

# Proyecto Fin de Master

## Organización Industrial y Gestión de Empresas

### Estudio del comportamiento mediante simulación de un sistema productivo híbrido MTO/FTO

Autor: Angie Lorena Garnica Garzón

Tutor: Marcos Calle Suárez

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de  
Empresas I  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Máster  
Organización Industrial y Gestión de Empresas

# **Estudio del comportamiento mediante simulación de un sistema productivo híbrido MTO/FTO**

Autor:

Angie Lorena Garnica Garzón

Tutor:

Marcos Calle Suárez

Profesor titular

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Carrera: Estudio del comportamiento mediante simulación de un sistema productivo híbrido  
MTO/FTO

Autor: Angie Lorena Garnica Garzón

Tutor: Marcos Calle Suárez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El secretario del Tribunal



*A Dios y a mi madre*

# Agradecimientos

---

*Cuando la gratitud es tan absoluta las palabras sobran*

*- Álvaro Mútiis-*

Después de dos años viviendo en el extranjero y con la firme intención de realizar un máster que ampliara mis conocimientos, encontré en la Universidad de Sevilla un curso que cumplía con todas las expectativas que estaba buscando. Al aplicar tuve la fortuna de ganar uno de los dos cupos que se habían habilitado para extranjeros y fue sin duda la señal para dar un cambio a mi vida y encontrar en Sevilla mi nuevo destino y mi tercer hogar.

Llegar a Sevilla no fue fácil, fue un proceso largo de adaptación y enamoramiento hacia esta ciudad, y por esto mis agradecimientos son principalmente para todas las personas que, aun desde la distancia, me acompañaron en este proceso. Gracias a ellas que siempre lograban recordarme lo afortunada que era de estar acá cumpliendo mis sueños.

Infinitas gracias a mi madre, que día a día me demuestra que el amor de una madre es absolutamente incondicional y es la prueba fehaciente de la existencia de los ángeles en la tierra.

Y por supuesto a Marcos, por transmitirme su conocimiento para llevar este trabajo a buen término, por su paciencia y esmero.

*Lorena*

*Sevilla, 2019*



# Resumen

---

Este trabajo presenta el desarrollo de una simulación hecha en Python con la librería Simpy, de un sistema de producción híbrido de una fabricación MTO (Make to Order) - FTO (Finish To Order). El tipo de proceso que se simula está basado en el propuesto por (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015a), en el cual se tiene en cuenta una fábrica de producción de aluminio compuesta por dos etapas de producción dentro de las cuales se simula un buffer intermedio del que se puede hilar producto en stock de acuerdo al tipo de geometría que tenga la pieza.

Inicialmente se realiza la revisión de la literatura existente, haciendo un preambulo sobre lo que son los sistemas de fabricación, cuales existen y cuales son los mas tradicionales. Posteriormente se explica que es un sistema híbrido de sistemas de fabricación y se mencionan algunos casos de literatura existente. A continuación se explica ligeramente que es Python, cuales son sus características y se da una introducción a la librería SimPy, la cual fue utilizada para el desarrollo de este trabajo. Se mencionan las funciones y métodos principales y se explica brevemente como debe ser planteado un código de programación para la realización de una simulación de eventos discretos.

En seguida, se explican las características generales del modelo planteado por (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015a) los elementos que fueron adoptados para ésta simulación y cuales fueron los cambios propuestos, dando paso al método y explicación del modelo de simulación de eventos discretos de un sistema bajo liberación continua, diseñado para este trabajo.

El documento concluye explicando la experimentacion hecha y las conclusiones de los resultados obtenidos.

# Abstract

---

This paper presents the development of a simulation made in Python with the Simpy library, of a hybrid production system of a MTO (Make to Order) - FTO (Finish To Order) manufacturing. The type of process that was simulated is based on that proposed by (Fernandes, Silva, & Carmo-Silva, 2015a), which takes into account an aluminum production factory composed of two production stages and an intermediate buffer from which it can pull product in stock according to his geometry.

Initially the review of the existing literature is carried out, making a preamble about what are the manufacturing systems, which exist and which are the most traditional. Later it is explained that it is a hybrid system of manufacturing systems and some cases of existing literature are mentioned. The following explains slightly what Python is, what its characteristics are and an introduction to the SimPy library, which was used for the development of this work. The main functions and methods are mentioned and it is briefly explained how a programming code should be proposed to carry out a simulation of discrete events.

Next, the general characteristics of the model proposed by (Fernandes et al., 2015a) are explained the elements that were adopted for this simulation and what were the proposed changes, giving way to the method and explanation of the simulation model of discrete events of a system under continuous release, designed for this work.

The document concludes by explaining the experiment done and the conclusions of the results obtained

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>viii</b>
<b>Resumen</b>	<b>x</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>i</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>4</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Justificación y Objetivos</b>	<b>3</b>
2.1. <i>Objetivos Específicos</i>	3
2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
<b>3. Términos y Definiciones</b>	<b>4</b>
<b>4. Introducción a los Sistemas de Fabricación</b>	<b>5</b>
4.1. <i>Sistemas de Fabricación Tradicionales.</i>	6
4.1.1. MTO – (Make To Order)	6
4.1.2. MTS – (Make To Stock)	6
4.1.3. ATO – (Assemble To Order)	7
4.2. <i>Sistemas Híbridos de Fabricación</i>	9
4.2.1. <i>Sistemas híbridos MTO-MTS</i>	9
<b>5. Generalidades de Python y el Módulo SimPy</b>	<b>11</b>
5.1. <i>Características De Python</i>	11
5.1.1. <i>Funciones y Métodos de Python</i>	12
5.2. <i>Generalidades de SimPy</i>	12
5.2.1. <i>Partes de un programa de Simpy:</i>	13
5.2.2. <i>Herramientas de un Programa Simpy</i>	14
<b>6. Descripción del problema</b>	<b>15</b>
6.1. <i>Supuestos (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015b)</i>	16
6.2. <i>Flujo De La Producción.</i>	17
6.3. <i>Experimentación</i>	17
<b>7. Primer Escenario de Experimentación</b>	<b>19</b>
7.1. <i>Resultados Obtenidos</i>	19
7.1.1. <i>Tablas de Resultados</i>	20
7.1.2. <i>Rendimiento general del Sistema</i>	25
7.2. <i>Tiempos Dentro del Sistema y Niveles de Cumplimiento</i>	26
7.3. <i>Tiempos Dentro del Sistema Separado por Número de Operaciones</i>	28
<b>8. Segundo Escenario de Experimentación</b>	<b>30</b>
8.1. <i>Resultados Obtenidos</i>	30
8.2. <i>Evaluación alternativa</i>	31

8.2.1. Resultados Obtenidos	31
<b>9. Conclusiones</b>	<b>37</b>
<b>Referencias</b>	<b>38</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

TABLA 1 - TIPOS DE ELEMENTOS Y SINTAXIS.	11
TABLA 2 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN I: MEDIA EXPONENCIAL = 0,80	20
TABLA 3 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN I: MEDIA EXPONENCIAL = 0,85	21
TABLA 4 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN I: MEDIA EXPONENCIAL = 0,90	22
TABLA 5 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN I: MEDIA EXPONENCIAL = 0,95	23
TABLA 6 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN I: MEDIA EXPONENCIAL = 1,00	24
TABLA 7 - RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA – EXPERIMENTACIÓN I	25
TABLA 8 - RESULTADOS DE TIEMPOS Y CUMPLIMIENTOS GENERALES – EXPERIMENTACIÓN I	26
TABLA 9 - TIEMPOS DENTRO DEL SISTEMA POR NÚMERO DE OPERACIONES – EXPERIMENTACIÓN I	28
TABLA 10 - RESULTADOS GENERALES DEL SEGUNDO ESCENARIO DE SIMULACIÓN AL 70% – EXPERIMENTACIÓN II.	30
TABLA 11 - RESULTADOS GENERALES DEL SEGUNDO ESCENARIO DE SIMULACIÓN AL 80% – EXPERIMENTACIÓN II.	31
TABLA 12 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN II: STOCK MAX. = 25 (70%)	32
TABLA 13 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN II: STOCK MAX. = 25 (80%)	32
TABLA 14 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN II: STOCK MAX. = 32 (70%)	33
TABLA 15 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN II: STOCK MAX. = 32 (80%)	33
TABLA 16 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN II: STOCK MAX. = 40 (70%)	34
TABLA 17 - RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN II: STOCK MAX. = 40 (80%)	34
TABLA 18 - GRÁFICOS DEL SEGUNDO ESCENARIO DE EXPERIMENTACIÓN – EXPERIMENTACIÓN II.	35

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

ILUSTRACIÓN 1- RELACIÓN TIEMPOS DE ENTREGA SEGÚN SISTEMA DE FABRICACIÓN .....	8
ILUSTRACIÓN 2 - FUNCIONES PRINCIPALES SEGÚN LIBRERÍA OFICIAL DE PYTHON .....	12
ILUSTRACIÓN 3 - ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA .....	15
ILUSTRACIÓN 4 - ESQUEMA DE GENERACIÓN DE ORDENES DE PRODUCCIÓN .....	16

# 1. INTRODUCCIÓN

---

**E**ste trabajo consiste en la simulación de eventos discretos de un sistema de liberación continua, el cual, mediante el módulo Simpy de Python, pretende evaluar el comportamiento del flujo de las ordenes de producción en una planta productora de perfiles de aluminio, compuesta por dos etapas de producción.

La empresa maneja varios productos pero los clasifica en dos grades grupos. Las bases para la simulación fueron tomadas del modelo descrito por (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015a).

El documento pretende enriquecer la información existente sobre simulación de eventos discretos en sistemas de fabricaicón híbridos, pero esta vez utilizando una herramienta que se encuentra en auge debido a las facilidades que brinda, es por esto, que mediante una pequeña descripción de lo que es Python y su módulo SimPy para la simulación, se pretende mostrar la versatilidad y facilidad para diseñar comportamientos de eventos discretos.

Adicionalmente se brinda al lector una serie de bibliografía de ayuda, en la cual se puede basar si se quiere investigar más y ampliar el conocimiento en el lenguaje de programación Python.



## 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

---

Gracias a la necesidad de encontrar nuevas soluciones que permitan brindar al cliente una mejor experiencia y que al mismo tiempo permita mantener a las empresas vigentes en el mercado, se han abierto a lo largo de la historia, nuevos focos de investigación que buscan encontrar respuestas vanguardistas que se amolden al tipo de negocio y representen un valor agregado dentro del proceso.

Los sistemas de producción híbridos MTO-FTO han sido una de las estrategias adoptadas desde hace algunos años para dar frente a las necesidades productivas de algunas industrias, que tienen la versatilidad de poder tipificar sus productos y realizar trabajos previos sobre piezas o partes cuyo proceso inicial es el mismo, logrando disminuir el tiempo de respuesta al momento de recibir una orden.

Buscando contribuir con los estudios realizados hasta hoy acerca de éste sistema de producción y teniendo en cuenta que éste tipo de sistemas productivos no cuentan con una amplia literatura, se ha decidido utilizar una de las herramientas informáticas que se encuentra avanzando en su posicionamiento y funcionamiento a pasos agigantados, PYTHON, para simular mediante su librería Simpy, el funcionamiento de una planta de producción con estas características.

### 2.1. Objetivos Específicos

Realizar la simulación de eventos discretos para una planta del sector industrial que cuenta con dos etapas de producción y 7 máquinas o procesos, con el fin de evaluar su comportamiento ante las variaciones propuestas.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los sistemas híbridos y la utilización de SimPy para la simulación de eventos discretos.
- Afianzar y poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el máster en cuando al lenguaje de programación Python y el módulo para simulación de eventos discretos SimPy.
- Escribir el código simulando el tema propuesto.

Realizar variaciones sobre las simulaciones propuestas, para determinar el nivel de afectación sobre el sistema.

### 3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

---

- **Python:** Lenguaje de programación abierto, que gracias a su versatilidad permite su uso libre mediante diferentes plataformas que sirven como interfaz para que el usuario pueda escribir y manipular su código.
- **Simpy:** Librería de Python que permite hacer simulaciones de eventos discretos y que cuenta con herramientas que favorecen la simulación de plantas y/o sistemas industriales
- **Librería de Python:** Conjuntos de código que pueden ser descargados para enriquecer el lenguaje de programación Python en un campo específico y que brinda características específicas para desarrollar elementos o acciones que en primera instancia no se pueden realizar.
- **MTO:** Make to Order. Se entiende por el Sistema de producción en el cual solamente se generan Ordenes de producción cuando ya han sido solicitados los productos por el cliente.
- **MTS:** Make To Stock. Sistema de producción que permite la fabricación anticipada, ya sea parcial o total del producto y que no espera a que haya un pedido de cliente para ser producido
- **FTO:** Finish to Order. Sistema de fabricación en el que, una vez generada la orden de compra por el cliente, se toman los productos semi terminados de Stock y se adecuan de acuerdo a las necesidades del cliente.
- **ATO:** Assembly to Order: Sistema de fabricación que se basa en tener partes o conjuntos listos para ensamblar de acuerdo a los requerimientos del cliente, una vez oficializado el pedido.
- **Elemento Mutable:** Entendiéndose dentro del lenguaje de programación utilizado en este trabajo, se entiende como elemento mutable un elemento que se puede modificar después de su definición.
- **FIFO:** Política de rotación de inventarios que determina que se le dará salida al producto en el mismo orden de llegada: Primero en llegar, primero en salir.
- **Vs:** Abreviación de la palabra Vérsus, generalmente usada para mostrar una comparación o contraparte
- **Min.:** Abreviación para la palabra “Mínimo”.
- **Máx.:** Abreviación para la palabra “Máximo”.
- **Mq:** Abreviación para la palabra “Máquina”.
- **Nº:** Abreviación para la palabra “Número”.
- **T. Medio:** Abreviación para “Tiempo Medio”.

# 4. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE FABRICACIÓN

---

*La creación intelectual es el mas misterioso y solitario  
de los oficios humanos.*

*- Gabriel García Márquez -*

**S**e entiende por sistema de fabricación, el patrón que siguen las diferentes empresas para producir sus productos y satisfacer las necesidades de los clientes. Los sistemas de fabricación pueden variar de acuerdo al tipo de mercado, producto o las necesidades propias del cliente y de la misma empresa. Es por ésta razón que debido a la amplia variación que existe, cada empresa amolda sus necesidades a un determinado sistema, buscando obtener el mayor beneficio mutuo, que permita mantener el equilibrio tanto en la fabricación como en la venta.

En la actualidad se habla incluso de la personalización en masa, la cual según (Sanchis and Poler, 2010) “se centra en la habilidad de proporcionar productos y servicios individualmente diseñados a cada cliente a través de procesos ágiles y flexibles”. En el mismo texto, se encuentra una taxonomía de los sistemas de producción, de acuerdo al enfoque de la estrategia de posicionamiento del punto de desacople.

A demás de los Sistemas Tradicionales de MTO, FTO, MTS y ATO, que serán explicados con un poco mas de detalle a continuación, (Sanchis and Poler, 2010) también menciona otros sistemas de producción como son:

- Engineer to Order: Según (Amaro, G., Hendry, L., Kingsman, 1999), consiste en aquellos pedidos que son unicos para cada cliente y que requieren un desarrollo y aporte ingenieril para lograr llevarlos a cabo.
- Design To Order: Consiste en aquellos pedidos que cuando ingresan entran en un proceso de diseño, en el cual se puede hacer participe al cliente para que apruebe o haga modificaciones sobre el diseño en desarrollo.

## 4.1. Sistemas de Fabricación Tradicionales.

Dentro de todos los sistemas de fabricación existentes, hay unos que son más conocidos debido a la frecuencia de uso, es decir, son los más populares dentro de la industria. Dentro de ellos se tiene el Make to Order, Make to Stock y el Assemble to Order. A continuación se explicará un poco acerca de ellos:

### 4.1.1. MTO – (Make To Order)

Sistema de producción que se suele utilizar para productos cuyas ventas no son tan frecuentes, su costo de fabricación puede llegar a ser muy alto o en situaciones donde el pedido puede llegar a ser personalizado para el cliente. Es por esta razón que la orden de producción no se generará sino hasta que haya llegado la solicitud formal del cliente, actuando como un sistema “pull” que desencadenará en la producción, según (Stevenson, Hendry and Kingsman, 2005). Por otra parte, la materia prima en este tipo de sistema de fabricación no suele estar completa al momento de la llegada del pedido del cliente, contrario a lo que pasa con un sistema MTS

#### - Ventajas de un Sistema MTO.

Los costos de almacenamiento de producto en las diferentes etapas de producción tiende a ser nulo o bastante más bajo que otros métodos tradicionales como MTS. Esto se debe a que, por una parte, el producto en proceso o WIP se limitará solamente a las unidades que se estén produciendo y el inventario de producto terminado será cero debido a que son unidades que ya están vendidas. Por lo anterior los costos de inventario son reducidos y el riesgo de que un producto se eche a perder o se deteriore por el hecho de tenerlo almacenado, son bastante bajas. Por otra parte, la empresa no cuenta con dinero retenido en inventario y su flujo de caja es mucho mejor.

#### - Desventajas de un Sistema MTO.

Tal como lo expresa (Stevenson, Hendry and Kingsman, 2005), las desventajas se pueden resumir en dos puntos importantes: El primero es que el lead time o tiempo de entrega es mayor debido a que el producto habría que prepararlo desde cero. El segundo punto es que en caso de que ocurriese un pico de demanda, ésta no se podría llegar a satisfacer, lo que podría desencadenar en pérdida de clientes por falta de respuesta.

### 4.1.2. MTS – (Make To Stock)

Tal como lo expresa (Kerkkänen, 2007) dentro de las diferencias con respecto al MTO, éste sistema de producción se caracteriza por tener stock suficiente de materia prima para poder iniciar la producción antes de que hayan pedidos de cliente. Este tipo de sistema, se alimenta de datos estadísticos para predecir el consumo y así poder generar internamente las ordenes de producción. Una vez terminado el proceso de producción, se almacenará el producto terminado en espera de que lleguen las ordenes de pedido del cliente para que éste sea despachado. Para este tipo de Sistemas de producción se descarta por completo cualquier proceso de diseño o

ingeneiría ya que se asume que el producto se encuentra completamente definido.

Por otra parte, tal como lo explica (Grant and Kaminsky, 2006), también se debería plantear un control del Stock, de tal manera que las órdenes de producción que se generan, no se hagan de manera desmedida, generando acumulación excesiva que puede llegar a traer repercusiones negativas a la empresa.

- **Ventajas de un Sistema MTS.**

El lead time asignado al producto, una vez se ha generado el pedido del cliente, es mucho menor que el de otros sistemas tradicionales debido a la disponibilidad de material y a la ausencia de procesos de diseño e ingeniería. Además se pretende tener el producto terminado disponible para llegar a hacer incluso, entregas inmediatas.

- **Desventajas de un Sistema MTS.**

Este sistema de producción es muy susceptible a la veracidad de los datos sobre los cuales se generan las previsiones de venta para poder lanzar las ordenes de producción, por lo tanto, si llega a haber cualquier error en dichas estimaciones, puede desencadenarse por un lado, ausencia de material terminado o por el otro, niveles muy altos de producto almacenado.

Por otra parte, el tener altos niveles de materia prima, producto en proceso y producto terminado almacenado, influye directamente en el flujo de caja de las empresas, ya que todas estas unidades almacenadas equivalen a dinero quieto en espera de ser oricesado. Esto puede llegar a ser un problema para empresas que no están solidamente conformadas ya que, tal como lo menciona (De Morais *et al.*, 2018), muchas de las pequeñas y medianas empresas han experimentado en algún momento problemas de flujo de caja debido al dinero “estancado” en sus almacenes.

Otro de los riesgos que presenta este tipo de sistema de fabricación, es el de obsolescencia o caducidad en caso de que sean productos perecederos

#### **4.1.3. ATO – (Assemble To Order)**

Este tipo de Sistema de producción que tiene similitudes tanto al MTO como al MTS. En cuanto al MTO, tal como lo expresa (De Morais *et al.*, 2018) , se parece ya que solamente se empieza con el proceso de ensamble, solo hasta que se haya recibido la orden de compra por parte del cliente, sin embargo la diferencia radica en que ya se tienen trabajos previos adelantados de tal manera que sea solamente juntar las partes necesarias o como su nombre lo dice: “ensamblar” el producto para que pueda ser entregado al cliente (Guillaume, Grabot and Thierry, 2013).

Por otra parte, al igual que aplica para los MTS, se considera que toda la parte de ingeniería está completa, sin embargo, la diferencia radica en que se pueden llegar a necesitar especificaciones de

ensamble, según sea el producto. Otra similitud al MTS es que la materia prima se encuentra almacenada en su totalidad y que las ordenes de fabricación de los productos sub-ensamblados, se hace por medio de previsiones de demanda hechas con datos históricos.

- **Ventajas de un Sistema ATO.**

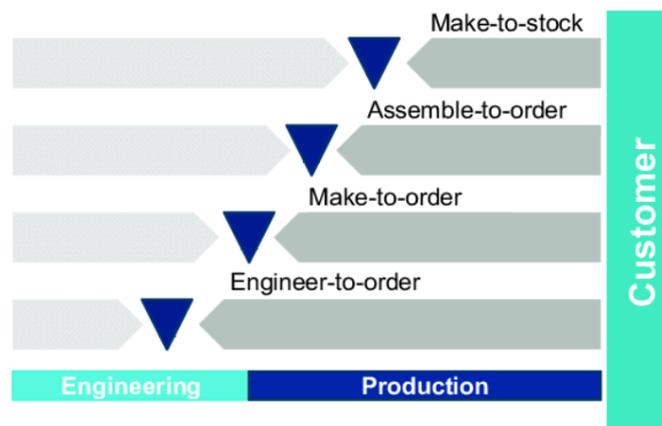
Dentro de las ventajas de un sistema ATO se destaca que el lead time de los productos es un poco mas competitivo, encontrandose en un punto medio entre los lead time de los MTS y de los MTO. Por otra parte, al tener conjuntos subensamblados que no pertenecen a un solo producto, se disminuye el riesgo de obsolescencia ya que si por alguna razón uno de los productos de la linea saliera del mercado, el producto en proceso podría usarse para ensamblar otros productos terminados.

- **Dentajas de un Sistema ATO.**

Al igual que en el MTS se encuentra el riesgo de caducidad y obsolscencia de los productos almacenados, que aunque puede ser mitigado por la correspondencia por mas de un solo producto final, sigue siendo existente cuando se decide almacenar materia prima.

Para resumir como se afectan los tiempos de entrega de los productos de acuerdo al tipo de sistema de fabricación, se presenta la siguiente imagen tomada de (Willner *et al.*, 2014):

Ilustración 1- Relación Tiempos de Entrega según Sistema de Fabricación



En esta imagen se puede ver graficamente lo que fue explicado con anterioridad, sobre cómo los tiempos de entrega se afectan de acuerdo al sistema de fabricación.

Para elegir el sistema de fabricación mas conveniente para una empresa, se deberá estudiar cuales son los productos que se quieren ofrecer, como se comporta la demanda y cual es el tipo de servicio que quieren brindar

## 4.2. Sistemas Híbridos de Fabricación

Debido a la versatilidad del sistema y al desarrollo de la competencia en diferentes sectores, muchas empresas han optado por combinar dos o más sistemas de fabricación tradicionales para lograr sacar una mayor ventaja dentro del sistema, siendo éste el origen de los sistemas de fabricación híbridos.

Es decir que un sistema de fabricación híbrido es la mezcla de dos o más tipos de sistemas de fabricación dentro de una misma empresa, que permiten una mayor flexibilidad al momento de dar respuesta a las ordenes de producción de sus clientes.

Dentro de la bibliografía tenida en cuenta para el desarrollo de este trabajo, no se encontró ninguna regla general para la conformación de sistemas híbridos, por lo que se puede inferir que se pueden mezclar sin ningún tipo de restricción.

En la siguiente sección se profundizará sobre los sistemas de producción híbridos MTO-FTO, sobre la cual es objeto el desarrollo de este trabajo. Y se empezará a hablar sobre un sistema de fabricación que no se ha nombrado hasta el momento que es el Finish to Order (FTO).

El sistema de fabricación FTO no se había nombrado hasta el momento ya que se entiende como el resultado de la combinación de dos sistemas en donde se genera un buffer intermedio de fabricación, del cual se alimentarán todas las órdenes de producción que entran bajo este sistema. Como su nombre lo indica, se finalizará el proceso de producción sobre un producto que ya ha sufrido algunas modificaciones debido a procesos anteriores.

### 4.2.1. Sistemas híbridos MTO-MTS

En la búsqueda de nuevas alternativas que permitan ofrecer al cliente un menor tiempo de respuesta desde el momento en que se genera la orden de compra y la entrega del producto, se han llegado a investigar los diferentes sistemas de fabricación combinados, que permitan explorar nuevas alternativas de servicio y evaluar el nivel de afectación que tienen sobre un determinado sector. La mayoría de las investigaciones y simulaciones que se han hecho hasta hoy corresponden a los de industrias que manejan un solo sistema de producción, ya sea Make to Order (MTO) o Make to stock (MTS).

Es por esta razón que algunos autores se han inclinado por investigar sobre sistemas híbridos que se amolden a las necesidades específicas de un sector. Por ejemplo, en el artículo escrito por (Elmehanny, Abdelmaguid and Eltawil, 2019), realizan un proceso de optimización mediante un modelo de programación lineal, de un sistema MTO-MTS en el sector de la confección. Para ello, realizan varias replicas teniendo en cuenta factores variables que afectan de manera directa la demanda, tales como el precio de las telas. En este artículo, los autores también manifiestan la poca literatura existente sobre sistemas de producción híbridos y resaltan la importancia de considerarlos en este tipo de sector teniendo en cuenta la estacionalidad de la demanda y la necesidad de poder responder en tiempos cortos a un cliente que tiene una oferta considerable de la cual elegir.

Por otro lado, y apuntando a un sector completamente diferente, (Ellabban and Abdelmaguid, 2019) apuestan a la simulación y evaluación de un sistema híbrido aplicado al sector industria especializado en la fabricación de tubos de vidrio para lámparas fluorescente, en donde por medio de la simulación, realizan un análisis de sensibilidad de las variables que afectan el sistema y mediante la simulación de eventos discretos, logran hacer un análisis de sensibilidad, identificando lo que para ellos puede llegar a ser una serie de políticas óptimas dentro de la fábrica.

Yendo en el tiempo un poco mas para atrás, se encuentra también el estudio realizado por (Beemsterboer *et al.*, 2017) en el que mediante la simulación de eventos discretos, logra implementar una política que tenía como objetivo la reducción de pérdidas de inventario MTS en un taller de fabricación convencional. Para ello, los autores plantean un sistema híbrido entre MTO y MTS en el que le dan prioridad a los pedidos MTS. Los autores plantean la problemática teniendo en cuenta que el taller que fue objeto de estudio, manejaba múltiples referencias que debido a sus diferencias, se generaban cuellos de botella en momentos de alta demanda que afectaban los tiempos de entrega.

Dentro de todos los artículos tenidos en cuenta dentro de esta revisión bibliográfica, se han encontrado varios temas en común como que la mayoría de autores resaltan la falta de literatura sobre sistemas de producción híbridos y a bundancia de literatura cuando se trata de un solo tipo de sistema de producción. Esto también lo tiene en cuenta (Soman, Van Donk and Gaalman, 2004)

En cuanto al texto sobre el cual se va a enfocar el estudio y simulación que se va a realizar en este trabajo, (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015b) presentan la simulación de un Sistema combinado MTO – MTS para una empresa del sector industrial que se dedica a la fabricación de partes en aluminio. Los autores se bajan en textos similares a los expuestos anteriormente, y el objetivo de este artículo es evaluar el sistema híbrido en una planta que maneja un buffer intermedio de almacenamiento sobre el cual se puede aplicar un FTO, etapa en la cual se terminan de customizar los productos para su entrega final.

# 5. GENERALIDADES DE PYTHON Y EL MÓDULO

## SIMPY

*La visión sin la ejecución es solo una alucinación*

Henry Ford

Python es un lenguaje de programación que ha tenido bastante auge en los últimos tiempos gracias a la simplicidad de su lenguaje y amplia cobertura. Según ('Los 10 lenguajes de programación más usados en 2019 | Tecnología | Gestión', 2019), Python se ubicó en el puesto número tres en popularidad entre los lenguajes de programación vigentes, en el año 2018. Hoy en día es un lenguaje enseñado en muchos postgrados a nivel mundial, como complemento a la formación adquirida durante el grado.

### 5.1. Características De Python

Dentro de las características que sobresalen de Python, se encuentra la versatilidad del manejo de la información ya que acepta tuplas, cadenas, flotantes y enteros dentro de un mismo elemento. Cada uno de ellos tiene una sintaxis diferente y pueden ser mutables o inmutables. A continuación se resumen dichas características para cada elemento y se da un breve ejemplo:

Tabla 1 - Tipos de elementos y Sintaxis.

TIPO	SINTAXIS	EJEMPLO	¿ES MUTABLE?
LISTA	[ ]	dias=['lunes','martes','miercoles','jueves','viernes','sabado','domingo']	Si
TUPLA	( )	destino=[('Bogotá','Madrid'),('Madrid','Sevilla')]	No
DICCIONARIO	{ }	{'MAGDALENA': [26, 'ARGENTINA', 1.7]}	Si
CADENA	" " o ''	cadenas=['cadena1','cadena2']	No

Adicionalmente se logran realizar desarrollos más simples mediante el uso de diccionarios, un elemento que permite almacenar varios datos relacionados con un elemento clave dentro de un conjunto.

En cuanto a las operaciones que permite Python, son múltiples y pueden variar de acuerdo con la finalidad que se busque. Para ver las diferentes funciones del lenguaje, se puede remitir a ((L.Pointal), 2019), donde se encuentra la versión actualizada de una hoja informativa de la editorial Laurent Pointal con todas las generalidades.

### 5.1.1. Funciones y Métodos de Python

Las funciones de Python son elementos que, entre otros, ayudan a definir las variables, a realizar una acción o a devolver un valor, entre otra. A continuación se presenta un cuadro resumen con las funciones según (Python, 2017):

Ilustración 2 - Funciones principales según librería oficial de Python

Built-in Functions				
<code>abs()</code>	<code>dict()</code>	<code>help()</code>	<code>min()</code>	<code>setattr()</code>
<code>all()</code>	<code>dir()</code>	<code>hex()</code>	<code>next()</code>	<code>slice()</code>
<code>any()</code>	<code>divmod()</code>	<code>id()</code>	<code>object()</code>	<code>sorted()</code>
<code>ascii()</code>	<code>enumerate()</code>	<code>input()</code>	<code>oct()</code>	<code>staticmethod()</code>
<code>bin()</code>	<code>eval()</code>	<code>int()</code>	<code>open()</code>	<code>str()</code>
<code>bool()</code>	<code>exec()</code>	<code>isinstance()</code>	<code>ord()</code>	<code>sum()</code>
<code>bytearray()</code>	<code>filter()</code>	<code>issubclass()</code>	<code>pow()</code>	<code>super()</code>
<code>bytes()</code>	<code>float()</code>	<code>iter()</code>	<code>print()</code>	<code>tuple()</code>
<code>callable()</code>	<code>format()</code>	<code>len()</code>	<code>property()</code>	<code>type()</code>
<code>chr()</code>	<code>frozenset()</code>	<code>list()</code>	<code>range()</code>	<code>vars()</code>
<code>classmethod()</code>	<code>getattr()</code>	<code>locals()</code>	<code>repr()</code>	<code>zip()</code>
<code>compile()</code>	<code>globals()</code>	<code>map()</code>	<code>reversed()</code>	<code>__import__()</code>
<code>complex()</code>	<code>hasattr()</code>	<code>max()</code>	<code>round()</code>	
<code>delattr()</code>	<code>hash()</code>	<code>memoryview()</code>	<code>set()</code>	

Otros autores como también explican detalladamente las funciones integradas en python como: (Covantec, 2018), en donde se puede obtener más información sobre el tema.

Por otra parte, los métodos tienen una estructura diferente de escritura y afectan directamente a los parámetros que hayan sido definidos por el usuario, por ejemplo, si se tiene una cadena de texto, se puede utilizar el método `.split` para separar las diferentes palabras. Para obtener más información sobre los métodos, se recomienda visitar el capítulo 4.4.5 de (Cokelaer, 2014)

## 5.2. Generalidades de SimPy

SimPy es un módulo de Python que permite hacer simulaciones de eventos discretos que gracias a la facilidad de su lenguaje y a las herramientas que SimPy ofrece, está siendo utilizado para llevar a cabo varios tipos de simulaciones en diferentes campos. Por ejemplo, (Gonzalez-R, Calle and Andrade-Pineda, 2018) realizaron una simulación de eventos discretos usando esta herramienta para evaluar el control de la producción en una fábrica de productos perecederos, que no solamente tienen una fecha de vencimiento del producto como tal, sino que también maneja fechas de vencimiento internas que indican cuando debe salir a la venta, a más tardar, ese producto.

Por otra parte, (Pinho, Coelho and Boaventura-Cunha, 2016) realiza una simulación de eventos discretos con SimPy en el cual, mediante la evaluación de distintos escenarios, se logró estudiar la cadena de suministro del sector forestal, para la obtención y suministro de madera a los clientes finales.

Como estos autores, hay otros que también han desarrollado simulaciones en diferentes campos con Simpy, es por esto que a continuación se explicarán algunas de sus herramientas que permiten hacer de Simpy un espacio sencillo para simular diferentes situaciones:

### 5.2.1. Partes de un programa de Simpy:

Un programa de SimPy se compone de 6 partes fundamentales en las cuales se desarrollan por separado los requerimientos necesarios para que un programa se ejecute sin inconvenientes. Esas partes son:

- a. **Importación de Librerías:** Como su nombre lo indica, en esta fase se deben llamar todas las librerías que se van a utilizar dentro del código. Un ejemplo es la librería “Random” si se van a generar números aleatorios, “simpy” obligatoria de relacionar para que se puedan utilizar todas sus propiedades, “matplotlib.pyplot” si se van a realizar gráficas dentro del código, entre otras. Para mayor información sobre las librerías de Python y las propiedades de cada una, se sugiere visitar (Walters, 2014), donde en el capítulo nombra las diferentes librerías de acuerdo con las funciones que se requieren dentro del programa.
- b. **Definición de las Funciones:** En este bloque se deberán definir las funciones y/o clases necesarias que se van a llevar a cabo dentro del programa. Es preciso aclarar que una función ayuda a simplificar acciones que tienen un comportamiento similar pero que dependen de unos datos de entrada diferentes. De igual manera, las clases sirven para caracterizar objetos, siendo este uno de los mayores atractivos de Python como lenguaje de programación.
- c. **Definición de procesos:** Éste será el entorno en el cual se desarrollarán todos los procesos de la simulación, es decir, será el lugar donde se deberá incluir el flujo de los productos que se están simulando, las máquinas, las colas, etc. Esta deberá ser la planta de producción de cualquier simulación, sencillamente el lugar donde se llevan a cabo todos los procesos.
- d. **Declaración de variables y Parámetros:** Aquí se declararán todos los recursos SimPy y demás parámetros que se van a utilizar dentro de la simulación, como por ejemplo los almacenes y los recursos, entre otros.
- e. **Definición del Programa:** En este bloque es donde realmente se dará inicio al programa, se declarará el uso del “environment” (lugar donde se definieron los procesos) y se dará sentencia a la ejecución del programa. Adicionalmente se podrán usar las demás herramientas de Python con los resultados obtenidos dentro de la simulación, como por ejemplo para la realización de gráficas y cálculos matemáticos que se quieran mostrar como conclusión.

Para ver más ejemplos y entender más sobre las diferentes etapas de un código en SimPy, se puede remitir a (*Simulation Programming with Python*, no date)

## 5.2.2. Herramientas de un Programa Simpy

A continuación se van a explicar solamente las herramientas de Simpy que han sido utilizadas en el desarrollo del programa objeto de este trabajo.

- Get: es un método que permite sacar un elemento de un recurso. Éste es un elemento particular de SimPy que permite seleccionar el elemento que se quiere sacar de una lista sin importar que no se encuentre en la primera posición.
- Put: Sirve para poner un elemento dentro de una lista. Este método en conjunto con el método “get” son de gran ayuda para dar flujo a los elementos que ya han sido procesados dentro de un recurso y darle continuidad con la siguiente operación.
- Yield: es una función que solamente puede ser utilizada dentro de la definición de los procesos y obligatoriamente debe estar dentro de una función. Sirve para marcar la duración de un proceso, o un tiempo de espera definido por el usuario.
- Store: Permite almacenar elementos de los cuales que podrán ser sacados o puestos dentro de la lista haciendo la función de una cola de almacenamiento de producto, ya sea de salida o de entrada de algún recurso. El Store se puede clasificar como “filterstore” donde se podrá elegir cualquier elemento para ser sacado de la lista o un “priorityStore” donde seguirá una política FIFO de inventarios
- Resource: Equivalentes en este proyecto a las máquinas, los recursos deben tener una capacidad definida, de tal manera que cuando un proceso intente dar entrada a un elemento, deberá esperar a que el recurso esté vacío, mientras tanto, los productos entran en una lista de espera. De igual manera, si hay algún proceso autónomo que intente coger algún elemento después de su procesamiento dentro del recurso, lo hará siempre y cuando haya un elemento en el mismo, sino, estará esperando a que entre algún producto en el recurso y cuando haya sido procesado, lo halará para seguir con el proceso.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

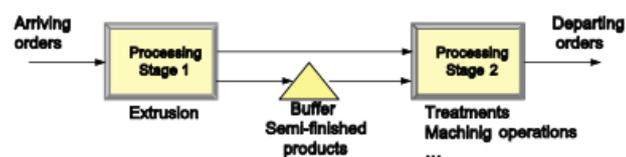
*The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.*

Claude Shannon, 1948

Esta simulación está basada en la simulación hecha por (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015b), en donde proponen una planta de producción de perfiles de aluminio que maneja múltiples productos pero que han sido diferenciados entre: productos de geometría común y de geometría no común. El sistema está compuesto por 7 máquinas en total, sin embargo, solamente la primera de ellas pertenece a la primera fase del sistema productivo que es el proceso de extrusión, el cual debe ser hecho a todos los productos indiferentemente de su tipo de geometría. El resto de máquinas y/o procesos, pertenecen a la segunda fase de producción y pueden variar de acuerdo a la orden del cliente.

A continuación se muestra el diagrama de flujo propuesto por (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015a), donde se pueden identificar las dos etapas de producción dentro de la planta de producción que es objeto de estudio:

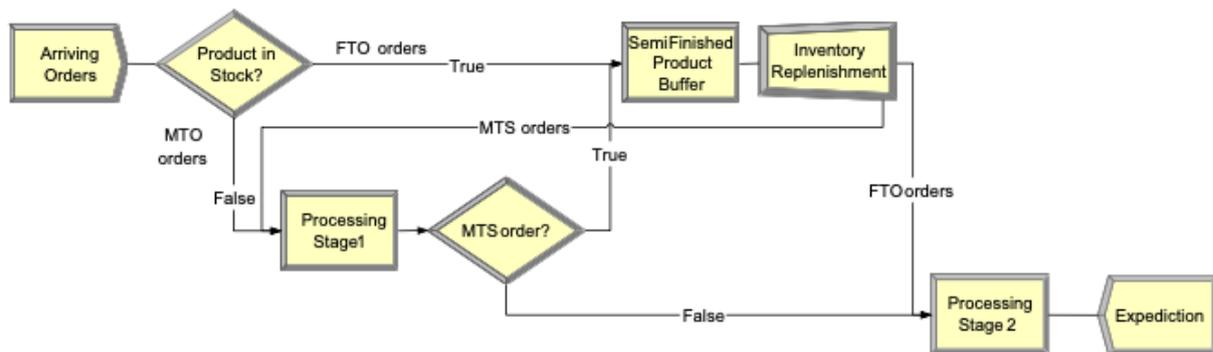
Ilustración 3 - Esquema General del Sistema



Fuente: (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015a)

Las ordenes de producción que genera la empresa pueden ser de tres tipos diferentes: MTO, MTS o FTO y dependerán bien sea del tipo de geometría, cantidad en stock o nivel de pedidos por parte de los clientes. De manera general, el flujo de las ordenes y su la explicación del tipo de orden que pueden llegar a ser, se explica por el autor en el diagrama de flujo que se muestra a continuación:

Ilustración 4 - Esquema de Generación de Ordenes de Producción



Fuente: (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015a)

La llegada de los pedidos del cliente se presenta de manera discreta, mediante una distribución exponencial cuya media fue modificada en este trabajo, donde mediante una experimentación previa, se determinó evaluar el sistema a un máximo de utilización del 70% con medias de llegada de pedidos del 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 y 1.00

El buffer intermedio no cuenta con un límite máximo de almacenamiento según (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015b), sin embargo, este será un tema que se evaluará en una de las fases de experimentación debido a que al ser una simulación de liberación continua, se podrá dar la condición de sobredimensionamiento del mismo.

### 6.1. Supuestos (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015b)

- La probabilidad de que lleguen órdenes de geometría común es de 0,167
- La probabilidad de que lleguen órdenes de geometría no común es de 0,833
- Los pedidos de los clientes llegan bajo una distribución exponencial con media 0,642 unidades de tiempo.
- La fecha de entrega del producto está dada por:

$$TNOW + c * TWK$$

Donde:

TNOW = el instante de tiempo cuando llega el pedido del cliente.

$c = 9,4$

TWK\* = la suma de todos los tiempos medios de proceso aplicables a la orden

\* existen otras maneras para calcular el TWK como la propuesta por (Cheng, 1987), sin embargo para este estudio se va a tomar la expuesta, debido al factor de seguridad

tan alto (9,4) popuesto por los autores.

- La asignación de la ruta de máquinas se hará de forma aleatoria de la siguiente manera:
  - MTO = Distribución discreta uniforme desde 2 hasta 7 operaciones.
  - MTS = Operación de un solo proceso (Primera fase de Producción).
  - FTO = Distribución discreta uniforme desde 1 hasta 6 operaciones.
- Los tiempos de procesado están dados por una distribución 2-Erlang con las siguientes características:
  - Primera Fase de producción: Media = 0,584 unidades de tiempo truncada a 4.
  - Segunda Fase de producción: Media = 1 unidad de tiempo truncada a 4.
- Materia prima siempre disponible.
- Capacidad de las maquinas es constante en el tiempo
- Las distancias y el transporte interno no están consideradas dentro del modelo.
- Siempre que se genere un pedido FTO se generará una MTS para reemplazar el producto del Buffer.

## 6.2. Flujo De La Producción.

Todas las Ordenes del cliente llegarán bajo la distribución exponencial expuesta y se pondrán directamente en la cola de la máquina que corresponda teniendo en cuenta que es una simulación de eventos discretos que supone una liberación continua de pedidos. La máquina numero 1, se alimentará de dos colas de procesamiento, la primera en la que estarán todas las MTO y que tendrán prioridad de producción con respecto a las MTS; mientras que en la segunda cola de pedidos se encontrarán las MTS generadas por el uso de materiales que estaban ubicados en el stock. Cuando no hay ningún pedido en ninguna de las dos colas de procesamiento para la máquina 1, se generará una MTS automáticamente siempre y cuando el porcentaje de utilización de la máquina sea menor o igual a la media del porcentaje de utilización de todas la máquinas de la fase dos de fabricación.

Por su parte, en las maquinas que componen la segunda fase de fabricación, no existe prioridad de las MTO sobre las FTO, razón por la cual se genera una sola cola de procesamiento para cada máquina la cual alimentará el recurso en el mismo orden de llegada.

## 6.3. Experimentación

Dentro de la experimentación realizada se evaluaron los siguientes aspectos:

- Niveles de Ocupación de las Máquinas.
- Nivel final del Buffer, media y valor máximo.

- Porcentaje de piezas MTS y MTO en la máquina 1.
- Número de retrasos.
- Duración media en las colas de cada máquina.
- Permanencia de las ordenes en el sistema
- Tiempo medio de permanencia en el sistema por número de operaciones.
- Porcentaje de pedidos retrasados por cada conjunto de número de operaciones.

El estudio se realizó para los 4 escenarios de ocupación de las máquinas expuesto anteriormente y se realizaron 30 replicas para cada escenario.

La experimentación consta de dos fases. La primera simula la situación sin limitación en el Buffer intermedio pero manteniendo el porcentaje de utilización de la máquina 1 igual que el de las demás maquinas de la fase de producción II; mientras que la segunda fase de la experimentación se realiza limitando el buffer de acuerdo a los niveles medios y maximos obtenidos en la primera fase, para evaluar el comportamiento del sistema. Además se realiza

## 7. PRIMER ESCENARIO DE EXPERIMENTACIÓN

---

En el primer escenario de experimentación se contempla una simulación de liberación continua en el cual no hay ningún límite de almacenamiento en el Buffer intermedio. Sin embargo, el funcionamiento de la máquina 1 ha sido limitado para que, tal como se explicó en el apartado 6.2 de este trabajo, sea similar al porcentaje de utilización de media de las maquinas 2, 3, 4, 5, 6 y 7, es decir, todas las que componen la segunda fase de fabricación. Esta modificación se realizó para que no se presentaran generación de MTS con tendencia al infinito cuando el ritmo de llegada de ordenes de compra fuera mas bajo.

La simulación se realizó tomando las medias 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 y 1.00, donde fueron evaluadas 30 réplicas para todos los casos. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla que muestra las medias para cada caso:

### 7.1. Resultados Obtenidos

A continuación se presentan los resultados de las mediciones generales obtenidas en ésta primera fase de experimentación, entendiéndose como “F1” la fase 1 de fabricación, es decir, los resultados correspondientes a la máquina número 1. De la misma manera, “F2 se entenderá como lo la Fase 2 de fabricación, es decir los resultados promedio de las maquinas 2 a la 7, de acuerdo con lo explicado anteriormente.

Las gráficas que se enseñan corresponden a los resultados de una de las réplicas y se muestran de manera estimativa para ver el avance del proceso de acuerdo al caso; mientras que los datos numéricos corresponden al promedio de las 30 réplicas.

7.1.1. Tablas de Resultados

- Media Exponencial = 0.80

Tabla 2 - Resultados Experimentación I: Media exponencial = 0,80

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	Parámetro T <sub>Llegada</sub>	T <sub>Llegada</sub> Real	T <sub>Salida</sub> Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12362	14	126	4,208	3,324	0,854	0,146	5,211	7,438	9,734	11,861	14,168	16,409	0,054	0,016	0,001	0	0	0	0,8	0,808	0,809	13,6	16	0,7	0,64	3,633	1,301
2	12474	46	2363	15,345	12,381	0,914	0,086	16,931	19,365	21,365	24,023	26,248	28,798	0,404	0,31	0,216	0,16	0,101	0,041	0,8	0,801	0,802	31,1	46	0,7	0,68	17,747	1,515
3	12568	1	3932	20,544	16,153	0,94	0,06	24,878	27,29	29,669	33,068	34,538	37,182	0,568	0,476	0,361	0,281	0,178	0,144	0,8	0,792	0,796	21,1	72	0,7	0,7	27,609	1,561
4	12505	66	2127	11,511	9,218	0,903	0,097	15,707	17,516	19,99	22,381	25,219	26,631	0,449	0,325	0,187	0,097	0,046	0,019	0,8	0,799	0,8	49,6	66	0,7	0,68	16,478	1,469
5	12417	9	9	1,082	1,004	0,839	0,161	3,631	5,905	8,013	10,134	12,412	14,273	0,005	0	0	0	0	0	0,8	0,805	0,805	7,9	9	0,69	0,63	1,598	1,228
6	12448	6	53	3,095	2,242	0,846	0,154	4,417	6,708	8,838	10,887	13,083	15,038	0,03	0,001	0	0	0	0	0,8	0,802	0,803	6,7	8	0,69	0,64	2,618	1,259
7	12405	5	1	4,894	0	0,836	0,164	3,418	5,648	7,88	9,772	12,05	14,197	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,806	0,806	4,1	5	0,68	0,63	1,293	1,257
8	12520	1	667	8,017	6,232	0,88	0,12	8,827	11,365	13,506	15,822	18,244	20,493	0,182	0,11	0,047	0,022	0,004	0,002	0,8	0,796	0,799	27,1	35	0,7	0,67	8,176	1,417
9	12335	10	3	2,517	0,765	0,839	0,161	3,499	5,807	7,708	10,131	12,206	14,265	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,81	0,811	8,8	10	0,69	0,63	1,392	1,255
10	12486	1	7781	82,833	34,787	0,964	0,036	77,27	80,881	83,585	85,509	84,118	86,703	0,728	0,702	0,673	0,632	0,58	0,562	0,8	0,792	0,801	3,6	5	0,7	0,7	96,061	1,594
11	12486	1	7781	82,833	34,787	0,964	0,036	77,27	80,881	83,585	85,509	84,118	86,703	0,728	0,702	0,673	0,632	0,58	0,562	0,8	0,792	0,801	3,6	5	0,7	0,7	96,061	1,594
12	12443	10	36	2,169	1,654	0,849	0,151	4,303	6,451	8,66	10,575	12,986	14,958	0,019	0,001	0	0	0	0	0,8	0,803	0,804	11,4	13	0,69	0,64	2,443	1,228
13	12584	1	3225	12,77	9,569	0,949	0,051	20,685	22,795	24,59	27,808	30,069	32,871	0,587	0,42	0,29	0,183	0,107	0,037	0,8	0,791	0,795	7,7	35	0,7	0,7	22,439	1,629
14	12380	8	0	nan	nan	0,83	0,17	3,522	5,567	7,728	9,842	11,798	14,222	0	0	0	0	0	0	0,8	0,807	0,808	6,9	8	0,69	0,63	1,397	1,233
15	12429	5	66	2,874	2,216	0,849	0,151	4,297	6,624	8,977	10,857	13,425	15,274	0,036	0,002	0	0	0	0	0,8	0,804	0,804	4	5	0,69	0,64	2,581	1,300
16	12469	3	58	3,592	2,974	0,869	0,131	4,315	6,745	8,894	11,388	13,349	15,663	0,028	0,003	0	0	0	0	0,8	0,801	0,802	2,3	3	0,7	0,65	2,412	1,371
17	12512	19	4129	19,413	14,14	0,938	0,062	24,613	26,984	29,016	31,286	34,557	36,483	0,555	0,48	0,39	0,291	0,238	0,161	0,8	0,799	0,799	8,9	19	0,7	0,7	28,017	1,547
18	12527	21	3	0,45	0,24	0,834	0,166	3,833	6,083	8,335	10,506	12,314	14,709	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,797	0,798	22,4	25	0,7	0,63	1,904	1,229
19	12454	22	1992	11,776	8,645	0,9	0,1	13,966	16,773	18,654	21,043	23,239	26,118	0,365	0,299	0,2	0,113	0,056	0,026	0,8	0,802	0,803	17,8	22	0,69	0,67	15,893	1,424
20	12565	7	0	nan	nan	0,84	0,16	3,559	5,723	7,901	10,129	12,416	14,453	0	0	0	0	0	0	0,8	0,795	0,796	5,9	7	0,7	0,64	1,371	1,297
21	12390	1	4235	18,393	14,595	0,947	0,053	26,009	26,917	30,394	31,648	35,359	36,97	0,663	0,521	0,382	0,263	0,192	0,133	0,8	0,802	0,807	21,9	28	0,7	0,68	29,180	1,465
22	12411	19	333	7,192	5,212	0,853	0,147	5,781	7,893	9,997	12,27	14,714	16,56	0,106	0,061	0,021	0	0	0	0,8	0,805	0,806	17,3	19	0,69	0,64	4,583	1,304
23	12508	2	236	8,182	6,141	0,878	0,122	5,552	7,685	10,239	12,483	14,501	16,676	0,059	0,036	0,026	0,007	0	0	0,8	0,798	0,799	2,2	3	0,7	0,66	4,228	1,375
24	12491	33	521	7,241	5,445	0,876	0,124	8,476	10,084	12,339	14,797	17,166	19,785	0,178	0,079	0,022	0,004	0,001	0,001	0,8	0,799	0,801	26,8	33	0,7	0,66	7,215	1,338
25	12478	26	148	4,966	4,247	0,842	0,158	5,31	7,601	9,942	12,164	14,338	16,235	0,054	0,026	0,005	0	0	0	0,8	0,801	0,801	22,6	26	0,69	0,64	3,956	1,307
26	12336	21	2	0,355	0,288	0,835	0,165	3,56	5,688	7,846	10,052	12,283	14,461	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,81	0,811	20,8	22	0,68	0,63	1,290	1,299
27	12514	1	4839	26,327	15,751	0,914	0,086	27,924	31,169	32,653	35,471	37,493	40,659	0,498	0,506	0,468	0,425	0,349	0,289	0,8	0,796	0,799	9,4	11	0,7	0,68	34,624	1,500
28	12574	53	2446	10,577	7,841	0,927	0,073	17,302	20,059	22,371	24,483	26,925	28,931	0,484	0,379	0,245	0,104	0,031	0,006	0,8	0,795	0,795	30,1	53	0,7	0,68	18,296	1,531
29	12518	1	2030	10,657	8,075	0,915	0,085	14,293	16,507	19,071	21,265	24,321	27,357	0,392	0,302	0,2	0,101	0,053	0,016	0,8	0,795	0,799	3,9	5	0,7	0,68	15,870	1,540
30	12470	16	986	14,595	11,092	0,88	0,12	9,539	10,915	13,91	16,19	17,92	20,307	0,181	0,115	0,104	0,069	0,043	0,023	0,8	0,801	0,802	15	17	0,7	0,65	9,295	1,401
<b>PROMEDIO</b>	<b>12468,633</b>	<b>14,300</b>	<b>1670,933</b>	<b>14,229</b>	<b>8,536</b>	<b>0,883</b>	<b>0,117</b>	<b>14,930</b>	<b>17,236</b>	<b>19,513</b>	<b>21,778</b>	<b>23,853</b>	<b>26,113</b>	<b>0,245</b>	<b>0,196</b>	<b>0,150</b>	<b>0,113</b>	<b>0,085</b>	<b>0,067</b>	<b>0,800</b>	<b>0,800</b>	<b>0,802</b>	<b>14,483</b>	<b>21,033</b>	<b>0,696</b>	<b>0,660</b>	<b>15,989</b>	<b>1,392</b>
<b>DESV. EST</b>	<b>67,938</b>	<b>16,560</b>	<b>2256,584</b>	<b>20,491</b>	<b>8,907</b>	<b>0,044</b>	<b>0,044</b>	<b>18,681</b>	<b>19,021</b>	<b>19,131</b>	<b>19,108</b>	<b>18,323</b>	<b>18,459</b>	<b>0,258</b>	<b>0,232</b>	<b>0,203</b>	<b>0,180</b>	<b>0,159</b>	<b>0,150</b>	<b>0,000</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>	<b>11,137</b>	<b>18,423</b>	<b>0,006</b>	<b>0,026</b>	<b>23,944</b>	<b>0,129</b>

- Media Exponencial = 0.85

Tabla 3 - Resultados Experimentación I: Media exponencial = 0,85

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	T Llegada Real	T Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	11742	4	2	2,072	0,254	0,835	0,165	3,248	5,312	7,232	9,293	11,322	13,424	0,001	0	0	0	0	0	0,851	0,852	4,1	5	0,65	0,6	1,267	1,098
2	11861	8	1	4,979	0	0,835	0,165	3,202	5,289	7,517	9,462	11,496	13,314	0	0,001	0	0	0	0	0,843	0,843	7,1	8	0,65	0,6	1,206	1,138
3	11868	24	4	1,479	0,748	0,835	0,165	3,444	5,4	7,507	9,646	11,5	13,457	0,002	0	0	0	0	0	0,842	0,843	22,6	24	0,68	0,61	1,547	1,081
4	11854	19	5	1,947	1,119	0,831	0,169	3,378	5,331	7,442	9,452	11,37	13,385	0,003	0	0	0	0	0	0,843	0,843	17,7	19	0,66	0,6	1,438	1,113
5	11631	4	0	nan	nan	0,838	0,162	3,251	5,165	7,114	9,156	11,094	12,939	0	0	0	0	0	0	0,859	0,86	3,2	4	0,64	0,59	1,157	1,080
6	11912	9	45	3,836	2,601	0,841	0,159	3,966	6,188	8,397	10,33	12,432	14,467	0,023	0,004	0	0	0	0	0,839	0,84	7,9	9	0,67	0,61	2,277	1,157
7	11579	5	1	0,487	0	0,836	0,164	3,166	5,19	7,121	9,018	11,225	13,164	0,001	0	0	0	0	0	0,863	0,864	5,1	6	0,64	0,59	1,082	1,075
8	11900	4	0	nan	nan	0,843	0,157	3,351	5,465	7,674	9,72	11,757	13,89	0	0	0	0	0	0	0,84	0,84	3,1	4	0,66	0,61	1,321	1,186
9	11659	3	2	1,635	0,384	0,834	0,166	3,309	5,343	7,373	9,51	11,326	13,377	0,001	0,001	0	0	0	0	0,857	0,858	5,1	6	0,65	0,59	1,201	1,128
10	11654	14	0	nan	nan	0,838	0,162	3,189	5,162	7,16	9,155	11,009	13,129	0	0	0	0	0	0	0,858	0,858	13	14	0,65	0,59	1,157	1,053
11	11879	2	6	2,754	2,269	0,887	0,113	3,591	5,649	8,146	10,119	12,472	14,654	0,002	0,001	0,001	0	0	0	0,841	0,842	1,5	2	0,67	0,63	1,582	1,301
12	11979	5	4	2,212	1,334	0,837	0,163	3,428	5,413	7,531	9,646	11,793	14,014	0,003	0	0	0	0	0	0,834	0,835	4,1	5	0,67	0,62	1,214	1,216
13	11725	5	0	nan	nan	0,836	0,164	3,308	5,205	7,264	9,37	11,233	13,176	0	0	0	0	0	0	0,852	0,853	4,1	5	0,65	0,6	1,141	1,097
14	11789	13	1	0,616	0	0,831	0,169	3,307	5,262	7,222	9,316	11,289	13,29	0,001	0	0	0	0	0	0,848	0,848	12	13	0,66	0,6	1,161	1,123
15	11745	8	2	5,817	0,468	0,833	0,167	3,334	5,339	7,247	9,297	11,412	13,316	0,001	0	0	0,001	0	0	0,851	0,851	7	8	0,66	0,59	1,292	1,098
16	11747	12	5	1,003	0,571	0,838	0,162	3,342	5,356	7,425	9,658	11,594	13,563	0,002	0,001	0	0	0	0	0,851	0,851	11,9	13	0,66	0,6	1,247	1,152
17	11634	14	0	nan	nan	0,833	0,167	3,173	5,117	6,977	9,198	11,009	13,118	0	0	0	0	0	0	0,859	0,86	13	14	0,65	0,59	1,090	1,062
18	11786	14	0	nan	nan	0,831	0,169	3,236	5,399	7,317	9,338	11,377	13,363	0	0	0	0	0	0	0,848	0,848	12,9	14	0,66	0,6	1,216	1,082
19	11865	13	1	0,43	0	0,832	0,168	3,277	5,261	7,263	9,208	11,32	13,157	0,001	0	0	0	0	0	0,842	0,843	12	13	0,66	0,6	1,170	1,099
20	11944	13	1	0,199	0	0,834	0,166	3,314	5,393	7,279	9,539	11,514	13,495	0,001	0	0	0	0	0	0,837	0,837	11,9	13	0,66	0,6	1,217	1,135
21	11856	8	1	1,115	0	0,836	0,164	3,297	5,254	7,303	9,287	11,213	13,263	0,001	0	0	0	0	0	0,843	0,843	8	9	0,66	0,6	1,209	1,123
22	11863	8	3	2,129	1,129	0,839	0,161	3,319	5,332	7,269	9,216	11,273	13,284	0,001	0,001	0	0	0	0	0,842	0,843	7	8	0,67	0,6	1,297	1,091
23	11820	8	0	nan	nan	0,838	0,162	3,265	5,317	7,356	9,427	11,404	13,421	0	0	0	0	0	0	0,846	0,846	7	8	0,66	0,6	1,232	1,108
24	11544	7	16	2,079	1,477	0,844	0,156	3,635	5,629	7,496	9,525	11,392	13,266	0,01	0	0	0	0	0	0,865	0,866	6	7	0,65	0,59	1,672	1,077
25	11794	11	1	0,163	0	0,834	0,166	3,306	5,472	7,47	9,482	11,726	13,461	0,001	0	0	0	0	0	0,847	0,848	10	11	0,66	0,61	1,208	1,146
26	11698	9	1	1,465	0	0,833	0,167	3,198	5,321	7,248	9,23	11,446	13,277	0,001	0	0	0	0	0	0,854	0,855	10	11	0,65	0,6	1,164	1,104
27	11679	7	0	nan	nan	0,831	0,169	3,261	5,247	7,316	9,211	11,201	13,185	0	0	0	0	0	0	0,855	0,856	11	12	0,65	0,59	1,196	1,110
28	11822	3	13	1,614	1,246	0,855	0,145	3,624	5,672	7,747	9,774	11,722	13,873	0,008	0	0	0	0	0	0,845	0,846	2,3	3	0,67	0,61	1,690	1,152
29	11949	12	0	nan	nan	0,838	0,162	3,315	5,321	7,31	9,259	11,398	13,275	0	0	0	0	0	0	0,836	0,837	10,9	12	0,67	0,61	1,271	1,106
30	11805	3	6	2,31	1,995	0,841	0,159	3,392	5,48	7,533	9,784	11,724	14,14	0,004	0	0	0	0	0	0,847	0,847	3,2	4	0,66	0,6	1,304	1,174
PROMEDIO	11786,100	8,967	4,033	1,921	0,743	0,838	0,162	3,348	5,376	7,409	9,454	11,468	13,471	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,848	0,849	8,490	9,467	0,658	0,601	1,308	1,122
DESV. EST	113,469	5,129	8,600	1,472	0,827	0,010	0,010	0,168	0,205	0,289	0,290	0,339	0,402	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,008	4,832	4,974	0,009	0,010	0,242	0,050

- Media Exponencial = 0.90

Tabla 4 - Resultados Experimentación I: Media exponencial = 0,90

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADA S	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	T Llegada Real	T Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	10924	5	0	nan	nan	0,84	0,16	3,023	4,841	6,719	8,42	10,471	12,464	0	0	0	0	0	0	0,914	0,915	4,2	5	0,62	0,56	1,040	0,937
2	11134	9	0	nan	nan	0,839	0,161	3,068	5	6,949	8,962	10,618	12,539	0	0	0	0	0	0	0,898	0,898	8,1	9	0,63	0,57	1,070	0,968
3	11128	2	1	0,579	0	0,87	0,13	3,177	5,105	6,919	8,916	10,829	12,494	0,001	0	0	0	0	0	0,898	0,898	1,5	2	0,62	0,57	1,176	1,019
4	11120	11	0	nan	nan	0,834	0,166	3,015	4,922	6,613	8,621	10,44	12,207	0	0	0	0	0	0	0,899	0,899	10,1	11	0,63	0,56	1,056	0,951
5	11137	10	0	nan	nan	0,834	0,166	3,011	4,823	6,789	8,566	10,433	12,342	0	0	0	0	0	0	0,897	0,898	9,1	10	0,62	0,57	1,049	0,942
6	11013	7	1	1,989	0	0,829	0,171	3,032	5,011	6,78	8,441	10,311	12,202	0,001	0	0	0	0	0	0,907	0,908	6,1	7	0,62	0,56	1,047	0,942
7	10951	4	0	nan	nan	0,848	0,152	3,058	4,954	6,787	8,714	10,438	12,347	0	0	0	0	0	0	0,912	0,913	3,2	4	0,61	0,56	1,040	0,978
8	11019	4	0	nan	nan	0,839	0,161	2,995	4,964	6,741	8,683	10,373	12,286	0	0	0	0	0	0	0,906	0,907	3,2	4	0,61	0,57	1,028	0,951
9	11089	3	0	nan	nan	0,847	0,153	3,085	4,973	6,944	9,007	10,725	12,835	0	0	0	0	0	0	0,901	0,902	2,3	3	0,62	0,57	1,113	1,021
10	11023	14	0	nan	nan	0,833	0,167	2,982	4,812	6,665	8,689	10,355	12,1	0	0	0	0	0	0	0,906	0,907	12,9	14	0,61	0,56	1,083	0,915
11	11201	9	0	nan	nan	0,834	0,166	2,933	4,871	6,865	8,639	10,886	12,534	0	0	0	0	0	0	0,892	0,893	9	10	0,62	0,57	0,991	1,003
12	11068	7	2	0,98	0,346	0,832	0,168	3,021	4,884	6,869	8,781	10,473	12,395	0,001	0,001	0	0	0	0	0,903	0,903	6,1	7	0,61	0,56	1,006	0,958
13	11101	7	2	1,678	0,826	0,836	0,164	3,02	4,812	6,732	8,566	10,442	11,919	0,001	0,001	0	0	0	0	0,9	0,901	6,1	7	0,62	0,55	1,190	0,914
14	11236	10	0	nan	nan	0,829	0,171	3,041	4,985	6,854	8,784	10,645	12,667	0	0	0	0	0	0	0,889	0,89	9,1	10	0,62	0,57	1,072	0,975
15	11004	5	0	nan	nan	0,835	0,165	3,159	4,902	6,862	8,813	10,67	12,344	0	0	0	0	0	0	0,908	0,909	4,2	5	0,61	0,56	1,089	0,974
16	11170	12	1	1,25	0	0,836	0,164	2,982	4,99	6,845	8,555	10,432	12,282	0,001	0	0	0	0	0	0,895	0,895	11,1	12	0,62	0,56	1,069	0,948
17	10893	12	13	3,203	2,464	0,836	0,164	3,229	4,942	6,88	8,799	10,612	12,248	0,008	0,001	0	0	0	0	0,917	0,918	11,1	12	0,61	0,55	1,335	0,919
18	11079	3	1	1,992	0	0,839	0,161	3,05	4,818	6,865	8,971	10,535	12,759	0,001	0	0	0	0	0	0,902	0,903	3,2	4	0,62	0,57	1,067	0,984
19	11169	13	0	nan	nan	0,834	0,166	2,958	4,874	6,824	8,645	10,521	12,523	0	0	0	0	0	0	0,894	0,895	12,1	13	0,62	0,57	0,984	0,984
20	11288	13	1	2,171	0	0,827	0,173	3,004	4,807	6,888	8,598	10,653	12,634	0,001	0	0	0	0	0	0,885	0,886	13	14	0,63	0,57	1,019	0,991
21	10807	3	0	nan	nan	0,837	0,163	3,027	4,823	6,673	8,367	10,343	12,081	0	0	0	0	0	0	0,924	0,925	3,2	4	0,61	0,55	1,039	0,890
22	10984	15	0	nan	nan	0,835	0,165	3,058	5,065	6,885	8,917	10,639	12,605	0	0	0	0	0	0	0,91	0,91	14,1	15	0,62	0,56	1,074	0,987
23	11161	9	0	nan	nan	0,835	0,165	3,037	5,01	6,895	8,781	10,557	12,624	0	0	0	0	0	0	0,895	0,896	8,1	9	0,61	0,57	1,049	1,001
24	11225	10	1	0,277	0	0,836	0,164	3,165	5,025	7,014	8,978	10,88	12,717	0,001	0	0	0	0	0	0,89	0,891	9,1	10	0,64	0,58	1,115	1,033
25	11046	6	0	nan	nan	0,83	0,17	2,994	5,002	6,824	8,702	10,788	12,585	0	0	0	0	0	0	0,904	0,905	6,1	7	0,62	0,56	1,057	0,970
26	11079	6	0	nan	nan	0,829	0,171	2,981	4,948	6,758	8,534	10,454	12,265	0	0	0	0	0	0	0,902	0,903	6,2	7	0,61	0,56	1,003	0,952
27	11225	39	0	nan	nan	0,836	0,164	3,103	5,096	7,113	9,002	10,903	12,666	0	0	0	0	0	0	0,89	0,891	37,7	39	0,63	0,57	1,125	1,028
28	11037	11	8	2,863	2,693	0,835	0,165	3,062	4,987	6,869	8,861	10,452	12,319	0,004	0,001	0	0	0	0	0,905	0,906	10,1	11	0,62	0,56	1,315	0,927
29	11223	7	0	nan	nan	0,84	0,16	3,066	5,051	7,008	8,958	10,805	12,994	0	0	0	0	0	0	0,89	0,891	6,2	7	0,62	0,58	1,076	1,021
30	11069	7	1	1,915	0	0,835	0,165	3,082	5,07	6,901	8,834	10,53	12,362	0,001	0	0	0	0	0	0,903	0,903	7,1	8	0,62	0,56	1,108	0,975
<b>PROMEDIO</b>	<b>11086,767</b>	<b>9,100</b>	<b>1,067</b>	<b>1,718</b>	<b>0,575</b>	<b>0,837</b>	<b>0,163</b>	<b>3,047</b>	<b>4,946</b>	<b>6,844</b>	<b>8,737</b>	<b>10,574</b>	<b>12,445</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,901</b>	<b>0,902</b>	<b>8,453</b>	<b>9,333</b>	<b>0,619</b>	<b>0,564</b>	<b>1,083</b>	<b>0,969</b>
<b>DESV. EST</b>	<b>110,911</b>	<b>6,692</b>	<b>2,716</b>	<b>0,897</b>	<b>1,024</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,067</b>	<b>0,092</b>	<b>0,108</b>	<b>0,183</b>	<b>0,174</b>	<b>0,241</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>	<b>6,510</b>	<b>6,619</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,081</b>	<b>0,037</b>

- Media Exponencial = 0.95

Tabla 5 - Resultados Experimentación I: Media exponencial = 0,95

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia a - 2 Procesos	T Medio Permanencia a - 3 Procesos	T Medio Permanencia a - 4 Procesos	T Medio Permanencia a - 5 Procesos	T Medio Permanencia a - 6 Procesos	T Medio Permanencia a - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2	
1	10636	10	0	nan	nan	0,833	0,167	2,89	4,687	6,482	8,184	10,028	11,855	0	0	0	0	0	0	0,95	0,94	0,94	9	10	0,59	0,54	0,960	0,873	
2	10438	5	0	nan	nan	0,837	0,163	2,719	4,49	6,262	8,133	9,82	11,464	0	0	0	0	0	0	0,95	0,957	0,958	6,2	7	0,58	0,53	0,874	0,833	
3	10545	11	1	1,461	0	0,849	0,151	3,017	4,858	6,573	8,352	10,103	11,927	0,001	0	0	0	0	0	0,95	0,948	0,948	10,2	11	0,59	0,55	1,044	0,901	
4	10583	14	0	nan	nan	0,836	0,164	2,835	4,751	6,467	8,368	10,106	11,753	0	0	0	0	0	0	0,95	0,944	0,945	14,1	15	0,59	0,54	0,987	0,871	
5	10499	8	0	nan	nan	0,833	0,167	2,84	4,558	6,227	7,989	9,826	11,521	0	0	0	0	0	0	0,95	0,952	0,952	7,2	8	0,59	0,53	0,954	0,825	
6	10612	6	0	nan	nan	0,836	0,164	2,949	4,875	6,513	8,648	10,354	12,082	0	0	0	0	0	0	0,95	0,942	0,942	5,2	6	0,6	0,54	1,020	0,904	
7	10552	14	0	nan	nan	0,836	0,164	2,95	4,824	6,453	8,076	10,027	11,827	0	0	0	0	0	0	0,95	0,947	0,948	13,9	15	0,6	0,54	0,962	0,876	
8	10681	7	0	nan	nan	0,829	0,171	2,888	4,631	6,402	8,182	9,982	11,779	0	0	0	0	0	0	0,95	0,936	0,936	6,1	7	0,59	0,54	0,960	0,867	
9	10575	4	0	nan	nan	0,834	0,166	2,923	4,598	6,409	8,407	9,974	11,805	0	0	0	0	0	0	0,95	0,945	0,945	4,2	5	0,59	0,53	0,959	0,855	
10	10467	14	0	nan	nan	0,832	0,168	2,852	4,519	6,351	8,02	9,744	11,549	0	0	0	0	0	0	0,95	0,955	0,955	13,2	14	0,58	0,53	0,893	0,840	
11	10428	7	1	0,006	0	0,857	0,143	2,966	4,796	6,533	8,257	10,287	11,95	0,001	0	0	0	0	0	0,95	0,959	0,959	6,2	7	0,59	0,54	1,060	0,898	
12	10676	3	0	nan	nan	0,841	0,159	2,939	4,756	6,526	8,558	10,256	12,144	0	0	0	0	0	0	0,95	0,936	0,937	2,3	3	0,6	0,55	1,050	0,896	
13	10428	1	0	nan	nan	0,874	0,126	3,072	4,908	6,818	8,724	10,327	12,223	0	0	0	0	0	0	0,95	0,958	0,959	1,5	2	0,58	0,55	1,079	0,942	
14	10689	7	1	2,155	0	0,835	0,165	2,976	4,792	6,605	8,606	10,297	12,143	0,001	0	0	0	0	0	0,95	0,935	0,936	6,2	7	0,61	0,54	1,073	0,910	
15	10510	9	0	nan	nan	0,835	0,165	2,829	4,719	6,488	8,298	9,9	11,787	0	0	0	0	0	0	0,95	0,951	0,951	8,2	9	0,59	0,53	0,968	0,859	
16	10546	10	0	nan	nan	0,829	0,171	2,831	4,698	6,526	8,177	9,766	11,7	0	0	0	0	0	0	0,95	0,947	0,948	10,2	11	0,59	0,53	0,936	0,847	
17	10442	22	0	nan	nan	0,834	0,166	2,913	4,643	6,474	8,178	10,207	11,725	0	0	0	0	0	0	0,95	0,957	0,957	21,1	22	0,59	0,53	0,965	0,870	
18	10485	6	0	nan	nan	0,837	0,163	2,883	4,776	6,401	8,103	9,955	11,773	0	0	0	0	0	0	0,95	0,953	0,953	5,2	6	0,59	0,54	0,969	0,846	
19	10506	17	0	nan	nan	0,83	0,17	2,793	4,717	6,548	8,305	10,085	11,644	0	0	0	0	0	0	0,95	0,951	0,952	16	17	0,59	0,54	0,924	0,858	
20	10431	4	0	nan	nan	0,833	0,167	2,906	4,592	6,418	8,265	9,948	11,906	0	0	0	0	0	0	0,95	0,958	0,959	3,2	4	0,58	0,53	0,903	0,874	
21	10513	11	0	nan	nan	0,833	0,167	2,841	4,553	6,22	7,92	9,924	11,403	0	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,951	10,1	11	0,58	0,53	0,956	0,799	
22	10462	3	0	nan	nan	0,846	0,154	2,793	4,595	6,361	8,051	10,032	11,961	0	0	0	0	0	0	0,95	0,955	0,956	2,3	3	0,58	0,54	0,937	0,873	
23	10502	2	0	nan	nan	0,873	0,127	3,126	5,043	6,915	8,71	10,692	12,518	0	0	0	0	0	0	0,95	0,951	0,952	1,5	2	0,59	0,56	1,097	0,978	
24	10453	5	0	nan	nan	0,828	0,172	2,884	4,617	6,355	8,134	9,7	11,486	0	0	0	0	0	0	0,95	0,956	0,957	5,2	6	0,58	0,52	0,975	0,825	
25	10518	34	0	nan	nan	0,829	0,171	2,968	4,707	6,62	8,341	9,945	11,827	0	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,951	32,6	34	0,59	0,54	0,983	0,852	
26	10316	6	0	nan	nan	0,835	0,165	2,824	4,631	6,337	8,002	9,934	11,607	0	0	0	0	0	0	0,95	0,968	0,969	6,2	7	0,58	0,53	0,921	0,813	
27	10556	9	0	nan	nan	0,828	0,172	2,791	4,66	6,626	8,245	10,197	11,646	0	0	0	0	0	0	0,95	0,947	0,947	8,1	9	0,58	0,54	0,905	0,884	
28	10594	4	0	nan	nan	0,854	0,146	2,949	4,737	6,598	8,394	10,428	12,125	0	0	0	0	0	0	0,95	0,944	0,944	3,2	4	0,59	0,55	1,009	0,914	
29	10356	6	0	nan	nan	0,83	0,17	2,772	4,676	6,083	7,942	9,646	11,475	0	0	0	0	0	0	0,95	0,965	0,965	5,2	6	0,59	0,53	0,911	0,823	
30	10359	2	0	nan	nan	0,867	0,133	2,894	4,797	6,688	8,439	10,225	11,919	0	0	0	0	0	0	0,95	0,964	0,965	1,5	2	0,58	0,54	1,021	0,902	
<b>PROMEDIO</b>	<b>10511,933</b>	<b>8,700</b>	<b>0,100</b>	<b>1,207</b>	<b>0,000</b>	<b>0,839</b>	<b>0,161</b>	<b>2,894</b>	<b>4,707</b>	<b>6,476</b>	<b>8,267</b>	<b>10,057</b>	<b>11,817</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,950</b>	<b>0,951</b>	<b>0,951</b>	<b>8,177</b>	<b>9,000</b>	<b>0,588</b>	<b>0,538</b>	<b>0,975</b>	<b>0,870</b>	
<b>DESV. EST</b>	<b>94,681</b>	<b>6,773</b>	<b>0,305</b>	<b>1,097</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>	<b>0,013</b>	<b>0,089</b>	<b>0,124</b>	<b>0,173</b>	<b>0,224</b>	<b>0,237</b>	<b>0,257</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>6,578</b>	<b>6,721</b>	<b>0,007</b>	<b>0,009</b>	<b>0,059</b>	<b>0,039</b>

- Media Exponencial = 1.00

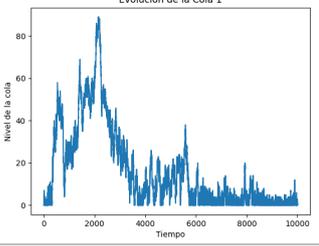
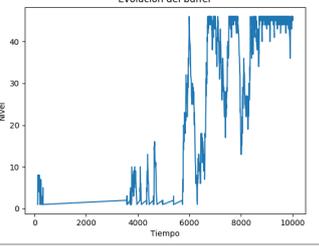
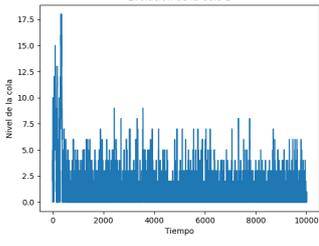
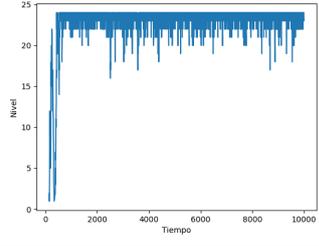
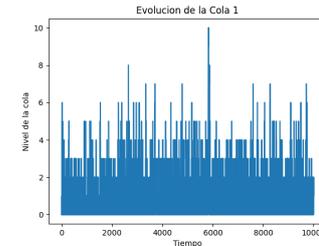
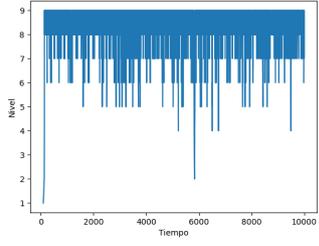
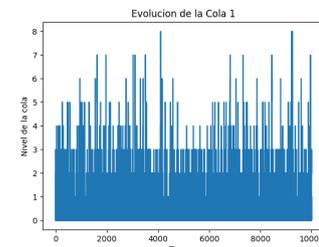
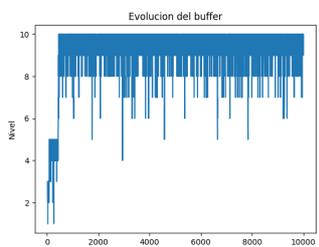
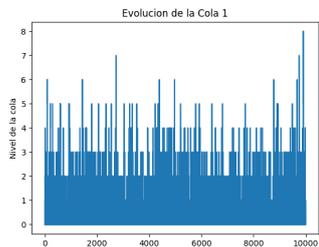
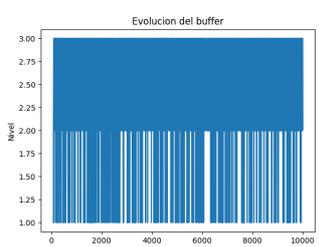
Tabla 6 - Resultados Experimentación I: Media exponencial = 1,00

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos - 2 procesos	% Retrasos - 3 procesos	% Retrasos - 4 procesos	% Retrasos - 5 procesos	% Retrasos - 6 procesos	% Retrasos - 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T-Salida Real	Buffer Médio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2	
1	10136	3	2	0,422	0,067	0,842	0,158	2,795	4,699	6,438	8,382	9,979	11,668	0,001	0	0	0	0	0	1	0,986	0,987	2,3	3	0,56	0,52	0,984	0,858	
2	10036	7	0	nan	nan	0,824	0,176	2,704	4,447	6,235	7,807	9,519	11,092	0	0	0	0	0	0	1	0,996	0,996	6,2	7	0,56	0,51	0,868	0,769	
3	10144	3	0	nan	nan	0,845	0,155	2,749	4,517	6,291	7,993	9,543	11,34	0	0	0	0	0	0	1	0,985	0,986	2,3	3	0,56	0,52	0,876	0,791	
4	10050	6	0	nan	nan	0,839	0,161	2,783	4,49	6,198	7,892	9,543	11,664	0	0	0	0	0	0	1	0,994	0,995	6,2	7	0,56	0,52	0,882	0,802	
5	9818	8	0	nan	nan	0,83	0,17	2,628	4,255	6,095	7,758	9,297	10,983	0	0	0	0	0	0	1	1,018	1,019	7,2	8	0,55	0,5	0,790	0,745	
6	10021	3	0	nan	nan	0,836	0,164	2,83	4,475	6,212	7,997	9,621	11,55	0	0	0	0	0	0	1	0,997	0,998	3,3	4	0,56	0,52	0,865	0,808	
7	10193	19	0	nan	nan	0,826	0,174	2,823	4,568	6,228	8,109	9,746	11,519	0	0	0	0	0	0	1	0,981	0,981	18,1	19	0,57	0,52	0,872	0,814	
8	9994	10	0	nan	nan	0,829	0,171	2,69	4,458	6,158	7,78	9,491	11,054	0	0	0	0	0	0	1	1	1,001	10,2	11	0,57	0,5	0,872	0,761	
9	9971	21	0	nan	nan	0,834	0,166	2,717	4,479	6,081	7,812	9,392	11,312	0	0	0	0	0	0	1	1,002	1,003	19,9	21	0,56	0,51	0,844	0,759	
10	9794	1	0	nan	nan	0,867	0,133	2,785	4,616	6,122	7,819	9,439	11,133	0	0	0	0	0	0	1	1,02	1,021	1,5	2	0,55	0,51	0,921	0,787	
11	9881	4	0	nan	nan	0,859	0,141	2,679	4,359	6,196	7,628	9,2	11,133	0	0	0	0	0	0	1	1,011	1,012	4,3	5	0,55	0,51	0,826	0,767	
12	9978	7	0	nan	nan	0,834	0,166	2,793	4,364	6,195	7,92	9,505	11,304	0	0	0	0	0	0	1	1,001	1,002	7,2	8	0,56	0,51	0,869	0,787	
13	10032	9	0	nan	nan	0,836	0,164	2,766	4,506	6,17	7,847	9,423	11,339	0	0	0	0	0	0	1	0,996	0,997	9,2	10	0,56	0,51	0,884	0,785	
14	10042	4	0	nan	nan	0,835	0,165	2,738	4,548	6,062	7,809	9,525	11,193	0	0	0	0	0	0	1	0,995	0,996	3,3	4	0,56	0,51	0,857	0,777	
15	10034	17	0	nan	nan	0,834	0,166	2,749	4,319	6,171	7,878	9,49	11,206	0	0	0	0	0	0	1	0,996	0,996	16,2	17	0,56	0,51	0,858	0,786	
16	10073	17	0	nan	nan	0,83	0,17	2,745	4,395	6,023	7,736	9,369	11,063	0	0	0	0	0	0	1	0,992	0,993	17	18	0,57	0,51	0,891	0,740	
17	9976	5	0	nan	nan	0,84	0,16	2,708	4,576	6,089	7,796	9,251	11,089	0	0	0	0	0	0	1	1,002	1,002	4,2	5	0,56	0,51	0,856	0,761	
18	10072	2	0	nan	nan	0,873	0,127	3,089	4,756	6,602	8,462	10,256	11,778	0	0	0	0	0	0	1	0,993	0,993	1,5	2	0,57	0,53	1,013	0,893	
19	10031	12	0	nan	nan	0,835	0,165	2,763	4,619	6,431	8,062	9,794	11,175	0	0	0	0	0	0	1	0,996	0,997	12,2	13	0,56	0,51	0,913	0,827	
20	9863	3	0	nan	nan	0,835	0,165	2,683	4,419	6,115	7,772	9,481	11,155	0	0	0	0	0	0	1	1,013	1,014	2,3	3	0,55	0,5	0,814	0,760	
21	10007	4	1	0,07	0	0,843	0,157	2,782	4,467	6,151	7,818	9,425	11,354	0,001	0	0	0	0	0	1	0,999	0,999	3,3	4	0,56	0,51	0,908	0,763	
22	9980	3	0	nan	nan	0,844	0,156	2,815	4,536	6,302	8,159	9,766	11,487	0	0	0	0	0	0	1	1,001	1,002	2,3	3	0,55	0,51	0,912	0,820	
23	9967	3	0	nan	nan	0,834	0,166	2,84	4,492	6,229	7,91	9,522	11,282	0	0	0	0	0	0	1	1,003	1,003	2,3	3	0,56	0,51	0,898	0,767	
24	9942	3	0	nan	nan	0,836	0,164	2,788	4,464	6,105	7,894	9,422	11,224	0	0	0	0	0	0	1	1,005	1,006	2,3	3	0,55	0,51	0,850	0,784	
25	10148	6	0	nan	nan	0,831	0,169	2,769	4,604	6,284	8,08	9,877	11,529	0	0	0	0	0	0	1	0,985	0,985	5,2	6	0,56	0,52	0,884	0,833	
26	10046	1	0	nan	nan	0,866	0,134	2,878	4,597	6,504	8,016	9,937	11,667	0	0	0	0	0	0	1	0,994	0,995	1,5	2	0,55	0,53	0,936	0,848	
27	10060	8	0	nan	nan	0,836	0,164	2,783	4,44	6,252	7,975	9,703	11,446	0	0	0	0	0	0	1	0,993	0,994	7,2	8	0,56	0,51	0,889	0,799	
28	9990	8	0	nan	nan	0,831	0,169	2,623	4,415	6,026	7,565	9,358	10,995	0	0	0	0	0	0	1	1	1,001	7,2	8	0,56	0,51	0,835	0,745	
29	9991	8	0	nan	nan	0,835	0,165	2,606	4,485	6,215	7,811	9,504	11,088	0	0	0	0	0	0	1	1	1,001	7,2	8	0,55	0,5	0,836	0,783	
30	9997	8	0	nan	nan	0,836	0,164	2,741	4,422	6,093	7,943	9,66	11,41	0	0	0	0	0	0	1	0,999	1	7,3	8	0,56	0,51	0,848	0,784	
<b>PROMEDIO</b>	<b>10008,900</b>	<b>7,100</b>	<b>0,100</b>	<b>0,246</b>	<b>0,034</b>	<b>0,839</b>	<b>0,161</b>	<b>2,761</b>	<b>4,493</b>	<b>6,209</b>	<b>7,914</b>	<b>9,568</b>	<b>11,321</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>1,000</b>	<b>0,998</b>	<b>0,999</b>	<b>6,680</b>	<b>7,433</b>	<b>0,559</b>	<b>0,512</b>	<b>0,878</b>	<b>0,790</b>
<b>DESV. EST</b>	<b>90,382</b>	<b>5,333</b>	<b>0,403</b>	<b>0,249</b>	<b>0,047</b>	<b>0,012</b>	<b>0,012</b>	<b>0,089</b>	<b>0,108</b>	<b>0,138</b>	<b>0,193</b>	<b>0,232</b>	<b>0,223</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>	<b>5,244</b>	<b>5,348</b>	<b>0,006</b>	<b>0,008</b>	<b>0,046</b>	<b>0,035</b>	

### 7.1.2. Rendimiento general del Sistema

En esta medición se contemplaron los flujos reales de entrada y salida de pedidos dentro del sistema, al igual que la ocupación promedio de cada una de las fases de producción. Por otra parte se midió el nivel medio y máximo del Buffer con el fin de usar estos datos como entrada para la segunda fase de experimentación en donde se planteará una limitación para el mismo.

Tabla 7 - Resultados del rendimiento del sistema – Experimentación I

Media	Evolución Temporal Cola Máquina 1	Evolución Temporal Buffer	RITMOS REALES		% OCUPACIÓN		NIVEL BUFFER	
			Llegada	Salida	F1	F2	Médio	Máx.
0,80			0,800	0,802	0,696	0,660	14,483	72
0,85			0,848	0,849	0,658	0,601	8,490	24
0,90			0,901	0,902	0,619	0,564	8,453	39
0,95			0,951	0,951	0,588	0,538	8,177	34
1,00			0,998	0,999	0,559	0,512	14,483	21

Analizando los resultados obtenidos en este primer escenario, se observa cómo en la medida que se aumenta la media exponencial de llegadas de pedidos, se aligera la carga de trabajo de la máquina 1. Por otra parte, se puede evidenciar que al disminuir el tiempo de procesado en ésta primera máquina, se afecta proporcionalmente el nivel de Stock acumulado, lo que muestra una tendencia de crecimiento del mismo, siempre que el porcentaje de utilización de las máquinas aumente.

De la misma manera, se presenta una afectación inversamente proporcional entre el comportamiento de la evolución de la máquina 1 Vs el comportamiento del Buffer, lo cual se puede considerar normal, teniendo en cuenta la condición que permite generar ordenes MTS siempre que no hayan elementos en cola MTO, sin embargo, se evidencia que no se presenta una acumulación de pedidos MTS aún cuando baja el ritmo de llegada de los pedidos, lo que sugiere una producción controlada dentro del sistema.

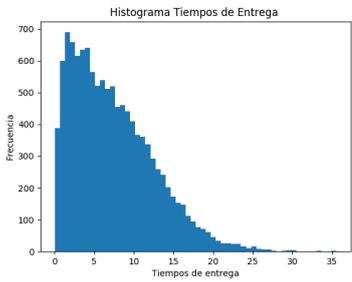
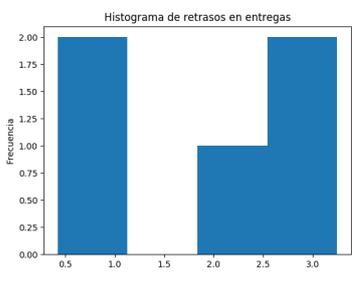
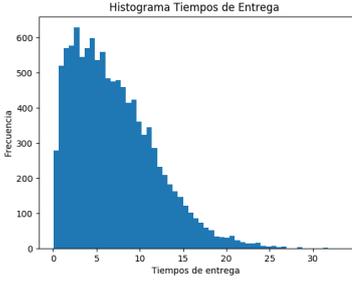
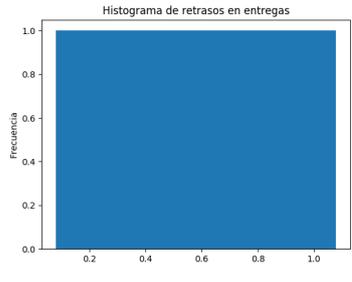
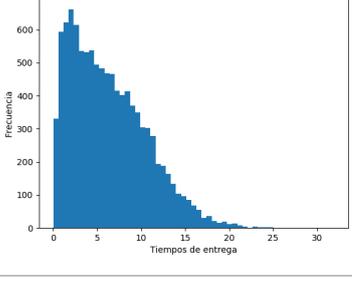
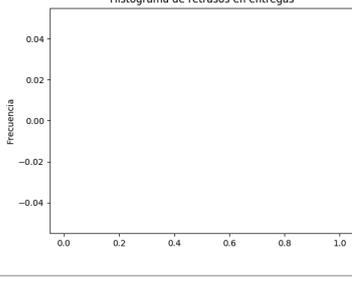
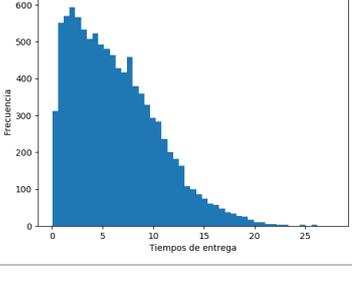
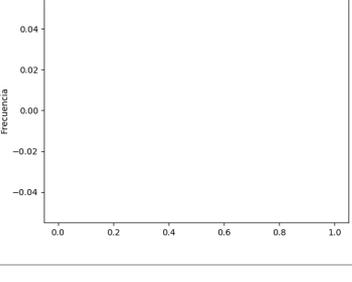
Revisando un poco mas en detalle las graficas obtenidas, se evidencia un comportamiento similar en las gráficas que muestran la evolución del buffer, mostrando que una vez éste ha llegado a su punto máximo, se mantiene en ese nivel a lo largo del tiempo, presentando tan solo pequeñas variaciones que corresponderán a la llegada de pedidos bajo el FTO, pero que son rápidamente reemplazados, manteniendo así ese nivel.

## 7.2. Tiempos Dentro del Sistema y Niveles de Cumplimiento

A continuación se presentan los histogramas de frecuencia que muestran el tiempo que los pedidos tardaron en abandonar el sistema, es decir, el tiempo que tardaron desde el momento de la entrada del pedido hasta su liberación. Adicionalmente se muestran los datos medios del numero de pedidos retrasado con respecto al numero de pedidos entregados, así como el tiempo en cola tanto en la fase 1 como en la fase 2 de producción.

Tabla 8 - Resultados de Tiempos y Cumplimientos Generales – Experimentación I

Media	TIEMPOS DE ENTREGA	RETRASOS ENTREGAS	Nº TOTAL PEDIDOS PROCESADOS	Nº PEDIDOS RETRASADOS	TIEMPO MEDIO EN COLA F1	TIEMPO MEDIO EN COLA F2
0,80			12469	1671	15,989	1,392

Media	TIEMPOS DE ENTREGA	RETRASOS ENTREGAS	Nº TOTAL PEDIDOS PROCESADOS	Nº PEDIDOS RETRASADOS	TIEMPO MEDIO EN COLA F1	TIEMPO MEDIO EN COLA F2
0,85			11786	4	1,308	1,122
0,90			11087	1	1,083	0,969
0,95			10512	0	0,975	0,870
1,00			10009	0	0,878	0,790

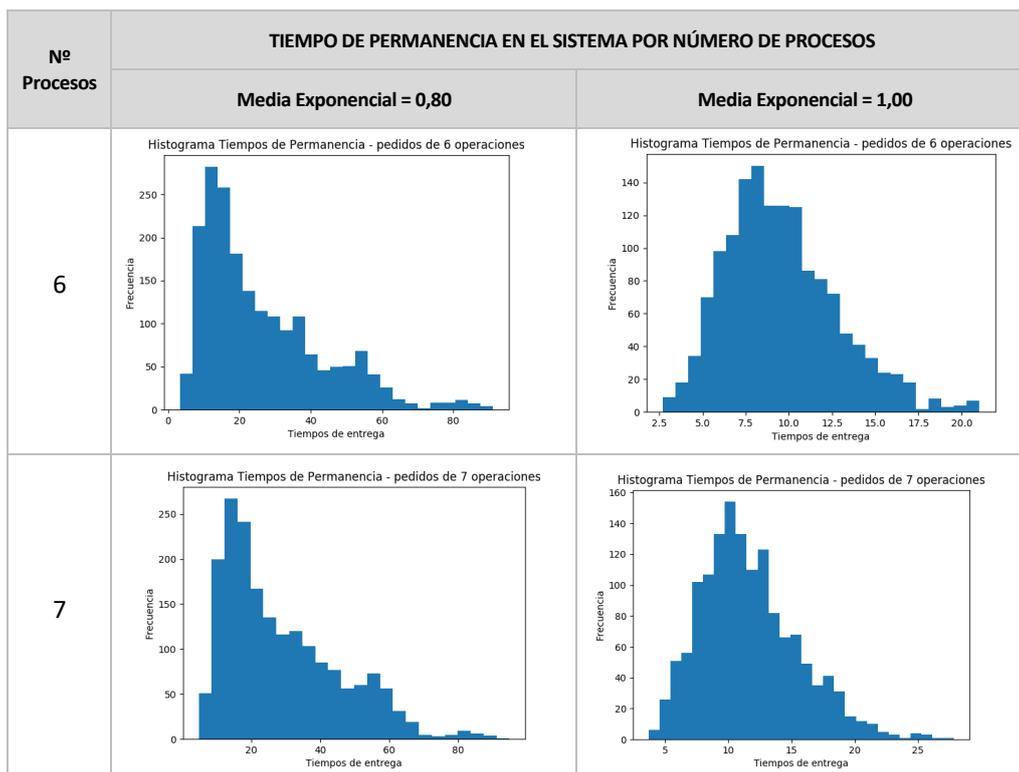
En la primera columna de gráficos se puede ver cómo en la medida que la llegada de pedidos disminuye su frecuencia, los tiempos de entrega se van disminuyendo y por ende se nota una distribución mas cerrada, lo que se evidencia en la variación de los datos del eje horizontal de cada una de las graficas. Por su parte, las graficas que representan la frecuencia y tiempos en la liberación de pedidos, con retraso, muestran y argumentan linealidad con lo expresado en la sección 7.1., evidenciando como en la medida que se disminuye la carga de trabajo, y los tiempos dentro del sistema de cada orden se ajustan y recortan debido a la disminución del tiempo de espera en la cola de la primera fase productiva, generando una notable disminución de los pedidos que han sido entregados con retraso.

### 7.3. Tiempos Dentro del Sistema Separado por Número de Operaciones

A continuación se presentan los histogramas de los tiempos de permanencia de los diferentes pedidos dentro del sistema, separados por el numero de operaciones o pasos por máquina que tuvieron. Solamente se presentan los gráficos de los casos mas extremos de estudio, es decir, con la media exponencial de llegada de pedidos 0,80 y 1,00, en donde se puede ver el cambio que se produce entre los diferentes escenarios

Tabla 9 - Tiempos Dentro del Sistema por Número de Operaciones – Experimentación I

Nº Procesos	TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL SISTEMA POR NÚMERO DE PROCESOS	
	Media Exponencial = 0,80	Media Exponencial = 1,00
2		
3		
4		
5		



Analizando estas gráficas se observa que entre menos número de operaciones se tengan que hacer en el pedido, éste tenderá a salir mas rápido del sistema, para lo cual se puede sugerir que no solamente influye que tiene que hacer menos colas de espera, sino también que si el pedido sale a producción bajo el criterio de FTO, ya se tendrá hasta el 50% de su recorrido terminado. Lo anterior se sustenta en el hecho de que el histograma de los pedidos de 2 operaciones presenta mayor repetitividad en valores bastante cercanos a cero mientras que en los pedidos que contemplaron 7 operaciones diferentes, se evidencia un salto, presentando las frecuencias mas altas en valores cercanos a 20 unidades de tiempo.

Por otra parte y evaluando las gráficas obtenidas por conjunto de pedidos de acuerdo a su número de operaciones, se puede evidenciar que los valores que toma el eje X para la media exponencial 0.80 (columna de la izquierda), es mucho mayor que para la media exponenciaio 1.00 (columna de la derecha). Esto muestra una relación directa entre el tiempo de permanencia de un pedido dentro del sistema y el ritmo de llegada de las ordenes de pedidos.

## 8. SEGUNDO ESCENARIO DE EXPERIMENTACIÓN

Como se explicó en el numeral 4.1.2. de este trabajo, una de las desventajas de mantener un Stock es el costo que esto tiene y la afectación directa al flujo de caja de una empresa, es por esta razón que teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el numeral 7.1.1. se plantea la hipótesis de cuán conveniente sería tener un control sobre el nivel de Stock máximo en situaciones donde se espera que el nivel del funcionamiento de la máquina sea mayor, teniendo en cuenta que se podría generar un stock sobredimensionado.

Para evaluar el nivel de afectación de la limitación del Stock sobre esta simulación, se va a evaluar el primer escenario donde la media exponencial de las llegadas de pedidos era de 0.80, siendo éste el escenario en el que mayor número de pedidos fueron entregados con demoras.

Teniendo en cuenta que el número máximo de unidades en Stock dentro del sistema en las 30 réplicas realizadas para este caso de estudio fue de 72, se evaluó el funcionamiento del sistema para el 35%, 45% y 55% de este valor, es decir que limitación de Stock contemplada fue de 25 unidades, 32 unidades y 40 unidades.

### 8.1. Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos sugieren que las limitaciones de Stock en este caso, pueden resultar contraproducentes y que en la medida que el nivel de Stock máximo permitido sea menor, mayor afectación tendrá sobre el nivel de cumplimiento de los pedidos. De esta manera se puede inferir que la hipótesis planteada en la introducción de éste capítulo, se podría desestimar.

En la siguiente tabla se muestran los datos que permiten evidenciar, que para las muestras tomadas en este trabajo, no es favorable mantener una limitación del buffer.

Tabla 10 - Resultados generales del segundo escenario de simulación al 70% – Experimentación II.

Nivel Máx. de Stock	Nº Pedidos Procesados	Nº Pedidos Retrasados	T. medio en Cola Mq1	% Ocupación Mq 1
	Datos medios en el primer escenario de experimentación			
	12469	1671	15,989	69,6%
25	12442	3183	29,330	69,6%
32	12450	2812	31,629	69,5%
40	12419	1841	20,645	69,3%

## 8.2. Evaluación alternativa

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos al realizar la limitación del buffer manteniendo las condiciones iniciales del sistema planteado, se decide evaluar paralelamente el comportamiento de la simulación aumentando el porcentaje de utilización permitido para la maquina 1 del 70% al 80%, con el fin de darle mas holgura al momento de procesar las ordenes MTO pero controlando la producción de las MTS mediante la limitación del Buffer. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 11 - Resultados generales del segundo escenario de simulación al 80% – Experimentación II.

Nivel Máx. de Stock	Nº Pedidos Procesados	Nº Pedidos Retrasados	T. medio en Cola Mq1	% Ocupación Mq 1
	Datos medios en el primer escenario de experimentación			
	12469	1671	15,989	69,6%
25	12462	3	1,455	69,6%
32	12528	4	1,447	70,1%
40	12484	3	1,412	69,7%

Con estos resultados se puede inferir que la flexibilidad otorgada a la máquina 1 al momento de procesar las ordenes de producción MTO genera un resultado considerablemente positivo ya que, aunque el porcentaje de utilización de la maquina 1 continua siendo bastante similar al de los casos anteriores, el porcentaje de pedidos retrasados ha disminuido considerablemente. Según las replicas realizadas, este cambio se debe a que se presenta menos acumulación de pedidos en la cola de la maquina número 1, disminuyendo el tiempo de espera en la misma y por lo tanto, liberando mas rápido los pedidos de la fase I de producción hacia la fase II

### 8.2.1. Resultados Obtenidos

A continuación se presentan los resultados de los dos escenarios planteados en este capítulo.

Estudio del comportamiento mediante simulación de un sistema productivo híbrido MTO/FTO

- Limitación de Stock = 25 unidades - Media Exponencial = 0.80

- Rendimiento máximo permitido de Máquina 1 = 70%

Tabla 12 - Resultados Experimentación II: Stock Max. = 25 (70%)

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12602	1	180	5,235	4,2	0,858	0,142	5,299	7,727	10,02	12,579	14,238	17,087	0,068	0,026	0,005	0	0	0	0,8	0,793	0,793	23,7	26	0,7	0,65	4,009	1,392
2	12380	20	70	4,87	3,426	0,841	0,159	4,205	6,245	8,481	10,651	12,566	14,889	0,029	0,009	0,003	0	0	0	0,8	0,807	0,808	19,3	21	0,69	0,63	2,428	1,247
3	12336	26	47	2,999	2,533	0,839	0,161	4,064	6,333	8,416	10,92	12,908	15,149	0,02	0,006	0,001	0	0	0	0,8	0,81	0,811	24	26	0,68	0,63	2,269	1,276
4	12285	20	190	6,239	4,523	0,853	0,147	5,454	7,321	9,562	11,565	13,766	15,685	0,068	0,034	0,005	0,001	0	0	0,8	0,813	0,814	19,6	22	0,69	0,64	4,020	1,221
5	12460	1	7036	51,852	30,052	0,943	0,057	51,178	55,583	58,032	59,578	63,328	66,741	0,647	0,656	0,633	0,579	0,555	0,525	0,8	0,799	0,803	16,6	21	0,7	0,7	65,224	1,610
6	12465	3	2	0,853	0,789	0,856	0,144	3,624	5,923	7,881	10,121	12,3	14,424	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,801	0,802	2,3	3	0,7	0,64	1,509	1,277
7	12490	19	5140	25,566	18,632	0,942	0,058	30,975	32,516	35,674	38,141	40,805	43,735	0,632	0,551	0,494	0,387	0,303	0,247	0,8	0,801	0,801	16,5	26	0,7	0,69	35,859	1,611
8	12470	1	9831	46,078	25,876	0,995	0,005	64,901	67,922	69,341	71,973	74,982	77,649	0,926	0,861	0,808	0,77	0,719	0,673	0,8	0,795	0,802	9,2	19	0,7	0,72	77,313	1,702
9	12407	2	3757	26,409	19,434	0,953	0,047	23,8	25,935	29,105	31,982	33,4	36,703	0,466	0,415	0,363	0,28	0,203	0,176	0,8	0,805	0,806	1,5	2	0,7	0,69	28,762	1,591
10	12369	12	199	6,355	5,246	0,858	0,142	4,759	7,194	9,332	11,396	13,54	15,681	0,058	0,037	0,012	0,004	0,001	0,001	0,8	0,808	0,808	10,9	12	0,68	0,64	3,429	1,289
11	12351	19	4479	20,036	16,313	0,937	0,063	25,58	29,443	31,448	34,186	36,126	38,717	0,624	0,556	0,411	0,321	0,243	0,16	0,8	0,809	0,81	21,3	27	0,7	0,68	30,472	1,537
12	12424	1	7800	36,792	23,603	0,979	0,021	47,368	50,779	53,214	55,296	59,04	60,767	0,771	0,715	0,653	0,609	0,585	0,518	0,8	0,793	0,805	8,9	23	0,7	0,71	57,053	1,701
13	12393	1	10611	61,911	31,588	0,995	0,005	82,254	83,353	86,642	91,115	93,119	95,121	0,937	0,879	0,855	0,851	0,828	0,808	0,8	0,804	0,807	11,2	20	0,7	0,71	98,949	1,543
14	12460	25	812	18,768	13,59	0,856	0,144	8,807	10,593	12,608	14,529	17,187	19,447	0,151	0,093	0,064	0,05	0,056	0,043	0,8	0,801	0,802	25,3	27	0,69	0,65	8,279	1,338
15	12497	12	373	8,136	7,016	0,872	0,128	6,836	9,043	11,395	13,923	15,816	17,919	0,113	0,059	0,025	0,012	0,002	0	0,8	0,8	9,9	12	0,7	0,66	5,776	1,362	
PROMEDIO	12442,133	10,067	3183,200	22,119	13,030	0,900	0,100	25,471	27,853	30,224	32,728	34,966	37,354	0,339	0,303	0,272	0,245	0,220	0,199	0,800	0,801	0,804	12,433	16,233	0,696	0,668	29,330	1,445
DESV, EST	89,234	8,702	4095,226	26,606	12,466	0,061	0,061	32,897	32,927	33,248	33,640	33,741	33,843	0,369	0,358	0,346	0,332	0,312	0,292	0,000	0,007	0,006	7,126	7,977	0,006	0,034	41,198	0,185

- Rendimiento máximo permitido de Máquina 1 = 80%

Tabla 13 - Resultados Experimentación II: Stock Max. = 25 (80%)

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12709	8	4	7,186	3,328	0,835	0,165	3,637	5,772	7,987	10,279	12,248	14,318	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,786	0,787	6,9	8	0,72	0,64	1,435	1,311
2	12513	18	1	3,591	0	0,833	0,167	3,467	5,798	7,8	9,886	12,216	14,271	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,799	0,799	17,8	19	0,69	0,64	1,315	1,272
3	12521	2	8	2,885	1,915	0,893	0,107	3,82	6,338	8,784	11,008	13,23	16,101	0,003	0,001	0	0	0	0	0,8	0,798	0,799	1,5	2	0,69	0,67	1,640	1,494
4	12316	4	3	2,357	1,629	0,85	0,15	3,653	5,895	7,991	10,197	12,435	14,518	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,811	0,812	3,1	4	0,69	0,63	1,532	1,278
5	12396	12	0	nan	nan	0,835	0,165	3,482	5,575	7,805	9,78	12,031	13,794	0	0	0	0	0	0	0,8	0,806	0,807	10,8	12	0,69	0,63	1,345	1,232
6	12490	5	1	1,065	0	0,84	0,16	3,454	5,762	7,759	10,022	12,343	14,383	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,799	0,801	4	5	0,7	0,64	1,396	1,246
7	12548	4	5	3,282	2,261	0,844	0,156	3,652	5,833	8,079	10,265	12,664	14,547	0,003	0	0	0	0	0	0,8	0,797	0,797	3,1	4	0,7	0,64	1,467	1,332
8	12276	4	1	0,724	0	0,841	0,159	3,59	5,695	7,855	10,042	12,253	14,571	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,814	0,815	4	5	0,69	0,63	1,332	1,269
9	12321	6	3	0,438	0,524	0,837	0,163	3,533	5,625	7,895	9,993	12,085	14,112	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,811	0,812	4,9	6	0,69	0,63	1,362	1,259
10	12406	7	2	0,782	0,245	0,842	0,158	3,676	5,846	8,244	10,448	12,764	14,898	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,805	0,806	6	7	0,69	0,64	1,396	1,365
11	12540	5	5	0,339	0,194	0,842	0,158	3,609	5,846	8,152	10,302	12,399	14,694	0,002	0,001	0,001	0	0	0	0,8	0,797	0,797	4	5	0,7	0,64	1,446	1,335
12	12419	2	3	1,859	0,735	0,891	0,109	3,847	6,25	8,383	10,893	12,976	15,597	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,805	0,805	1,5	2	0,7	0,66	1,679	1,432
13	12461	7	1	0,496	0	0,838	0,162	3,724	5,979	8,025	10,165	12,639	14,608	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,802	0,802	6,8	8	0,69	0,64	1,454	1,294
14	12504	3	2	4,686	0,494	0,853	0,147	3,61	5,902	8,419	10,381	12,725	15,079	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,799	0,8	2,2	3	0,7	0,65	1,527	1,328
15	12514	9	1	2,438	0	0,853	0,147	3,74	6,009	8,343	10,707	12,985	15,038	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,799	0,799	7,9	9	0,7	0,65	1,497	1,404
PROMEDIO	12462,267	6,400	2,667	2,295	0,809	0,848	0,152	3,633	5,875	8,101	10,291	12,533	14,702	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	0,802	0,803	5,633	6,600	0,696	0,642	0,727	1,323
DESV, EST	110,504	4,205	2,127	1,954	1,056	0,019	0,019	0,119	0,207	0,288	0,354	0,357	0,582	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,007	4,228	4,388	0,008	0,011	0,744	0,074

- Limitación de Stock = 32 unidades - Media Exponencial = 0.80

- Rendimiento máximo permitido de Máquina 1 = 70%

Tabla 14 - Resultados Experimentación II: Stock Max. = 32 (70%)

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanenci a - 2 Procesos	T Medio Permanenci a - 3 Procesos	T Medio Permanenci a - 4 Procesos	T Medio Permanenci a - 5 Procesos	T Medio Permanenci a - 6 Procesos	T Medio Permanenci a - 7 Procesos	% Retrasos - 2 procesos	% Retrasos - 3 procesos	% Retrasos - 4 procesos	% Retrasos - 5 procesos	% Retrasos - 6 procesos	% Retrasos - 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12592	1	918	13,542	10,201	0,876	0,124	9,042	11,264	13,86	15,627	17,921	20,444	0,17	0,127	0,101	0,051	0,036	0,015	0,8	0,794	0,794	18,2	21	0,7	0,66	8,958	1,372
2	12468	1	6367	34,697	19,219	0,943	0,057	38,916	42	43,445	48,579	48,725	52,33	0,641	0,602	0,539	0,551	0,476	0,436	0,8	0,798	0,802	5,9	7	0,7	0,68	49,033	1,537
3	12381	9	21	3,085	2,371	0,834	0,166	3,743	6,059	8,066	10,36	12,596	14,669	0,009	0,003	0	0	0	0	0,8	0,807	0,808	7,8	9	0,69	0,63	1,833	1,258
4	12430	7	1010	13,223	9,752	0,873	0,127	8,625	11,774	13,995	15,889	18,418	20,636	0,169	0,147	0,102	0,066	0,046	0,027	0,8	0,804	0,805	5,8	7	0,69	0,65	9,478	1,359
5	12618	1	7424	48,581	35,608	0,982	0,018	53,407	55,598	59,215	61,486	63,856	65,411	0,814	0,711	0,618	0,557	0,475	0,416	0,8	0,783	0,793	9,1	27	0,7	0,71	64,830	1,632
6	12435	1	1814	11,78	8,565	0,917	0,083	13,234	16,003	18,081	21,258	23,11	25,428	0,346	0,224	0,18	0,125	0,06	0,013	0,8	0,803	0,804	3,1	4	0,7	0,67	14,589	1,534
7	12507	29	1724	13,183	10,118	0,891	0,109	13,435	15,295	18,086	20,101	22,136	24,84	0,332	0,218	0,166	0,107	0,061	0,033	0,8	0,799	0,8	23,5	31	0,7	0,67	14,005	1,413
8	12381	34	1748	20,599	16,465	0,885	0,115	13,783	16,11	18,889	19,769	22,682	25,486	0,284	0,234	0,174	0,113	0,088	0,064	0,8	0,807	0,808	30,4	34	0,69	0,66	15,347	1,460
9	12372	10	170	6,831	4,697	0,85	0,15	4,802	6,927	9,191	11,606	13,543	15,897	0,058	0,031	0,006	0,002	0	0	0,8	0,808	0,808	8,8	10	0,68	0,64	3,192	1,319
10	12593	1	3685	21,634	16,131	0,93	0,07	22,845	25,271	27,241	30,193	32,862	34,124	0,486	0,399	0,346	0,303	0,217	0,136	0,8	0,792	0,794	7,9	10	0,7	0,69	26,603	1,542
11	12473	12	5312	26,016	19,253	0,943	0,057	30,893	32,951	36,156	38,171	40,349	43,51	0,599	0,571	0,517	0,426	0,329	0,263	0,8	0,801	0,802	10,3	12	0,7	0,69	37,254	1,534
12	12454	33	279	7,362	5,556	0,853	0,147	6,129	8,483	10,646	12,662	14,863	17,389	0,085	0,047	0,024	0,003	0	0	0,8	0,802	0,803	29	33	0,69	0,65	4,980	1,300
13	12317	1	11248	58,573	56,68	0,997	0,003	176,105	177,715	182,883	187,417	185,675	187,417	0,949	0,939	0,928	0,915	0,899	0,869	0,8	0,793	0,812	6,4	11	0,7	0,71	217,694	1,602
14	12348	4	0	nan	nan	0,844	0,156	3,423	5,541	7,945	9,995	11,945	13,947	0	0	0	0	0	0	0,8	0,81	0,81	3,1	4	0,69	0,63	1,326	1,241
15	12380	32	458	10,578	8,209	0,86	0,14	6,416	8,524	10,693	13,124	15,081	18,129	0,098	0,072	0,047	0,032	0,008	0,002	0,8	0,807	0,808	30,5	33	0,69	0,65	5,313	1,355
PROMEDIO	12449,933	11,733	2811,867	27,835	15,916	0,899	0,101	26,987	29,301	31,702	34,114	36,367	38,528	0,336	0,288	0,250	0,217	0,180	0,152	0,800	0,801	0,803	13,320	16,867	0,695	0,666	15,815	1,430
DESV, EST	93,419	13,204	3347,362	39,541	14,428	0,051	0,051	43,721	43,555	43,628	43,848	44,383	43,371	0,300	0,291	0,280	0,276	0,261	0,249	0,000	0,007	0,006	10,127	11,569	0,006	0,026	41,303	0,127

- Rendimiento máximo permitido de Máquina 1 = 80%

Tabla 15 - Resultados Experimentación II: Stock Max. = 32 (80%)

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESV EST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanenci a - 2 Procesos	T Medio Permanenci a - 3 Procesos	T Medio Permanenci a - 4 Procesos	T Medio Permanenci a - 5 Procesos	T Medio Permanenci a - 6 Procesos	T Medio Permanenci a - 7 Procesos	% Retrasos - 2 procesos	% Retrasos - 3 procesos	% Retrasos - 4 procesos	% Retrasos - 5 procesos	% Retrasos - 6 procesos	% Retrasos - 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12682	14	4	2,132	1,704	0,837	0,163	3,674	5,873	8,444	10,787	13,141	15,352	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,788	0,789	13,8	15	0,71	0,65	1,453	1,419
2	12441	9	3	1,05	0,087	0,836	0,164	3,424	5,668	7,605	10,054	12,005	14,33	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,803	0,804	7,9	9	0,69	0,63	1,346	1,248
3	12389	14	7	1,229	1,056	0,858	0,142	3,602	5,784	8,163	10,462	12,667	14,741	0,004	0	0	0	0	0	0,8	0,807	0,807	12,8	14	0,7	0,64	1,425	1,374
4	12417	5	3	2,018	1,69	0,836	0,164	3,491	5,53	7,828	10,069	12,069	14,164	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,804	0,805	13,8	15	0,7	0,63	1,327	1,264
5	12586	11	1	0,305	0	0,83	0,17	3,543	5,674	7,912	10,113	12,116	14,412	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,793	0,795	12,7	14	0,7	0,64	1,319	1,321
6	12456	2	4	2,257	1,27	0,897	0,103	3,849	6,362	8,708	11,177	13,2	16,006	0,002	0,001	0	0	0	0	0,8	0,801	0,803	1,5	2	0,7	0,66	1,774	1,503
7	12614	4	1	0,221	0	0,84	0,16	3,631	5,823	8,104	10,392	12,471	14,566	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,792	0,793	4	5	0,71	0,65	1,441	1,313
8	12681	28	1	2,056	0	0,832	0,168	3,629	5,878	8,028	10,173	12,344	14,442	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,788	0,788	26,5	28	0,71	0,65	1,397	1,326
9	12631	9	3	0,493	0,377	0,852	0,148	3,522	5,87	8,032	10,221	12,61	14,687	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,791	0,792	7,9	9	0,71	0,65	1,423	1,346
10	12488	5	2	3,172	2,134	0,839	0,161	3,487	5,674	8,08	10,119	12,36	14,766	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,8	0,801	4	5	0,69	0,63	1,365	1,311
11	12530	2	3	0,565	0,433	0,84	0,16	3,63	5,804	8,062	10,291	12,427	14,646	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,797	0,798	3,1	4	0,7	0,63	1,397	1,335
12	12478	2	3	2,935	2,08	0,89	0,11	3,823	6,204	8,598	10,906	13,197	15,802	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,801	0,801	1,5	2	0,7	0,66	1,642	1,461
13	12608	3	2	1,52	1,452	0,86	0,14	3,678	5,99	8,273	10,504	12,61	14,9	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,793	0,793	2,3	3	0,7	0,65	1,547	1,333
14	12435	6	13	2,784	3,233	0,835	0,165	3,573	5,753	8,291	10,502	12,897	15,217	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	0	0,8	0,803	0,804	6	7	0,69	0,64	1,315	1,412
15	12484	4	3	1,445	1,149	0,847	0,153	3,579	5,739	7,925	10,179	12,251	14,425	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0,8	0,801	0,801	3,1	4	0,7	0,63	1,529	1,245
PROMEDIO	12528,000	7,867	3,533	1,612	1,111	0,849	0,151	3,609	5,842	8,137	10,397	12,558	14,830	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	0,797	0,798	8,060	9,067	0,701	0,643	0,723	1,347
DESV, EST	97,826	6,917	3,021	0,967	0,966	0,020	0,020	0,117	0,213	0,291	0,335	0,400	0,539	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	6,843	7,086	0,007	0,011	0,741	0,075

- Limitación de Stock = 40 unidades - Media Exponencial = 0.80

- Rendimiento máximo permitido de Máquina 1 = 70%

Tabla 16 - Resultados Experimentación II: Stock Max. = 40 (70%)

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESVEST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12363	3	3	0,859	0,794	0,845	0,155	3,481	5,619	7,906	10,145	12,315	14,192	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,808	0,809	3,1	4	0,69	0,63	1,515	1,257
2	12458	29	997	10,022	7,749	0,87	0,13	9,452	12,308	14,177	16,446	19,614	21,285	0,208	0,174	0,09	0,041	0,022	0,014	0,8	0,802	0,802	23,1	29	0,7	0,65	9,688	1,397
3	12473	14	0	nan	nan	0,836	0,164	3,428	5,518	7,742	9,868	11,957	14,253	0	0	0	0	0	0	0,8	0,801	0,802	12,9	14	0,69	0,63	1,275	1,257
4	12576	25	1436	9,703	7,901	0,901	0,099	13,101	14,942	17,688	19,791	22,313	24,663	0,329	0,214	0,139	0,049	0,018	0,005	0,8	0,795	0,795	17,4	26	0,7	0,68	12,809	1,471
5	12568	11	1	2,473	0	0,837	0,163	3,516	5,693	7,839	10,136	12,206	14,513	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,795	0,796	9,9	11	0,69	0,64	1,440	1,283
6	12455	1	733	10,072	7,215	0,862	0,138	8,002	10,325	12,869	15,381	16,741	19,46	0,164	0,117	0,076	0,04	0,014	0,002	0,8	0,801	0,803	16,7	19	0,7	0,66	7,508	1,374
7	12381	15	1073	14,482	10,954	0,877	0,123	9,985	11,856	14,383	16,576	18,637	21,212	0,183	0,127	0,113	0,085	0,062	0,02	0,8	0,807	0,808	12,9	15	0,69	0,65	10,007	1,364
8	12426	1	9008	26,256	19,361	0,998	0,002	46,606	48,749	52	55,344	56,356	60,687	0,908	0,847	0,813	0,723	0,604	0,475	0,8	0,794	0,805	4,5	10	0,7	0,72	55,431	1,761
9	12355	41	36	4	3,062	0,841	0,159	3,791	5,98	8,217	10,362	12,598	14,629	0,017	0,004	0	0	0	0	0,8	0,809	0,809	39,4	41	0,69	0,64	1,792	1,253
10	12288	3	20	1,779	1,494	0,862	0,138	3,905	6,009	8,288	10,608	12,81	14,812	0,012	0	0	0	0	0	0,8	0,813	0,814	2,2	3	0,69	0,64	1,924	1,292
11	12459	12	1591	15,766	12,422	0,887	0,113	12,575	14,372	16,624	19,701	20,866	24,061	0,283	0,212	0,144	0,115	0,059	0,054	0,8	0,802	0,803	11,3	13	0,7	0,66	13,256	1,396
12	12428	1	11878	120,125	45,185	0,999	0,001	146,494	146,642	151,072	152,681	158,616	157,899	0,979	0,968	0,958	0,943	0,957	0,937	0,8	0,791	0,805	2,7	4	0,7	0,71	180,461	1,640
13	12372	20	828	7,109	5,31	0,896	0,104	10,02	12,668	14,719	17,102	19,233	21,784	0,245	0,148	0,049	0,01	0,001	0	0,8	0,808	0,808	14,5	20	0,7	0,66	9,900	1,373
14	12401	10	3	0,82	0,305	0,832	0,168	3,494	5,602	7,875	9,985	12,079	14,325	0,001	0,001	0	0	0	0	0,8	0,805	0,806	9,9	11	0,69	0,64	1,314	1,262
15	12283	11	1	0,529	0	0,832	0,168	3,495	5,631	7,703	9,842	12,162	14,209	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,813	0,814	11,9	13	0,69	0,63	1,361	1,241
PROMEDIO DESV, EST	12419,067 85,012	13,133 11,612	1840,533 3579,513	16,000 30,844	8,697 11,920	0,878 0,054	0,122 0,054	18,756 36,964	20,794 36,462	23,273 37,055	25,598 36,955	27,900 37,829	30,092 37,185	0,222 0,316	0,187 0,305	0,159 0,301	0,134 0,289	0,116 0,279	0,100 0,261	0,800 0,000	0,803 0,007	0,805 0,005	12,827 9,450	15,533 10,288	0,695 0,005	0,656 0,028	10,323 33,808	1,375 0,151

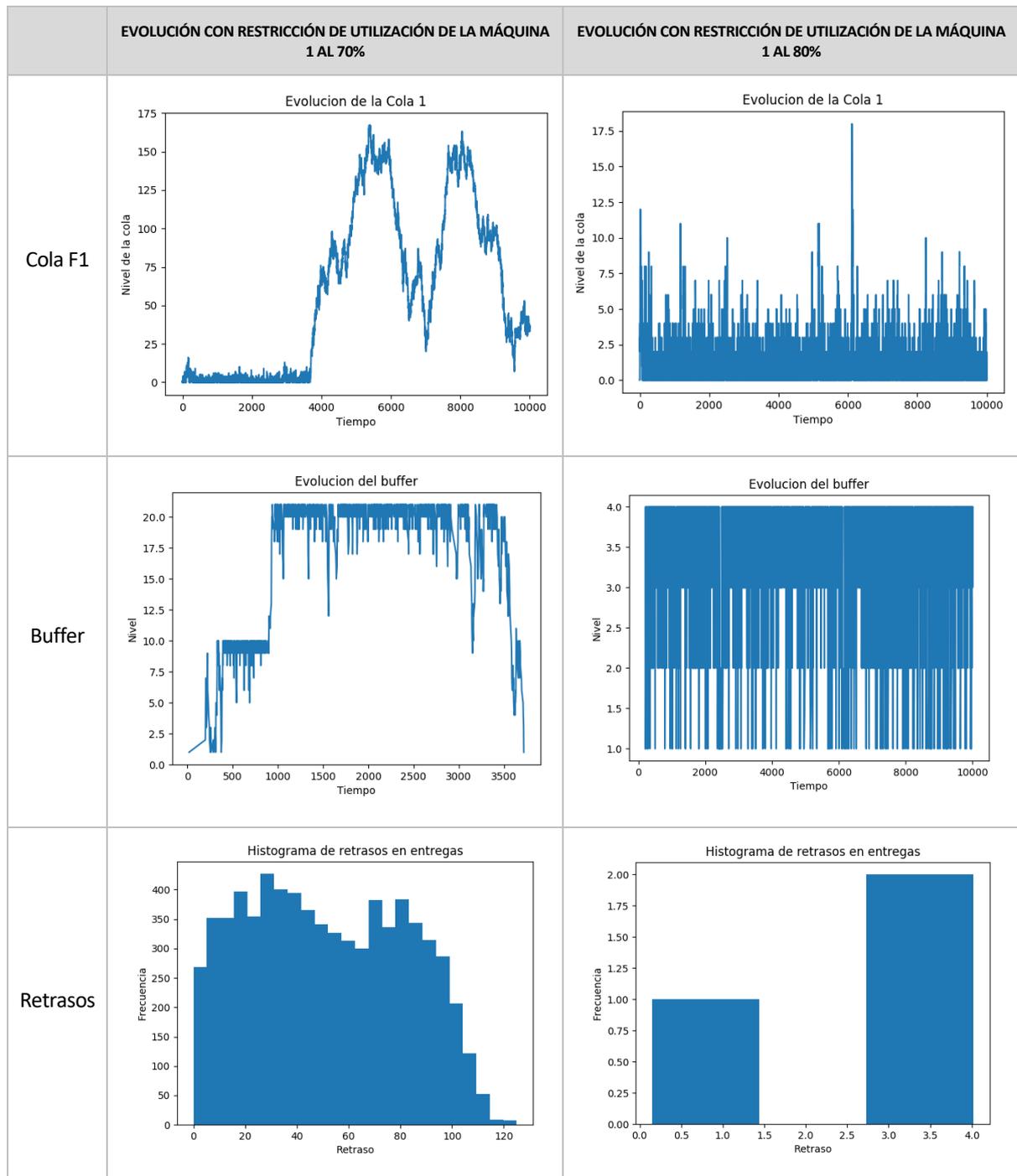
- Rendimiento máximo permitido de Máquina 1 = 80%

Tabla 17 - Resultados Experimentación II: Stock Max. = 40 (80%)

REPLICA	N DE ORDENES PROCESADAS	UNIDADES EN BUFFER	PEDIDOS RETRASADOS	MEDIA DE RETRASOS	DESVEST DE RETRASOS	% MTO en MQ1	% MTS MQ1	T Medio Permanencia - 2 Procesos	T Medio Permanencia - 3 Procesos	T Medio Permanencia - 4 Procesos	T Medio Permanencia - 5 Procesos	T Medio Permanencia - 6 Procesos	T Medio Permanencia - 7 Procesos	% Retrasos 2 procesos	% Retrasos 3 procesos	% Retrasos 4 procesos	% Retrasos 5 procesos	% Retrasos 6 procesos	% Retrasos 7 procesos	Parámetro T, Llegada	T, Llegada Real	T- Salida Real	Buffer Medio	Buffer Máximo	Ocupación media MQ1	Ocupación Media F 2	Cola media MQ1	Cola media MQ2
1	12673	25	3	2,15	1,299	0,838	0,162	3,643	5,948	8,154	10,65	12,745	14,842	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,788	0,789	23,7	25	0,71	0,65	1,398	1,360
2	12443	10	2	0,624	0,112	0,839	0,161	3,473	5,65	7,751	10,089	12,073	14,536	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,803	0,804	9	10	0,69	0,63	1,347	1,268
3	12276	2	8	1,909	1,605	0,857	0,143	3,685	5,983	8,253	10,655	12,94	15,3	0,003	0,001	0	0	0	0	0,8	0,814	0,815	2,3	3	0,69	0,63	1,572	1,403
4	12598	3	4	1,945	1,021	0,848	0,152	3,731	5,976	8,088	10,449	12,852	15,01	0,002	0	0	0	0	0	0,8	0,793	0,794	3,1	4	0,7	0,65	1,495	1,357
5	12273	5	8	1,739	1,179	0,848	0,152	3,555	5,855	7,734	9,899	12,107	14,208	0,004	0,001	0	0	0	0	0,8	0,814	0,815	4	5	0,68	0,63	1,378	1,272
6	12737	19	2	1,738	0,3	0,828	0,172	3,661	5,849	7,996	10,219	12,477	14,669	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,785	0,785	17,6	19	0,71	0,64	1,421	1,318
7	12370	11	0	nan	nan	0,839	0,161	3,506	5,73	7,714	9,904	12,144	14,3	0	0	0	0	0	0	0,8	0,808	0,808	9,7	11	0,69	0,63	1,312	1,239
8	12395	4	1	1,152	0	0,845	0,155	3,558	5,789	7,865	10,101	12,226	14,761	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,806	0,807	3,1	4	0,69	0,63	1,377	1,295
9	12371	7	0	nan	nan	0,842	0,158	3,5	5,553	7,667	9,937	11,649	13,917	0	0	0	0	0	0	0,8	0,808	0,808	5,9	7	0,69	0,62	1,379	1,207
10	12578	10	0	nan	nan	0,836	0,164	3,522	5,656	7,808	9,977	12,008	14,166	0	0	0	0	0	0	0,8	0,794	0,795	8,9	10	0,7	0,64	1,328	1,267
11	12401	14	6	2,131	1,409	0,833	0,167	3,596	5,842	8,156	10,203	12,472	14,604	0,004	0	0	0	0	0	0,8	0,806	0,806	12,8	14	0,7	0,63	1,385	1,283
12	12435	7	5	1,668	1,425	0,839	0,161	3,661	5,995	7,983	10,363	12,745	15,149	0,002	0,001	0	0	0	0	0,8	0,803	0,804	10,8	12	0,7	0,64	1,424	1,360
13	12658	3	1	2,279	0	0,861	0,139	3,755	6,038	8,671	10,925	13,363	15,446	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,789	0,79	2,2	3	0,7	0,66	1,556	1,477
14	12674	1	1	0,424	0	0,845	0,155	3,633	5,67	8,151	10,035	12,182	14,316	0	0,001	0	0	0	0	0,8	0,788	0,789	3,1	4	0,71	0,65	1,473	1,304
15	12377	18	2	0,841	0,016	0,831	0,169	3,462	5,606	7,945	9,882	12,322	14,315	0,001	0	0	0	0	0	0,8	0,807	0,808	16,8	18	0,69	0,63	1,328	1,290
PROMEDIO DESV, EST	12483,933 153,955	9,267 7,076	2,867 2,748	1,550 0,631	0,697 0,673	0,842 0,009	0,158 0,009	3,596 0,094	5,809 0,158	7,996 0,264	10,219 0,324	12,420 0,441	14,636 0,448	0,001 0,001	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,800 0,000	0,800 0,010	0,801 0,010	8,867 6,541	9,933 6,713	0,697 0,009	0,637 0,011	0,706 0,720	1,313 0,069

Para el análisis de los resultados se tendrán en cuenta solamente los escenarios con limitación de Stock 20 unidades, teniendo en cuenta que éste fue el caso mas crítico en donde se acumularon un promedio de 3183 pedidos retrasados.

Tabla 18 - Gráficos del Segundo Escenario de Experimentación – Experimentación II.



Evaluando los resultados obtenidos en esta segunda fase experimental, se evidencia la gran importancia de controlar la capacidad de trabajo de los recursos, principalmente de aquellos que marcan el ritmo de trabajo y donde es más probable que se presenten cuellos de botella. Con estos resultados se evidencia que dando un poco

mas de holgura a la máquina 1, se logran mejoras significativas dentro del sistema tales como disminución notable de los pedidos entregados con retrasos y disminución de los tiempos medios de espera en la cola de la máquina 1, todo ello, mientras se mantienen constantes los niveles de stock máximos.

En cuando a la evolución del buffer, se presenta una variación significativa, en donde a pesar de tener el mismo valor límite en los dos escenarios, el nivel máximo alcanzado en la experimentación propuesta en el numeral 8.2., fue de tan solo 4 unidades, lo que podría significar que aunque para otro tipo de estudio que genere una continuación a este trabajo, se podría tener en cuenta el escenario del aumento de la capacidad del primer recurso con un stock mas controlado y evaluar como se comportaría el sistema.

## 9. CONCLUSIONES

---

Después de haber analizado los resultados y evaluado los comportamientos del sistema al hacer las variaciones propuestas, se puede concluir que para un sistema como el propuesto por (Fernandes, Silva and Carmo-Silva, 2015b), en donde se cuenta con un solo recurso que alimenta tanto un buffer como una segunda fase de producción, se deben controlar ciertos aspectos que van a influir directamente en el nivel de cumplimiento esperado con el cliente, y que el control de estos valores, puede llegar a ser determinante al momento de plantear soluciones que permitan mejorar el rendimiento del sistema.

Los datos sobre los que se sugiere tener control son:

- Nivel de utilización del recurso, y por tanto la capacidad instalada del sistema.
- Niveles de stock del buffer intermedio.

De acuerdo a los datos obtenidos en las diferentes fases de experimentación, se puede sugerir que los datos de ocupación de los recursos pertenecientes a la segunda fase de producción, aunque importantes, no representan un factor crítico que pueda llegar a marcar la diferencia en el ritmo de entrega de pedidos.

Por otra parte, se pudo evidenciar que tal como está diseñado el actual sistema, cuando disminuye la media exponencial de llegada de pedidos, se presenta una acumulación exponencial en la cola de la máquina uno, al igual que un buffer que tiende a cero ya que la misma carga de la primera máquina no permite que se produzcan órdenes MTS. Es por esta razón que como línea de ampliación de este trabajo, se sugiere evaluar el sistema con medias de llegada más bajas y aumentando la capacidad de la primera fase de producción.

Otra línea de trabajo sugerida, podría ser evaluar el comportamiento del sistema con un buffer inicial del valor objetivo o máximo esperado, y no en cero tal como ha sido simulado en este trabajo.

## REFERENCIAS

---

- (L.Pointal) (2019) *Python 3 Cheat Sheet*. Available at: <https://perso.limsi.fr/pointal/python:memento> (Accessed: 19 October 2019).
- Amaro, G., Hendry, L., Kingsman, B. (1999) ‘Competitive advantage, customization and a new taxonomy for non make-to-stock companies, *International Journal of Operations and Production Management*’, (Vol. 19 N.4), pp. 349-371.
- Beemsterboer, B. *et al.* (2017) ‘Integrating make-to-order and make-to-stock in job shop control’, *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 185(March 2016), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.ijpe.2016.12.015.
- Cheng, T. C. E. (1987) ‘Optimal total-work-content-power due-date determination and sequencing’, *Computers and Mathematics with Applications*. doi: 10.1016/0898-1221(87)90184-2.
- Cokelaer, T. (2014) *Strings — Python Notes*. Available at: <http://www.thomas-cokelaer.info/tutorials/python/strings.html> (Accessed: 26 October 2019).
- Covantec, R. L. (2018) 5.6. *Funciones integradas — Materiales del entrenamiento de programación en Python - Nivel básico*. Available at: [https://entrenamiento-python-basico.readthedocs.io/es/latest/leccion5/funciones\\_integradas.html#python-fun-builtins](https://entrenamiento-python-basico.readthedocs.io/es/latest/leccion5/funciones_integradas.html#python-fun-builtins) (Accessed: 26 October 2019).
- Ellabban, A. and Abdelmaguid, T. (2019) ‘Optimized Production Control Policy for Hybrid MTS-MTO Glass Tube Manufacturing Using Simulation-Based Optimization’, *Proceedings of 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management, ICITM 2019*. IEEE, pp. 252–256. doi: 10.1109/ICITM.2019.8710652.
- Elmehanny, A. M., Abdelmaguid, T. F. and Eltawil, A. B. (2019) ‘Optimizing Production and Inventory Decisions for Mixed Make-to-order/Make-to-stock Ready-made Garment Industry’, *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. IEEE, 2019-Decem, pp. 1913–1917. doi: 10.1109/IEEM.2018.8607516.
- Fernandes, N. O., Silva, C. and Carmo-Silva, S. (2015a) ‘Order release in the hybrid MTO-FTO production’, *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 170, pp. 513–520. doi: 10.1016/j.ijpe.2015.03.025.
- Fernandes, N. O., Silva, C. and Carmo-Silva, S. (2015b) ‘Order release in the hybrid MTO-FTO production’, *International Journal of Production Economics*. doi: 10.1016/j.ijpe.2015.03.025.
- Gonzalez-R, P. L., Calle, M. and Andrade-Pineda, J. L. (2018) ‘Job shop management of products under internal lifespan and external due date’, *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis, 56(16), pp. 5457–5474. doi: 10.1080/00207543.2018.1430908.

- Grant, N. S. F. and Kaminsky, P. M. (2006) 'MTO-MTS Production Systems in Supply Chains'.
- Guillaume, R., Grabot, B. and Thierry, C. (2013) 'Management of the risk of backorders in a MTO-ATO/MTS context under imperfect requirements', *Applied Mathematical Modelling*. Elsevier Inc., 37(16–17), pp. 8060–8078. doi: 10.1016/j.apm.2013.03.019.
- Kerkkänen, A. (2007) 'Determining semi-finished products to be stocked when changing the MTS-MTO policy: Case of a steel mill', *International Journal of Production Economics*, 108(1–2), pp. 111–118. doi: 10.1016/j.ijpe.2006.12.006.
- 'Los 10 lenguajes de programación más usados en 2019 | Tecnología | Gestión' (2019). Available at: <https://gestion.pe/tecnologia/lenguajes-programacion-usados-actualidad-java-javascript-nnda-nnlt-252086-noticia/> (Accessed: 16 October 2019).
- De Moraes, M. L. *et al.* (2018) 'PROPOSTA DE ALTERAÇÃO NA ESTRATÉGIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA (MTO) PARA MONTAGEM POR ENCOMENDA (ATO) EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA', pp. 1–27.
- Pinho, T. M., Coelho, J. P. and Boaventura-Cunha, J. (2016) 'Forest-based supply chain modelling using the SimPy simulation framework', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., 49(2), pp. 90–95. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.03.016.
- Python, S. F. (2017) 2. *Built-in Functions — Python 3.3.7 documentation*. Available at: <https://docs.python.org/3.3/library/functions.html> (Accessed: 26 October 2019).
- Sanchis, R. and Poler, R. (2010) 'Estrategias de Gestión de los Procesos y Operaciones en Escenarios de Personalización en Masa', pp. 1248–1257.
- Simulation Programming with Python* (no date). Available at: <http://statsmodels.sourceforge.net/>.
- Soman, C. A., Van Donk, D. P. and Gaalman, G. (2004) 'Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system SOM-theme A: Primary processes within firms', *Int. J. Production Economics*, 90, pp. 223–235. Available at: [https://ac.els-cdn.com/S0925527302003766/1-s2.0-S0925527302003766-main.pdf?\\_tid=6feda083-4556-4d68-adeb-55f5900770b6&acdnat=1550064497\\_92e671d303d4c83d8b06938caa2a5030](https://ac.els-cdn.com/S0925527302003766/1-s2.0-S0925527302003766-main.pdf?_tid=6feda083-4556-4d68-adeb-55f5900770b6&acdnat=1550064497_92e671d303d4c83d8b06938caa2a5030).
- Stevenson, M., Hendry, L. C. and Kingsman, B. G. (2005) 'A review of production planning and control: The applicability of key concepts to the make-to-order industry', *International Journal of Production Research*, 43(5), pp. 869–898. doi: 10.1080/0020754042000298520.
- Walters, G. (2014) *The Python Quick Syntax Reference*. Berkeley, CA: Apress (Expert's Voice in Python). doi: 10.1007/978-1-4302-6479-8.
- Willner, O. *et al.* (2014) 'Globally distributed engineering processes: Making the distinction between engineer-To-order and make-To-order', *Procedia CIRP*, 17, pp. 663–668. doi: 10.1016/j.procir.2014.02.054.