptarse rápidamente a las tendencias del mercado. A partir de la identificación preliminar de problemas en la etapa anterior, nos enfocaremos en la recolección detallada de datos y la modelación de procesos críticos para identificar y mitigar cuellos de botella en la producción.

Recolección de Información y Datos

El sistema para modelar es **discreto**, ya que estamos tratando con eventos específicos y separados en el tiempo, como el diseño, la producción, el transporte y la venta. Por otro lado, el sistema es **dinámico**, ya que los procesos cambian y evolucionan con el tiempo. Finalmente, el sistema es **estocástico**, debido a la variabilidad e incertidumbre inherentes en la demanda, tiempos de producción y entrega.

De los datos históricos se

Datos Recolectados:

1. Tiempos de Diseño:

- Promedio: 2 semanas
- Desviación estándar: 3 días

2. Tiempos de Programación de Producción:

- Promedio: 1 semana
- Desviación estándar: 2 días

3. Tiempos de Fabricación:

- Corte de telas: 5 minutos por unidad
- Costura de telas: 10 minutos por unidad
- Desviación estándar: 1 minuto

4. Tiempos de Transporte:

- Desde la fábrica hasta el centro de distribución: 2 días
- Desde el centro de distribución hasta las tiendas: 1 día
- Desde el centro de distribución hasta el cliente final (pedidos en línea): 2 días
- Desviación estándar: 0.5 días

5. **Demanda en Tiendas y Pedidos en Línea:**

- Demanda diaria promedio en tiendas: 100 unidades
- Demanda diaria promedio en línea: 50 unidades
- Desviación estándar: 10 unidades

6. **Costos de Producción y Distribución:**

- Costo de producción por unidad: \$15
- Costo de transporte por unidad: \$2
- Costo de almacenamiento por unidad: \$1 por día

Identificación del Cuello de Botella

Durante la recolección y análisis de datos, se encontró que el cuello de botella principal se presenta en el proceso de producción de nuevos diseños. Esto se cree que es debido a la alta variabilidad en los tiempos de costura de telas, lo que ralentiza el flujo de producción y afecta la capacidad de satisfacer la demanda en tiendas y pedidos en línea, por lo que será este el proceso a simular.

Diseño del Modelo de Simulación

Modelo de Producción:

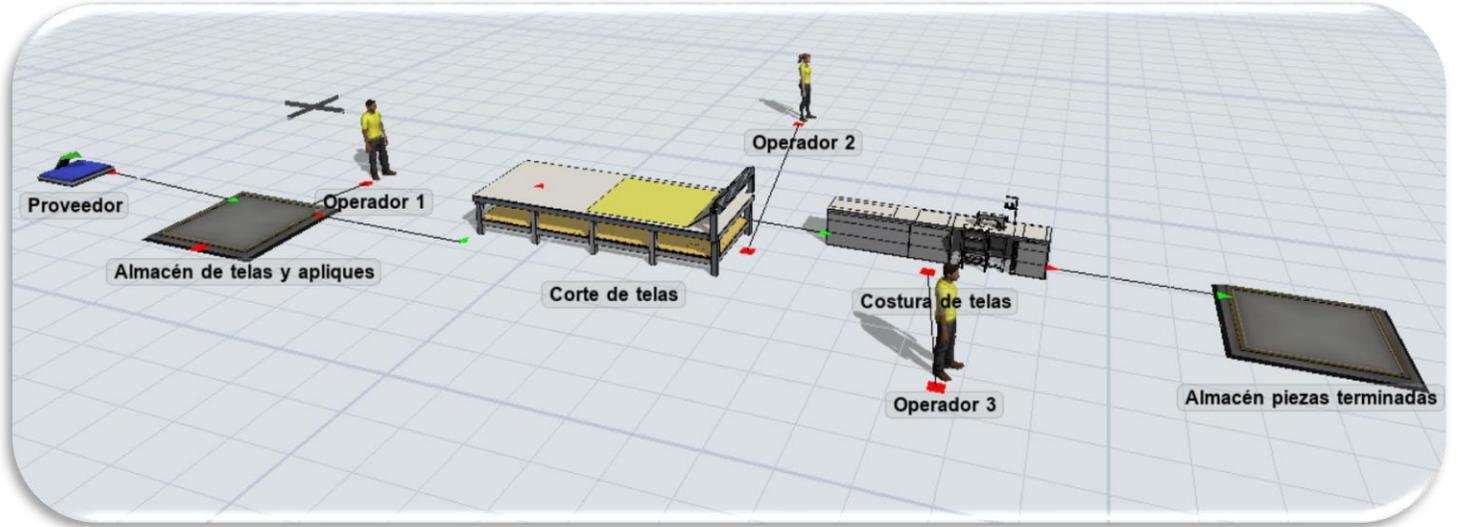
1. **Proveedor:** Entrega de materia prima.
2. **Almacén de Telas y Apliques:** Almacenamiento inicial.
3. **Corte de Telas:** Proceso de corte (5 minutos por unidad, desviación estándar de 1 minuto).
4. **Costura de Telas:** Proceso de costura (10 minutos por unidad, desviación estándar de 2 minutos).
5. **Almacén de Piezas Terminadas:** Almacenamiento final.

Variables Críticas

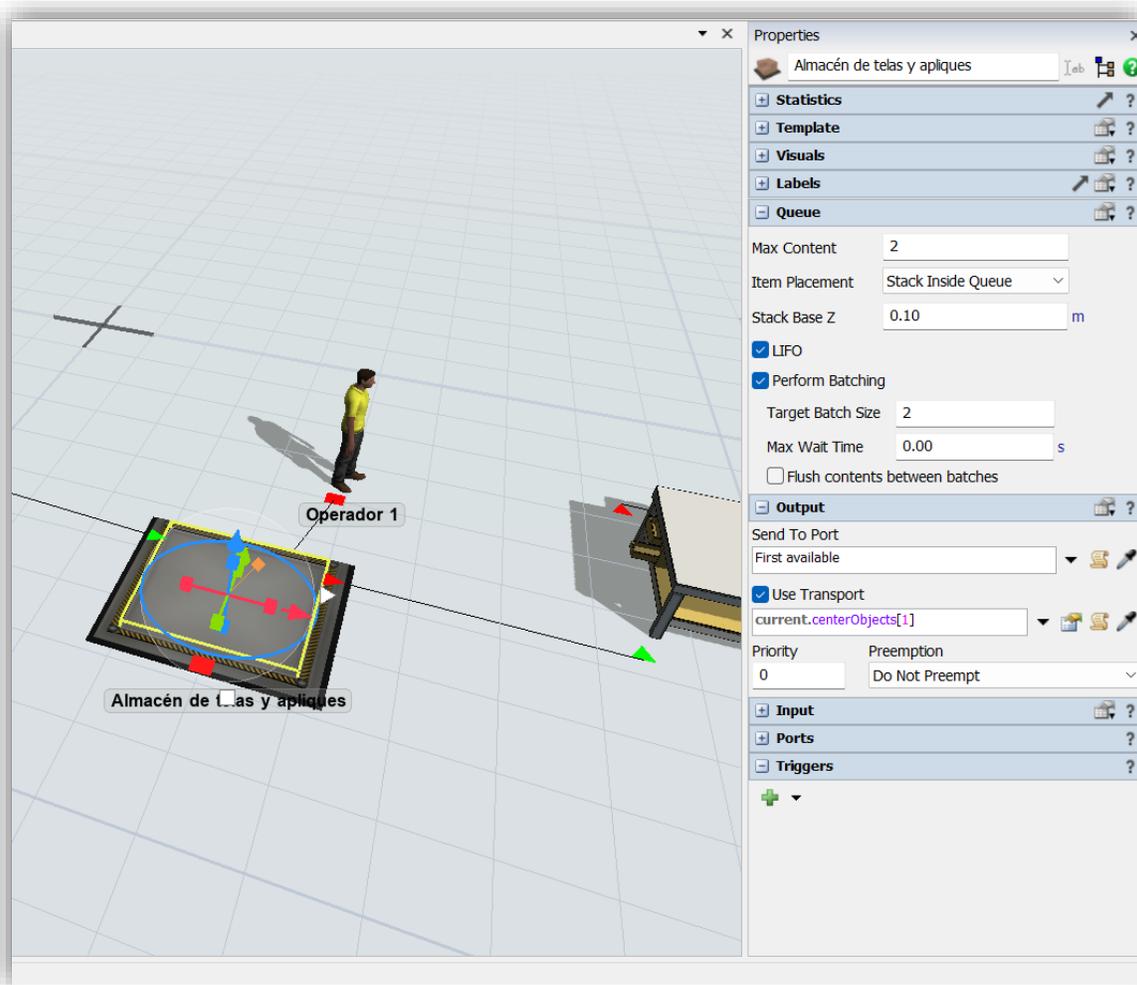
- **Tiempo de almacén inicial**
- **Corte de Telas**
- **Costura de Telas**
- **Almacén de piezas terminadas**

Modelo de simulación

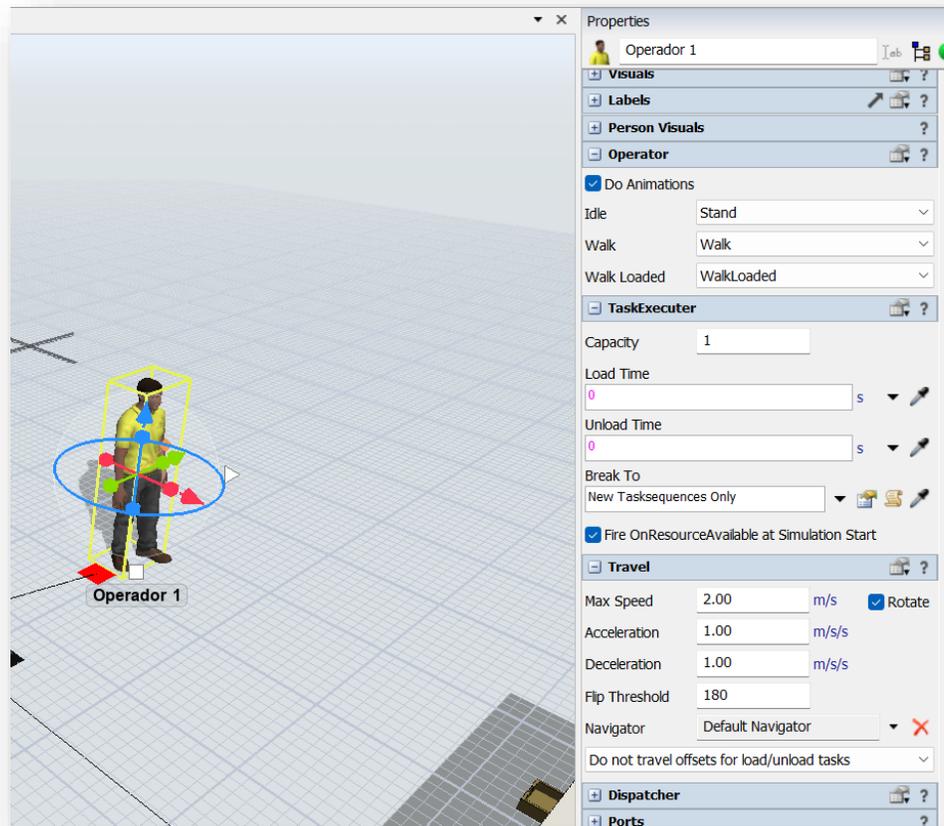
Modelo completo:



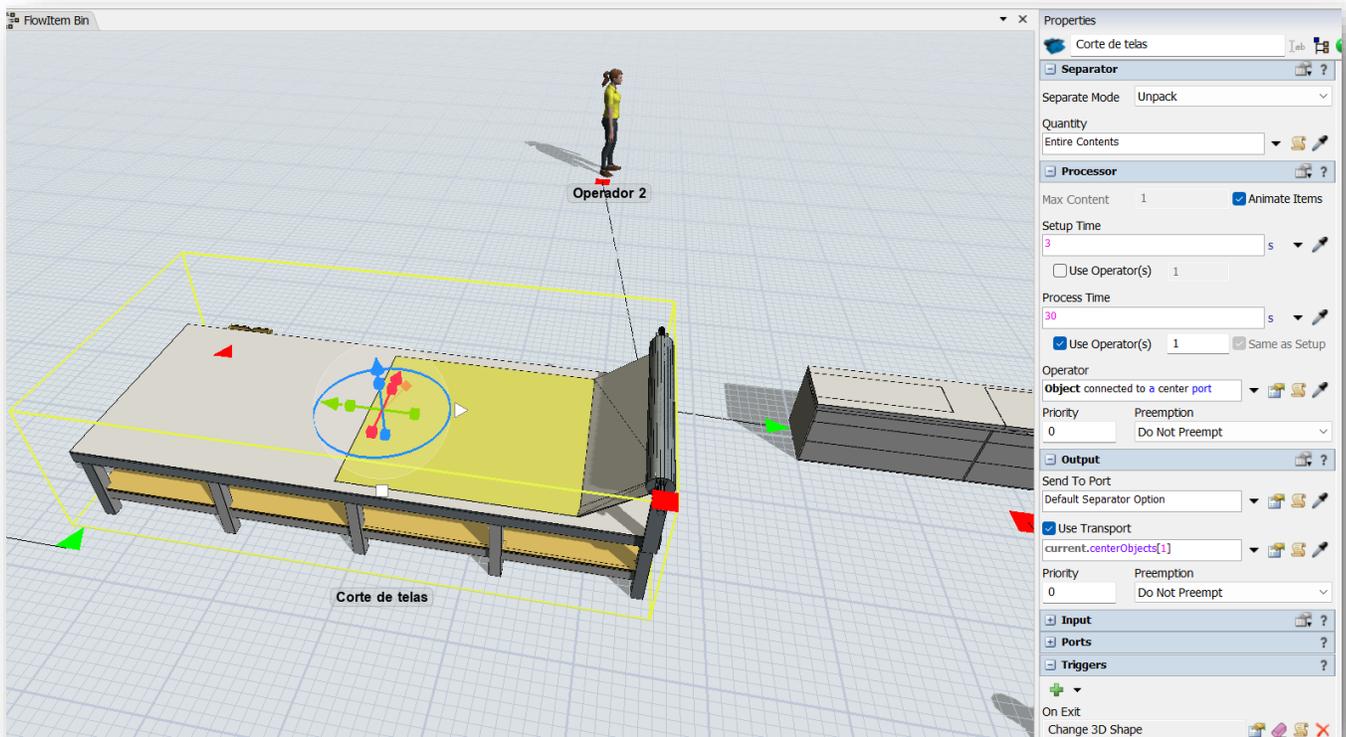
Almacén de telas y apliques:



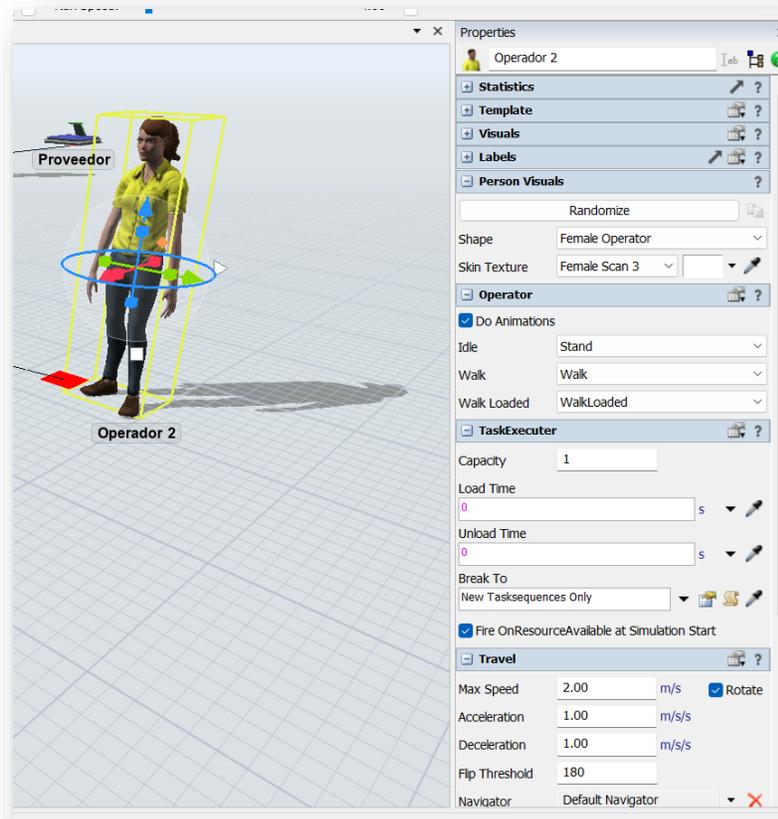
Operador 1:



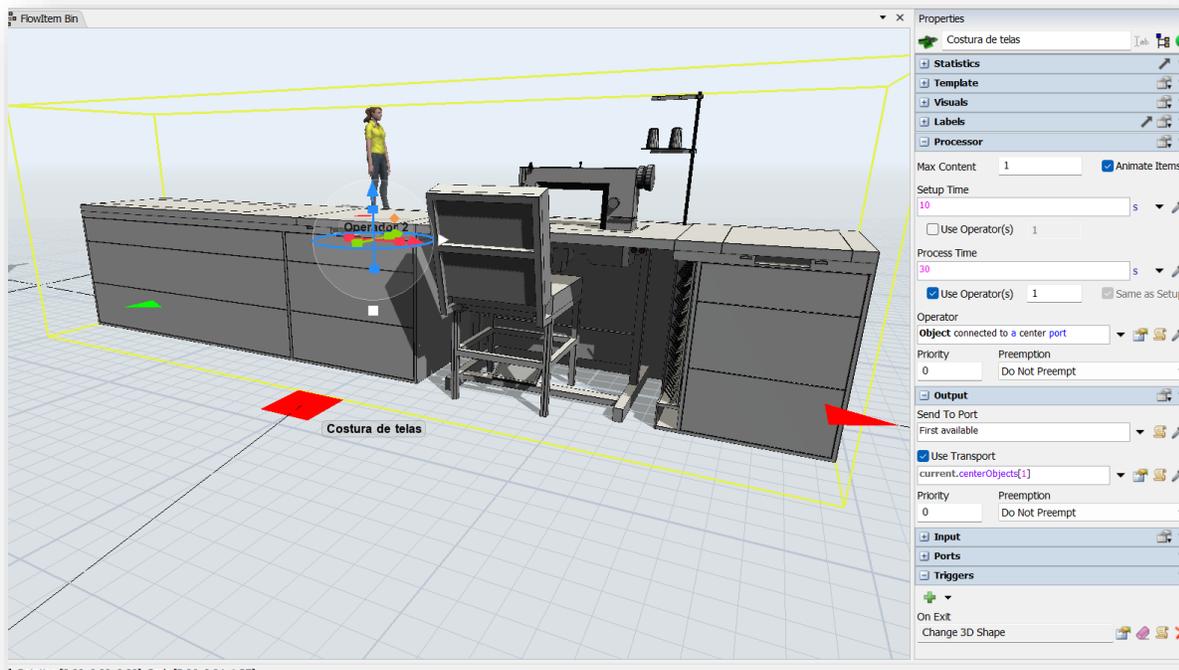
Corte de telas:



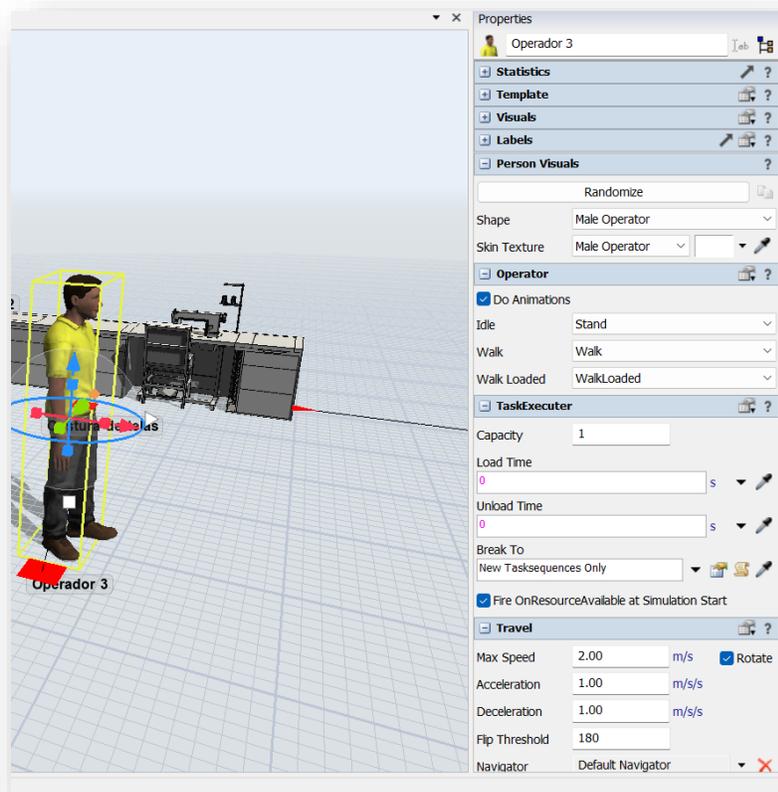
Operador 2:



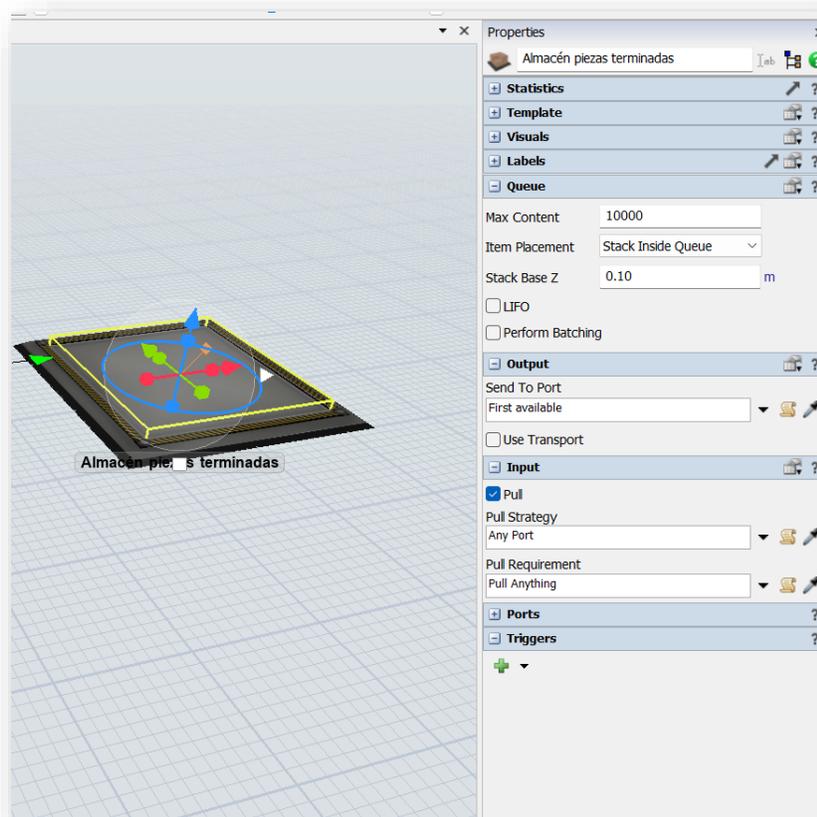
Costura de telas:



Operador 3:



Almacén piezas terminadas:



Después de correr la simulación por 8 horas se producen los siguientes resultados:

The image displays several overlapping 'Properties' windows from a simulation software, each showing statistical data for a specific component. The components and their respective statistics are as follows:

- Corte de telas:**
 - State: blocked
 - Throughput: Input 684.00, Output 683.00
 - Content: Curr 1.00, Min 0.00, Max 1.00, Avg 0.89
 - Staytime: Min 40.66, Max 46.80, Avg 45.63
- Almacén de telas y apliques:**
 - State: releasing
 - Throughput: Input 686.00, Output 684.00
 - Content: Curr 2.00, Min 0.00, Max 2.00, Avg 2.00
 - Staytime: Min 1.98, Max 153.15, Avg 101.72
- Almacén piezas terminadas:**
 - State: releasing
 - Throughput: Input 682.00, Output 0.00
 - Content: Curr 682.00, Min 0.00, Max 682.00, Avg 340.24
 - Staytime: Min 0.00, Max 0.00, Avg 0.00
- Costura de telas:**
 - State: processing
 - Throughput: Input 683.00, Output 682.00
 - Content: Curr 1.00, Min 0.00, Max 1.00, Avg 0.86
 - Staytime: Min 43.78, Max 45.08, Avg 43.89
- Operador 1:**
 - State: idle
 - Throughput: Input 684.00, Output 684.00
 - Content: Curr 0.00, Min 0.00, Max 1.00, Avg 0.05
 - Staytime: Min 2.68, Max 2.97, Avg 2.68
 - Total Travel: 4596.94
- Operador 2:**
 - State: idle
 - Throughput: Input 683.00, Output 683.00
 - Content: Curr 0.00, Min 0.00, Max 1.00, Avg 0.07
 - Staytime: Min 3.68, Max 3.68, Avg 3.68
 - Total Travel: 6993.56
- Operador 3:**
 - State: utilize
 - Throughput: Input 682.00, Output 682.00
 - Content: Curr 0.00, Min 0.00, Max 1.00, Avg 0.05
 - Staytime: Min 2.75, Max 3.35, Avg 2.76
 - Total Travel: 4655.16

Análisis de Resultados

1. Corte de Telas

- Estado: Bloqueado
- Throughput:
 - Entrada: 684

- Salida: 683
- Contenido Actual: 1
- Contenido (Min - Max - Promedio): 0 - 1 - 0.89
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 40.66 - 46.80 - 45.63

Observaciones: El corte de telas está frecuentemente bloqueado, indicando que hay un cuello de botella después de esta etapa. La salida es ligeramente menor que la entrada, lo que muestra que el proceso de corte es eficiente, pero está siendo limitado por procesos subsecuentes.

2. Almacén de Telas y Apliques

- Estado: Liberando
- Throughput:
 - Entrada: 686
 - Salida: 684
- Contenido Actual: 2
- Contenido (Min - Max - Promedio): 0 - 2 - 2.00
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 1.98 - 153.15 - 101.72

Observaciones: El almacén de telas y apliques tiene un contenido constante y alto tiempo de permanencia promedio, lo que indica que las materias primas están almacenadas por largos períodos antes de ser procesadas. Esto podría contribuir a la ineficiencia general.

3. Costura de Telas

- Estado: Procesando
- Throughput:
 - Entrada: 683
 - Salida: 682
- Contenido Actual: 1
- Contenido (Min - Max - Promedio): 0 - 1 - 0.86
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 43.78 - 45.08 - 43.89

Observaciones: La costura de telas también muestra una ligera diferencia entre la entrada y la salida, con tiempos de permanencia bastante altos. Este es otro punto donde podría estar ocurriendo un cuello de botella, afectando la eficiencia del sistema.

4. Almacén de Piezas Terminadas

- Estado: Liberando
- Throughput:
 - Entrada: 682
 - Salida: 0
- Contenido Actual: 682
- Contenido (Min - Max - Promedio): 0 - 682 - 340.24
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 0 - 0 - 0

Observaciones: El almacén de piezas terminadas tiene una alta acumulación de inventario y no muestra salida, indicando que los productos terminados no están siendo distribuidos eficientemente. Esto sugiere un problema en la fase de distribución o en la demanda no satisfecha.

5. Operador 1

- Estado: Inactivo
- Throughput:
 - Entrada: 684
 - Salida: 684
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 2.68 - 2.97 - 2.68
- Total de Desplazamientos: 4596.94

Observaciones: El Operador 1 está mayormente inactivo, lo que indica que su tiempo no está siendo utilizado de manera eficiente. Esto puede estar relacionado con cuellos de botella en otras áreas que están limitando su capacidad para trabajar continuamente.

6. Operador 2

- Estado: Inactivo
- Throughput:
 - Entrada: 683
 - Salida: 683
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 3.68 - 3.68 - 3.68
- Total de Desplazamientos: 6993.56

Observaciones: El Operador 2 también está mayormente inactivo, con tiempos de permanencia altos y constantes. Esto refuerza la idea de ineficiencias y cuellos de botella en el sistema de producción.

7. Operador 3

- Estado: Utilizado
- Throughput:
 - Entrada: 682
 - Salida: 682
- Tiempo de Permanencia (Min - Max - Promedio): 2.75 - 3.35 - 2.76
- Total de Desplazamientos: 4655.16

Observaciones: El Operador 3 está siendo utilizado más consistentemente que los otros operadores, pero aún muestra tiempos de permanencia bajos. Esto puede indicar que, aunque está más ocupado, todavía hay margen para mejorar la eficiencia.

Conclusión Etapa 2

El análisis de los resultados del modelo de simulación muestra que hay cuellos de botella significativos en las etapas de costura y corte de telas. El almacén de telas y apliques tiene un tiempo de permanencia alto, lo que contribuye a la ineficiencia general del sistema. Además, los operadores tienen tiempos de inactividad elevados, lo que sugiere una distribución ineficiente del trabajo.

El principal desafío al realizar esta simulación ha sido la falta de experiencia previa con este tipo de software. A pesar de esto, he identificado que existen numerosas posibilidades para optimizar la programación de las entradas y salidas de materiales en cada puesto de trabajo. Sin embargo, para diseñar un modelo más eficiente y detallado, se requiere más tiempo y experiencia en el uso de la herramienta de simulación. Esta experiencia inicial me ha permitido comprender mejor las capacidades del software y la importancia de la simulación en la mejora de procesos productivos, y me motiva a seguir aprendiendo para poder aprovechar al máximo estas herramientas en futuros proyectos.

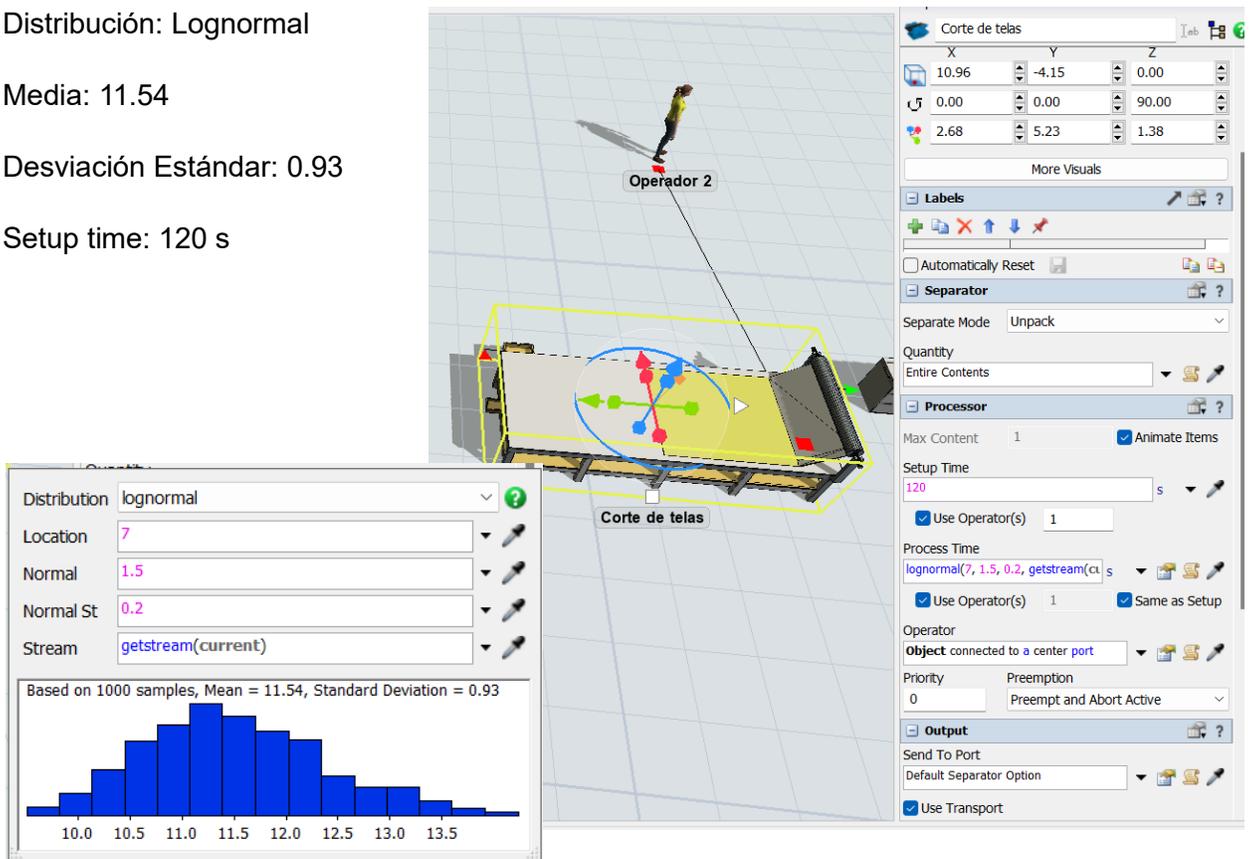
Etapa 3

Esta tercera y última etapa del proyecto integrador se enfoca en la validación y documentación del modelo de simulación desarrollado en la etapa anterior. Para lograr esto, se llevarán a cabo una serie de pruebas con datos de entrada reales, que permitirán observar el rendimiento del modelo y detectar posibles inconsistencias o errores en la programación.

Se generarán diferentes escenarios para evaluar cómo el sistema se comporta bajo diversas condiciones operativas. Estos escenarios incluirán un análisis pesimista, intermedio y optimista, cada uno diseñado para reflejar diferentes niveles de incertidumbre y variabilidad en los procesos clave de la cadena de suministro. A través de este enfoque, se busca identificar las áreas de mayor sensibilidad dentro del sistema y proponer estrategias de mejora que puedan ser implementadas en situaciones reales.

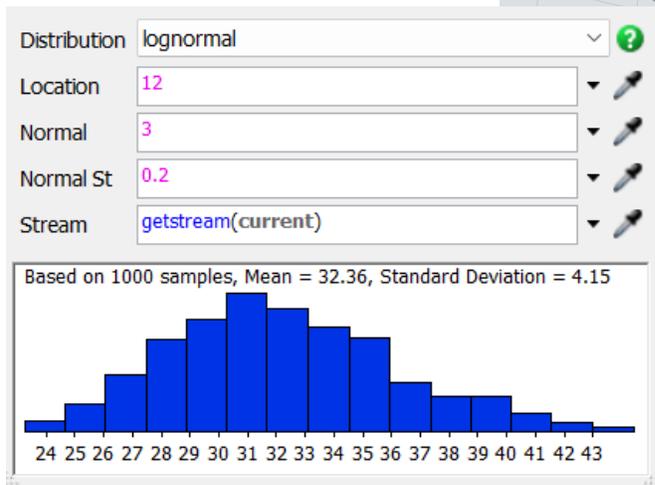
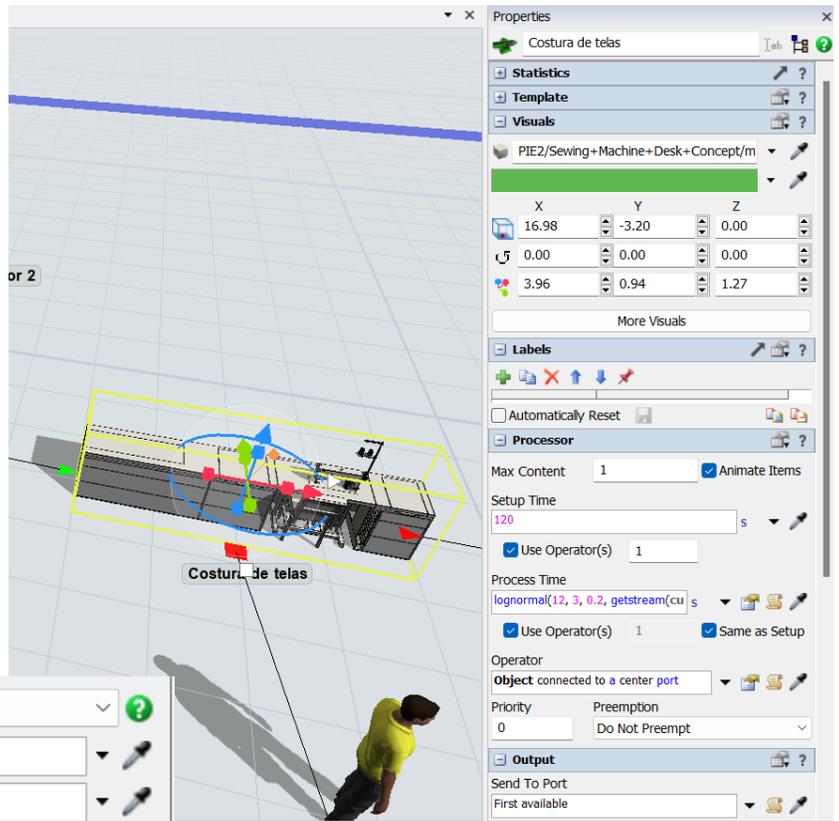
Escenario Pesimista

- Corte de Telas:
 - Distribución: Lognormal
 - Media: 11.54
 - Desviación Estándar: 0.93
 - Setup time: 120 s

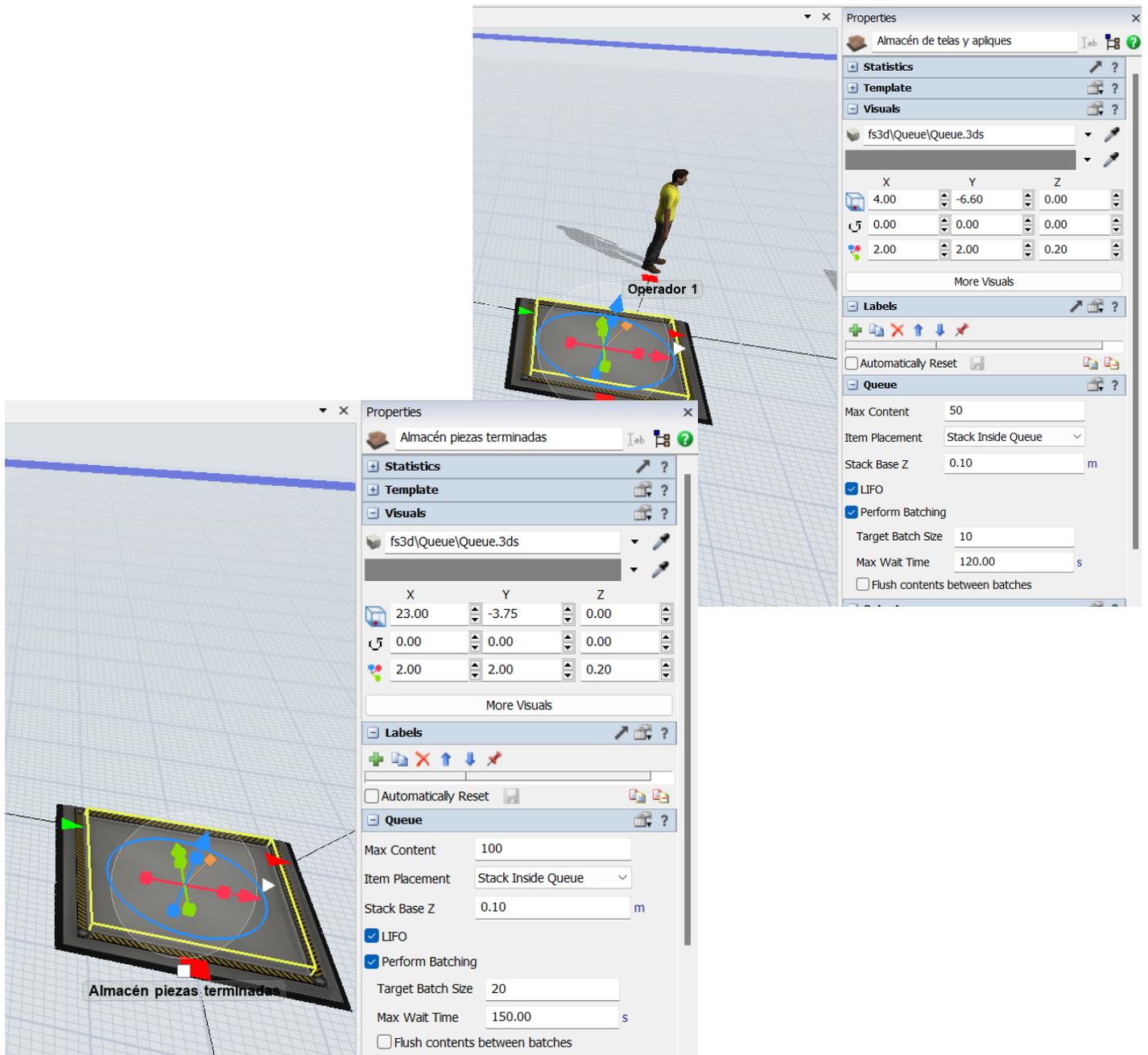


- Costura de Telas:

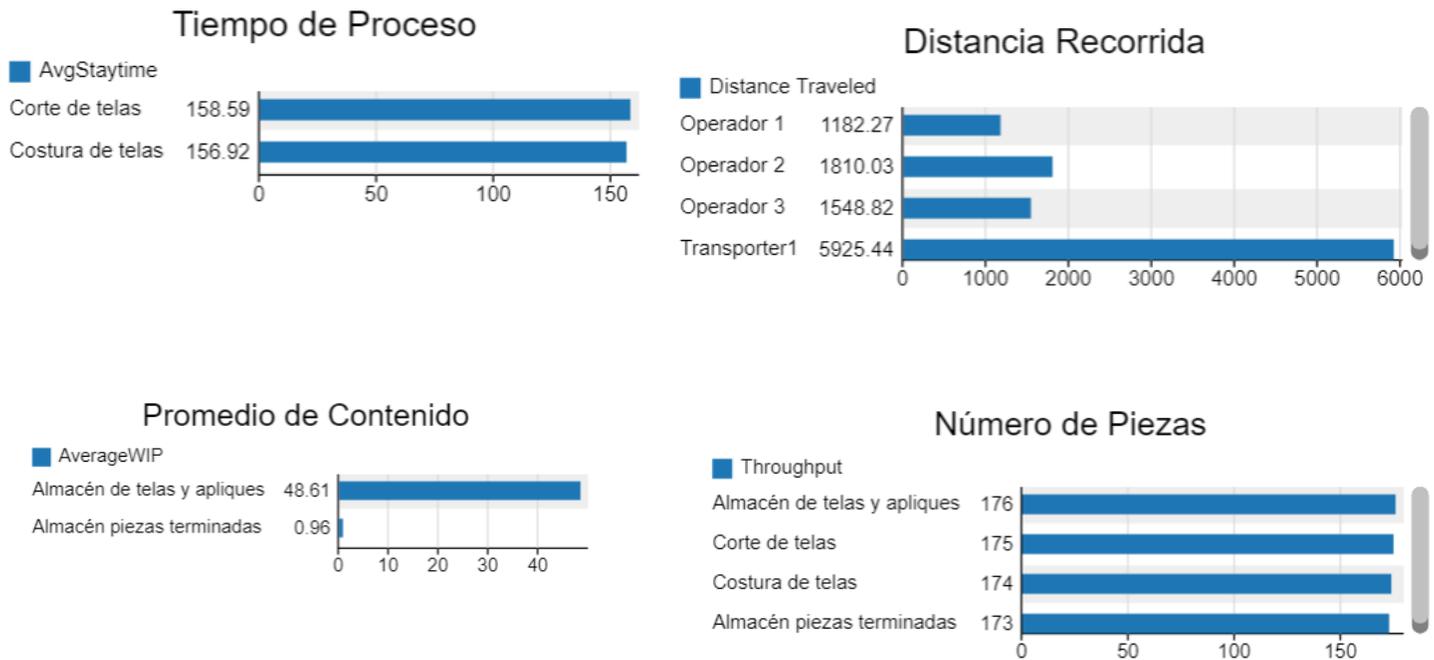
- Distribución: Lognormal
- Media: 32.36
- Desviación Estándar: 4.15



- Tiempo Máximo de Espera en Filas:
 - Almacén de telas y apliques: 2
 - Almacén piezas terminadas: 2.5



Resultados Simulación por ocho horas en escenario pesimista



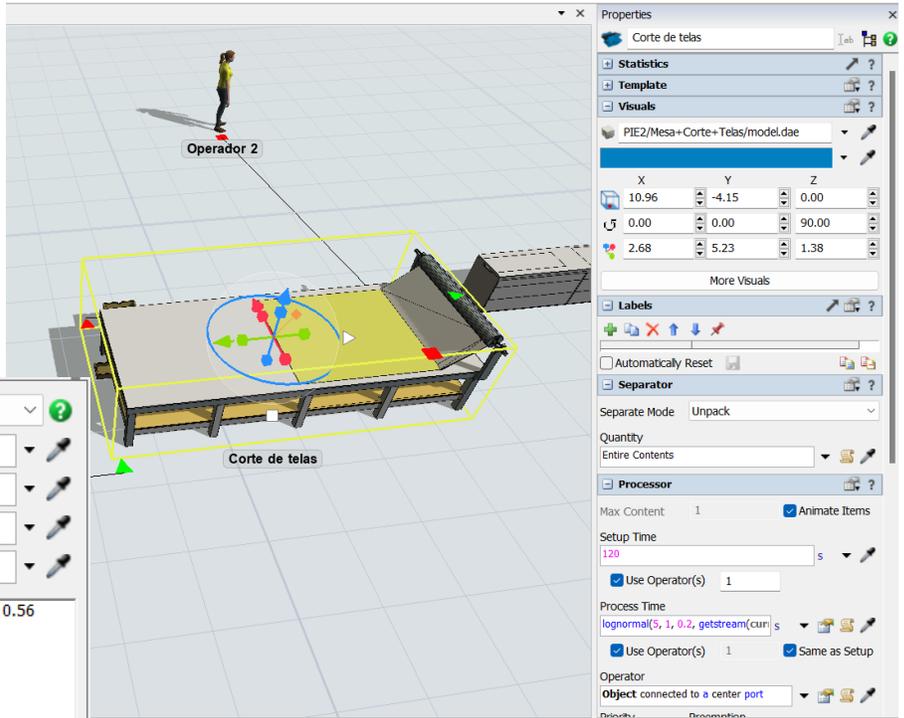
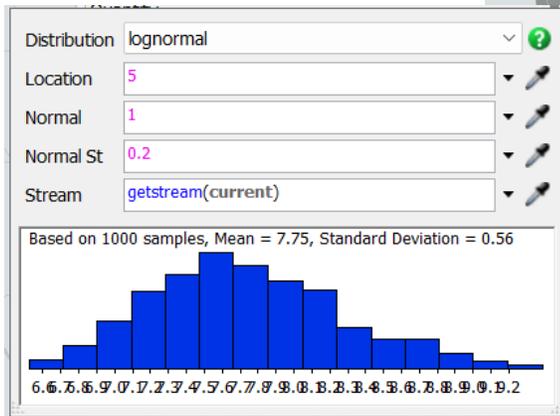
En este escenario, la simulación revela un sistema altamente ineficiente, caracterizado por tiempos de procesamiento excesivamente largos en las etapas críticas de corte y costura de telas, con tiempos promedio de permanencia de 158.59 y 156.92 minutos respectivamente. Los operadores muestran una alta distancia recorrida, especialmente el transportador con 5924.45 unidades, lo que indica un uso intensivo de recursos con poco impacto en la mejora del throughput.

El promedio de contenido en el almacén de telas y apliques es considerablemente alto (48.61), mientras que el almacén de piezas terminadas presenta una baja acumulación (0.96), lo que sugiere que el sistema está reteniendo demasiadas materias primas sin convertirlas en productos finales a tiempo. En resumen, este escenario demuestra una clara incapacidad del sistema para manejar eficientemente el flujo de trabajo, lo que podría resultar en retrasos significativos en la producción y entrega, insatisfacción del cliente y, potencialmente, pérdidas económicas.

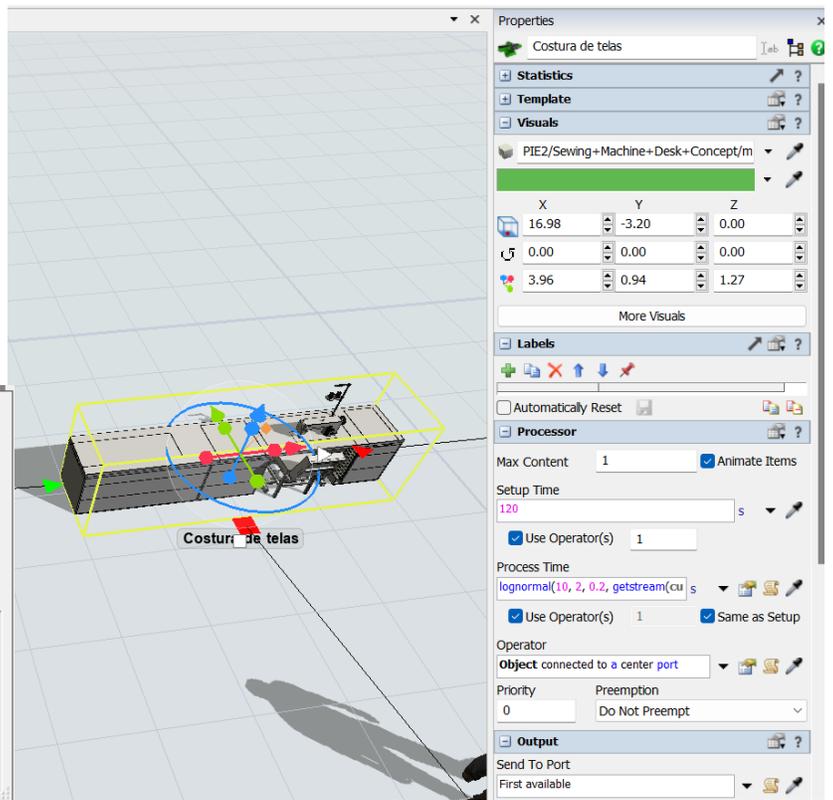
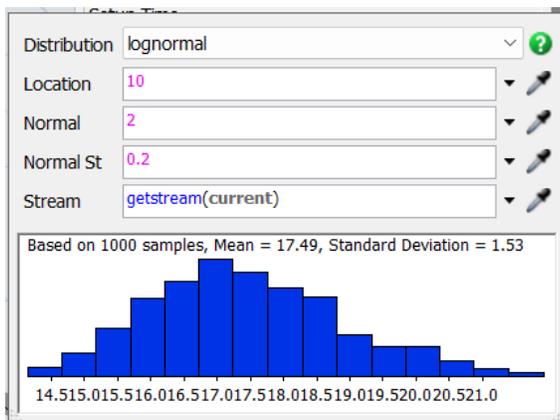
Escenario Intermedio

Configuración del Proceso:

- Corte de Telas:
 - Distribución: Lognormal
 - Media: 7.75 minutos
 - Desviación Estándar: 0.56 minutos

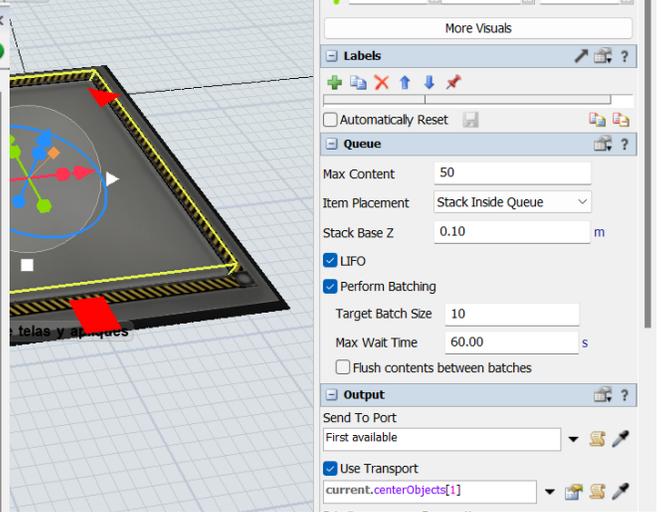
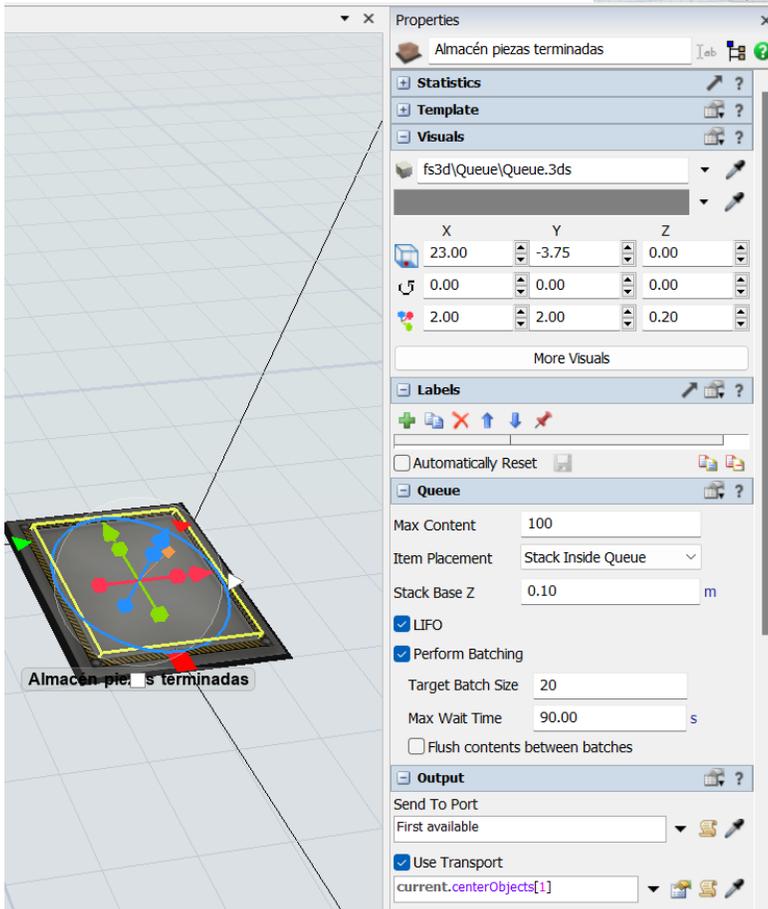
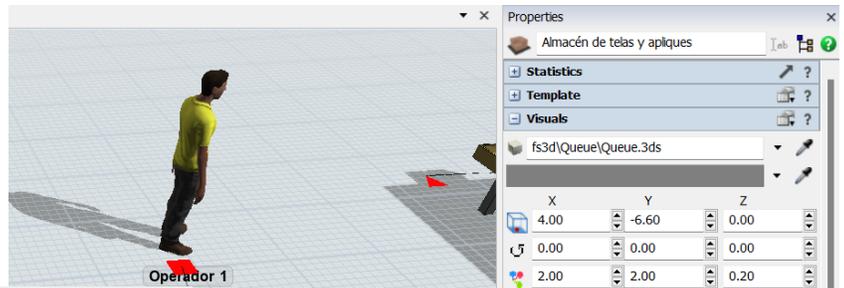


- Costura de Telas:
 - Distribución: Lognormal
 - Media: 17.49 minutos
 - Desviación Estándar: 1.53 minutos

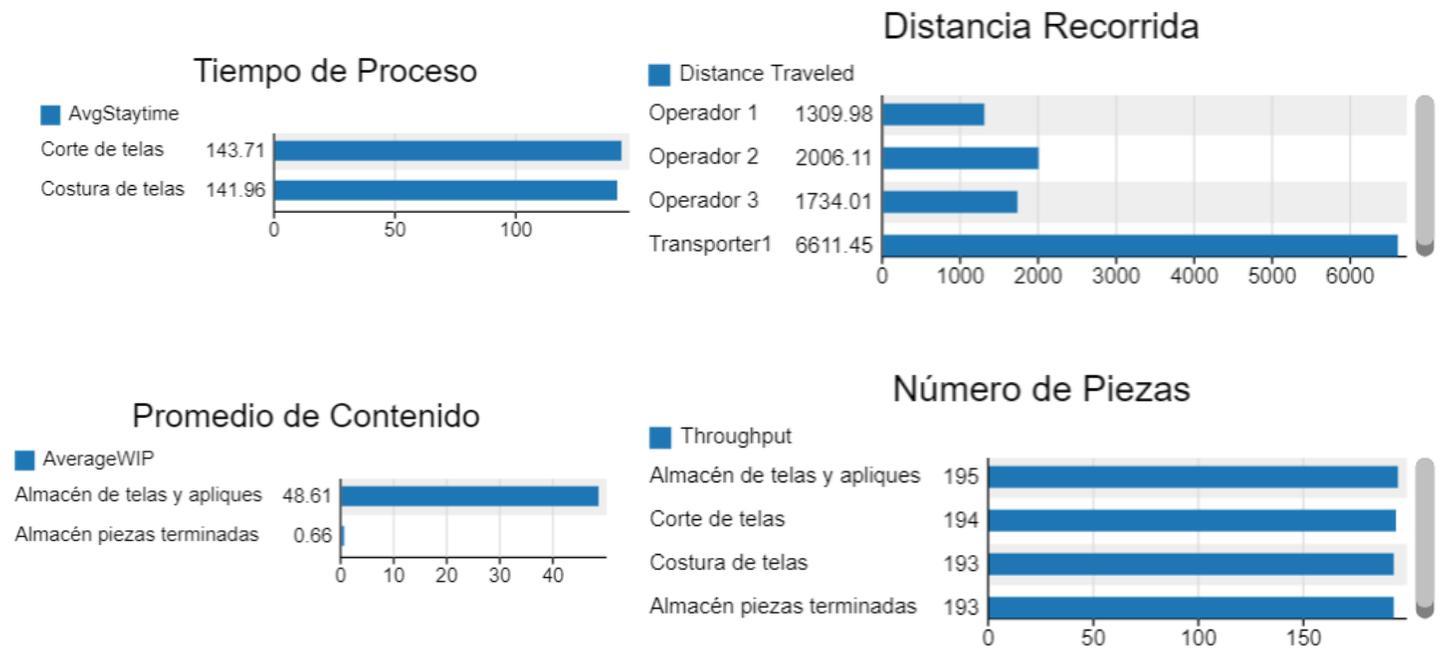


- Tiempo Máximo de Espera en Filas:

- Almacén de telas y apliques: 1
- Almacén piezas terminadas: 1.5



Resultados Simulación por ocho horas en escenario intermedio



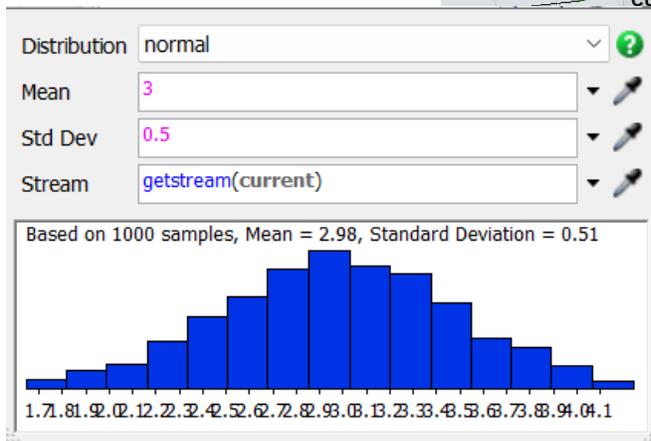
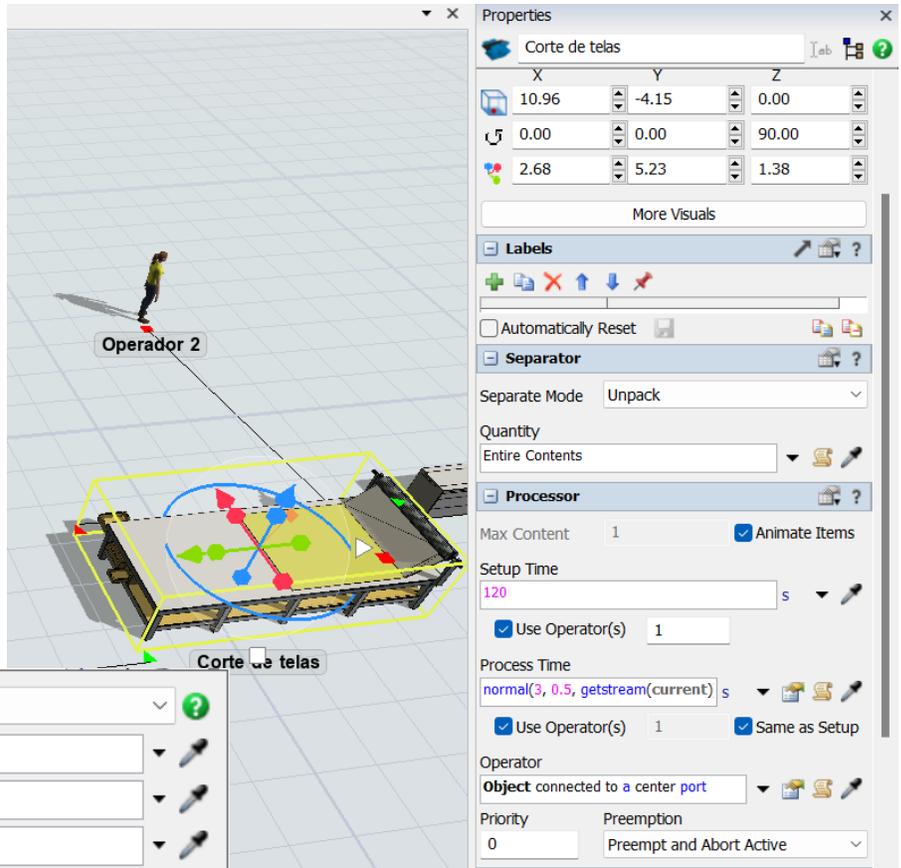
En este escenario, el sistema opera de manera más eficiente en comparación con el escenario pesimista, aunque todavía existen áreas de mejora. Los tiempos de procesamiento en el corte y costura de telas han disminuido a 143.71 y 141.96 minutos, respectivamente, lo que indica una mejora en la eficiencia operativa. Sin embargo, los operadores y el transportador aún muestran una considerable distancia recorrida, especialmente el transportador con 6611.45 unidades, lo que sugiere que aún hay margen para optimizar el flujo de trabajo y reducir los desplazamientos innecesarios.

El promedio de contenido en el almacén de telas y apliques sigue siendo elevado (48.61), mientras que el almacén de piezas terminadas muestra una leve mejora en la acumulación (0.66), lo que sugiere que el sistema está empezando a equilibrar mejor la producción y el almacenamiento. En resumen, este escenario refleja un sistema que ha logrado cierta estabilidad y eficiencia, pero aún necesita ajustes para optimizar completamente la operación y mejorar la capacidad de respuesta a la demanda.

Escenario Optimista

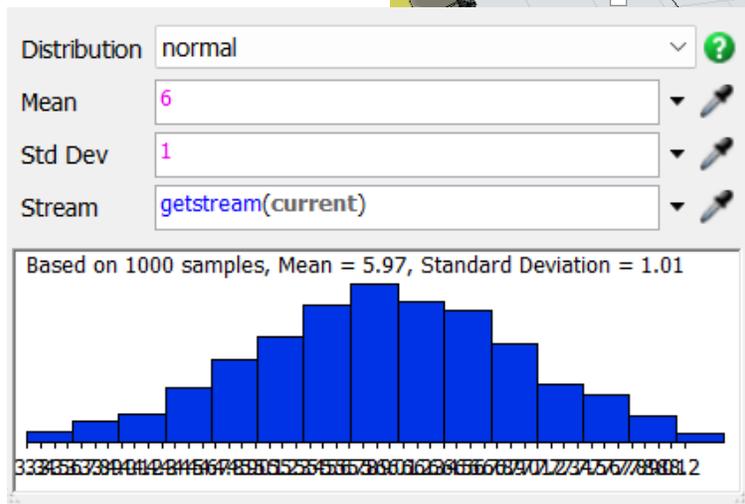
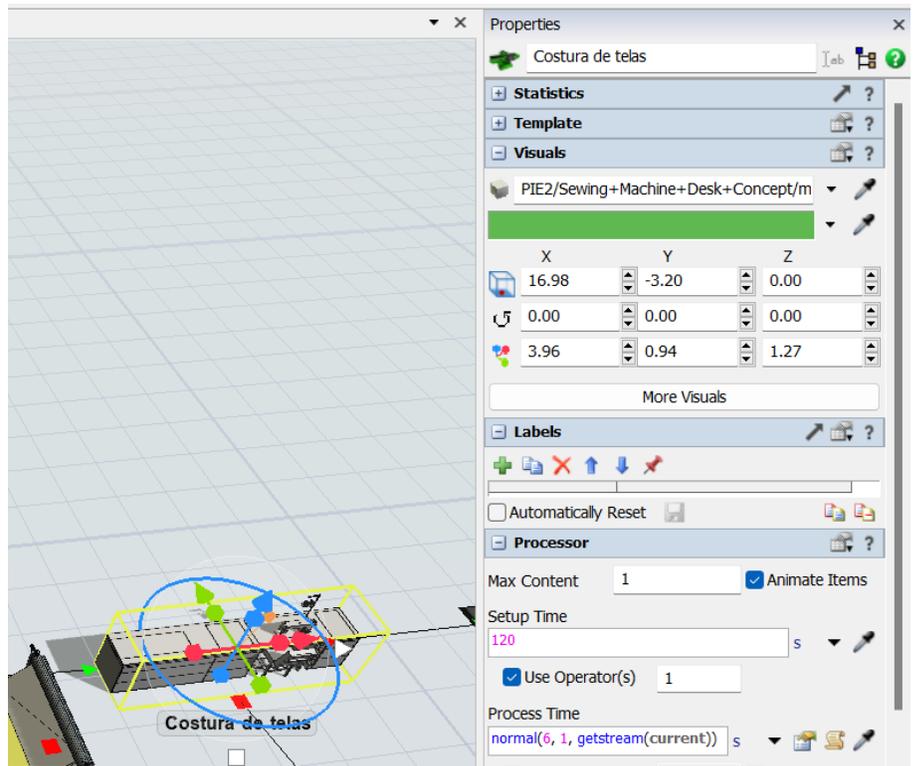
Configuración del Proceso:

- Corte de Telas:
 - Distribución: Normal
 - Media: 3 minutos
 - Desviación Estándar: 0.5 minutos



- Costura de Telas:

- Distribución: Normal
- Media: 6 minutos
- Desviación Estándar: 1 minuto



Properties

Costura de telas

Statistics

Template

Visuals

PIE2/Sewing+Machine+Desk+Concept/m

X	Y	Z
16.98	-3.20	0.00
0.00	0.00	0.00
3.96	0.94	1.27

More Visuals

Labels

Automatically Reset

Processor

Max Content: 1

Animate Items:

Setup Time: 120 s

Use Operator(s): 1

Process Time: `normal(6, 1, getstream(current))` s

Use Operator(s): 1

Same as Setup:

Operator: Object connected to a center port

Priority: 0

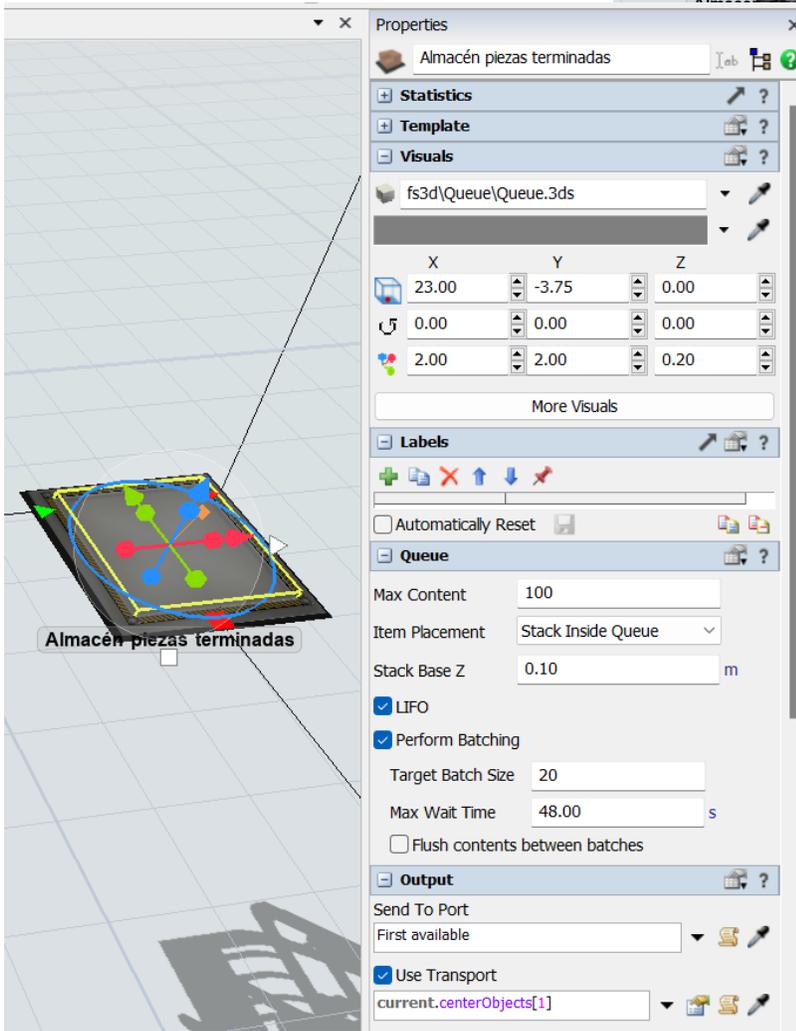
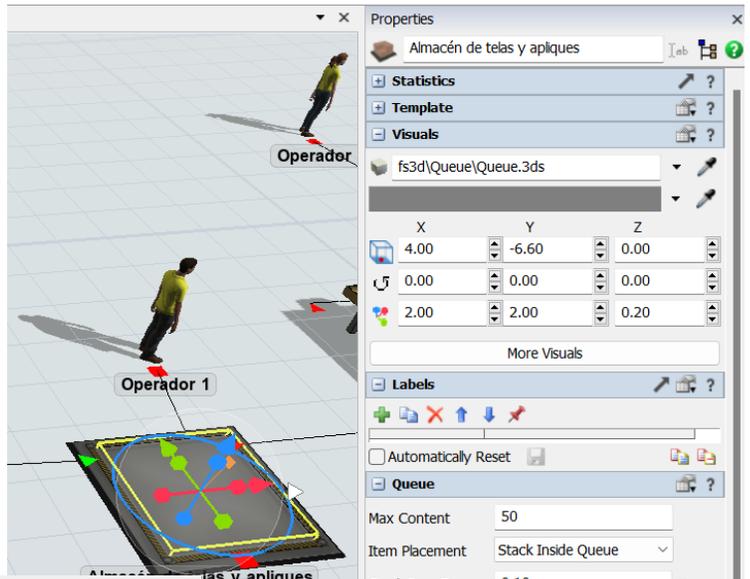
Preemption: Do Not Preempt

Output

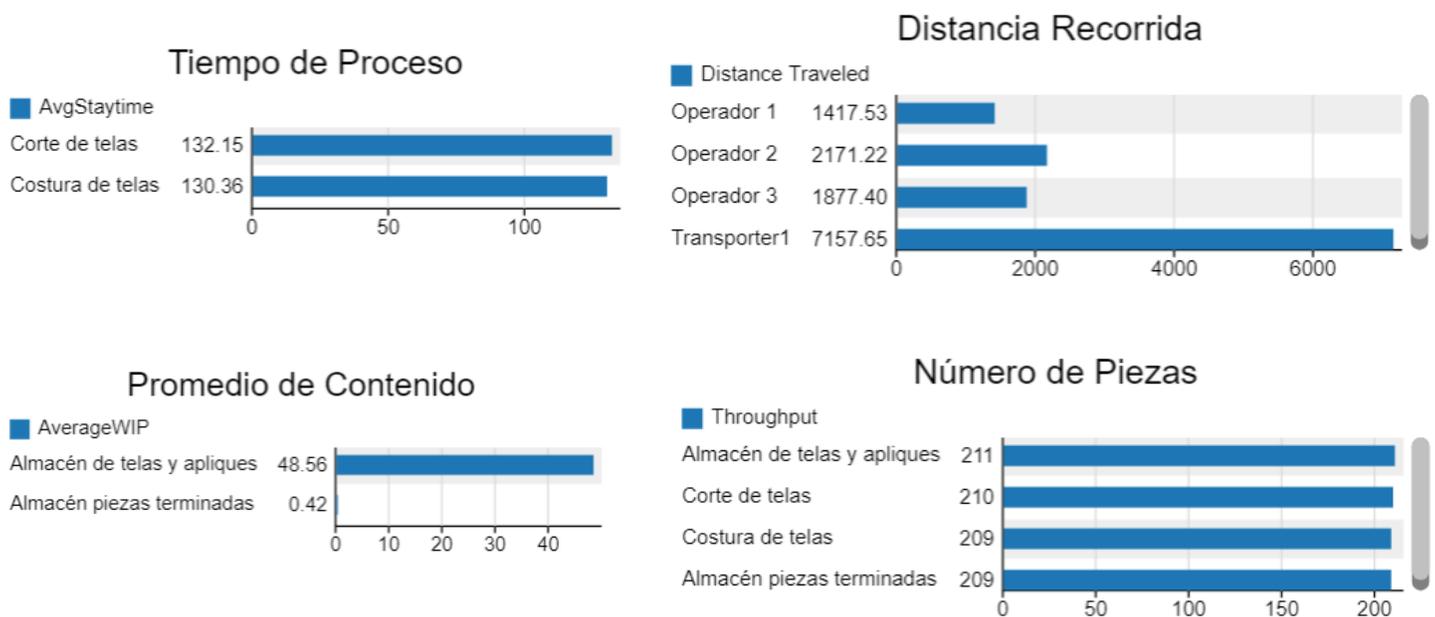
Send To Port: First available

- Tiempo Máximo de Espera en Filas:

- Almacén de telas y apliques: 0.5 minutos
- Almacén piezas terminadas: 0.8 minutos



Resultados Simulación por ocho horas en escenario optimista



En este escenario, el sistema opera en condiciones altamente optimizadas, con tiempos de procesamiento significativamente reducidos en las etapas de corte y costura de telas, que ahora son de 132.15 y 130.36 minutos, respectivamente. Esto demuestra una eficiencia operativa mejorada, lo que permite un flujo de producción más rápido y efectivo. Los operadores y el transportador muestran una distancia recorrida más alta, especialmente el transportador con 7157.65 unidades, lo que sugiere que el sistema está operando a plena capacidad, con un movimiento constante de materiales.

El promedio de contenido en el almacén de telas y apliques es ligeramente más bajo (48.56), y el almacén de piezas terminadas muestra una acumulación mínima (0.42), indicando una mejora en la sincronización de la producción y la distribución. En general, este escenario optimista refleja un sistema que ha alcanzado un nivel de eficiencia muy alto, capaz de satisfacer la demanda de manera efectiva y con un uso óptimo de los recursos, minimizando el tiempo de espera en las filas y maximizando el throughput.

Conclusión

La simulación del modelo en FlexSim ha permitido identificar y abordar de manera efectiva los cuellos de botella y las ineficiencias presentes en el sistema productivo de la cadena de suministro. A través de la configuración y análisis de escenarios pesimistas, intermedios y optimistas, se lograron importantes mejoras en diversos aspectos clave del funcionamiento del sistema. En términos de optimización, el escenario optimista destaca por una significativa reducción en los tiempos de procesamiento, con un descenso de más del 15% en el tiempo de corte y costura de telas, lo que contribuye directamente a la aceleración del ciclo de producción y entrega.

Además, la simulación ha facilitado una mejor sincronización entre la producción y la distribución, reduciendo el promedio de contenido almacenado y minimizando los tiempos de espera en filas, lo que optimiza el flujo de trabajo y disminuye el costo asociado al almacenamiento prolongado de materias primas y productos terminados. Estas mejoras se traducen en una mayor productividad del sistema, permitiendo que se maneje un mayor throughput con el mismo número de recursos, lo que refuerza la capacidad de respuesta a la demanda del mercado y promueve una operación más eficiente y rentable en general.

Referencias

- Guo, Y., Liao, W., Cheng, X., & Liu, L. (2006). SimOpt: A new simulation optimization system based virtual simulation for manufacturing system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14(5), 577–585. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2005.09.003>
- Gustafsson, L. (2003). Poisson Simulation as an Extension of Continuous System Simulation for the Modeling of Queuing Systems. *SIMULATION*, 79(9), 528–541. <https://doi.org/10.1177/003759703040234>
- Lee, J. Y., Kang, H. S., & Noh, S. D. (2012). Simulation-based analysis for sustainability of manufacturing system. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(7), 1221–1230. <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0162-8>
- Malega, P., Gazda, V., & Rudy, V. (2021). Optimization of production system in plant simulation. *SIMULATION*, 98(4), 295–306. <https://doi.org/10.1177/003754972111038908>
- Sadoun, B. (2000). Applied system simulation: a review study. *Information Sciences*, 124(1-4), 173–192. [https://doi.org/10.1016/s0020-0255\(99\)00079-1](https://doi.org/10.1016/s0020-0255(99)00079-1)