

**ANALISIS EXPERIMENTAL SIMULADO PARA ESTABLECER
AMORTIGUADORES DE TIEMPO EN UNA LINEA DE PRODUCCION
ESPECIFICA**

MARÍA DEICY SUÁREZ PORTILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA**

2004

**ANALISIS EXPERIMENTAL SIMULADO PARA ESTABLECER
AMORTIGUADORES DE TIEMPO EN UNA LINEA DE PRODUCCION
ESPECIFICA**

Presentado por:

MARÍA DEICY SUÁREZ PORTILLA

**Proyecto de Grado para optar al Título de
Ingeniera Industrial**

Director:

NESTOR RAUL ORTIZ PIMIENTO

Ingeniero Industrial

Codirector:

EDWIN ALBERTO GARAVITO HERNANDEZ

Ingeniero Industrial

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA**

2004

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2.1 IDENTIFICACIÓN
- 2.2 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS
3. JUSTIFICACIÓN
4. OBJETIVOS
- 4.1 OBJETIVO GENERAL
- 4.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
5. MARCO TEORICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
- 5.1. MARCO TEÓRICO SOBRE AMORTIGUADORES DE TIEMPO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN
- 5.1.1 DEFINICION DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO
- 5.1.2 ORÍGENES DE LOS AMORTIGUADORES
- 5.1.3 ADMINISTRACIÓN DEL AMORTIGUADOR
- 5.1.3.1 Empleo del Amortiguador para Mejorar el Desempeño.
- 5.1.3.2 Finalidad de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO.
- 5.1.4 TAMAÑO DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO
- 5.1.5 NECESIDAD DE LOS AMORTIGUADORES DE TIEMPO
- 5.1.6 TIPOS DE AMORTIGUADORES
- 5.1.7 UBICACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES DE TIEMPO
- 5.1.8 BENEFICIOS DE LA IMPLANTACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN
- 5.2 MARCO TEÓRICO DE LAS PLANTAS TIPO A
- 5.2.1 CARACTERISTICAS DE LA PLANTA TIPO A
- 5.2.1.1 Características Dominantes del Flujo del Producto en las Plantas A.
- 5.2.1.2 Características Dominantes.
- 5.2.1.3 Características generales de la planta A .
- 5.2.2 CAUSAS REALES DE LOS INCONVENIENTES PRESENTADOS EN LAS PLANTAS TIPO
- 5.2.3 CONSECUENCIAS DE LAS PRACTICAS TRADICIONALES DE ADMINISTRACIÓN EN LAS PLANTAS A
- 5.2.3.1 Identificación De los Problemas.
- 5.2.3.2 Soluciones para las Dificultades Presentadas en las Plantas Tipo A.
- 5.2.3.3 Conceptos de la Manufactura Sincrónica Aplicados a la Planta Tipo A.
- 6 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TIEMPO DE PROCESAMIENTO (TP) EN UNA ESTACIÓN DE TRABAJO
- 6.1 TOMA DE TIEMPOS
- 6.1.1 INDUSTRIA DE CONFECCIONES
- 6.1.1.1 Corrección de los datos .
- 6.1.2 INDUSTRIA DEL DULCE
- 6.1.2.1 Corrección de los datos
- 6.2 ANALISIS DE LOS DATOS
- 6.2.1 INDUSTRIA DE CONFECCIONES
- 6.2.2 INDUSTRIA DEL DULCE
- 6.3 ANÁLISIS DE LAS DISTRIBUCIONES DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN
- 6.3.1 INDUSTRIA DE CONFECCIONES
- 6.3.2 INDUSTRIA DEL DULCE
- 7 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN TIPO A

7.1 PLANTEAMIENTO DE LAS DIVERSAS VARIACIONES EN LOS TIEMPOS DE PROCESAMIENTO (TP) EN UNA ESTACION DE TRABAJO

7.2 CONFORMACION DEL PROTOTIPO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN TIPO A

8 SIMULACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DISEÑADA, UTILIZANDO COMO HERRAMIENTA EL SOFTWARE DE PROMODEL

8.1 ESTABLECER EL TAMBOR EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

8.2 ESTABLECER MURPHY EN EL SISTEMA

8.3 PRUEBAS PRELIMINARES

8.3.1 ECUACIÓN PARA ESTABLECER EL AMORTIGUADOR DE TIEMPO

9 APROXIMACIÓN DEL TAMAÑO DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN TIPO A

9.1 PROGRAMACION EN PROMODEL DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO

9.2 ANALISIS EXPERIMENTAL SIMULADO PARA ESTABLECER EL TAMAÑO FACTIBLE DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO TA

9.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO POR MEDIO DE LA SIMULACIÓN EN PROMODEL

9.3.1 MEDICIONES DE EFICIENCIA

9.3.1.1 Eficiencia vs. Tamaño de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO .

9.3.1.2 Eficiencia vs. Ubicación de la Restricción en el sistema productivo.

9.4 COMPORTAMIENTO DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO DURANTE LA SIMULACIÓN (TA₂)

10 METODOLOGÍA PARA CONOCER EL TAMAÑO FACTIBLE DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN ESPECIFICA

11 VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. La Probabilidad de Superar una Perturbación en un Recurso en Particular Como Función del Tiempo que se Toma.

Figura 2. La probabilidad de Completar una Tarea a Través de Muchas Operaciones Como Función del Tiempo Desde La Liberación de la Tarea.

Figura 3. Distribución del tiempo de procesamiento en la Industria de Confecciones

Figura 4. Distribución del tiempo de procesamiento en la Industria del Dulce

Figura 5. Escenario general del sistema productivo de la Planta tipo A

Figura 6. Comportamiento del CR, para determinar el número de réplicas en la simulación

Figura 7. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 1, Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)

Figura 8. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 1, Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)

Figura 9. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 2, Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)

Figura 10. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 2, Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)

Figura 11. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario3, Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)

Figura 12. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 3, Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)

Figura 13. Barra Indicativas del Estado del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en el Sistema Productivo

Figura 14. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TA_2 Escenario 1, Caso 1

Figura 15. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TA_2 Escenario 1, Caso 2

Figura 16. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador de TA_2 . Escenario 2, Caso 1

Figura 17. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA_2 . Escenario 2, Caso 2

Figura 18. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA_2 Escenario 3, Caso 1

Figura 19. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA_2 Escenario 3, Caso 2

Figura 20. Eficiencia vs. Tamaño del Amortiguador, TA_2 . Escenario 1

Figura 21. Eficiencia vs. Tamaño del Amortiguador, TA_2 . Escenario 2

Figura 22. Eficiencia vs. Tamaño del Amortiguador, TA_2 . Escenario 3

Figura 23. Eficiencia vs. Ubicación de la Restricción en el Sistema (Cvp 1)

Figura 24. Eficiencia vs. Ubicación de la Restricción en el Sistema (Cvp 2)

Figura 25. Comportamiento de TA_2 AMORTIGUADOR DE TIEMPO (Cvp 1)

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Datos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria de Confecciones, (Unidad de Tiempo, Seg.)

Tabla 2. Datos corregidos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria de Confecciones, (Unidad de Tiempo, Seg.)

Tabla 3. Datos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria del Dulce, (Unidad de Tiempo, Seg.)

Tabla 4. Datos corregidos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria del Dulce, (Seg.)

Tabla 5. Parámetros de las Distribuciones de la Variable TP. Industria de Confecciones

Tabla 6. Parámetros de las Distribuciones de la Variable TP. Industria del Dulce.

Tabla 7. Descripción de los casos a plantear para cada escenario

Tabla 8. Diagrama de producción de la planta tipo A genérica, sin tener en cuenta alguna restricción
En el sistema.

Tabla 9. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TAP. Escenario 1, Caso 1

Tabla 10. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TA2. Escenario 1, Caso 2

Tabla 11. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador de TA2. Escenario 2, Caso 1

Tabla 12. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2. Escenario 2, caso 2

Tabla 13. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2. Escenario 3, Caso 1

Tabla 14. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2. Escenario 3, Caso 2

Tabla 15. Tamaño factible del amortiguador de tiempo TA_2

Tabla 16. Estado del Amortiguador de tiempo TA_2

Tabla 17. Verificación del cumplimiento de los objetivos

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de la planta tipo A. Chase Aquilano Jacobs. Administración de la Producción y Operaciones. Pág. 812

Anexo 2. Diagrama de Flujo del prototipo general de la Planta Tipo A / Software Visio 4.0

Anexo 3. Escenario 1 Diagrama de Flujo del Prototipo General de la Planta Tipo A

Anexo 4 . Escenario 2 Diagrama de Flujo del prototipo general de la Planta Tipo A

Anexo 5. Escenario 3 Diagrama de Flujo del prototipo general de la Planta Tipo A

Anexo 6. Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA_2 . Escenario 1, Caso 1.

Anexo 7. Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA_2 . Escenario 1, Caso 2.

Anexo 8. Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA_2 . Escenario 2, Caso 1.

Anexo 9. Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA_2 . Escenario 2, Caso 2.

Anexo 10. Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA_2 . Escenario 3, Caso 1.

Anexo 11. Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA_2 . Escenario 3, Caso 2.

Anexo 12. Ejemplo de la aplicación de la metodología para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo en una planta de producción tipo A.

Anexo 13. Ejemplo de la aplicación de la metodología para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo en una planta de producción tipo A.

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL SIMULADO PARA ESTABLECER AMORTIGUADORES DE TIEMPO EN UNA LINEA DE PRODUCCIÓN ESPECÍFICA*

AUTORA: Suárez Portilla Maria Deicy**

PALABRAS CLAVE: Amortiguador, Tiempo, Restricción, Recursos, planta, Murphy, balanceo, variaciones.

DESCRIPCIÓN

El desempeño de una planta de producción tipo A se encuentra condicionado por los Recursos Restrictivos de Capacidad, éstos son los recursos que determinan el ritmo de producción, por lo tanto se convierten en un punto crítico al momento de resolver problemas relacionados con el exceso de inventario, la programación de la producción y el aumento en el costo del producto terminado. Por esta razón se planteó una metodología, la cual permite controlar y proteger la restricción del sistema de producción de situaciones como por ejemplo, las variaciones del tiempo de procesamiento en las estaciones de trabajo, la dependencia entre ellas y el efecto Murphy que se presenta durante la producción. Con esta metodología se conoce el tamaño factible del Amortiguador de Tiempo, garantizando un flujo continuo de material, disminución el nivel de Inventario y mejorando la eficiencia en el sistema productivo. La aplicación de la Teoría de Restricciones para administrar el Amortiguador de tiempo permite identificar y corregir los problemas más graves que ocurren durante la producción; el amortiguador se administra bajo un enfoque reactivo, tomando decisiones cuando se presentan los agujeros en el amortiguador, investigando y registrando sus causas, eliminando los problemas y obteniendo un mejoramiento continuó en el sistema productivo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Físico Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Néstor Raúl Ortiz Pimiento.

ABSTRACT

TITLE: SIMULATED EXPERIMENTAL ANÁLISIS TO STABLISH TIME BUFFERS IN A SPECIFIC LINE PRODUCTION*

AUTHOR: Suárez Portilla Maria Deicy**

KEY WORDS: Buffer, Time, Restriction, Resources, plants, Murphy, swinging, variations.

DESCRIPTION

The performance of a production plant type A is conditioned by the restrictive resources of capacity. These resources determine the production rythm, therefore they become a critical point al the moment of solving problems related to the units` excess, the production programmation and the increase in the final product cost. This is why a methodology was stablished to protect and control the restrictions in the production system in situations like, time variations in the productive process at work stations, the dependence among them and the Murphy effect that is presented during the production. Thanks to this methodology, it is possible to know the feasible size of the time buffer which guarranties the permanent material flow, decrease of units` level and a very high efficiency in the productive system. The use of the restrictions theory to administrate the time buffer permits to identify and correct the most severe problems that take place during the production process. The buffer is managed under a reactive focus in order to be able to take desitions when the holes are presented in the buffer finding out and registering its causes as well as eliminating the problems and getting a continuous improvement in the productive system.

* Grade Project

** Mechanical ability of Physique, School of Industrial and Managerial Studies. Néstor Raúl Ortiz Pimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo del presente proyecto de investigación se planteó una solución para las industrias interesadas en implementar la Teoría de Restricciones de Eliyahu Goldratt con el objetivo de lograr un flujo constante del material a lo largo de la línea de producción, controlando la restricción del sistema productivo. En la mayoría de los casos la implementación de este tipo de soluciones son costosas, debido a que se realizan a prueba y error hasta encontrar la mejor solución que se adapte al sistema productivo, sacrificando la producción. Por lo tanto se ofreció una alternativa para encontrar este tipo de soluciones, utilizando como herramienta la simulación del sistema productivo de las industrias, por medio del Software de Promodel, para alcanzar los objetivos que se plantearon con la Teoría de Restricciones a un bajo costo.

Todo sistema productivo presenta restricciones de capacidad RRC¹ en la planta de producción, las cuales determinan la capacidad del sistema productivo, por esta razón para obtener un flujo constante de material se explotó y controló este tipo de restricciones ya que son estas las que marcan el ritmo del sistema productivo.

Para alcanzar el objetivo principal del proyecto, la investigación se centro en estudiar el comportamiento de una Planta Tipo A y tomarla como base para el análisis del flujo de material, en presencia de una estación de trabajo con restricción de capacidad; una vez identificada la restricción, se pudo establecer el ritmo de la producción y posteriormente el AMORTIGUADOR DE TIEMPO necesario para soportar las distintas perturbaciones ocasionadas por la variabilidad, la dependencia y el efecto Murphy en el sistema productivo; El AMORTIGUADOR DE TIEMPO se conoce como el tiempo extra en el cual

¹ RRC. Recurso Restrictivo de Capacidad

las estaciones de trabajo no restrictivas, deberán trabajar para tener un inventario de seguridad frente a la restricción RRC antes de que se de inicio a la producción, además a medida que se utilizó el amortiguador para soportar algunas discontinuidades, este fué nuevamente llenado, utilizando la capacidad protectora de los recursos no restrictivos, garantizando el control de la restricción ante las variabilidades que se pudieron seguir presentando.

Utilizando el Software de Promodel se simuló el funcionamiento de la planta productiva tipo A, en donde se programó la ubicación de la restricción en la planta en tres posiciones distintas a lo largo de la línea de producción, creando por cada posición un escenario, con el cual, se validó el tamaño del amortiguador encontrado a partir de la ecuación TA_1 y la simulación TAP , obteniendo una solución aproximada del tamaño del amortiguador para cada escenario, evaluando la efectividad que cada uno de los escenarios en el sistema productivo. El AMORTIGUADOR DE TIEMPO se diseñó de acuerdo a la restricción y se evaluó su eficiencia en el sistema mediante una tabla de control ubicada en el Layout de la planta, éste estuvo compuesto de tres colores verde, amarillo y rojo los cual permitieron identificar el estado del amortiguador a lo largo del flujo del producto, de esta manera se pretendió evitar rupturas dentro del amortiguador. Ya que es necesario que el amortiguador este bien diseñado para que el flujo del producto se mantenga durante el tiempo en que la variabilidad, la dependencia y el efecto Murphy se hagan presentes.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día se requiere que las empresas manufactureras tengan líneas de producción con un flujo continuo de material, que permita cumplir los programas de producción y de esta forma cumplirle al cliente, ofreciéndole el producto deseado en el momento adecuado y en la cantidad y calidad requerida. Además al interior de la empresa se notaran mejoras como la disminución de los inventarios, generando una ventaja competitiva para la organización.

Pero en muchas ocasiones es difícil tener un flujo continuo de materiales, debido a los diversos inconvenientes que se presentan a lo largo de la línea y en especial en los puntos críticos, los RRC y los cuellos de botella, que generan un atraso en las entregas oportunas al cliente y trae consigo problemas en el área de producción, los cuales afectarán directamente a la organización en distintos aspectos, como la pérdida de credibilidad del cliente, entregas tardías, disminución del flujo de capital, incremento en los inventarios, líneas de producción desbalanceadas y caída en ventas.

2.1 IDENTIFICACIÓN

Para lograr tener un flujo continuo de material en el proceso de producción se requiere que las líneas de producción se encuentren protegidas, ya que en la operación, las líneas de producción se encuentran ante diversos inconvenientes. Pero en la mayoría de los casos estos inconvenientes se presentan en los puntos críticos de la línea donde cualquier inconveniente generaría un retraso en toda la línea, interrumpiendo los programas de producción.

2.2 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

- Es posible establecer una aproximación del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en una línea de producción específica, por medio de un análisis experimental simulado, utilizando como herramienta el software de Promodel.
- No es necesario proteger todas las operaciones de manufactura en la planta, solo es necesario proteger los puntos críticos de la operación, por medio de amortiguadores de tiempo ubicándolos frente a las operaciones críticas, como los RRC y los cuellos de botella.

3. JUSTIFICACIÓN

Observando la problemática que enfrentan hoy en día las industrias manufactureras en el área de producción, en cuanto a la falta de flujo continuo de material en la línea trabajo, lo que genera retrasos en los programas de producción, ya que no se cuenta con un sistema que permita amortiguar las diversas fluctuaciones que ocurren a lo largo del sistema productivo y en los puntos críticos del proceso, debido a diversos inconvenientes que se presentan a lo largo de éste.

Por esta razón es necesario realizar una investigación que sirva como base a posibles soluciones que las empresas deseen dar a su sistema productivo y por medio de ésta, ofrecer a una línea de producción tipo A, una aproximación del amortiguador necesario en los puntos críticos del sistema productivo, que permita amortiguar las fluctuaciones ocasionadas a lo largo de la línea y de esta forma garantizar que las estaciones estén siempre trabajando y por lo tanto no se genera un atraso en el sistema productivo ocasionado por algún inconveniente.

El proyecto investigación en el área de producción tiene como propósito que la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales tenga un soporte para posibles investigaciones en las plantas tipo A, V y T, en donde se puedan empezar a investigar posibles soluciones a los diversos problemas que enfrentan hoy en día las industrias y se abra una nueva línea de investigación.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer una aproximación del AMORTIGUADOR DE TIEMPO necesario en los puntos críticos de una línea de producción tipo A, que permitan mantener a los puestos de trabajo en operación continua sin que se generen retrasos debido a los diversos inconvenientes a los largo de la línea de producción.

4.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el comportamiento estocástico de la variable: tiempo de procesamiento en una estación de trabajo, para utilizarlo como soporte en la simulación del proceso productivo de una línea de producción tipo A, utilizando como herramienta el software de Promodel.
- Someter a los modelos de producción a cambios en las distribuciones de probabilidad de los tiempos en sus estaciones de trabajo y de esta forma identificar los puntos críticos de una línea de producción tipo A, con el fin de proveer en cada caso_ una solución factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO necesario, para permitir un flujo rápido y continuo a lo largo de la línea.
- Proponer un modelo básico para el análisis de amortiguadores de tiempo, de modo que se logre un flujo rápido, constante y sin tropiezos del material a través del proceso de manufactura de una línea de producción tipo A.

- Obtener una solución factible al tamaño del amortiguador tiempo en una línea de producción tipo A, utilizando para ello el software de Promodel como una herramienta en la simulación del sistema productivo. Este amortiguador permitirá garantizar que siempre haya trabajo por realizar en las estaciones de trabajo críticas o aquellas propensas a diversos inconvenientes a lo largo del flujo del producto.

5. MARCO TEORICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

A través de este capítulo se presentan los diferentes conceptos relativos a la Teoría de Restricciones de Eliyahu Goldratt, entre los que se encuentra el AMORTIGUADOR DE TIEMPO y la Planta tipo A. Conocer estos conceptos es el primer paso para poder diseñar un prototipo de planta tipo A, requerido para fundamentar el tamaño aproximado del AMORTIGUADOR DE TIEMPO dependiendo de la ubicación de la restricción a lo largo de la Planta

5.1.MARCO TEÓRICO SOBRE AMORTIGUADORES DE TIEMPO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

5.1.1 DEFINICION DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO

El amortiguador de tiempo es el intervalo de tiempo en el cual se libera una tarea antes de conocer la presencia de variaciones en el sistema, siendo el tiempo necesario para garantizar que un recurso crítico siempre se encuentre trabajando a lo largo de la línea de producción independientemente de los problemas que se presentan². Una de las formas de

² Chase Aquilano Jacobs. Ediciones McGrawl -Hill Octava Edición. Administración de Producción y Operaciones, 2003. Pág. 804-806.

proteger la restricción es comenzar la producción en un tiempo más temprano de lo requerido, para tener el tiempo suficiente para reaccionar a las perturbaciones inesperadas y asegurar que el programa de producción no se retrase. Por lo tanto se necesita establecer un AMORTIGUADOR DE TIEMPO que permita explotar la restricción.

Explotar la restricción significa sacarle el mayor provecho, en términos de una meta predeterminada. Cuando se trabaja con varios productos, la clave está en el contenido del trabajo sobre el cual se decide activar la restricción, pero cuando se trabaja con un solo producto es necesario poner a trabajar la restricción todo el tiempo.

Ya que la composición del contenido del trabajo de una restricción esta condicionada por el tiempo, la protección o el amortiguador, debe expresarse en unidades de tiempo. Cuando se consideran aplicaciones en la producción, algunos administradores suelen utilizar la intuición para establecer EL AMORTIGUADOR DE TIEMPO³.

5.1.2 ORÍGENES DE LOS AMORTIGUADORES

Al enfrentar directamente la razón fundamental de la existencia de una protección en la planta de producción, se deberá analizar el efecto de Murphy. En las plantas de producción normalmente se presentan dos tipos de Murphy, El primero llamado " Murphy Puro" tiene relación con los cambios inesperados como las descompostura de las máquinas, ausentismo de los trabajadores o un proceso fuera de control que causa mermas. Pero cuando se observa el flujo de un producto específico (en lugar de los recursos), se encuentra otro tipo de perturbación; por ejemplo cuando una tarea en particular llega a un recurso no restrictivo, y éste se encuentre trabajando en otra tarea necesaria, entonces el flujo del producto se perturba; esto se conoce como " Falta de Disponibilidad Instantánea" ⁴.

³ Eliyahu Goldratt. El Síndrome del Pajar. Ediciones Castillo, México, 1994. Pág. 129-131

⁴ Eliyahu Goldratt. El Síndrome del Pajar. Ediciones Castillo, México, 1994. Pág. 136-141

Ante la presencia de este tipo de perturbaciones en el sistema fue importante implementar un AMORTIGUADOR DE TIEMPO, como intervalo de tiempo mediante el cual se predetermina cuando se va a liberar un trabajo, con relación a la fecha a la que está programado el consumo correspondiente a la restricción. De esta forma se aceptó la elección del TIEMPO en lugar de INVENTARIO, como la unidad de protección básica del amortiguador, debido a que el inventario físico, trae consigo múltiples problemas de espacio, contenido, manejo y flujo de dinero. El AMORTIGUADOR DE TIEMPO se encargará de proteger el desempeño de las restricciones, gracias a que éste no utiliza los términos generales de localización o contenido de los amortiguadores de inventario.

5.1.3 ADMINISTRACIÓN DEL AMORTIGUADOR

La administración que utiliza la Teoría de Restricciones es un tipo de administración por reacción, que toma decisiones cuando el amortiguador se encuentra vacío. Por lo tanto se debe tener cuidado al asignar su tamaño, ya que la magnitud del amortiguador se debe encontrar en función del grado de variabilidad que existe dentro de la planta y del grado en el que están cargadas las no restricciones.

Si la Planta tiene algunas máquinas con tiempos de preparación largos, averías frecuentes y restricciones muy cargadas, entonces se requiere de un amortiguador grande para proteger la restricción, de esta forma se pretende administrar el amortiguador, de modo que se registre el momento en el que éste se encuentra vacío, por lo tanto habrá que investigar y registrar la causa, con esto se espera que la capacidad de protección de las no restricciones que alimentan a la restricción sea suficiente para volver a llenar el amortiguador antes que el efecto de Murphy y las diferentes variaciones del sistema, ataquen una vez más el flujo del producto ⁵.

⁵ Eliyahu Goldratt. El Síndrome del Pajar. Ediciones Castillo, México, 1994. Pág. 128

Al igual que JIT, La Teoría de Restricciones TOC requiere un mejoramiento continuo, pero este último enfoca el esfuerzo de mejoramiento en aquellos factores que ocasionan los vacíos mas frecuentes y más graves en el amortiguador⁶. Una vez que se han eliminado tales problemas y se disminuya la presencia del vacío en la región de la restricción, se puede reducir el tamaño del amortiguador.

TOC utiliza la administración del amortiguador para identificar los problemas mas graves, corrige el problema y después ataca los problemas que surgen; por consiguiente parece lógico que se alcance una mejor producción al corregir los problemas en una planta que trabaja con la TOC que en una planta idéntica que trabaja con JIT. Ya que una planta que funciona con JIT provoca interrupciones en el flujo durante la identificación de los problemas; en cambio en una planta que trabajo con la TOC identifica las interrupciones potenciales en el flujo e intenta corregirlas antes que se interrumpa el flujo. Todo esto con el fin de obtener un flujo continuo del producto a lo largo de la línea de producción.

5.1.3.1 Empleo del Amortiguador para Mejorar el Desempeño.

Una ventaja importante del sistema logístico de la TOC (Tambor, Amortiguador, Cuerda), es que puede ayudar a los administradores a enfocar con precisión las actividades de mejoramiento de los procesos.

Los AMORTIGUADORES DE TIEMPO en un sistema TOC se pueden emplear como ayuda para localizar las causas de las anomalías que perjudican el flujo planeado del producto en la planta; cuando se conocen las causas de las anomalías, se pueden hacer planes para mejorar el proceso con la eliminación de las causas de las anomalías importantes. Por lo tanto las actividades de mejoramiento del proceso se pueden priorizar

⁶ Fogarty Blackstone Hoffmann .Administración de la Productividad e Inventarios. Pág 758-761

de acuerdo a la seriedad de las anomalías que ocurran en los AMORTIGUADORES DE TIEMPO⁷.

5.1.3.2 Finalidad de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO.

La finalidad de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO es proteger el rendimiento específico, contra las anomalías que hay en las estaciones de trabajo dentro de la planta. Además el análisis del AMORTIGUADOR DE TIEMPO llevara a establecer un procedimiento para localizar las fuentes más importantes de problemas en el proceso y corregirlas, de esta manera se podrá redefinir el AMORTIGUADOR DE TIEMPO, reduciendo los tiempos de producción.

5.1.4 TAMAÑO DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO

El tamaño del AMORTIGUADOR DE TIEMPO debe ser tan largo como sea necesario, para garantizar que los puntos críticos de la planta no afecten el flujo del producto. En teoría el tamaño del amortiguador puede calcularse estadísticamente, examinando datos de ejecución posteriores o por medio de la simulación del proceso⁸. En cualquier caso la precisión no es un punto crítico, pero generalmente se realiza basándose en la experiencia de los administradores de producción⁹. Cuando se utiliza un inventario de amortización frente a una operación crítica (Recurso Restrictivo), se esta refiriendo a un AMORTIGUADOR DE TIEMPO, para garantizar que el centro de trabajo crítico RRC se encuentre siempre trabajando, independientemente de cuales productos programados vayan

⁷Umble y srikantha, Manufactura Sincrónica, Editorial Continental primer edición, México, 1997. Pág. 174-182

⁸Eliyahu Goldratt. El Síndrome del Pajar. Ediciones Castillo, México, 1994. Pág. 129-135

⁹ Umble y srikantha, Manufactura Sincrónica, Editorial Continental primer edición, México, 1997. Pág. 130-138

a ser trabajados y de los inconvenientes que se generen en la planta. Por lo tanto se considera al AMORTIGUADOR DE TIEMPO como una protección contra las perturbaciones desconocidas.

Debido a la naturaleza estocástica de las perturbaciones es difícil determinar el AMORTIGUADOR DE TIEMPO con precisión, puesto que se desconoce donde ocurrirán y cuanto tiempo permanecerán en el sistema. Aun cuando se tenga el tiempo y los recursos necesarios para reunir los datos estadísticos del comportamiento de las perturbaciones, solamente se podrá conocer una curva de probabilidad.

La probabilidad que un recurso supere una perturbación se puede tomar en función del tiempo (Figura 1), donde el veinte por ciento de los casos la perturbación dura 5 minutos y en el 1 % de los casos la perturbación dura 2 días. En la Figura 2, se representa la probabilidad de terminar una tarea a través de muchas operaciones en función del tiempo(desde la liberación de la tarea). Se puede ver que ésta curva jamás llega a un 100% de probabilidad, debido a que al moverse hacia intervalos de tiempo cada vez más largos, la probabilidad de superar las perturbaciones se incrementa pero nunca alcanza la certeza.

Figura 1 . La Probabilidad de Superar una Perturbación en un Recurso en Particular Como Función del Tiempo que se Toma.

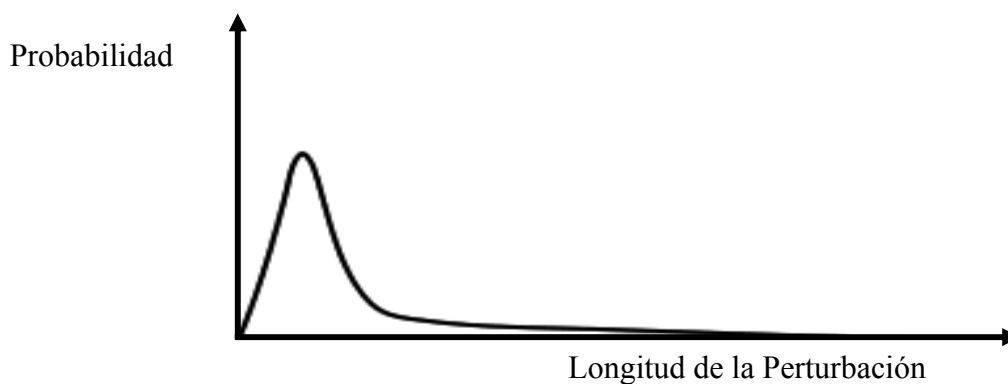
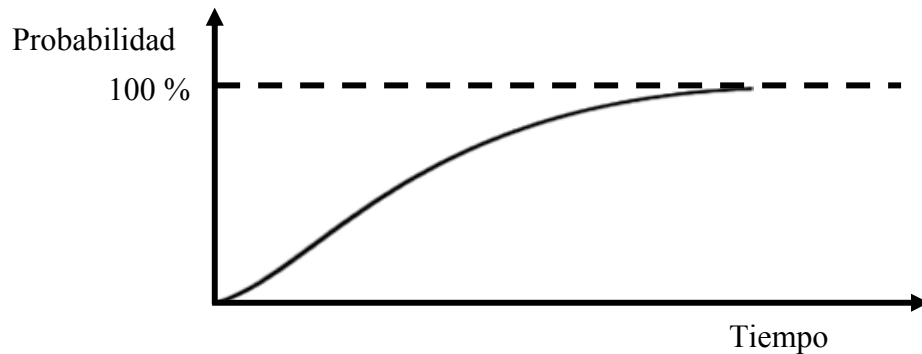


Figura 2. La probabilidad de Completar una Tarea a Través de Muchas Operaciones Como Función del Tiempo Desde La Liberación de la Tarea.



Eliyahu Goldratt. El Síndrome del Pajar. Ediciones Castillo, México, 1994. Pág. 133

La determinación de la longitud del AMORTIGUADOR DE TIEMPO, es algo que depende del juicio de expertos, por lo mismo se requiere ser cauteloso y no escoger un amortiguador muy largo, porque el tiempo total de manufactura aumentará y por lo tanto se liberaría material antes de ser requerido su uso, inflando los niveles de inventarios promedio del producto en proceso y producto terminado. Como resultado de esto se incrementara la necesidad de que la empresa posea más efectivo, determinando su postura competitiva futura y elevando el costo de manejar inventario; por otra parte si se escogen AMORTIGUADORES DE TIEMPO muy cortos, el tiempo de respuesta promedio sería muy rápido y se tendría que estar preparado para expedir mucho y tener entregas poco confiables. Por lo tanto es importante que la empresa ponga la decisión de la longitud de los amortiguadores en manos de las personas directamente responsables del desempeño general de la empresa.

5.1.5 NECESIDAD DE LOS AMORTIGUADORES DE TIEMPO

La capacidad productiva disponible de un recurso se ve disminuida, debido a las diversas discontinuidades presentes en el proceso productivo. Si ocurre una alteración en un RRC o

cuello de botella, puede perjudicar la cantidad y la continuidad del flujo del producto, dañando el comportamiento de la planta de producción. Por esta razón se debe tener cuidado con las discontinuidades que se presentan, ya que son impredecibles y no hay forma de conocer por anticipado cual herramienta se va a romper o cual maquina funcionara mal y producirá material defectuoso, por esto es conveniente proteger el flujo del producto incluyendo un tiempo adicional en el programa de producción, (AMORTIGUADOR DE TIEMPO); este tiempo adicional puede ocasionar que haya un poco de exceso de material en el sistema, pero mejorará considerablemente el flujo del producto y la eficiencia del sistema.

5.1.6 TIPOS DE AMORTIGUADORES

Entre los tipos de amortiguadores que plantea la teoría de las restricciones están, el amortiguador de la restricción, del embarque y ensamblaje¹⁰⁻¹¹; pero si se analizan las plantas de producción, se encuentran amortiguadores que cambian el flujo del producto y amortiguadores que desplazan a los operarios¹². Por lo tanto se puede asegurar que si todos los amortiguadores en el área de producción tienen los materiales correctos en todo momento y nunca se tienen materiales en exceso, la planta estará operando dentro del programa de producción y cualquier desviación del programa que haga que falten los materiales esperados en el amortiguador, permitirá redefinir el tamaño y se podrá mejorar el flujo continuo de los materiales en la planta de producción.

5.1.7 UBICACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES DE TIEMPO

Cuando se analiza la necesidad de ubicar un AMORTIGUADOR DE TIEMPO en una planta de producción para proteger el flujo del producto, es necesario identificar los puntos

¹⁰ Eliyahu Goldratt. El Síndrome del Pajar. Ediciones Castillo, México, 1994. Pág. 140-141

¹¹ Fogarty Blackstone Hoffmann, Administración de la Producción e Inventarios. Pág. 758

¹² Stephan Konz. Diseño de Instalaciones Industriales, Editorial Noriega Limusa. Pág. 75-93

críticos del proceso RRC y proteger la operación mediante un amortiguador delante o detrás de éste, de esta forma se busca controlar el proceso.

5.1.8 BENEFICIOS DE LA IMPLANTACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN

Con la implantación de un sistema de protección en una determinada planta de producción, (AMORTIGUADORES DE TIEMPO), se obtienen múltiples beneficios en el proceso productivo, ya que los operadores se sienten seguros en la realización de la operación cuando el amortiguador se encuentra lleno en su puesto de trabajo, además las plantas de producción que utilizan este mecanismo de protección obtienen un rápido ritmo de producción, con el cual se mejora la calidad, la flexibilización en la operación, se disminuyen los costos, se absorben interrupciones y se mejora la eficiencia del sistema de producción.

5.2 MARCO TEÓRICO DE LAS PLANTAS TIPO A

Las plantas tipo A, son aquellas en las que se ensamblan productos en proceso a lo largo del flujo del producto hasta obtener pocos productos terminados, los cuales provienen de la transformación de diferentes materias primas que entran al sistema.

5.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA TIPO A

5.2.1.1 Características Dominantes del Flujo del Producto en las Plantas A.

En las plantas tipo A dominan las interacciones entre recurso y producto, donde se ensamblan dos o más componentes para producir un producto base o fuente. Estos puntos

en el flujo se suelen conocer como puntos de ensamble, pero también se les llama puntos de convergencia, porque en ellos converge el flujo de material de diferentes orígenes para formar un solo artículo¹³. Por lo tanto el número de materiales comprados es mayor que el número de artículos terminados, por ello se requieren de varias operaciones de subensamble antes de la operación de ensamble final.

5.2.1.2 Características Dominantes.

Las interacciones dominantes que representan a una planta tipo A, son consideradas de gran importancia, ya que son las que determinan el comportamiento de ésta. Por lo tanto se deben tener en cuenta los aspectos dominantes que permiten controlar y proteger el flujo del producto. A continuación se explicaran cuatro características dominantes en este tipo de plantas.

- El rasgo distintivo de este tipo de plantas es el ensamble del número de piezas fabricadas, concentradas en un número pequeño de artículos finales. Cada punto de ensamble representa una disminución en el número de distintos tipos de productos, ya que combinan una o más piezas para formar una nueva y por lo tanto después de las operaciones de transformación y ensamblaje del producto en proceso, el número de productos finales diferentes se reduce drásticamente.
- Las piezas componentes son exclusivas para artículos finales específicos. Ya que durante la evolución de la operación las estaciones de ensamblaje se van haciendo mas específicas, para determinados tipos de productos finales.
- Las rutas de Producción para las piezas componentes son distintas, de acuerdo al tipo de producto fabricado. Por lo tanto es normal que una pieza manufacturada haya tenido 50

¹³Umble y srikantha, Manufactura Sincrónica, Editorial Continental primer edición, México, 1997. Pág. 212-223

operaciones, mientras que otra requerida para el mismo conjunto haya necesitado pocas operaciones.

- Las máquinas y herramientas utilizadas en la Producción suelen ser de uso múltiple, en una planta tipo A. Por lo tanto la maquinaria debe ser adaptable, ya que esta se utiliza para procesar un gran número de piezas diferentes.

5.2.1.3 Características generales de la planta A .

Las características generales de una planta tipo A se describen a continuación, en ellas se podrán percibir múltiples inconvenientes y ventajas en este tipo de distribución de planta¹⁴.

- Las maquinas realizan propósitos generales en lugar de ser especializadas.
- El tiempo de ensamble tiende a ser largo.
- Los recursos se comparten dentro y a través de las rutas.
- La eficiencia de los recursos es menor al 100%, por lo tanto se requiere de tiempo extra para cumplir con la programación de la planta.
- Existe un inventario excesivo de partes terminadas, pero hay gran escasez de otras partes necesarias para las operaciones de ensamblaje .
- El tiempo del proceso es típicamente inferior al plazo de producción.
- Se presentan cuellos de botella erráticos.
- La demanda es variable, lo que lleva a caos en la programación de la producción en la planta tipo A.
- Los gastos operativos (particularmente el tiempo extra no planeado) son un punto álgido.
- Las partes problemáticas no son comunes en diversos ensamblajes.

¹⁴ Chase Aquilano Jacobs. Ediciones McGrawl -Hill Octava Edición. Administración de Producción y Operaciones, 2003. Pág. 811-816.

- Relativamente pocas partes pasan por la restricción del sistema RRC.
- Existe falta de control en la programación y manejo de material.
- En el departamento de ensamblaje existe escasez y malos acoplamientos de material en proceso.
- La producción se designa al comenzar el proceso.
- Las piezas no se encuentran en el momento y el lugar donde se necesitan.
- Las rutas de los productos en proceso varían a lo largo del flujo.
- Los productos en proceso son exclusivos para artículos finales específicos.

5.2.2 CAUSAS REALES DE LOS INCONVENIENTES PRESENTADOS EN LAS PLANTAS TIPO A

Generalmente en este tipo de plantas el manejo de materiales se realiza en grandes lotes y la liberación de material se realiza demasiado temprano, lo cual causa que los Cuellos de Botella sean móviles y se necesite programar tiempo extra para poder cumplirle a los clientes. Por lo tanto se presentan diversos inconvenientes, lo cual genera que en el momento del ensamblaje las piezas requeridas no estén en el momento requerido, por esta razón las operaciones de ensamblaje constantemente no tienen las partes de los productos en proceso necesarias para ensamblar el producto.

5.2.3 CONSECUENCIAS DE LAS PRACTICAS TRADICIONALES DE ADMINISTRACIÓN EN LAS PLANTAS A

Los problemas más frecuentes que ocurren en las Planta Tipo A surgen por una incorrecta asignación de los recursos, esto suele ocurrir cuando se procesan lotes excesivamente grandes, generando bloques de productos en proceso de gran tamaño, que son el resultado de una administración que busca reducir los costos de producción mediante la disminución de preparación de material y recursos (las maquinarias multifuncionales). Este estilo de

gestión va en contra de las características de este tipo de plantas, que se encuentran dominadas por la interacción que ocurre en los puntos de convergencia entre los recursos y los productos, por esta razón se presenta la asignación incorrecta de material, ya que se tiene un control de las piezas exclusivas que se procesan para artículos finales específicos.

5.2.3.1 Identificación De los Problemas.

El procesamiento de productos en grandes lotes produce un flujo del material de comportamiento cíclico. Debido a que el empleo de estos en un centro de trabajo ocasiona que los centros subsecuentes reciban el material en una forma muy errática. Este flujo errático de material ocasiona dos problemas que parecen ser contradictorios, pero que son típicos de las plantas tipo A. El primero es la utilización insatisfactoria de los recursos, que consiste en el flujo errático del material debido a los tiempos muertos que se generan en los centros de trabajo mientras llega el material necesario para procesar, lo cual no permite la utilización máxima del recurso. El segundo problema es el uso frecuente del tiempo extra para cumplir con las fechas de entrega prometidas; el tiempo extra se requiere porque los centros de trabajo están ociosos durante largo tiempo por falta de material para procesar y cuando reciben este material es demasiado tarde, por lo tanto las fechas establecidas de entrega se ven afectadas.

El grado de utilización incorrecto de recursos y el uso del tiempo extra hacen que el trabajo sea poco productivo, ocasionando altos costos de producción. Al no tener información y control sobre el trabajo se presentan diversas contradicciones entre los niveles de poca utilización de los recursos y el uso de tiempo extra, así como en los excesivos inventarios y el constante apresuramiento de la programación.

En los puntos de ensamble también se presenta el exceso o carencia de material suministrado por los centros de trabajo que alimentan estos puntos de ensamblaje; esto afecta a las operaciones de ensamblaje que necesitan la disponibilidad de todas las piezas

antes de iniciar sus respectivas operaciones, ya que la llegada de un gran lote de una sola pieza no es suficiente para permitir el inicio de las operaciones de ensamblaje. Este flujo de material de comportamiento cíclico, hace improbable que todas las piezas componentes estén disponibles cuando se necesiten; por esto, las operaciones de ensamble padecerán en forma constante de faltantes de una o más piezas requeridas para ensamblar el producto; estas piezas faltantes se deben localizar en la planta y enviarse rápidamente para su ensamble. Debido a la presencia de este tipo de oleadas de flujo de material hay cambios constantes en la ubicación de existencias de materiales. Esto puede dar falsa impresión de que existan cuellos de botella que parecen “ vagar” por la planta. La ocurrencia frecuente de faltantes requiere movimientos constantes para apresurar el flujo de material, por lo tanto los administradores de las plantas A suelen tener problemas para entender las incongruencias que abundan en la planta.

A pesar de que hay altos inventarios de producto en proceso y de piezas componentes, hay una preocupante escasez de piezas, debido a la incorrecta asignaciones de recursos, generando exceso de un producto específico y escasez de los productos requeridos para el ensamble, entonces se presenta la necesidad de apresurar el flujo de los materiales.

5.2.3.2 Soluciones para las Dificultades Presentadas en las Plantas Tipo A.

Las soluciones que se podrán plantear en este tipo de Plantas están relacionadas con la reducción del tamaño del lote, teniendo en cuenta que este tipo de mejora permitirá reducir los niveles de inventario durante el proceso, además se logrará tener un mejor control de la operación para que la ausencia de los materiales requeridos en los puntos de trabajo de ensamble no demoren el proceso. Además, utilizando los conceptos de la Teoría de Restricciones se busca proteger las operaciones críticas de la operación por medio de AMORTIGUADORES DE TIEMPO que garanticen el flujo continuo de los materiales en la planta.

5.2.3.3 Conceptos de la Manufactura Sincrónica Aplicados a la Planta Tipo A.

En las plantas tipo A, los aspectos más importantes se encuentran en función de los problemas más serios (mala utilización de los recursos, tiempo extra excesivo, insuficiencia de piezas y cuellos de botella errantes) ya mencionados anteriormente. Aunque es probable que estos problemas conduzcan a un mal servicio al cliente, el aspecto crítico en las plantas tipo A son los altos costos del producto terminado. Por lo tanto es necesario crear e implantar una estrategia que elimine definitivamente estos problemas, con el fin de reducir los altos costos de producción.

La falta de control del flujo crítico del material, conlleva a implementar en el sistema productivo la estrategia de Manufactura Sincrónica, que consiste en identificar y eliminar la causa principal del síndrome de exceso y carencia de material en las plantas tipo A, con el fin de obtener un flujo constante que permita igualar la carga de trabajo en las diversas estaciones, ya sean o no de ensamble. Esto resolverá en gran parte el problema de la baja utilización del recurso y el uso excesivo de tiempo extra para compensar la pérdida de capacidad. Por tanto se necesita tomar medidas en el proceso para eliminar o reducir ese fenómeno. Al manejar pequeños tamaños de lotes en el proceso y transferencia de materiales, el flujo cíclico y sincrónico de estos, reduciría el inventario y establecería un flujo de material más uniforme.

Ya que las plantas tipo A se caracterizan por tener más de un RRC, antes de implantar las posibles soluciones se deben identificar las restricciones que limitan el desempeño del sistema, una vez identificadas las restricciones se pueden determinar los AMORTIGUADORES DE TIEMPO para proteger el rendimiento específico del sistema contra las numerosas discontinuidades que se presentan, implantándolo con el fin de reducir el problema para controlar el número requerido de componentes en el ensamble, en especial los productos en proceso que son necesarios en la fabricación de diversos productos finales.

6 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE TIEMPO DE PROCESAMIENTO (TP) EN UNA ESTACIÓN DE TRABAJO

El análisis estadístico de la variable (TP) en una estación de trabajo, permitió comprender el comportamiento estocástico de las operaciones de manufactura, al estimar la distribución de los TP en las estaciones, obteniendo un soporte para elaborar el diseño del modelo simulado en el Software de Promodel.

Es importante identificar aquellas distribuciones que se adapten al comportamiento de la variable TP con una alta probabilidad de aceptación, para obtener una conclusión veraz que permita alcanzar el Objetivo del Proyecto de Investigación. Además, es necesario conocer esté tipo de distribución en las estaciones de trabajo de la Planta de Producción Tipo A, debido a que el Software de Promodel funciona bajo cualquier tipo de distribución de probabilidad en los tiempos de procesamiento en una estación de trabajo y lo ideal es trabajar con modelos de simulación que presenten distribuciones similares al comportamiento real de la variable TP en las industrias manufactureras.

Para la identificación del tipo de distribución de los datos recolectados en la toma de los tiempos de procesamiento de las diferentes industrias manufactureras, se utilizó el software Stat:Fit, y solo aceptaron validas en la investigación aquellas distribuciones que tenían un porcentaje de aceptación mayor al 80 %.

6.1 TOMA DE TIEMPOS

Se tomaron los tiempos de operación a estaciones de trabajo de la industria manufacturera, teniendo en cuenta la eliminación de los tiempos distorsionados e independientes a la

operación ocasionados por el operario que lo ejecutó, de esta forma se obtuvieron datos confiables de la información que se utilizó para el Proyecto de Investigación, estos tiempos de operación fueron analizados por medio del software estadístico Stat:Fit que permitió conocer el comportamiento estadístico de los datos recolectados y obtener la información necesaria para el diseño de los modelos de las plantas de producción requeridas para el desarrollo de la investigación.

6.1.1 INDUSTRIA DE CONFECCIONES

El día 17 de Noviembre del 2003 se realizó una visita a la empresa de confecciones “Tejiditos”, en la cual se realizó la toma de tiempos de operación a la estación de trabajo “Cerrado de Costado” en la Industria de Confecciones, utilizando la Máquina Fileteadora como recurso Físico para desarrollar la actividad de manufactura; la toma de tiempos se realizó teniendo en cuenta todos los tiempos de operación percibidos por el investigador, eliminando aquellos tiempos distorsionados e independientes a la operación, esto permitió ofrecer a la investigación una mayor calidad en la información obtenida.

Los Tiempos de procesamiento en la estación de trabajo distorsionados e independiente a la operación corresponden a los números 1, 2, 3, 6, 12, 20, 27, 49, 50, 51, 54, 55, 56, 60, 63, 64, 65 , 66, 68, 69, 74, 79, 81, estos tiempos se eliminaran del análisis.

Tabla 1. Datos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria de Confecciones, (Unidad de Tiempo, Seg.)

1. 87,66	21. 73,96	41. 99,50	61. 109,69	81. 101,92
2. 91,29	22. 81,68	42. 92,09	62. 84,42	82. 99,45
3. 102,11	23. 69,56	43. 89,58	63. 97,11	83. 69,21
4. 84,75	24. 75,04	44. 87,25	64. 98,09	84. 93,93
5. 91,14	25. 73,52	45. 98,48	65. 99,33	85. 85,53
6. 93,92	26. 87,56	46. 84,82	66. 105,62	86. 90,74
7. 97,14	27. 91,87	47. 81,49	67. 91,94	87. 85,16
8. 89,47	28. 87,37	48. 83,19	68. 101,44	88. 92,87
9. 81,33	29. 85,93	49. 87,27	69. 94,66	89. 105,22
10. 91,83	30. 88,89	50. 111,20	70. 87,22	90. 92,09
11. 90,91	31. 108,30	51. 121,81	71. 88,95	91. 97,41
12. 96,54	32. 74,09	52. 102,91	72. 92,22	92. 107,58
13. 92,18	33. 76,66	53. 104,61	73. 96,04	93. 73,28
14. 86,55	34. 64,69	54. 120,68	74. 125,28	94. 68,86
15. 87,48	35. 69,75	55. 106,82	75. 97,21	95. 105,35
16. 96,71	36. 67,77	56. 94,07	76. 82,33	96. 81,28
17. 86,13	37. 79,72	57. 79,44	77. 89,10	97. 83,56
18. 89,72	38. 83,95	58. 69,46	78. 94,10	98. 81,82
19. 84,86	39. 88,00	59. 99,10	79. 102,57	99. 95,50
20. 89,62	40. 100,27	60. 195,62	80. 99,35	

6.1.1.1 Corrección de los datos .

Los datos que se presentan a continuación fueron sometidos a las correcciones anteriormente expuestas, con los datos resultantes se analizará el comportamiento estocástico de la variable tiempo de procesamiento en las estaciones de trabajo, a través del

Software de Stat:Fit, el cual permitirá conocer la distribución de la variable TP en la estación de trabajo y utilizar esta información como soporte en el diseño del proceso productivo de la planta de producción tipo A.

Tabla 2. Datos corregidos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria de Confecciones, (Unidad de Tiempo, Seg.)

1. 84,75	16. 81,68	31. 83,95	46. 99,10	61. 93,93
2. 91,14	17. 69,56	32. 88,00	47. 109,69	62. 85,53
3. 97,14	18. 75,04	33. 100,27	48. 84,42	63. 90,74
4. 89,47	19. 73,52	34. 99,50	49. 91,94	64. 85,16
5. 81,33	20. 87,56	35. 92,09	50. 87,22	65. 92,87
6. 91,83	21. 87,37	36. 89,58	51. 88,95	66. 105,22
7. 90,91	22. 85,93	37. 87,25	52. 92,22	67. 92,09
8. 92,18	23. 88,89	38. 98,48	53. 96,04	68. 97,41
9. 86,55	24. 108,30	39. 84,82	54. 97,21	69. 107,58
10. 87,48	25. 74,09	40. 81,49	55. 82,33	70. 73,28
11. 96,71	26. 76,66	41. 83,19	56. 89,10	71. 68,86
12. 86,13	27. 64,69	42. 102,91	57. 94,10	72. 105,35
13. 89,72	28. 69,75	43. 104,61	58. 99,35	73. 81,28
14. 89,62	29. 67,77	44. 79,44	59. 99,45	74. 83,56
15. 73,96	30. 79,72	45. 69,46	60. 69,21	75. 81,82
				76. 95,5

6.1.2 INDUSTRIA DEL DULCE

El día 5 de Marzo del 2004, se realizó una visita a la empresa de dulces “Arequipe Puro Santandereano” en la cual se realizó la toma de tiempos de operación en la fabricación de la “panucha” bajo condiciones normales, utilizando los siguientes elementos de trabajo: un rodillo, un molde de panuchas, una cuchara, arequipe y coco. Como en el caso anterior se

realizó la toma de tiempos teniendo en cuenta el análisis para la eliminación de los datos, de acuerdo a los criterios del investigador.

Tabla 3. Datos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria del Dulce, (Unidad de Tiempo, Seg.)

10.18	21 12.47	41 13.97	61 13.27	81 13.12
2 13.78	22 11.63	42 14.89	62 13.12	82 13.44
3 11.53	23 14.56	43 12.52	63 15.03	83 12.72
4 13.58	24 11.89	44 10.89	64 13.62	84 11.93
5 14.86	25 12.10	45 15.12	65 14.93	85 11.29
6 14.33	26 15.33	46 11.37	66 11.64	86 11.32
7 14.07	27 11.54	47 11.48	67 12.02	87 12.33
8 14.06	28 13.19	48 11.84	68 12.13	88 15.40
9 14.89	29 12.62	49 11.27	69 12.10	89 12.93
10 13.42	30 13.27	50 10.61	70 12.05	90 12.28
11 12.39	31 11.81	51 13.34	71 11.81	91 12.58
12 12.09	32 11.82	52 11.77	72 13.01	92 12.23
13 12.35	33 10.43	53 11.79	73 13.10	93 10.11
14 11.09	34 12.73	54 13.68	74 13.46	94 12.56
15 13.65	35 13.13	55 12.98	75 12.86	95 12.08
16 13.48	36 12.19	56 10.41	76 12.49	96 12.25
17 12.78	37 11.93	57 11.92	77 13.27	97 11.00
18 12.43	38 12.09	58 13.15	78 13.94	98 12.56
19 14.69	39 11.24	59 12.90	79 14.80	99 11.79
20 11.52	40 12.10	60 13.94	80 13.89	100 12.84

Los tiempos distorsionados debido a una actividad inherente a la operación , corresponden a los números 23, 26,41,42, 45, 59, 63, 88, estos tiempos se eliminaron del análisis.

6.1.2.1 Corrección de los datos

Se realizó la corrección de los datos de igual forma como el caso de la Industria de Confecciones y se obtuvo información acertada sobre la distribución de la variable TP, sin que ésta se viera afectada por las distorsiones independientes a la operación. Con los datos obtenidos se utilizará el Software de Stat:Fit, para conocer la distribución de la variable TP y de esta forma contribuir a la elaboración del diseño de la planta tipo A.

Tabla 4. Datos corregidos de la variable TP de la estación de Trabajo, Industria del Dulce, (Seg.)

1. 10.18	21. 12.47	41. 11.37	61. 12.13	81. 12.93
2. 13.78	22. 11.63	42. 11.48	62. 12.10	82. 12.28
3. 11.53	23. 11.89	43. 11.84	63. 12.05	83. 12.58
4. 13.58	24. 12.10	44. 11.27	64. 11.81	84. 12.23
5. 14.86	25. 11.54	45. 10.61	65. 13.01	85. 10.11
6. 14.33	26. 13.19	46. 13.34	66. 13.10	86. 12.56
7. 14.07	27. 12.62	47. 11.77	67. 13.46	87. 12.08
8. 14.06	28. 13.27	48. 11.79	68. 12.86	88. 12.25
9. 14.89	29. 11.81	49. 13.68	69. 12.49	89. 11.00
10. 13.42	30. 11.82	50. 12.98	70. 13.27	90. 12.56
11. 12.39	31. 10.43	51. 10.41	71. 13.94	91. 11.79
12. 12.09	32. 12.73	52. 11.92	72. 14.80	92. 12.84
13. 12.35	33. 13.13	53. 13.15	73. 13.89	
14. 11.09	34. 12.19	54. 13.94	74. 13.12	
15. 13.65	35. 11.93	55. 13.27	75. 13.44	
16. 13.48	36. 12.09	56. 13.12	76. 12.72	
17. 12.78	37. 11.24	57. 13.62	77. 11.93	
18. 12.43	38. 12.10	58. 14.93	78. 11.29	
19. 14.69	39. 12.52	59. 11.64	79. 11.32	
20. 11.52	40. 10.89	60. 12.02	80. 12.33	

6.2 ANALISIS DE LOS DATOS

Utilizando como herramienta el Software de Estadístico Stat: Fit, se analizaron los tiempos observados en las estaciones de trabajo de las industrias, determinando el comportamiento estocástico de la operación. En el análisis de los datos solo se aceptaron las distribuciones de la variable TP con un porcentaje de aceptación mayor al 80 %. Esta información fué una entrada para la elaboración del diseño de la Planta Tipo A, requerida para asignar el comportamiento estadístico del tiempo de procesamiento en las estaciones de trabajo de los modelos a simular en el software de Promodel.

6.2.1 INDUSTRIA DE CONFECCIONES

Los tiempos de procesamiento se comportan estadísticamente según las siguientes Distribuciones de probabilidad de la variable TP, con un porcentaje de aceptación mayor al 80 %, en una determinada estación de trabajo en la industria de Confecciones.

Figura 3. Distribución del tiempo de procesamiento en la Industria de Confecciones

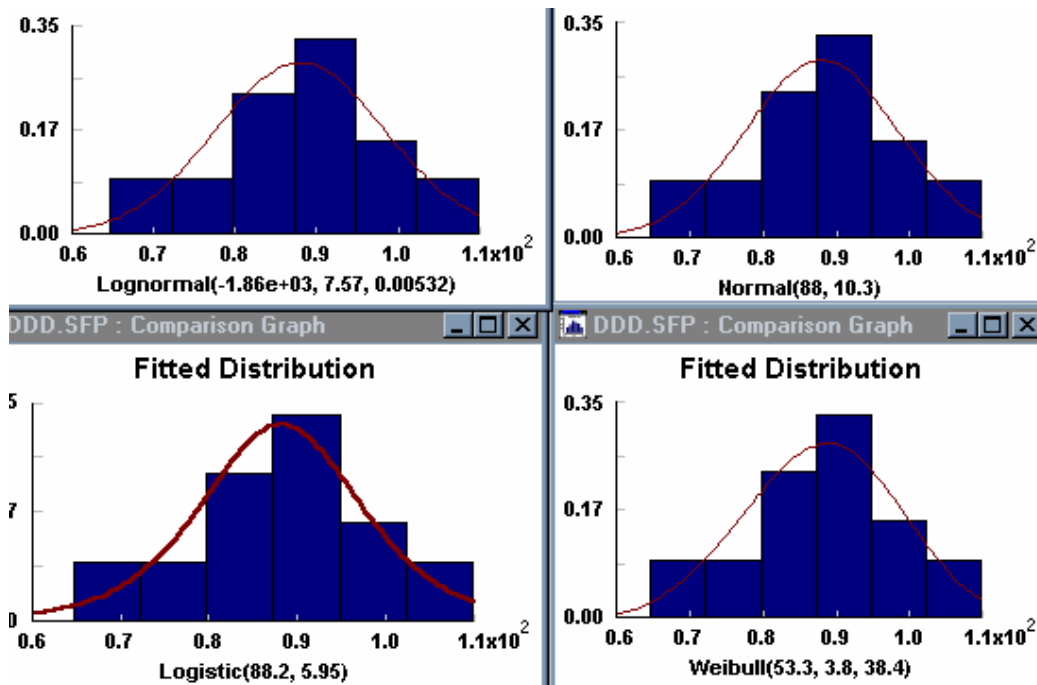


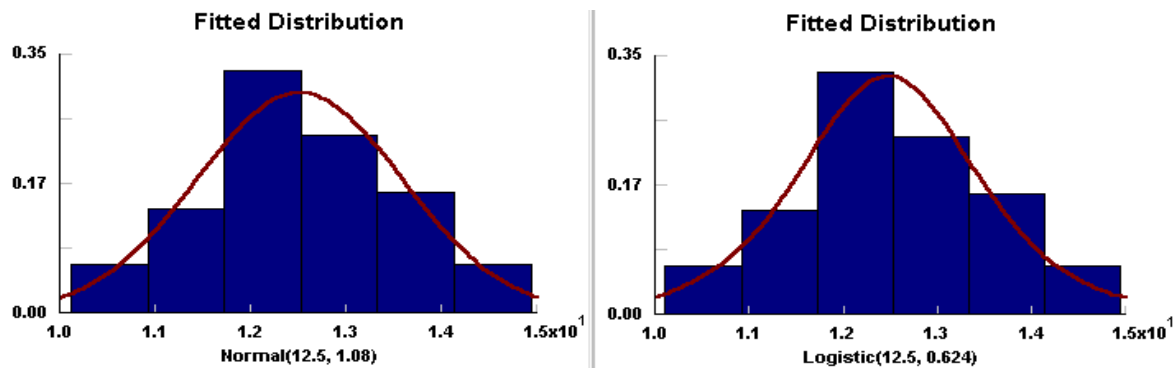
Tabla 5. Parámetros de las Distribuciones de la Variable TP. Industria de Confecciones

Lognormal		Weibull	
Acceptacion	97.1 %	Acceptacion	96.7 %
Min	-1855.42	Minimum	53.2624
Mu	7.572	Alpha	3.79902
Sigma	0.00532	Beta	38.42
Chi Squared	0.911	Chi Squared	0.465
Smirnov	0.442	Smirnov	0.907
Normal		Logistic	
Acceptacion	84.6 %	Acceptacion	92.7 %
Mean	87.9605	Mean	87.9605
Sigma	10.243	Beta	5.99876
Chi Squared	0.442	Chi Squared	0.938
Smirnov	0.916	Smirnov	0.804

6.2.2 INDUSTRIA DEL DULCE

Los tiempos de procesamiento se comportan estadísticamente según las siguientes Distribuciones de probabilidad de la variable TP, con un porcentaje de aceptación mayor al 80 %, en una determinada estación de trabajo en la industria del dulce.

Figura 4. Distribución del tiempo de procesamiento en la Industria del Dulce.



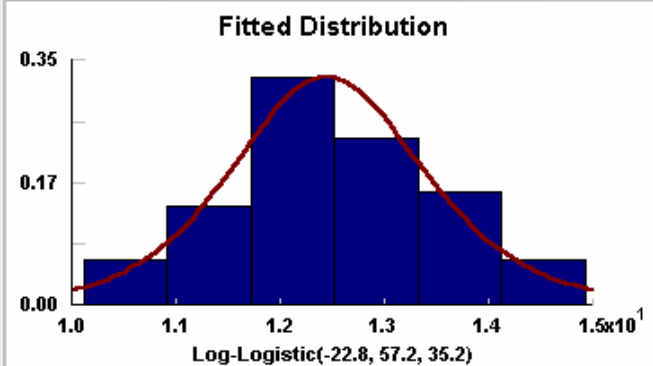
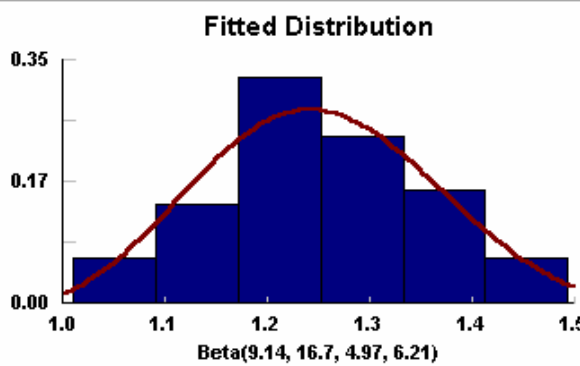
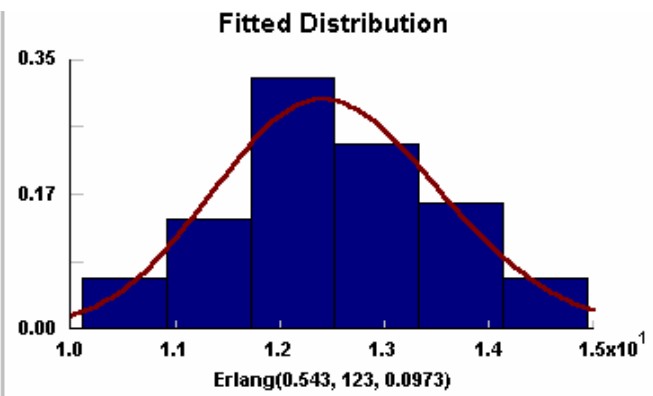
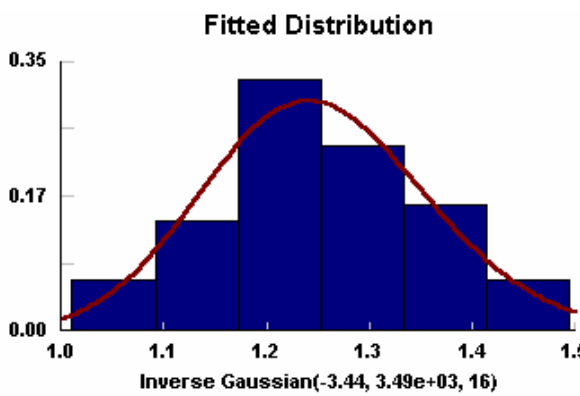
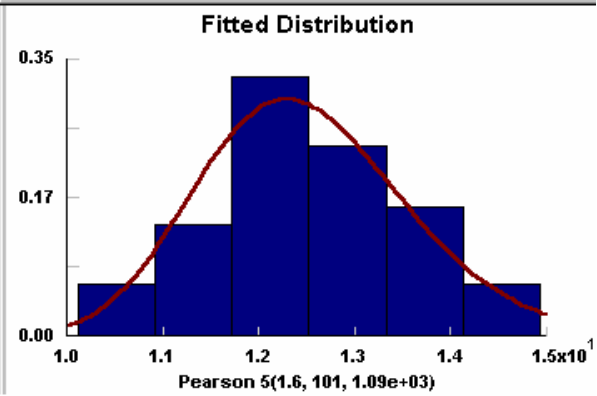
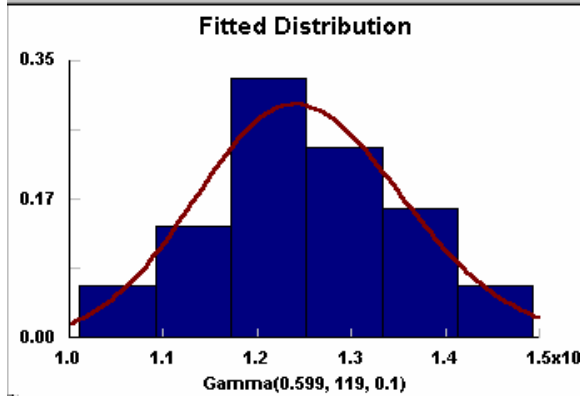
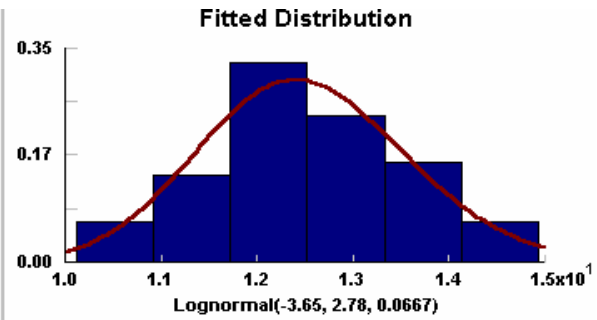
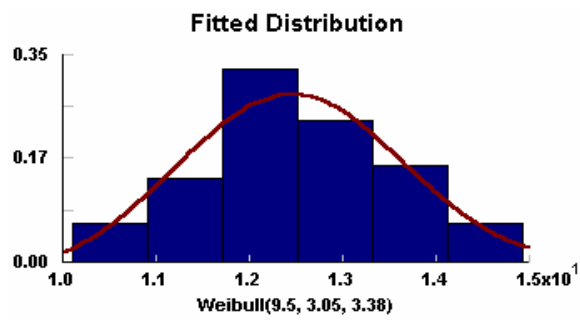


Tabla 6. Parámetros de las Distribuciones de la Variable TP. Industria del Dulce.

Pearson 5		Log Normal	
Acceptacion	100 %	Acceptacion	99.6 %
Minimun	1.6020	Minimun	3.64632
Alpha	100.637	Mu	2.78033
Beta	1087.32	Sigma	0.066
Chi Squared	0.895	Chi Squared	0.878
Smirnov	0.956	Smirnov	0.953
Gamma		Weibull	
Acceptacion	99.4 %	Acceptacion	99.1 %
Minimum	0.498649	Minimum	9.49677
Alpha	119.072	Alpha	3.04685
Beta	0.1	Beta	3.37522
Chi Squared	0.878	Chi Squared	0.861
Smirnov	0.95	Smirnov	0.949
Ernlang		Log Logistic	
Acceptacion	98.8 %	Acceptacion	90.1 %
Minimun	0.443208	Minimun	-22.7719
M	123	P	57.2029
Beta	0.0973252	Beta	35.2435
Chi Squared	0.878	Chi Squared	0.861
Smirnov	0.945	Smirnov	0.873
Beta		Inv. Gaussian	
Acceptacion	89.6 %	Acceptacion	84.6 %
Minimum	9.13912	Minimum	3.44153
Maximun	16.7283	Alpha	3488.41
P	4.97421	Beta	15.9554
Q	6.20906	Chi Squared	0.911

Chi Squared	0.925	Smirnov	0.814
Smirnov	0.933		
Logistic		Normal	
Acceptacion	83.4 %	Acceptacion	81.8 %
Mean	12.47	Mean	12.5139
Beta	0.624114	Deviation	1.07847
Chi Squared	0.786	Chi Squared	0.767
Smirnov	0.874	Smirnov	0.836

6.3 ANÁLISIS DE LAS DISTRIBUCIONES DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN

6.3.1 INDUSTRIA DE CONFECCIONES

Conocer el comportamiento estocástico de los tiempos de operación en la empresa de confecciones, fué el interés específico del análisis de las distribuciones de la variable TP en una estación de trabajo para una planta de producción tipo A.

Con las distribuciones de probabilidad de la variable tiempo de procesamiento, obtenidas por el software de estadística Stat: Fit, se concluyó que la variable TP en la empresa de confecciones se comporta como una distribución Lognormal con un porcentaje de aceptación del 97.1 %, una distribución Weibull con un porcentaje de aceptación del 96.7 %, una distribución Logistic con un porcentaje de aceptación del 92.7 % y una distribución Normal con un porcentaje de aceptación del 84.6%, Debido a que este tipo de distribuciones superan el 80 % de aceptación planteado para la aceptación de la distribución del TP en el Proyecto de Investigación, se tomaron estas cuatro distribuciones como alternativas de distribución, para poder fundamentar el diseño de los modelos de las plantas de producción que se programaron para el Proyecto de Investigación.

6.3.2 INDUSTRIA DEL DULCE

El análisis de las distribuciones de probabilidad de la variable TP en un estación de trabajo en una planta de producción tipo A, permitió conocer en la empresa del Dulce el comportamiento estocástico de la operación en una determinada estación de trabajo.

Con las distribuciones de la variable tiempo de procesamiento en la empresa del Dulce, obtenidas por el software de estadística Stat: Fit, se concluye que la variable TP se comporta estadísticamente como una distribución Pearson 5 con un porcentaje de aceptación del 100 %, una distribución Log. Normal con un porcentaje de aceptación del 99.6 %, una distribución Gamma con un porcentaje de aceptación del 99.4 %, una distribución Weibull con un porcentaje de aceptación del 99.1%, una distribución Erlang con un porcentaje de aceptación del 98.8 %, una distribución Log. Logistic con un porcentaje de aceptación del 90.1 %, una distribución Beta con un porcentaje de aceptación del 89.6 %, una distribución Inversa Gaussian con un porcentaje de aceptación del 84.6 %, una distribución Logistic con un porcentaje de aceptación del 83.4 %, una distribución Normal con un porcentaje de aceptación del 81.8 %. Debido a que este tipo de distribuciones superan el 80 % de aceptación planteado en el Proyecto de Investigación, se tomaran estas diez distribuciones como alternativas de distribución de los tiempos de procesamiento, para ofrecer un soporte en el diseño de los modelos de las plantas de producción.

7 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN TIPO A

La planta de producción que sirvió como base para el desarrollo de la investigación es un prototipo de Planta Tipo A (Anexo 1), en el cual hay una gran cantidad de recepción de materia prima y con los procesos de transformación se obtienen pocos productos terminados.

El sistema de producción simulado por el Software Promodel trabajó bajo el concepto “push”, considerando disponibilidad de materia prima y demanda ilimitada. Para el planteamiento del diseño de la planta de producción se utilizaron 5 almacenes que proveerán la materia prima a la planta de producción, 11 estaciones de trabajo de las cuales 6 realizaron operaciones de ensamble. Para describir el planteamiento del sistema productivo se realizó un diagrama de flujo (Anexo 2), que describe las operaciones e interacciones de ensambles de las diferentes entidades que hacen parte del flujo del producto de la Planta Tipo A.

Se utilizó para el diseño de las estaciones de trabajo una Distribución Normal que describe el comportamiento estocástico de la variable TP, esta decisión se fundamentó en la información que se obtuvo del análisis estadístico de los tiempos de procesamiento de las estaciones de trabajo en las industrias manufactureras; entre las que se encuentran la Distribución Pearson 5, Log. Normal, Gamma, Weibull, Erlang, Log. Logistic, Beta, Inversa Gaussian, Logistic, Normal.

En el estudio de investigación se plantearon 3 escenarios en los cuales se ubicó la restricción en diferentes sitios de la Planta Tipo A; los RRC se generaron a partir de la alteración del parámetro (μ) en la variable TP, condicionando el flujo del producto a la capacidad productora de la Restricción.

Los tres escenarios son:

Escenario 1 : La Ubicación de la Restricción al Inicio del Sistema Productivo

Escenario 2 : La Ubicación de la Restricción en la Mitad del Sistema Productivo

Escenario 3 : La Ubicación de la Restricción al Final del Sistema Productivo

Con los escenarios anteriormente planteados se representan algunas de las situaciones existentes en el sistema productivo, ocasionadas por la ubicación de la restricción. Además se evaluó en cada escenario la eficiencia que aportó cada uno de estos al sistema productivo de acuerdo al coeficiente de variación C_{vp} ¹⁵ incluido en los parámetros de la distribución del tiempo de procesamiento en las estaciones de trabajo. Por esta razón se plantearon dos casos para cada escenario en los cuales el C_{vp} será de 0.2 y 0.4 respectivamente. Con la información proporcionada por el Software se analizó la incidencia del cambio de este parámetro en el tiempo de procesamiento, sobre la eficiencia del sistema productivo.

7.1 PLANTEAMIENTO DE LAS DIVERSAS VARIACIONES EN LOS TIEMPOS DE PROCESAMIENTO (TP) EN UNA ESTACION DE TRABAJO

Para el proyecto de investigación se plantearon diversas variaciones en la distribución de la variable TP, para generar distintos escenarios en la Planta Tipo A. Este análisis fué de gran importancia, debido a que las plantas Tipo A predominan en la Industria del País, por lo tanto es necesario analizar el comportamiento de la producción en los distintos puntos en los que se puede presentar la restricción. La investigación permitió evaluar el efecto que producen los distintos escenarios en la eficiencia del sistema productivo de la planta y analizar el comportamiento de cada escenario ante la variación de C_{vp} , conociendo la incidencia de la variación del tiempo de procesamiento en la eficiencia del sistema. Estos planteamientos fueron importantes para establecer en cada escenario un tamaño factible del

AMORTIGUADOR DE TIEMPO que garantice el flujo continuo del producto a lo largo de la Planta Tipo A, teniendo en cuenta que debe proteger y controlar la restricción, para garantizar que ésta se encuentre siempre trabajando.

Se modificó el Tiempo Promedio de Operación de la Distribución Normal (μ) para obtener las distintas ubicaciones de la restricción en la Planta Tipo A y poder plantear los diferentes escenarios. La estación de trabajo con el tiempo promedio de procesamiento (μ) más largo, será la que marque el ritmo de producción (restricción o RRC). Para el planteamiento de los dos casos en cada escenario, se modificó la desviación del tiempo de procesamiento (σ) de la Distribución Normal , correspondiente a cada caso un valor de C_{vp} de 0.2 y 0.4 respectivamente, donde se conoce que el $C_{vp} = (\sigma) / (\mu)$ ¹⁶.

Tabla 7. Descripción de los casos a plantear para cada escenario

	PARAMETRO	C_{vp}	μ_A	μ_B	μ_C	σ_A	σ_B	σ_C
ESCENARIOS	CASO 1	0.2	2.5	5	6	0.5	1	1.2
	CASO 2	0.4	2.5	5	6	1	2	2.4

C_{vp} Coeficiente de variación de la distribución de tiempo de trabajo

μ_A Tiempo promedio de la estación de trabajo, que fabrica dos piezas para el PT

μ_B Tiempo promedio de la estación de trabajo no restrictiva

μ_C Tiempo promedio de la estación de trabajo restrictiva

σ_A Desviación estándar de la estación de trabajo que fabrica dos piezas para el PT

σ_B Desviación estándar de la estación de trabajo no restrictiva

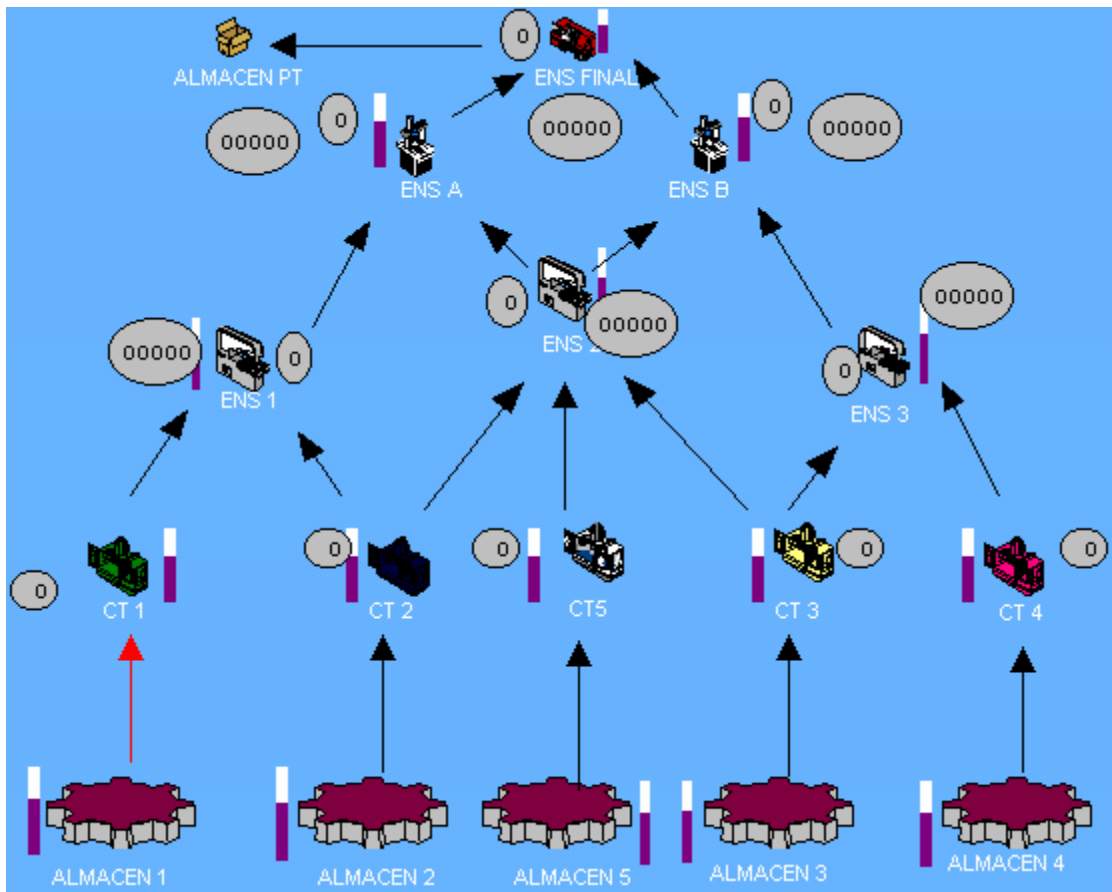
σ_C Desviación estándar de la estación de trabajo restrictiva

¹⁵ C_{vp} es el coeficiente de variación del tiempo de procesamiento

¹⁶ Douglas Montgomery. Probabilidad y Estadística. Edición Mac Graw-Hill. Pág 28

- 1 Primer Producto Procesado
- 2 Segundo Producto Procesado
- 3 Tercer Producto Procesado

Figura 5. Escenario general del sistema productivo de la Planta tipo A.



Para el planteamiento de los escenarios 1 (Anexo 3), escenario 2 (Anexo 4) y escenario 3 (Anexo 5) se elaboró un diagrama de flujo utilizando el Software de Visio para describir el modelo a programar en el Software de Promodel.

La distribución de tiempo de la variable TP en la estación de trabajo restrictiva, no restrictiva y la estación fabricante de dos piezas para el ensamble, se comporta como una Distribución Normal $N(6, \sigma)$, $N(5, \sigma)$ y $N(2.5, \sigma)$ {Minutos}. respectivamente; debido a la complejidad de la investigación no se pudieron diseñar prototipos con los otros tipos de distribución de la variable TP y para los dos casos planteados en cada escenario se modificó el Cvp de 0.2 y 0.4 respectivamente en la distribución del tiempo de procesamiento; este análisis sirvió como base para conocer el comportamiento de la eficiencia del sistema productivo ante las diversas variaciones en los respectivos parámetros¹⁷.

¹⁷ Laila Cure, Adriana Salcedo, Carlos Paternina. Proyecto de Investigación. Obtained Benefit in a stochastic production system with the incorporation of simetric buffers along the line. Universidad del Norte. 2004

8 SIMULACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DISEÑADA, UTILIZANDO COMO HERRAMIENTA EL SOFTWARE DE PROMODEL

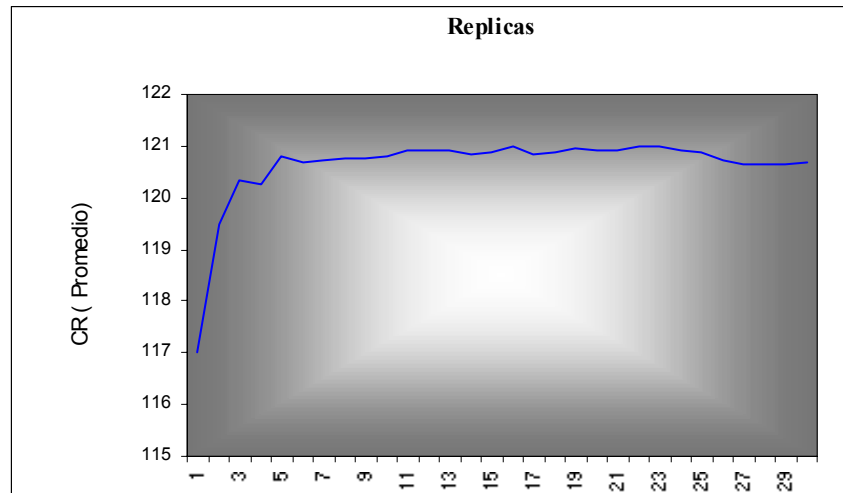
La experimentación real de las situaciones de producción que se plantearon con los 3 escenarios para conocer una solución que permita obtener un flujo de material constante sería muy costosa; por lo tanto se plantea la simulación por medio del software de Promodel, como solución para observar los diferentes comportamientos del sistema¹⁸.

El Software Promodel se utilizó como herramienta para representar los diferentes escenarios, por medio de modelos abstraídos de la realidad, analizando los resultados y evaluando la eficiencia aportada al sistema; la simulación le permite a las industrias evaluar la implementación de este tipo de solución sin incurrir en excesivos costos para conocer sus resultados. Cuanto mejor sea el grado de aproximación de la simulación a la realidad, mayor será su utilidad; por esta razón las distribuciones que se utilizaron en la variable TP son tomadas del comportamiento real de diferentes industrias manufactureras.

Para la simulación de los tres escenarios planteados en el Software Promodel se estableció un tiempo de precalentamiento de 30 Minutos (Warmup) y un tiempo de simulación de 840 minutos (Simulation Time); el análisis de los resultados de los modelos se realizó con los promedios (Average) de las réplicas¹⁹, sin tener en cuenta el tiempo de precalentamiento ya que este es relativamente corto. Para hallar el número de réplicas se contabilizó el número de unidades producidas CR en promedio por el sistema durante el tiempo de simulación para un número considerable de réplicas, hasta obtener un número constante de unidades promedio producidas CR por el sistema (Figura 6), por lo tanto el número total de réplicas para el modelo simulado es de 7; para tener una mayor aproximación en los resultados se decidió considerar 15 réplicas.

¹⁸ Luis Ernesto Blanco Rivero / Iván Darío Fajardo Piedrahita. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería. Simulación con Promodel, Pág. 108-109

Figura 6. Comportamiento del CR, para determinar el número de réplicas en la simulación



las unidades procesadas que salen del sistema real (CR) son la variable respuesta del modelo de simulación. Estos datos se transforman en eficiencia, dividiéndolos entre el valor ideal de la Capacidad Nominal (CN)²⁰ de la planta en el periodo simulado. Según el tiempo de simulación (840 min.) y la frecuencia con que se produce un producto (FP)²¹, el CN es:

$$CN = (\text{Tiempo de Simulación} / FP) \{ \text{unid.} \}$$

$$CN = (\{ 840 \text{ min.} \} / \{ 6 \text{ min./unid} \})$$

$$CN = 140 \{ \text{unid.} \}$$

Este valor se calculó sin tener en cuenta el efecto que produce la ubicación de la restricción en el sistema de producción, tomando el mismo valor de CN para todos los escenarios.

8.1 ESTABLECER EL TAMBOR EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

El tambor es considerado el punto de control o ritmo de la producción, que al incluirlo en el sistema productivo reduce la variabilidad y la dependencia durante el flujo del producto.

¹⁹ Réplicas, Número de Simulaciones que se Realizaron para cada Escenario

²⁰ CN, Capacidad Nominal de la Planta. CR Capacidad Real de la Planta

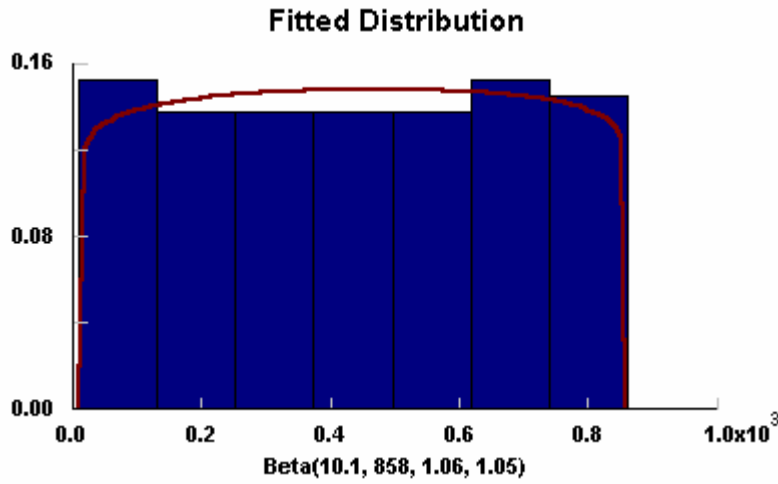
²¹ FP Frecuencia con la que se produce un producto en el sistema general de la planta

Para la investigación, el ritmo del tambor fué determinado por la restricción, por lo tanto para calcularlo en los diversos escenarios se utilizó como herramienta el Software Promodel y Stat:Fit. Fué importante tener una aproximación real del tambor y de acuerdo al comportamiento que tuvo la restricción frente a su funcionamiento, se pudo determinar el AMORTIGUADOR DE TIEMPO necesario en la Restricción del sistema, que soportará las variaciones, dependencias e intervenciones del efecto Murphy en el sistema de producción.

Utilizando el software Promodel, se simularon los tres escenarios bajo las condiciones expuestas en el capítulo anterior, el vector utilizado en la programación del software Promodel permitió registrar el tiempo real que demora un producto, desde que sale del almacén hasta que sale de la estación donde se encuentra ubicada la restricción. Incorporando el vector en el Software Stat:Fit se conoció la distribución de tiempo que determina el tiempo de llegada de la materia prima a los almacenes para que estos no se saturen de grandes inventarios y por lo tanto solo tengan el necesario para garantizar un balanceo en el flujo del producto, con esto se estableció el tambor necesario para disminuir las discontinuidades del proceso productivo. Por lo tanto al implementar esta herramienta en el sistema; los recursos no restrictivos quedaron con una capacidad protectora permitiendo disminuir la variabilidad y dependencia del sistema.

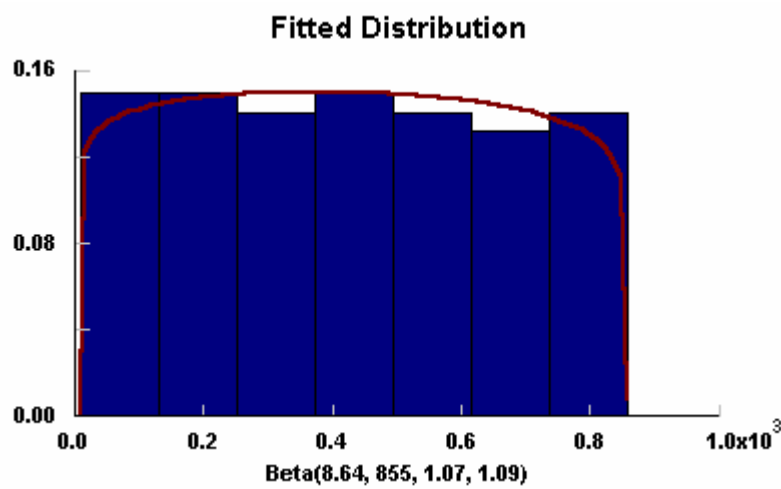
Según los datos arrojados por el Software de Simulación y con la utilización del software Stat:Fit, la Distribución de tiempo tiene el siguiente comportamiento, con la cual le llegará la respectiva materia prima a los almacenes (Tambor) de acuerdo a la restricción:

Figura 7. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 1, Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)



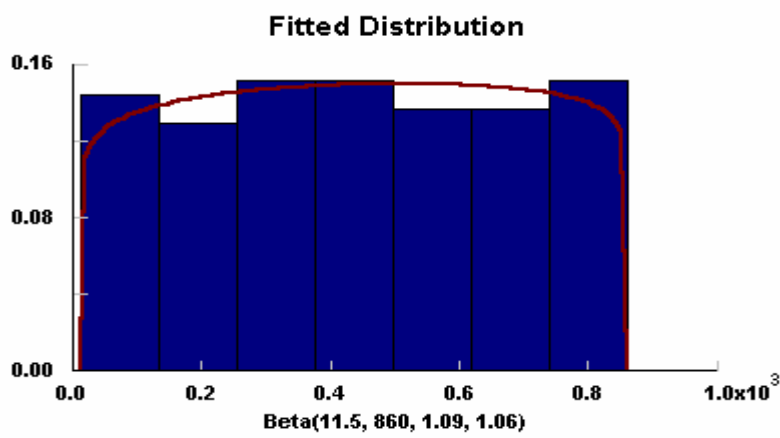
Dist. Beta	Value
Minimum	10.110.08
Maximum	858.24
P	1.0612
Q	1.05109
Chi Squared	0.994
S-Kolmogor.	1

Figura 8. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 1, Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)



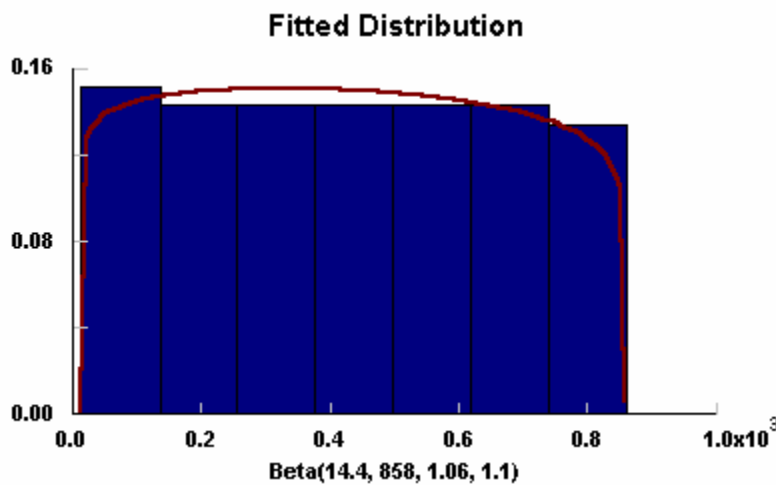
Dist. Beta	Value
Minimum	8.64
Maximum	855.36
P	1.0677
Q	1.0899
Chi Squared	0.997
S-Kolmogor.	1

Figura 9. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 2, Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)



Dist. Beta	Value
Minimum	11.52
Maximum	859.68
P	1.0874
Q	1.06105
Chi Squared	0.999
S-Kolmogor.	1

Figura 10. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 2, Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)



Dist. Beta	Value
Minimum	14.4
Maximum	858.24
P	1.058
Q	1.101
Chi Squared	0.998
S-Kolmogor.	1

Figura 11. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario3, Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)

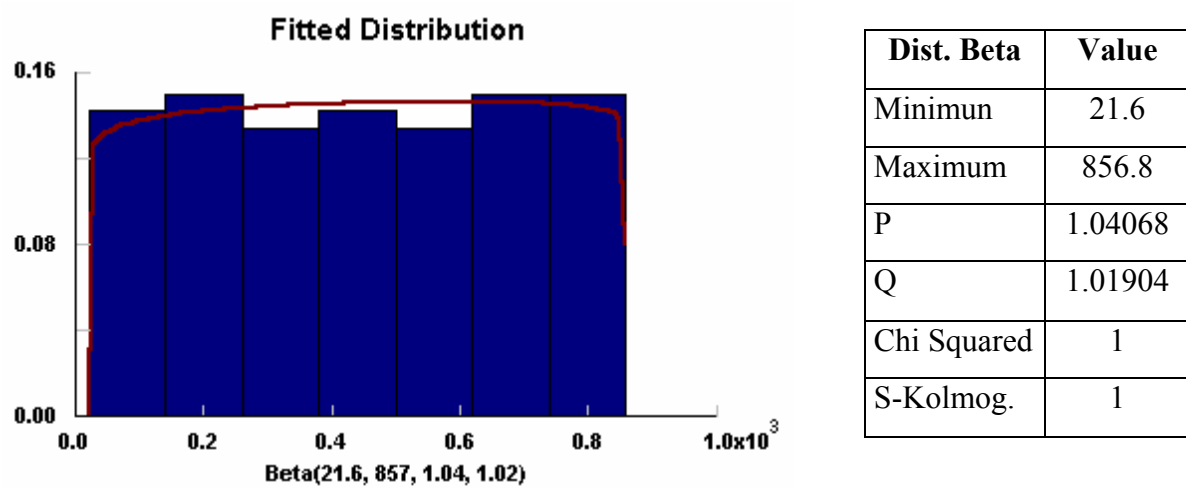
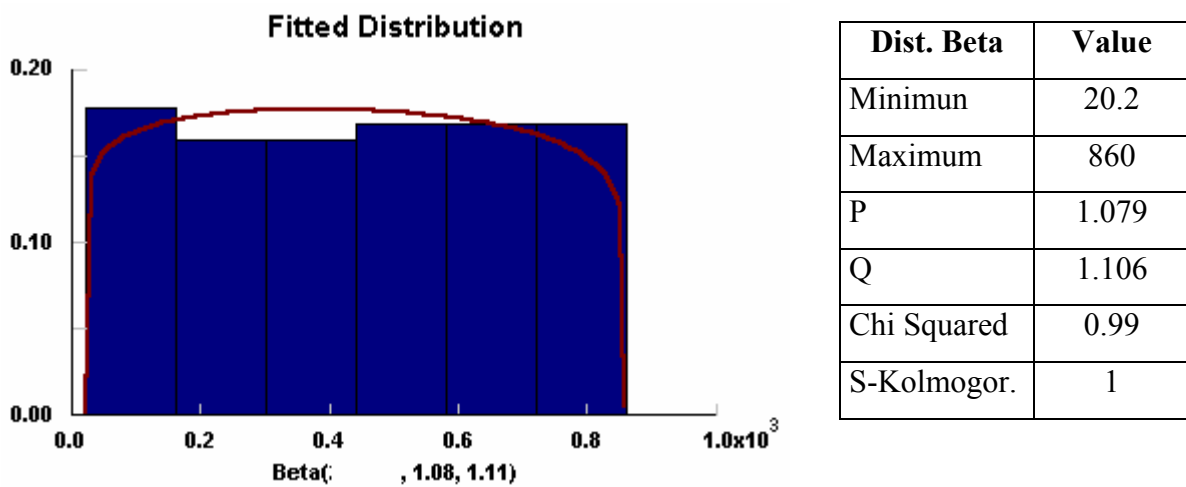


Figura 12. Distribución de tiempo del Tambor. Escenario 3, Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)



Con la información anteriormente expuesta sobre la distribución del tiempo de envío de materia prima a los respectivos almacenes (Tambor), se puede concluir que ante el aumento de la variación del sistema (Caso 2), el comportamiento del tambor puede aumentar o disminuir drásticamente en comparación con el obtenido en el Caso 1; por otra parte, a medida que aumenta la distancia entre el almacén y la restricción RRC (Escenarios) aumenta el tamaño del tambor, ya que a mayor distancia, los parámetros de la distribución de tiempo con la cual le llega material a los almacenes es mayor.

8.2 ESTABLECER MURPHY EN EL SISTEMA

Por lo general cuando las industrias desean implementar un AMORTIGUADOR DE TIEMPO para proteger la restricción (RRC) de cualquier eventualidad, lo realizan partiendo de la experiencia de los operarios o los encargados de la planta de producción, ejecutando pruebas hasta encontrar el tamaño factible del amortiguador y por esto la realización de este tipo de pruebas resultan costosas para la empresa.

Utilizando como herramienta el Software Promodel para simular el sistema productivo de una Planta tipo A, se pudo conocer el tamaño aproximado del amortiguador necesario para proteger el sistema de las eventualidades ocasionadas por las variaciones, dependencias y el efecto Murphy sin incurrir en sobre costos, permitiendo aumentar la eficiencia del sistema.

Para el análisis del amortiguador se implementaron en el modelo de simulación diferentes tipos de eventos que se pueden presentar en la planta de producción, entre los que se encuentran el efecto Murphy, las variaciones, dependencias y el ritmo de la producción “Tambor”. De esta forma se evaluó el comportamiento y se conoció el tamaño del AMORTIGUADOR DE TIEMPO de tal forma que proteja la restricción de los problemas anteriormente expuestos.

Es importante mencionar que las discontinuidades se deben identificar y cuantificar para poder ser implementadas en el software Promodel y de esta forma simular los problemas reales que se presentan en la plantas tipo A.

Para el desarrollo de la investigación se trabajó con un solo tipo de discontinuidades como daños en las máquinas que proveen material a la restricción y por lo tanto deberán ser sometidas a mantenimiento para corregir el daño; el tiempo de mantenimiento es de aproximadamente 60 min. y el daño en las maquinas se presenta en una determinada estación de trabajo anterior a la restricción con una distribución Normal (300, 1.5) min.; por lo tanto D^{22} es aproximadamente 120 min. durante los 840 minutos de simulación de cada replica.

8.3 PRUEBAS PRELIMINARES

Las Pruebas Preliminares en el Software de Promodel se realizaron introduciendo en los diferentes escenarios, los tambores respectivos para cada uno, además de los inconvenientes provocados por Murphy en el sistema de producción de la Planta tipo A.

Como la magnitud del amortiguador está en función del grado de variabilidad que existe dentro de la planta y del grado en el que están cargadas las no restricciones ²³, se planteó una ecuación $(TA_1)^{24}$ que involucró estos aspectos, tomando este resultado como punto de partida para calcular el tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2) , ya que por medio de incrementos y decrementos de TA_1 se pudieron implementar estos valores en los modelos de simulación y analizando los resultados obtenidos por las estadísticas de promodel se conoció el tamaño factible del amortiguador de tiempo para cada escenario.

²² D Tiempo Promedio de Murphy en el sistema

²³ Fogarty Blackstone Hoffmann. Administración de la Productividad e Inventarios. Pág 761

²⁴ TA_1 Tamaño del amortiguador de tiempo, utilizando la ecuación

8.3.1 ECUACIÓN PARA ESTABLECER EL AMORTIGUADOR DE TIEMPO

Utilizando la ecuación TA_1 como punto de partida para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo. Ya que con los valores obtenidos por los incrementos y decrementos de TA_1 , e incorporando estos en los modelos de simulación se pudo conocer el tamaño factible de TA_2 .

Esta ecuación se puede aplicar en cada una de las estaciones de trabajo no restrictivas, teniendo en cuenta el tiempo promedio de procesamiento de estos recursos. La fórmula se planteó con el fin conocer un punto de partida para establecer el tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO, basándonos en la estación no restrictiva más lenta que se encuentre antes de la Restricción, sin tener en cuenta la ubicación de la restricción en el sistema.

Para el planteamiento de la ecuación TA_1 se tuvo en cuenta, la Capacidad protectora C_p de la estación de trabajo más lenta anterior a la restricción ICP, la eficiencia de la capacidad protectora IEC (Afectada por las variaciones, dependencias y la presencia de Murphy) y el tiempo promedio en el que Murphy suele presentarse en la planta (D). Este análisis fue realizado para calcular el punto de partida TA_1 para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo.

C_p	Capacidad Protectora de los Recursos no restrictivos
ICP	Índice de la Capacidad Protectora de las estaciones de trabajo no restrictivas
IEC	Índice de la Eficiencia de la Capacidad Protectora ante la Presencia de Murphy
D	Tiempo promedio en el que Murphy permanece en el sistema
TA₁	Tamaño del Amortiguador utilizando la ecuación
TENR	Tiempo Promedio de operación de las estaciones de trabajo no restrictivas
TER	Tiempo Promedio de operación de la estación de trabajo restrictiva
T	Tiempo de simulación

FP Frecuencia de producción de un producto en la planta general tipo A

$$ICP = [1 - (TENR / TER)]$$

$$IEC = [1 - (D / T)]$$

$$TA_1 \approx [D * [1 - ICP * IEC]] \{ \text{Minutos} \}$$

$$\text{Unidades } TA_1 = TA_1 / FP$$

Según la ecuación TA_1 planteada anteriormente, el resultado fué igual para todos los escenarios, debido a que no tiene en cuenta la ubicación de la restricción en el sistema, concluyendo con la siguiente información.

D = 120 minutos

TENR = 5 minutos

TER = 6 minutos

T = 840 minutos

Unidades TA_1 = 17 unidades

FP = 6 minutos

$$ICP = [1 - (5 / 6)] = 0.166$$

$$IEC = [1 - (120 / 840)] = 0.8571$$

$$TA_1 \approx [120 * [1 - 0.166 * 0.8571]] = 102.92 \approx 103 \{ \text{Min.} \}$$

$$\text{Unidades } TA_1 = 103 / 6$$

Partiendo de los resultados obtenidos por medio de la ecuación, se realizaron incrementos y decrementos de este valor, para introducirlos en los modelos de simulación y por medio de los resultados que cada valor arrojó se conoció el tamaño factible del amortiguador de tiempo, que protegerá y controlará la restricción de la eventualidades ocasionadas por las variaciones, dependencias y el efecto Murphy.

9 APROXIMACIÓN DEL TAMAÑO DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN TIPO A

Para maximizar la eficiencia del sistema productivo, las empresas buscan explotar al máximo la restricción del sistema, permitiendo que a ésta solo lleguen productos de calidad y evitando tiempos vacíos en dicha estación de trabajo. Aunque siempre este presente algún tipo de restricción en el sistema, es muy importante que las industrias se esfuercen por conseguir un flujo constante de material a lo largo del sistema productivo y una forma de lograrlo es aplicando algunos principios de la Teoría De Restricción (TOC) a su producción para proteger y controlar la restricción del sistema, ya que ésta determina la capacidad productiva de la planta.

Debido a la presencia de diversas discontinuidades en el proceso productivo como variaciones, dependencias y el efecto Murphy, la capacidad productiva disponible de un recurso se ve disminuida y por lo tanto hay que controlarlo, ya que si ocurre alguna alteración en un RRC o cuello de botella, se perjudicaría la cantidad y la continuidad del flujo del producto, dañando el comportamiento de la planta de producción; por esta razón es importante proteger la restricción de los imprevistos del sistema por medio de un AMORTIGUADOR DE TIEMPO. Su implementación en el sistema puede ocasionar que haya un poco de exceso de material, pero mejorará considerablemente el flujo del producto y la eficiencia del sistema.

El diseño del AMORTIGUADOR DE TIEMPO se realizó de acuerdo a la restricción, ya que éste garantiza que la restricción continúe produciendo durante el tiempo en el que las variaciones, dependencias y el efecto Murphy estén presente en el flujo del producto, pero el amortiguador debe ser administrado de tal forma que permanezca lo suficientemente lleno durante la producción, garantizando que la restricción trabaje al 100%. Para conocer el estado del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en la simulación se analizaron las

estadísticas arrojadas por el software Promodel y fué necesario diseñar una barra estática de color verde, amarillo y rojo que representa el estado del amortiguador, Figura 13, para conocer visualmente las condiciones en que este se encuentra, teniendo el control del amortiguador, permitiendo que ante algún agujero presente en este, se pueda investigar y registrar su causa.

Utilizando el Software Promodel y la ecuación TA_1 para determinar el punto de partida de los incrementos y decrementos para conocer el tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO TA_2 , garantizando que la restricción trabaje al máximo y que su tamaño sea el suficiente para que no se produzcan agujeros en el amortiguador.

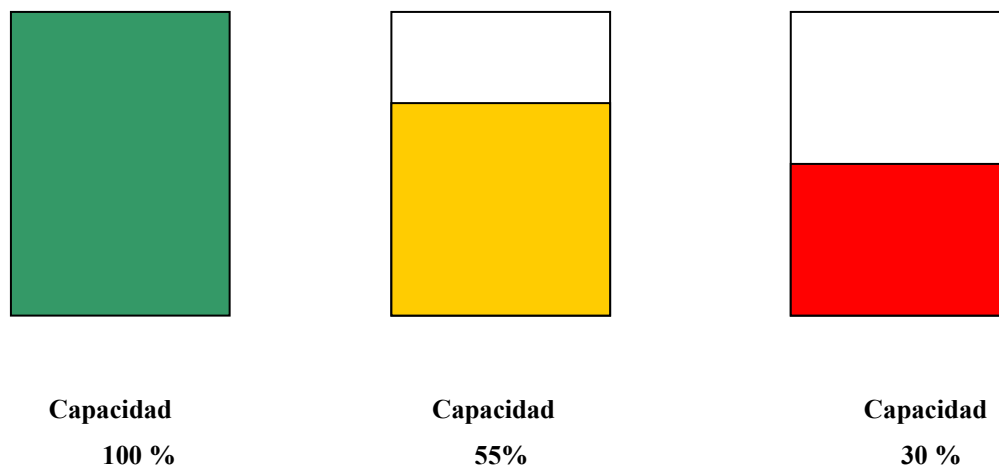
Para aclaraciones de la implantación del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en el sistema, éste se colocará antes de iniciar el sistema productivo, es decir que cuando comiencen las operaciones normales de producción el amortiguador que se encuentre al frente de la restricción este lleno, ya que la variaciones, dependencias y Murphy aparecen a lo largo del sistema productivo, estando éste en condiciones de soportarlos. Se debe aclarar que el sistema productivo trabajó tipo Kanban, excepto cuando se llena el amortiguador debido a que cuando este bajaba de nivel (Amarillo o Rojo), las estaciones no restrictivas utilizaban su capacidad protectora para llenarlo de nuevo.

9.1 PROGRAMACION EN PROMODEL DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO

Para la implementación de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO que protegen las restricciones de cada escenario de la Planta Tipo A, se realizó su programación en el Software Promodel por medio de una estación de trabajo “Amort” . Ubicada al frente de la estación de trabajo Restrictiva, esta estación se llenó debido a que la planta añadirá a su sistema productivo un tiempo extra “AMORTIGUADOR DE TIEMPO” antes de iniciar su jornada de producción; con esto se llenó el AMORTIGUADOR DE TIEMPO, el cual se encargó de ser un soporte para la restricción ante la presencia de las variaciones,

dependencias y el efecto Murphy en el sistema de producción. El estado de la estación de trabajo “Amort”, se conoce por medio de las estadísticas del software Promodel y los siguientes indicadores, donde el administrador del amortiguador puede identificar el estado del AMORTIGUADOR DE TIEMPO, de la siguiente manera:

Figura 13. Barra Indicativas del Estado del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en el Sistema Productivo



Cuando la estación “Amort” se encuentre de color Verde, indicará que el amortiguador se encuentra con su máxima capacidad (lleno) y por lo tanto ante la presencia en el sistema de variaciones, dependencias y el efecto Murphy, éste podrá garantizar que la restricción siga trabajando; el color amarillo indica que se ha utilizado parte del material existente en el amortiguador “Amort ”, pero que aun queda el suficiente para proteger la restricción; el color Rojo indica que en el amortiguador se puede presentar un agujero en cualquier momento, debido a la falta de algún material que debería estar en el amortiguador. Cada agujero presente en el amortiguador debe analizarse y registrarse, ya que los problemas que

más se presentan en la lista de causas, como preparaciones o descomposturas prolongadas, son variables que presentan una alta prioridad para ser corregidas²⁵.

La TOC²⁶ trabaja bajo un sistema de mejoramiento continuo y utiliza la alerta del amortiguador “Color Rojo” para identificar, analizar y registrar las causas que ocasionan la presencia de agujeros en el tamaño del amortiguador, concentrando sus esfuerzos en el mejoramiento de aquellos factores que ocasionan los agujeros más frecuentes y graves en el amortiguador.

9.2 ANALISIS EXPERIMENTAL SIMULADO PARA ESTABLECER EL TAMAÑO FACTIBLE DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO TA

Para evaluar el tamaño aproximado del amortiguador de tiempo TA_2 , se realizaron pruebas tomando como punto de partida el tamaño obtenido por la ecuación TA_1 , realizando incrementos y decrementos de este valor, con el fin de conocer cual sería el tamaño aproximado del amortiguador de tiempo TA_2 ; con los resultados obtenidos se observa que estas variaciones con respecto a TA_1 traen consigo una fuerte incidencia en la eficiencia del sistema, como lo indican las figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Por medio de las diferentes simulaciones realizadas para cada uno de los incrementos y decrementos de TA_1 , se analizaron los resultados estadísticos proporcionados por los modelos de simulación, para poder conocer el tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO, teniendo en cuenta las siguientes condiciones (Anexo 6, 7, 8, 9, 10, 11):

- El número de unidades terminadas durante el proceso productivo (CR) deberá ser alto, ya que por medio de esta variable se analiza la eficiencia del sistema.

²⁵ Fogarty Blackstone Hoffmann. Administración de la Productividad e Inventarios. Pág 761

²⁶ TOC Teoría De Restricciones. Eliyahu Goldratt

- El estado de la estación “Amort”, que es la encargada de soportar las unidades procesadas por la incorporación del amortiguador de tiempo (Tiempo Extra), no debe presentar tiempos vacío durante la simulación.
- El nivel de operación de la restricción debe ser el máximo, debido a que el objetivo de la incorporación del amortiguador de tiempo en el sistema productivo es garantizar que la restricción trabaje, ante la presencia de diversas discontinuidades en el proceso productivo.

Tabla 9. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TAP. Escenario 1, Caso 1.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO DEL AMORTIGAUDOR			ESTADO RESTRICION		
				% FULL	% PARCIAL	% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
9	131	1.603	0.93571	38.96	55.78	5.26	93.25	6.07	0.367
10	131.067	1.830	0.93619	40.05	58.16	1.79	93.86	5.98	0.16
11	131	1.812	0.93571	39.47	60.11	0.42	93.84	6.12	0.05
12	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
13	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
14	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
15	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
16	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
17	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
18	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
20	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
21	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
22	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
24	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
25	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
27	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
28	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
29	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
31	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
32	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
34	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
35	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
36	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
38	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0
39	131.533	2.037	0.93952	41.01	58.99	0	93.34	6.66	0

Figura 14. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TA_2 Escenario 1, Caso 1.

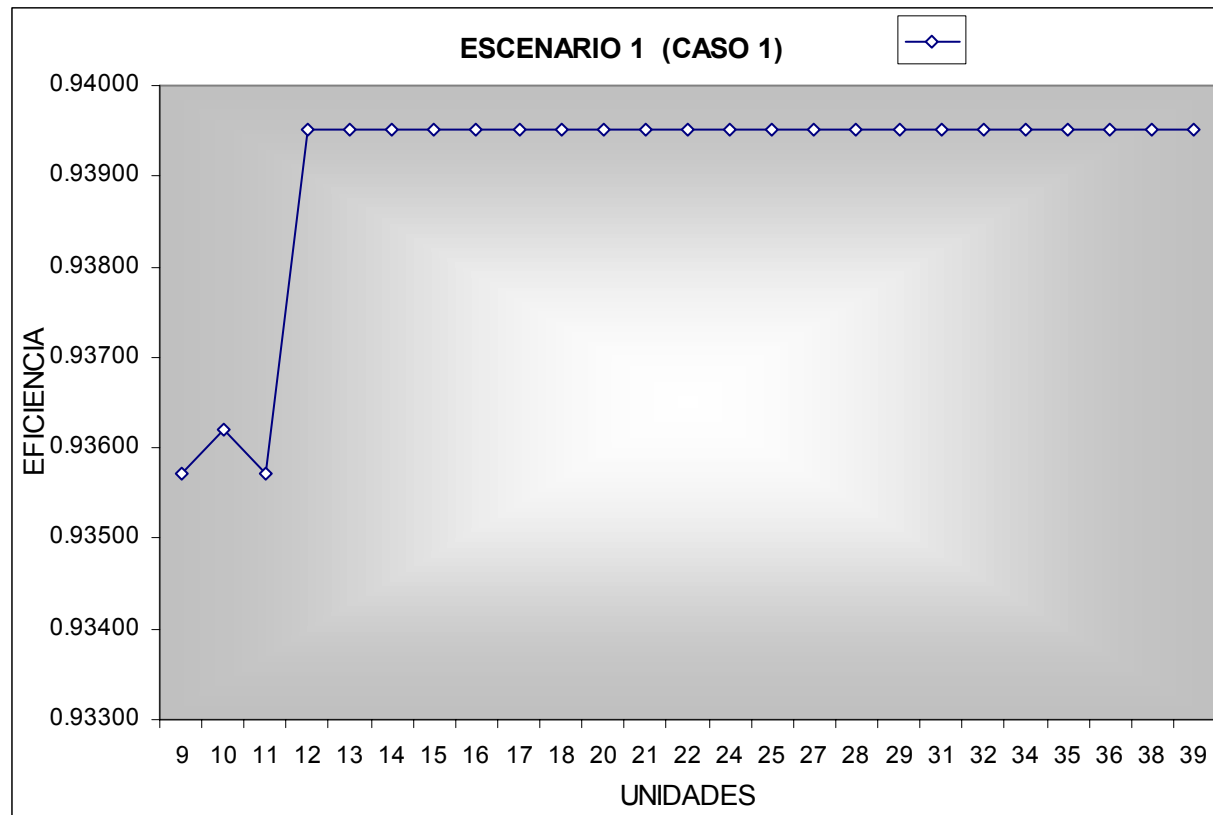


Tabla 10. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TA2. Escenario 1, Caso 2.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO DEL AMORTIGAUDOR			ESTADO RESTRICCION		
				% FULL	% PARCIAL	% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
6	110.6600	1.632	0.7904	60.66	31.06	8.28	78.42	17.75	3.83
7	113.1300	1.302	0.808	55.94	37.59	6.47	80.93	16.94	2.13
8	113.7300	1.099	0.8123	54.44	41.7	3.85	82.25	17.26	0.49
9	114.330	2.058	0.8166	53.4	45.44	0	81.92	18.01	0.07
10	114.6000	2.028	0.8185	53.63	46.28	0	82.06	17.94	0
11	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
12	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
13	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
14	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
15	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
16	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
17	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
18	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
19	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
20	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
21	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
22	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
23	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
24	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
25	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
26	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
29	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
31	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
33	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
35	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
37	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
40	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
42	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
44	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
46	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
48	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
51	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
53	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
55	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
57	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
59	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0
62	114.600	2.028	0.8185	53.63	46.37	0	100	0	0

Figura 15. Eficiencia Vs. Incremento del tamaño del Amortiguador TA2. Escenario 1, Caso 2.

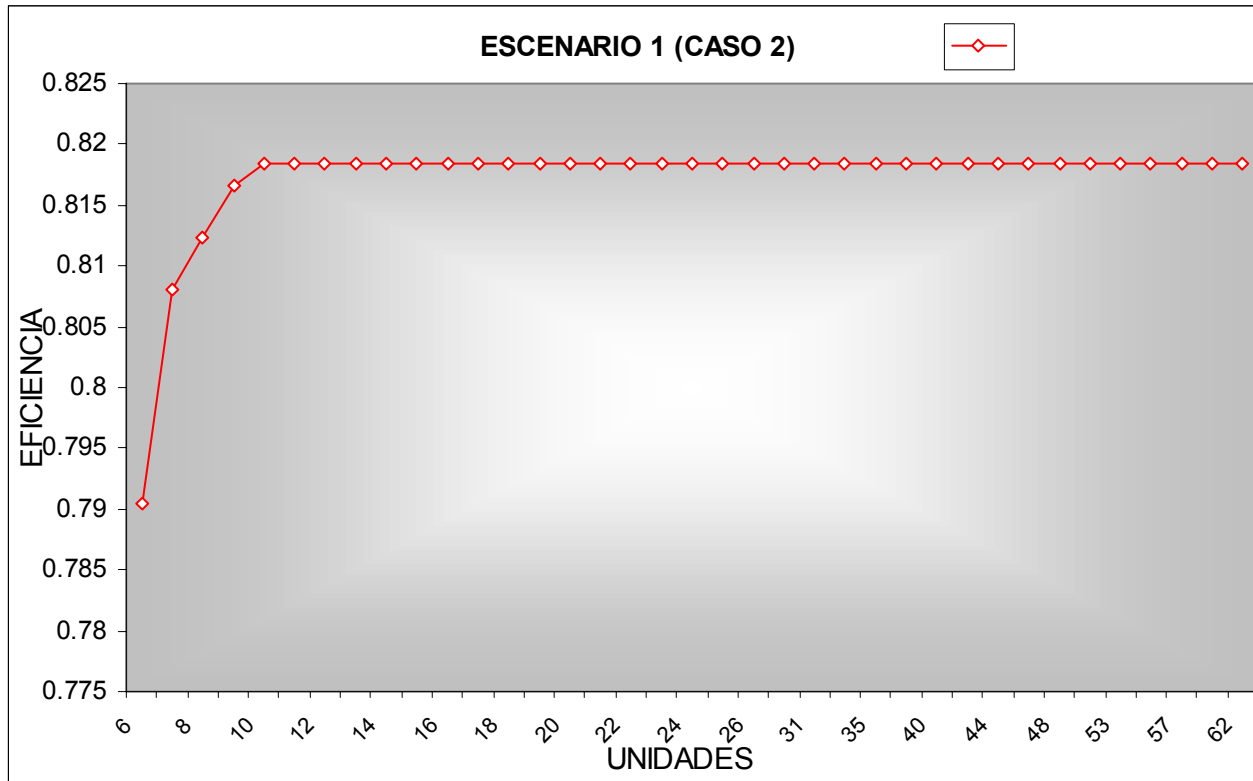


Tabla 11. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador de TA2. Escenario 2, Caso 1.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO DEL AMORTIGAUDOR			ESTADO RESTRICCIÓN		
				% FULL	% PARCIAL	% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
8	128.133	1.684	0.9152	36.15	53	10.85	91.28	5.76	2.96
9	129.2	1.740	0.9228	33.94	56.9	9.16	92.42	5.48	2.1
10	131.467	1.457	0.939	32.2	62.23	5.57	93.02	6.07	0.91
11	130.867	1.726	0.9347	32.72	63.02	4.27	93.16	5.98	0.86
12	131.800	1.552	0.9414	32.72	63.02	4.27	93.16	5.98	0.86
13	130.867	2.263	0.934	33.62	67.77	0.61	93.97	5.98	0.05
14	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.18	0.06	93.96	6.04	0
15	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	93.96	6.04	0
16	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	92.96	7.04	0
17	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	91.96	8.04	0
19	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	90.96	9.04	0
20	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	89.96	10.04	0
22	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	88.96	11.04	0
23	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	87.96	12.04	0
25	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	86.96	13.04	0
26	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	85.96	14.04	0
28	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	84.96	15.04	0
29	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	83.96	16.04	0
30	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	82.96	17.04	0
32	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	81.96	18.04	0
33	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	80.96	19.04	0
35	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	79.96	20.04	0
36	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	78.96	21.04	0
38	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	77.96	22.04	0
39	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	76.96	23.04	0
41	132.067	1.709	0.9433	32.76	67.24	0	75.96	24.04	0

Figura 16. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador de TA2. Escenario 2, Caso 1.

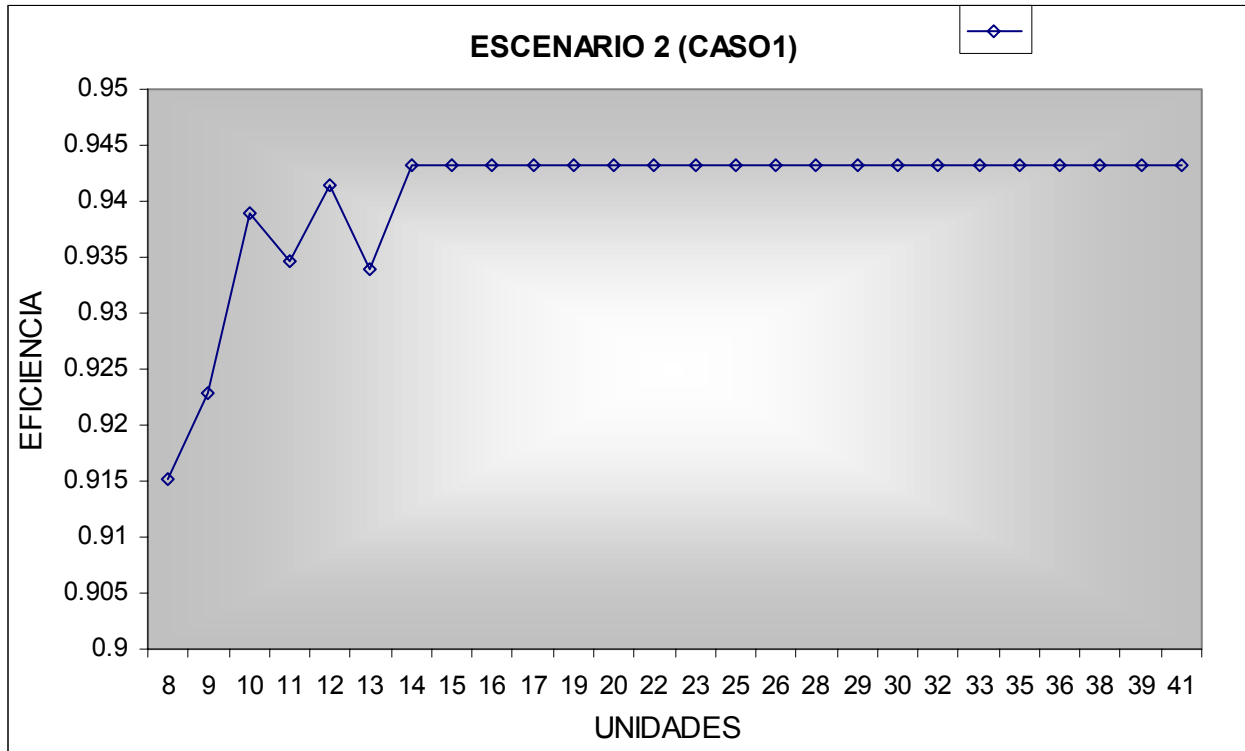


Tabla 12. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2. Escenario 2, caso 2.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO DEL AMORTIGAUDOR			ESTADO RESTRICION		
				% FULL	% PARCIAL	% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
8	113.8	1.567	0.8128	34.27	57.37	8.36	81.02	17.52	1.46
9	113.933	2.604	0.8138	34	62.14	3.39	81.68	17.85	0.47
10	115.667	2.581	0.8261	31	67.02	1.98	82.35	17.35	0.3
11	115	2.171	0.8214	31.64	66.76	1.6	82.77	16.83	0.4
12	116.133	1.922	0.8295	31.95	67.22	0.83	81.45	18.4	0.15
13	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.54	0.35	82.21	17.79	0
14	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
15	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
16	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
17	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
20	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
22	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
24	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
26	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
28	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
30	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
32	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
34	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
37	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
39	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
41	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
43	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
45	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
47	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
49	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
52	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
54	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
56	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
58	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0
60	114.867	2.386	0.8204	35.11	64.89	0	82.21	17.79	0

Figura 17. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2. Escenario 2, Caso 2.

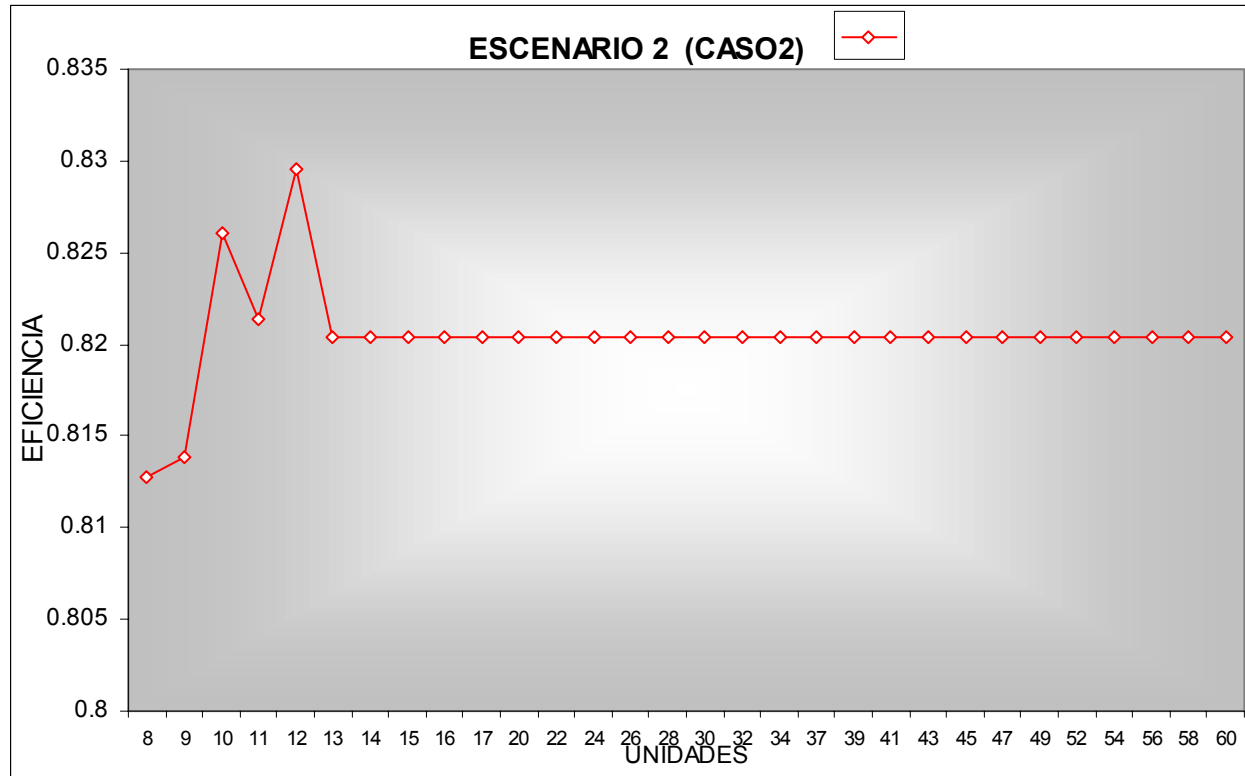


Tabla 13. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2, Escenario 3, Caso 1.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO DEL AMORTIGAUDOR			ESTADO RESTRICCIÓN		
				% FULL	% PARCIAL	% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
8	127.667	1.632	0.9119	3.69	77.99	18.32	91.19	0	8.81
9	128.133	1.726	0.9152	5.95	72.92	21.13	91.36	0	8.64
10	129.067	1.667	0.9219	9.74	71.87	18.39	92.73	0	7.27
11	130.867	1.597	0.9347	7.31	73.24	19.45	92.88	0	7.12
12	131.8	2.042	0.9414	5.97	77.37	16.66	93.71	0	6.29
13	131.933	1.944	0.9423	8.22	76.51	15.27	94.08	0	5.92
14	133.667	2.160	0.9547	6.46	82.18	11.36	95.78	0	4.22
15	131.933	1.944	0.9423	8.22	76.51	15.27	94.08	0	5.92
16	135.533	1.684	0.9666	5.45	83.49	11.06	96.32	0	3.68
17	135.333	1.345	0.9666	5.89	85.87	8.24	97.31	0	2.69
18	136.933	1.624	0.9780	7.23	84.93	7.84	98.02	0	1.98
20	138.4	2.097	0.9885	6.9	87.67	5.43	98.65	0	1.35
21	139.667	1.838	0.9976	4.81	91.68	3.51	99.38	0	0.62
22	139.333	2.288	0.9952	2.65	89.42	7.92	99.78	0	0.22
24	139.333	2.587	0.9952	3.54	95.92	0.54	100	0	0
25	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.1	0.13	100	0	0
26	140.533	1.884	1.0000	3.8	96.2	0	100	0	0
27	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
28	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
29	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
31	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
32	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
34	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
35	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
37	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
38	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0
40	139.333	2.663	0.9952	3.77	96.23	0	100	0	0

Figura 18. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2. Escenario 3, Caso 1.

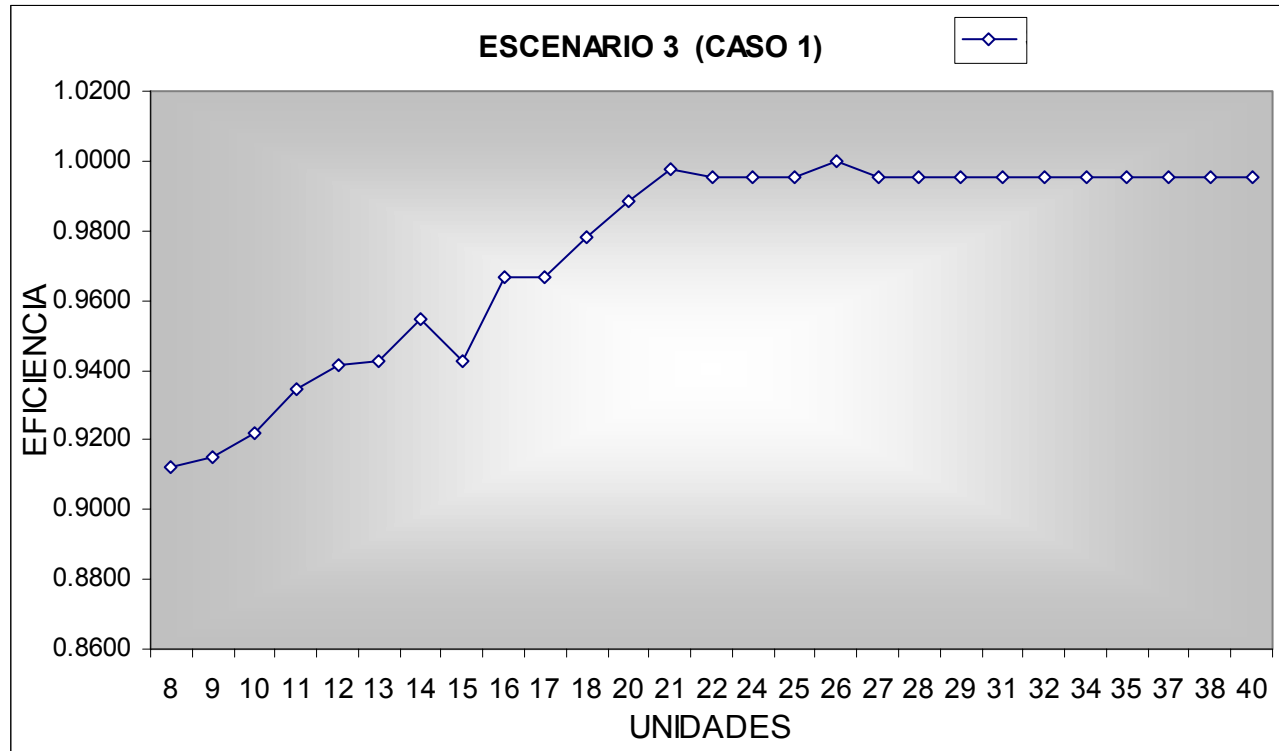
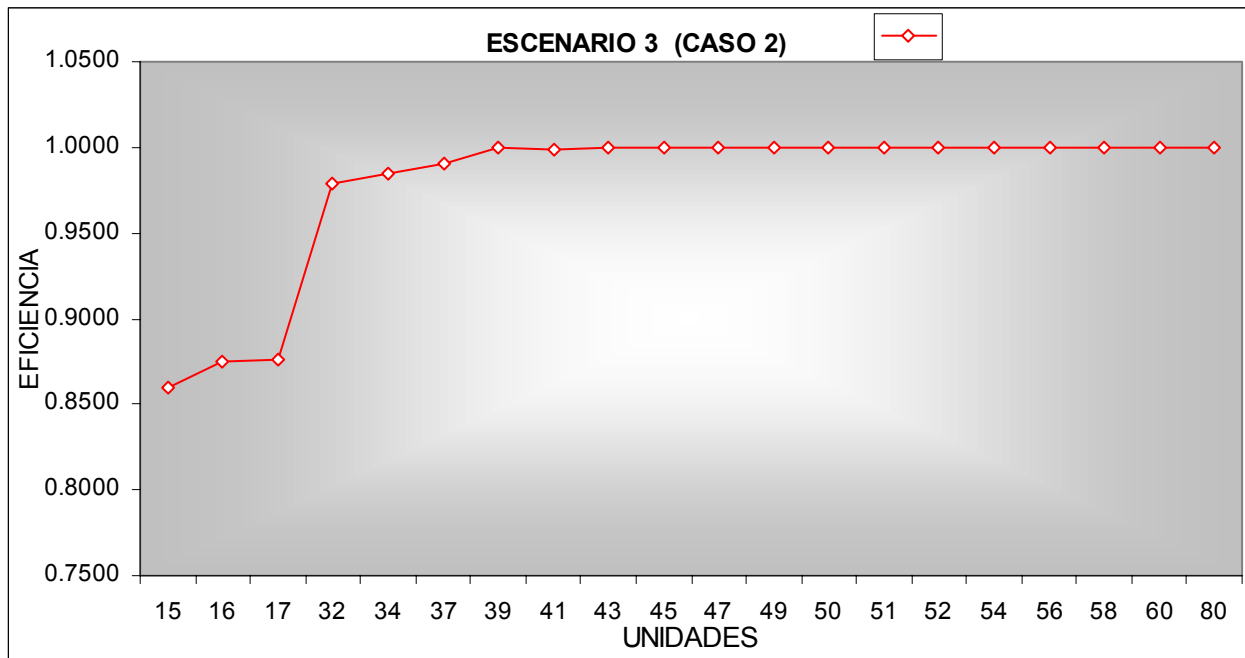


Tabla 14. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2, Escenario 3, Caso 2.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO DEL AMORTIGAUDOR			ESTADO RESTRICCIÓN		
				% FULL	% PARCIAL	% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
15	120.333	2.350	0.8595	0.81	76.94	22.25	87.91	0	12.09
16	122.533	2.531	0.8752	0.74	75.61	23.65	86.22	0	13.78
17	122.733	2.939	0.8766	1.14	79.39	19.46	87.91	0	12.09
32	137	2.512	0.9785	0.45	94.28	5.27	97.5	0	2.5
34	137.933	2.576	0.9852	0.79	96.79	2.42	88.86	0	11.14
37	138.733	4.861	0.9900	1.99	96.57	1.44	99.42	0	0.58
39	140.800	3.299	1	0.25	97.74	2.01	99.2	0	0.8
41	139.8	5.101	0.9985	0.16	99.09	0.75	99.47	0	0.53
43	140.4	3.224	1	0.53	98.33	1.14	99.57	0	0.43
45	141.267	4.787	1	1.03	97.94	1.03	99.7	0	0.3
47	143.533	4.485	1	0.35	99.49	0.16	99.9	0	0.1
49	140.733		1	0.42	99.58	0	99.95	0	0.05
50	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
51	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
52	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
54	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
56	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
58	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
60	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0
80	142.600	5.513	1	0.46	99.54	0	100	0	0

Figura 19. Eficiencia Vs. Incremento del Amortiguador TA2, Escenario 3, Caso 2.



Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado se escogió el tamaño factible del amortiguador TA_2 para cada escenario según el caso analizado de la siguiente manera.

Tabla 15. Tamaño factible del amortiguador de tiempo TA_2

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
TA_2 Unidades	12	11	15	14	24	50
TA_2 Tiempo(Min.)	72	66	90	84	144	300

A partir del tamaño factible TA_2 , un incremento de este no causa ningún efecto en el comportamiento del sistema y un decremento en este valor representaría un agujero en el amortiguador por lo tanto no es conveniente disminuirlo, ya que el tamaño del amortiguador no sería el adecuado. Además se pudo concluir que entre mayor sea el nivel de profundidad de la restricción en el diseño de la planta tipo A (Escenario 2 y 3), mayor será el tamaño del amortiguador de tiempo para controlar y proteger la restricción del sistema.

El tamaño factible del Amortiguador de tiempo no permite agujeros en la estación “Amort”, y el porcentaje de tiempo en que la restricción se encuentre trabajando es el máximo. En el escenario 3 la restricción trabaja un 100% de su tiempo, para los dos valores de C_{vp} ; en el escenario 1 y 2 presenta un porcentaje mínimo de tiempo bloqueado debido a las variaciones presentes en el sistema, ya que la pieza que sale de la restricción necesita ser ensamblada con una pieza proveniente de otra estación no restrictiva, para seguir el flujo del producto; por esta razón “Eliyahu Goldratt” propone que aparte de proteger la restricción del sistema, también se debe proteger las operaciones de ensamble que requieren material de la restricción.

9.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO POR MEDIO DE LA SIMULACIÓN EN PROMODEL

9.3.1 MEDICIONES DE EFICIENCIA

9.3.1.1 Eficiencia vs. Tamaño de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO .

Se analizó la eficiencia que aportó cada escenario al sistema de acuerdo al tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO (TA_2), comparando la eficiencia según el grado de C_{vp} ; en las figuras 20, 21 y 22 se muestra esta información:

Figura 20. Eficiencia vs. Tamaño del Amortiguador, TA_2 . Escenario 1.

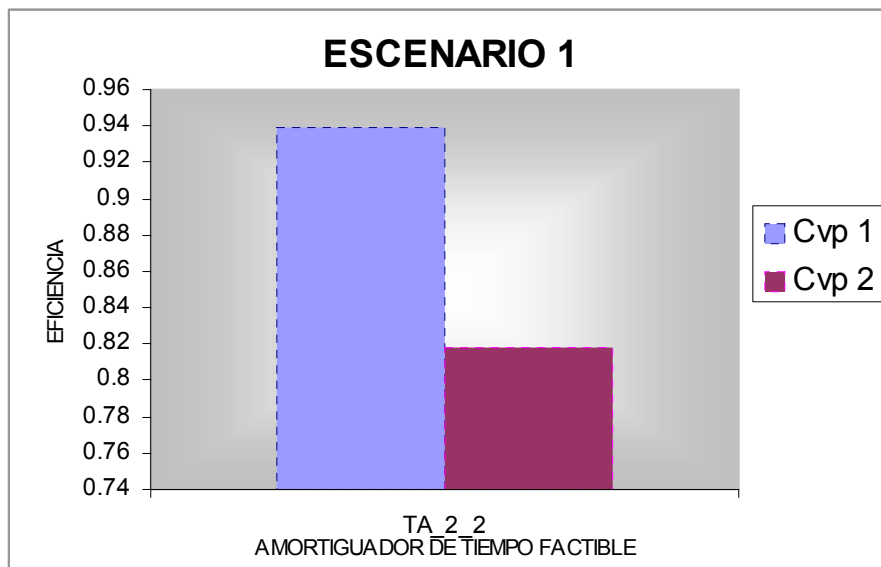


Figura 21. Eficiencia vs. Tamaño del Amortiguador, TA_2 . Escenario 2

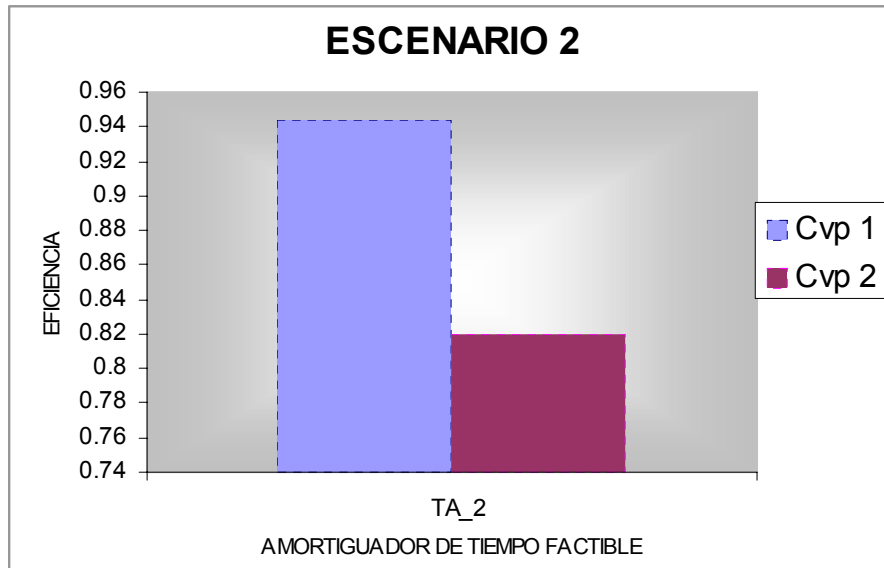
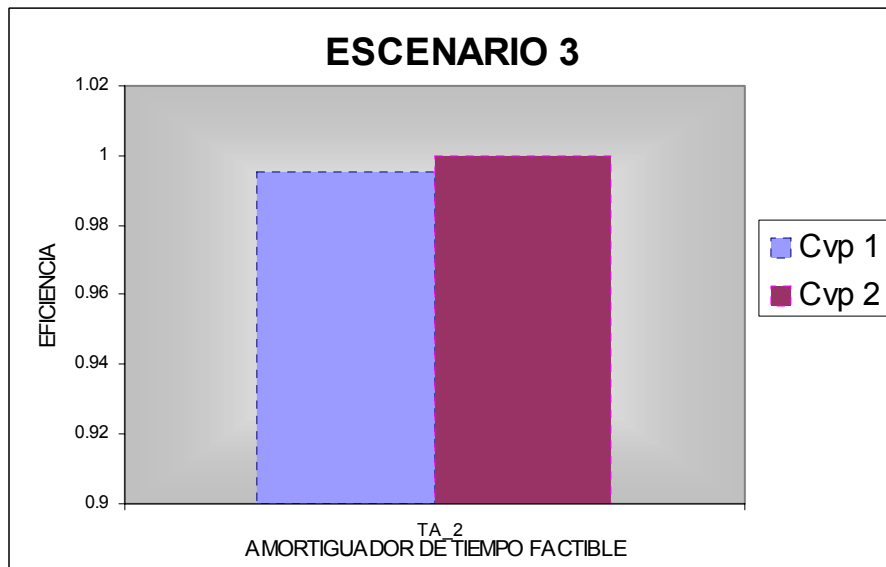


Figura 22. Eficiencia vs. Tamaño del Amortiguador, TA_2 . Escenario 3.



El objetivo de analizar el estado de los tamaños factibles del AMORTIGUADOR DE TIEMPO (TA_2) para cada escenario y la incidencia de C_{vp} , es apreciar el comportamiento de la eficiencia en el sistema productivo.

Se pudo observar en los escenarios 1, 2 y 3, que al aumentar el tamaño del AMORTIGUADOR DE TIEMPO la eficiencia también aumenta, puesto que los amortiguadores compensan la disminución de la capacidad de la Planta cuando se presentan discontinuidades y variaciones, por lo tanto existen mayores garantías para asegurar que el flujo del producto sea continuo. Esto es contradictorio si se analizan los Gastos de operación en los que se incurriría por tener exceso de material en el sistema, aunque este análisis no sea objeto de esta investigación, se recomienda también tener en cuenta la relación Costo-Beneficio para sustentar cualquier decisión.

En cuanto al comportamiento de los diferentes escenarios ante la variación de C_{vp} , se pudo apreciar que con un C_{vp} alto la eficiencia del sistema disminuye debido a la presencia de grandes variaciones en el sistema; por el contrario con un C_{vp} bajo la eficiencia del sistema aumenta, por esto se debe tratar de mantener en el sistema la menor variabilidad posible, sin embargo, esto último es muy difícil de controlar ya que en este tipo de procesos existe la intervención humana y su variabilidad es difícil de manejar.

El tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO (TA_2) le aportó la mayor eficiencia al sistema, considerando que estos tamaños para cada uno de los escenarios fue calculado tomando como punto de partida el tamaño obtenido por la ecuación (TA_1), al comparar estos dos valores se presentó una diferencia debido a que en el cálculo de TA_1 no se tuvo en cuenta la ubicación de la restricción.

Con la eficiencia calculada del sistema, se observó el impacto que genera la incorporación del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en la restricción, comparada con la eficiencia que presenta el sistema sin la implantación de alguna protección; además en el escenario 3 la restricción trabajó un 100%, ya que el efecto de las variaciones no la afectó

significativamente al RRC debido a que la restricción se encontraba al final de la planta, en los escenarios 1 y 2 el tiempo de operación de las estaciones de trabajo restrictivas fue alto, pero presentó un pequeño porcentaje de tiempo bloqueado, ya que cuando la restricción se encuentra en el inicio o mitad de la planta se encuentra afectada por la variabilidad de las estaciones de trabajo no restrictivas que aportan material para el ensamble con el producto que sale de la restricción. Con esto se comprueba la importancia de proteger y controlar la restricción del sistema, para obtener una alta eficiencia, un flujo continuo del producto, una disminución de producto en proceso y la seguridad en los operarios.

9.3.1.2 Eficiencia vs. Ubicación de la Restricción en el sistema productivo.

Con el objetivo de analizar el comportamiento del sistema en relación con la ubicación de la restricción en la planta (Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3), se evaluó la eficiencia que cada escenario le apporto al sistema, y con base en esta información se evaluó el comportamiento de las variaciones de C_{vp} .

Para el caso 1, las eficiencias obtenidas en los 3 escenarios por la incorporación del tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2) es cercana, obteniendo la máxima eficiencia para el escenario 3, esto se debe a que la restricción ubicada al final de la planta no requiere operaciones de ensamble posteriores a esta, por lo tanto trabaja al 100% de su capacidad. En el caso 2, la diferencia en las medidas de eficiencia es considerablemente alta, debido a la fuerza que toma la variabilidad en los resultados del sistema productivo.

Figura 23. Eficiencia vs. Ubicación de la Restricción en el Sistema (Cvp 1)

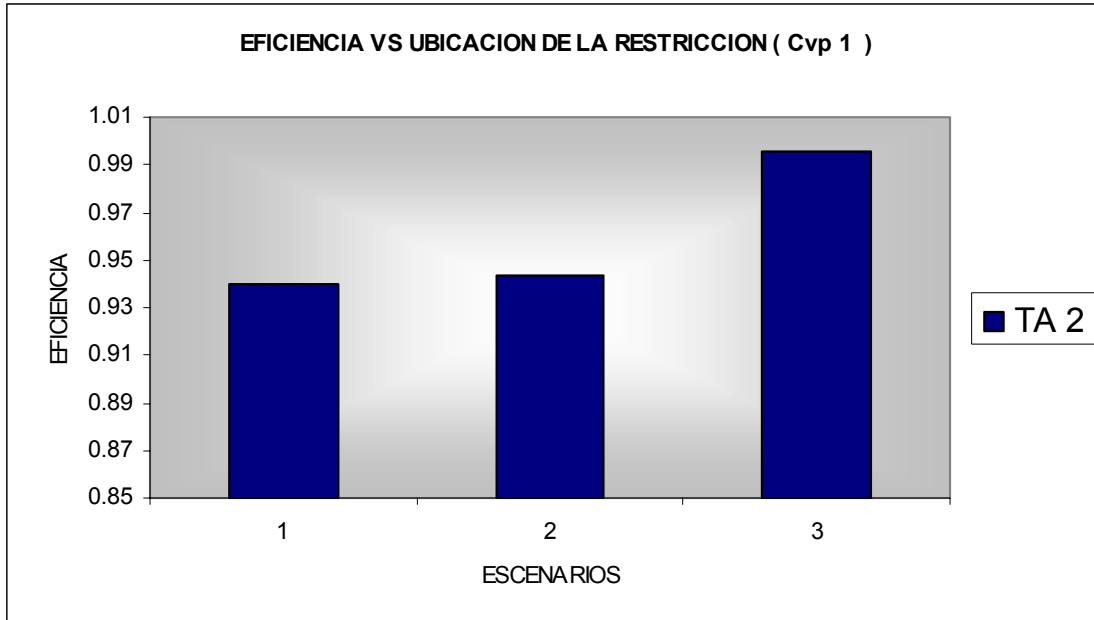
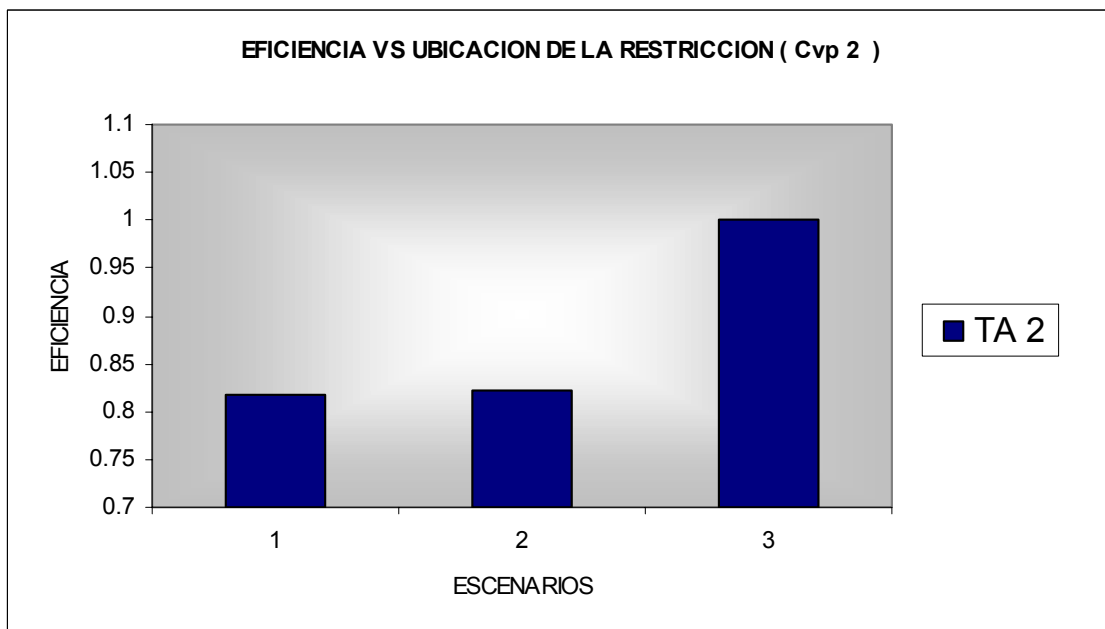


Figura 24. Eficiencia vs. Ubicación de la Restricción en el Sistema (Cvp 2)



Con la utilización de los AMORTIGUADORES DE TIEMPO al inicio, centro y final de la Planta de Producción Tipo A, se buscó proteger la restricción del sistema según el comportamiento de cada escenario. Se pudo concluir que en el escenario 3, el Amortiguador final presentó el mayor porcentaje de eficiencia al sistema, con el tamaño del amortiguador más grande, ya que sobre este cae todo el efecto de las variaciones, dependencias y el efecto Murphy que se presentan en los puntos de ensamble de la planta; para el escenario 2, el Amortiguador central obtuvo una eficiencia menor que el final pero mayor que el Amortiguador inicial, esto debido a que los centrales reciben una mayor protección en cuanto al tamaño del amortiguador debido a la influencia de las fallas de las estaciones anteriores; en el escenario 1, el Amortiguador inicial presentó la menor eficiencia del sistema en comparación con el escenario 3.

Cuando la ubicación de la restricción se encuentra al final (Escenario 3), el control y la protección de este, permite obtener en los productos terminados un mayor grado de calidad con respecto a los productos finales obtenidos en el escenario 1, puesto que a través de la restricción solo pasan productos de calidad, por lo tanto solo se producirán productos con una alta calidad, al ubicar la restricción al final de la planta de producción.

Según los casos analizados en cada escenario (Cvp_1 y Cvp_2), se pudo reafirmar la conclusión obtenida en el numeral anterior sobre la eficiencia que aportaba al sistema el grado del Cvp , ya que cuando es alto la eficiencia del sistema disminuye y viceversa, (Figura 23 y 24).

9.4 COMPORTAMIENTO DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO DURANTE LA SIMULACIÓN (TA₂)

Los amortiguadores de tiempo deben ser controlados para identificar por medio de su estado (Verde, Amarillo y Rojo) y las estadísticas del software Promodel, las posibles causas que estén perturbando el comportamiento del flujo del producto; teniendo en cuenta

la importancia de esto, se analizó el comportamiento del tamaño factible del amortiguador de tiempo durante la simulación.

Tabla 16. Estado del Amortiguador de tiempo TA₂

ESCENARIOS	CASOS	AVERAGE CONTENTS	% UTILIZACION	ESTADO
1	CASO 1	8.90051	74.17	Amarillo
	CASO 2	9.00617	81.87	Amarillo
2	CASO 1	10.8069	72.05	Amarillo
	CASO 2	10.6060	75.76	Amarillo
3	CASO 1	13.9161	57.98	Amarillo
	CASO 2	31.2001	62.40	Amarillo

Figura 25. Comportamiento de TA₂ AMORTIGUADOR DE TIEMPO (Cvp 1).

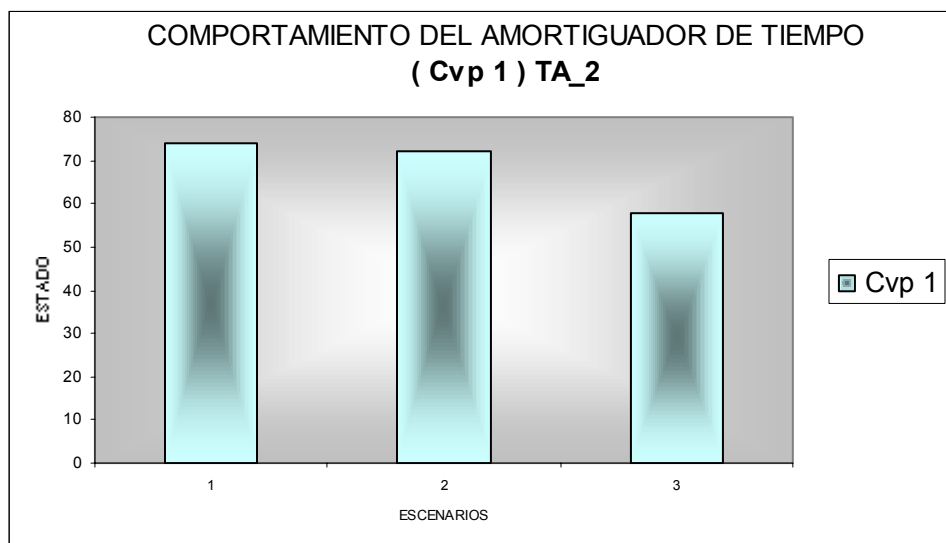
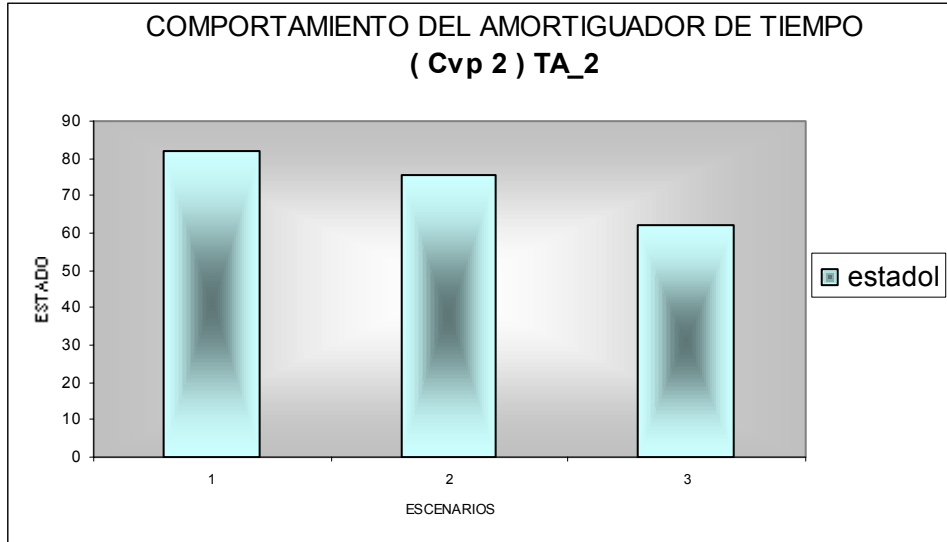


Figura 26. Comportamiento de TA₂ AMORTIGUADOR DE TIEMPO (Cvp 2).



Según el análisis expresado en las Figura 25 y 26 se pudo concluir que el tamaño aproximado del AMORTIGUADOR DE TIEMPO TA₂ tuvo un comportamiento estable en todos los escenarios durante la simulación; analizando la información obtenida por medio de las estadísticas de promodel en la tabla LOCATION se observó el estado de la estación “Amort” que es la encargada de soportar las unidades producidas por la incorporación del amortiguador de tiempo como lo indica la Tabla 16 se utilizó con un porcentaje mayor al 55% (Estado Amarillo); esto significa que el tamaño de TA₂ de cada escenarios cumplió con el objetivo de la investigación, ya que garantiza que la restricción se encuentre trabajando ante las diversas discontinuidades presentes en el proceso de producción, permitiendo proteger la restricción y garantizando un flujo continuo del producto .

Si se incrementa el tamaño factible del Amortiguador el porcentaje de utilización de la estación “Amort” aumentará con respecto al obtenido con el tamaño factible (TA₂), esto le daría una mayor protección al amortiguador, pero no incrementara la eficiencia del sistema como se mencionó en el numeral 9.2.

10 METODOLOGÍA PARA CONOCER EL TAMAÑO FACTIBLE DEL AMORTIGUADOR DE TIEMPO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN ESPECIFICA

Es importante garantizar en una planta de producción un flujo continuo del producto, incorporando un Amortiguador de tiempo para proteger y controlar su RRC o Cuello de Botella, obteniendo una mejora en la eficiencia del sistema, disminuyendo el nivel de inventario y balanceando el flujo del producto. Para lograr estos resultados fue necesario conocer los conceptos básicos de la TOC y seguir los siguientes pasos que se describen a continuación.

1. En la Planta tipo A seleccionada se debe realizar un diagrama de flujo que permita conocer la interacción entre las estaciones de trabajo e identificar las características de este tipo de planta.
2. Verificar si los tiempos de operación de las estaciones de trabajo poseen una distribución Normal con rango de aceptación mayor al 80%; para esto se debe conocer el comportamiento estocástico de los tiempos de operación en las estaciones de trabajo realizando un estudio de métodos y tiempos para cada estación perteneciente a la planta de producción, identificando el tipo de distribución por medio del Software Estadístico Stat::Fit y definiendo los parámetros de los tiempos de procesamiento, para la elaboración del diseño de la Planta requerida en la programación de los modelos a simular en el Software Promodel.
3. Una vez definidos los parámetros de los tiempos de procesamiento en las estaciones de trabajo, es necesario identificar el RRC o Cuello de Botella y su ubicación, ya que será este el que determine la capacidad productora de la planta de producción. Es adecuado realizar las aclaraciones del sistema de producción a simular entre las que se encuentran: *la disponibilidad de materia prima* porque es necesario conocer sus

limitantes para el planteamiento del modelo en el Software Promodel, *sistema push o pull* porque el sistema push supone una demanda ilimitada y el sistema pull condiciona la producción y *la variabilidad* porque de acuerdo al grado de esta, se afecta significativamente la eficiencia del sistema de producción. Estos planteamientos son importantes para establecer en el modelo a estudiar el tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO, que permita proteger el flujo del producto a lo largo de la Planta Tipo A, teniendo en cuenta que se debe proteger la restricción, para garantizar que ésta se encuentre siempre trabajando.

4. Diseñar un diagrama de flujo donde se describan las interacciones entre estaciones, almacenes y productos (MP, PP y PT), en el cual se especifique para cada estación de trabajo las entradas de material y su procedencia, la distribución del tiempo de operación (parámetros), operaciones de ensamble, las salidas y destinos de materiales; este Diagrama es fundamental para posteriormente realizar la programación del modelo en el Software Promodel.
5. Elaborar un Diagrama de Programación de la Producción, para conocer idealmente (Sin variaciones en el sistema) el tiempo necesario de Pre calentamiento, y el ritmo con el cual se produce una pieza en el sistema (FP).
6. Según el tiempo de simulación y la frecuencia con que se produce un producto (FP), se debe calcular el valor de CN definido por la siguiente ecuación.

$$CN = (\text{Tiempo de Simulación} / FP) \{ \text{unid.} \}.$$

7. Se debe establecer el tiempo de simulación según el número de horas que la empresa tenga en funcionamiento la producción; posteriormente se debe conocer el número de réplicas necesarias para simular el modelo de Promodel con un número considerable de réplicas y contabilizar el número de unidades producidas (CR) en promedio por el sistema durante el tiempo de simulación, para cada replica, hasta obtener un número

constante promedio de unidades producidas CR por el sistema, cuando esto se establezca se conocerán el número de réplicas a utilizar en el Software Promodel para la simulación.

8. Se debe establecer el tambor del sistema, ya que es considerado el punto de control o ritmo de la producción, que al incluirlo en el sistema productivo reduce la variabilidad y la dependencia durante el flujo del producto. El ritmo del tambor es determinado por la restricción, por lo tanto para conocerlo se debe utilizar como herramienta el Software Promodel. Es importante tener una aproximación real del tambor y de acuerdo al comportamiento que tuvo la restricción frente a su funcionamiento, se puede determinar el AMORTIGUADOR DE TIEMPO necesario en la Restricción del sistema, que soportará las variaciones, dependencias e intervenciones del efecto Murphy en el sistema de producción. Para calcularlo (Tambor) se utilizar un vector en la programación del software Promodel el cual permite guardar el tiempo real que demora un producto, desde que sale del almacén hasta que sale de la estación donde se encuentra ubicada la restricción. Introduciendo el vector en el Software Stat:Fit se puede conocer la distribución de tiempo con la cual se describe la llegada de materia prima a los almacenes según el requerimiento de la restricción, luego se programa el tambor en el software Promodel desde el Menú *Arrivals* .
9. Utilizando los registros de la presencia del efecto Murphy en el sistema de producción como daños en las maquinas y discontinuidades impredecibles, se debe establecer el tiempo promedio en el que estos estuvieron presentes en el sistema y programarlo en el Software Promodel, para que la simulación sea lo más real posible.
10. Se debe realizar la programación de la estación “Amort.” para que soporte las unidades producidas por la incorporación del Amortiguador de Tiempo. Esta debe ser ubicada al frente de la Restricción (RRC), es importante tener en cuenta que dicha estación se llena debido a que en la planta se añadirá a su sistema productivo, un tiempo extra “AMORTIGUADOR DE TIEMPO” antes de iniciar su jornada de producción. El

estado de la estación de trabajo “Amort.”, se conoce por medio de las estadísticas del software Promodel e indicadores, donde el administrador del amortiguador pueda controlarlo. En la planta de producción se pueden instalar indicadores de colores en la estación “Amort.”, de manera que cuando éste se encuentre de color Verde, indicará que se encuentra con su máxima capacidad “lleno” y por lo tanto ante la presencia en el sistema de variaciones, dependencias y el efecto Murphy, éste podrá garantizar que la restricción siga trabajando; el indicador de color amarillo permite conocer que se ha utilizado parte del material existente en la estación “Amort. ”, pero que aun queda el suficiente para proteger a la restricción; y por último el color Rojo indicará que en el amortiguador se puede presentar un agujero en cualquier momento, debido a la falta de algún material que debería estar en el amortiguador, éste presentará una falla. Cada agujero presente en el amortiguador debe analizarse y registrarse, ya que los problemas que más se presentan en la lista de causas, como preparaciones o descomposturas prolongadas, son variables que presentan una alta prioridad para ser corregidas.

- 11.** Para obtener el tamaño factible del amortiguador de tiempo se utilizará como punto de partida el tamaño del amortiguador calculado por medio de la ecuación TA_1 . Utilizando esta información se deben realizar incrementos y decrementos de TA_1 y a través de la simulación de estos se establece cual es el tamaño factible del amortiguador, el cual le brindara la máxima eficiencia al sistema, garantizando que no se produzcan huecos en la estación “Amort” que es la encargada de soportar las piezas producidas por el amortiguador y balanceando el flujo del producto en la planta de producción explotando lo más posible a la restricción.

La ecuación TA_1 se puede aplicar en cada una de las estaciones de trabajo no restrictivas, teniendo en cuenta el tiempo promedio de procesamiento de estos recursos. La formula (TA_1)se planteo basándose en la estación no restrictiva más lenta que se encuentre antes de la Restricción, sin tener en cuenta la ubicación de la restricción en el sistema.

Para el planteamiento de la ecuación TA_1 se deben tener en cuenta la siguiente información.

Cp	Capacidad Protectora de los Recursos no restrictivos
ICP	Índice de la Capacidad Protectora de las estaciones de trabajo no restrictivas
IEC	Índice de la Eficiencia de la Capacidad Protectora ante la Presencia de Murphy
D	Tiempo promedio en el Murphy permanece en el sistema
TA₁	Tamaño del Amortiguador utilizando la ecuación
TENR	Tiempo Promedio de operación de las estaciones de trabajo no restrictivas
TER	Tiempo Promedio de operación de la estación de trabajo restrictiva
T	Tiempo de simulación
FP	Frecuencia de producción de un producto en la planta general tipo A

$$ICP = [1 - (TENR / TER)]$$

$$IEC = [1 - (D / T)]$$

$$TA_1 \approx [D * [1 - ICP * IEC]] \{ \text{Minutos} \}$$

$$\text{Unidades } TA_1 = TA_1 / FP$$

12. Para escoger el tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2) se debe analizar el número de unidades procesas por el sistema (CR), el estado de la estación “Amort” la cual no puede presentar tiempos vacíos y el tiempo de operación de la restricción; esto se debe realizar para cada uno de los diferentes valores obtenidos a través de los decrementos e incrementos de TA_1 . Con base en esta información y en la eficiencia²⁷ arrojada del sistema se conoce el tamaño factible del Amortiguador de tiempo (TA_2). Se debe tener en cuenta que un aumento en el tamaño factible (TA_2) no representa ningún cambio en los resultados del modelo ya que a partir de este (TA_2) la eficiencia del sistema permanece constante; y una disminución en TA_2 representaría agujeros en el amortiguador y una baja eficiencia en el sistema. Se recomienda realizar una grafica de

eficiencia Vs. Tamaño del Amortiguador para conocer visualmente el comportamiento de este hasta encontrar el tamaño factible del amortiguador de tiempo.

13. Una vez se halla controlado y protegido la restricción RRC o Cuello de Botella en el sistema por medio del tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2); el amortiguador debe ser administrado bajo el concepto de la Teoría de Restricciones, tomando decisiones cuando se presenten agujeros en el amortiguador de tiempo ya que las TOC trabaja bajo una administración reactiva, por esta razón se debe identificar, analizar, investigar y registrar la causa de la existencia de estos agujeros, enfocando el esfuerzo de mejoramiento continuo en aquellos factores que ocasionan los vacíos más frecuentes y graves en el amortiguador, ya que una vez eliminados tales problemas, se puede disminuir la presencia de vacío en la región del amortiguador, realizando nuevamente el estudio para reducir el tamaño de éste y disminuir el tiempo de ciclo, sin afectar la eficiencia del sistema. De esta forma se controla la restricción, hasta llegar a un punto en que la restricción no sea más un RRC, pero como es inevitable que en una planta de producción halla un RRC se deben volver a seguir los 5 pasos que indica Eliyahu Goldratt en la Teoría de Restricciones.

La metodología anteriormente descrita esta representada a través de dos ejemplos que se exponen en el anexo 12 y 13.

²⁷ La variable respuesta del modelo de simulación son las unidades procesadas que salen del sistema real (CR). Estos datos se transforman en eficiencia, dividiéndolos entre el valor ideal de la Capacidad Nominal (CN) de la planta en el periodo simulado

11 VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Los objetivos planteados al inicio del proyecto y descritos en el numera 4 se cumplieron en su totalidad durante su desarrollo. En la siguiente tabla se pueden apreciar los objetivos y resultados que aseguran su grado de cumplimiento.

Tabla 17. Verificación del cumplimiento de los objetivos

Objetivos	Factor de cumplimiento
Establecer una aproximación del AMORTIGUADOR DE TIEMPO necesario en los puntos críticos de una planta de producción tipo A, que permitan mantener a los puestos de trabajo en operación continua sin que se generen retrasos debido a los diversos inconvenientes a los largo de la línea de producción	Se pudo conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo (Tabla 15), utilizando la metodología planteada en el proyecto de investigación (Numeral 10) para conocer una solución factible por medio de la simulación. Con la implementación del Amortiguador en el sistema se garantiza una alta eficiencia en el sistema productivo y un flujo continuo del producto, permitiendo proteger y controlar la restricción del sistema
	100 %

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Someter a los modelos de producción a algunos cambios en las distribuciones de probabilidad de los tiempos en sus estaciones de trabajo y de esta forma identificar los puntos críticos de una línea de producción tipo A, con el fin de proveer en cada caso una solución factible del amortiguador de tiempo necesario, para permitir un flujo rápido y continuo a lo largo de la línea. 	<p>Realizando cambios en los parámetros de los tiempos de procesamiento en las estaciones de trabajo (μ) se estableció para cada modelo el Recurso Restringido de Capacidad RRC para poder definir los tres escenarios objeto del estudio de la investigación, en los cuales la ubicación de la restricción varía para cada uno. Con este planteamiento se obtuvo una solución factible del tamaño del amortiguador necesario para proteger y controlar la restricción de acuerdo a su ubicación dentro de la planta tipo A.</p> <p>Variando el C_{vp} ($C_{vp} = \mu / \sigma$) de la distribución del tiempo de procesamiento en las estaciones de trabajo del modelo, se analizó la incidencia de la variación de C_{vp} en la eficiencia que el amortiguador de tiempo le aporta al sistema productivo.</p>
	100 %

<ul style="list-style-type: none"> Conocer el comportamiento estadístico de la variable: tiempo de procesamiento (TP) en una estación de trabajo, para utilizarlo como soporte en la simulación del proceso productivo de una línea de producción tipo A, utilizando como herramienta el software de Promodel. 	<p>El comportamiento estadístico de la variable TP en la estación de trabajo se conoció su comportamiento por medio de las siguientes distribuciones Pearson 5, Log. Normal, Gamma, Weibull, Erlang, Log. Logistic, Beta, Inversa Gaussian, Logistic, Normal. De acuerdo a lo que se pretendía con la investigación de la incidencia del cambio en la variación de C_{vp} ($C_{vp} = \mu / \sigma$) en la eficiencia del sistema para cada escenario planteado, se utilizó para el diseño del comportamiento estadístico del tiempo de procesamiento en las estaciones del modelo programado en el Software Promodel una Distribución Normal.</p>
	<p>100 %</p>
<ul style="list-style-type: none"> Proponer un modelo básico para el análisis de amortiguadores de tiempo, de modo que se logre un flujo rápido, constante y sin tropiezos del material a través del proceso de manufactura en una planta de producción tipo A. 	<p>En el numeral 10 se describe la metodología para el análisis del tamaño factible del Amortiguador de tiempo.</p>
	<p>100 %</p>

CONCLUSIONES

- Es necesario establecer el tambor en el sistema de producción, ya que permite disminuir el efecto de las variaciones y dependencias en el sistema, marcando el ritmo de producción; el comportamiento estocástico del Tambor para la investigación presentó una distribución Beta (Tiempo) y su incremento depende de la profundidad que tenga la restricción dentro del diseño de la planta tipo A. La implementación del Tambor es importante, ya que su tamaño permite conocer la frecuencia con que le llega al almacén materia prima evitando que se generen grandes acumulaciones de inventario y garantizando un flujo continuo del material necesario en la producción, sirviendo como apoyo en el objetivo buscado con la incorporación del amortiguador en el sistema
- El diseño de la ecuación TA_1 en el proyecto de investigación permitió conocer el punto de partida para encontrar el tamaño factible del amortiguador de tiempo TA_2 por medio de la simulación de diferentes valores procedentes de incrementos y decrementos de TA_1 ; hasta encontrar el TA_2 que permitió mejorar la eficiencia del sistema y obtener un flujo continuo de material dentro de la planta de producción, garantizando un mínimo de existencias en proceso; entre más inmersa se encuentra la restricción dentro del diseño de la planta, menor será la eficiencia de TA_1 ya que el tamaño del amortiguador TA_2 necesario debe ser mayor para soportar todas las discontinuidades y variaciones que recaen sobre éste, esto se debe a que en la formulación de TA_1 no se tuvo en cuenta la ubicación de la restricción.
- Con la variación de C_{vp} en la distribución del tiempo de procesamiento en el análisis realizado para cada escenario, se concluye que entre menor sea esta variabilidad mayor eficiencia aportara al sistema y viceversa, por lo tanto este tipo de variaciones en la planta de producción deben ser controladas, ya que afecta radicalmente la eficiencia del sistema.

- Dependiendo de la ubicación de la restricción inicio, mitad y final de la planta tipo A, el tamaño factible del amortiguador TA_2 y la eficiencia aumentan, debido a que entre más alejada se encuentre el RRC del inicio del proceso de la planta tipo A el peso de las variaciones y dependencias será mayor por lo tanto el tamaño del amortiguador debe ser más grande.
- A partir de la solución factible del tamaño del AMORTIGUADOR DE TIEMPO (Tabla 15), calculado con base en la información obtenida por medio de la simulación, se concluye que un incremento en este no causaría ningún efecto en el comportamiento del sistema y un decremento en este valor representaría un agujero en el amortiguador.
- Sin realizar variaciones en los tiempos de procesamiento de las estaciones de trabajo en los escenarios simulados, la restricción trabajó un 100%, pero introduciendo las variaciones, la restricción presenta un bloqueo mínimo debido a que las variaciones aumentan o disminuyen la velocidad en el tiempo de trabajo de las estaciones no restrictivas, bloqueando el trabajo del RRC.
- A mayor diferencia entre los parámetros del RRC y los recursos no restrictivos, la capacidad protectora de los recursos no restrictivos aumenta, dando una mayor protección al amortiguador de tiempo, por esta razón el tamaño disminuye aumentando la eficiencia del sistema.(Anexo 13).

RECOMENDACIONES

- Se propone que la metodología planteada en el presente proyecto de investigación sirva como base para el hallazgo del tamaño factible del AMORTIGUADOR DE TIEMPO en una planta de producción tipo A, utilizando el Software Promodel.
- Para las industrias que deseen implementar el tamaño factible del amortiguador de tiempo propuesto en este proyecto, se recomienda que utilicen un control visual (Numeral 8) dentro de la planta de producción para conocer el estado del amortiguador, investigando y registrando la causa del agujero. Implementando en la planta de producción el mejoramiento continuo propuesto con la Teoría de Restricciones.
- Basándose en el Tamaño Factible del Amortiguador de Tiempo hallado por medio de la metodología planteada en este proyecto y conociendo que la eficiencia aportada al sistema es factible pero no óptima, se recomienda emprender un posterior proyecto de investigación que permita alcanzar una eficiencia superior, ya sea por medio de la protección de la restricción y las estaciones de ensamble que requieren material de ésta.
- Tomando como punto de partida el presente proyecto de investigación, se recomienda realizar un estudio del comportamiento del sistema de producción y del hallazgo del tamaño factible del amortiguador de tiempo, con distribuciones del tiempo de procesamiento de las estaciones de trabajo diferentes a la Distribución Normal.
- Plantear un proyecto de investigación para conocer el tamaño factible del Amortiguador de Tiempo para un caso de Multiproducto; ya que la programación y la demanda de este puede traer serias implicaciones en la producción, como la modificación y ubicación de la restricción, la capacidad de la planta y los recursos entre otros.

- Realizar una investigación para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo en los otros tipos de clasificaciones VAT de las empresas, Tipo V y Tipo T dependiendo de los productos y procesos, como lo plantea Eliyahu Goldratt. Ya que por medio de este análisis se podría conocer si existe alguna relación entre estos tipos de clasificaciones en cuanto al tamaño del amortiguador de tiempo TA_2 hallado para la Planta tipo A.

GLOSARIO

Amortiguadores que cambian el flujo del producto: Son amortiguadores en o entre estaciones, pueden ser amortiguadores debido al diseño del transportador o amortiguadores fuera de la línea.

Amortiguadores que desplazan a los operadores: Son servicios generales, ayudan al vecino, flotación de n operadores en n estaciones.

Tambor Es el punto de control, debido a que lleva el pulso que el resto de l sistema utiliza para funcionar.

Amortiguador de Recursos o de Restricción: Protege la restricción, su origen se encuentra en el área al frente de esta restricción de recurso y contiene inventario de producto en proceso.

Amortiguador de Embarque: protege las restricciones del mercado, como el envió en la fecha programada y el origen de este tipo de amortiguador empieza en el anden del embarque o la bodega de producto terminado.

Amortiguador de Ensamble: con las partes restrictivas de modo que las partes de la restricción nunca se retrasen por falta de partes no restringidas.

AMORTIGUADOR DE TIEMPO: Es el inventario de amortiguación que esta frente a un cuello de botella o RRC.

C_{vp} Coeficiente de variabilidad de los tiempos de operación en una estación de trabajo

Eficiencia La eficiencia se define normalmente como una comparación con respecto a una producción estándar definida (CN)

BIBLIOGRAFIA

GOLDRATT, Eliyahu M y COX, Jeff. La Meta. 2 ed. México: Editorial Castillo, 1996.

GOLDRATT, Eliyahu M y FOX R.. La Carrera. México: Editorial Castillo, 1996.

GOLDRATT, Eliyahu M. El Síndrome del Pajar. México: Editorial Castillo, 1994.

GOLDRATT, Eliyahu M. No fue la Suerte. México: Editorial Castillo, 1998.

GOLDRATT, Eliyahu M. La Cadena Crítica.. México: Editorial Castillo, 1998.

UMBLE, Michael y SRIKANTH, M. México: Editorial CESCA, 1997.

BLANCO, Luis y FAJEARDO Darío. Simulación con Promodel. 2 ed. Bogota, Colombia: Editorial ECI, 2003.

CHASE ALQUINO, Jacob. Administración de Operaciones y Manufactura. 8 Ed. California: Editorial Mac Graw Hill, 2000.

FORGARTY BLACKSTONE, Hoffmann. Administración de Productividad e Inventarios.

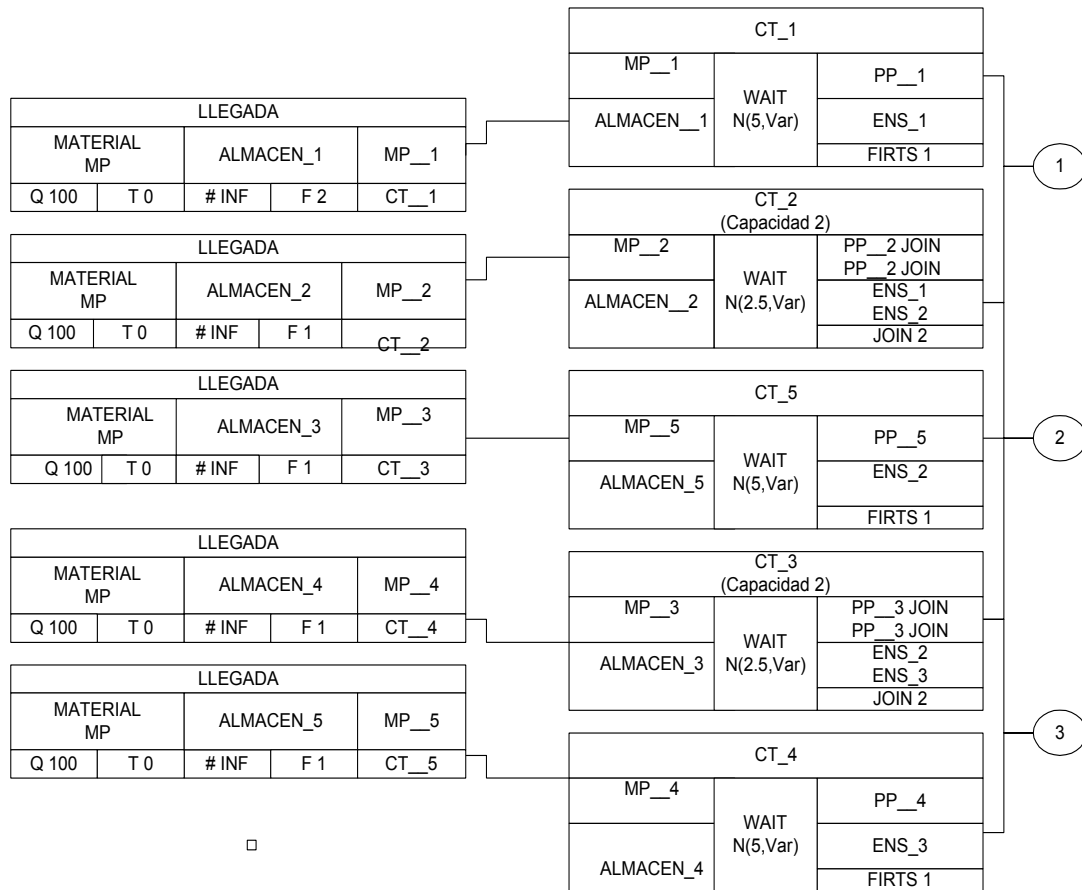
KANZ, Stepkan. Diseño de Instalaciones Industriales. 3 Ed. México: Editorial Limusa, 1997.

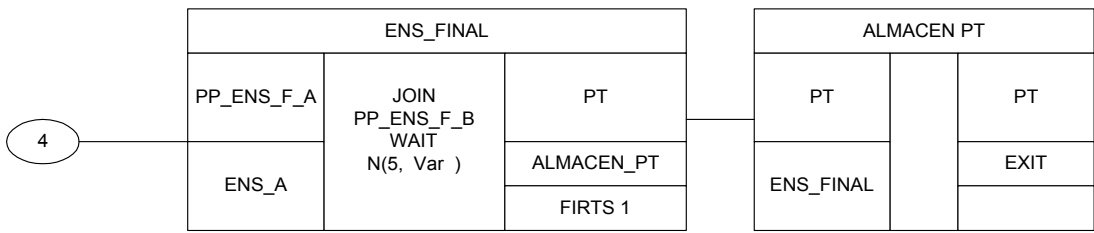
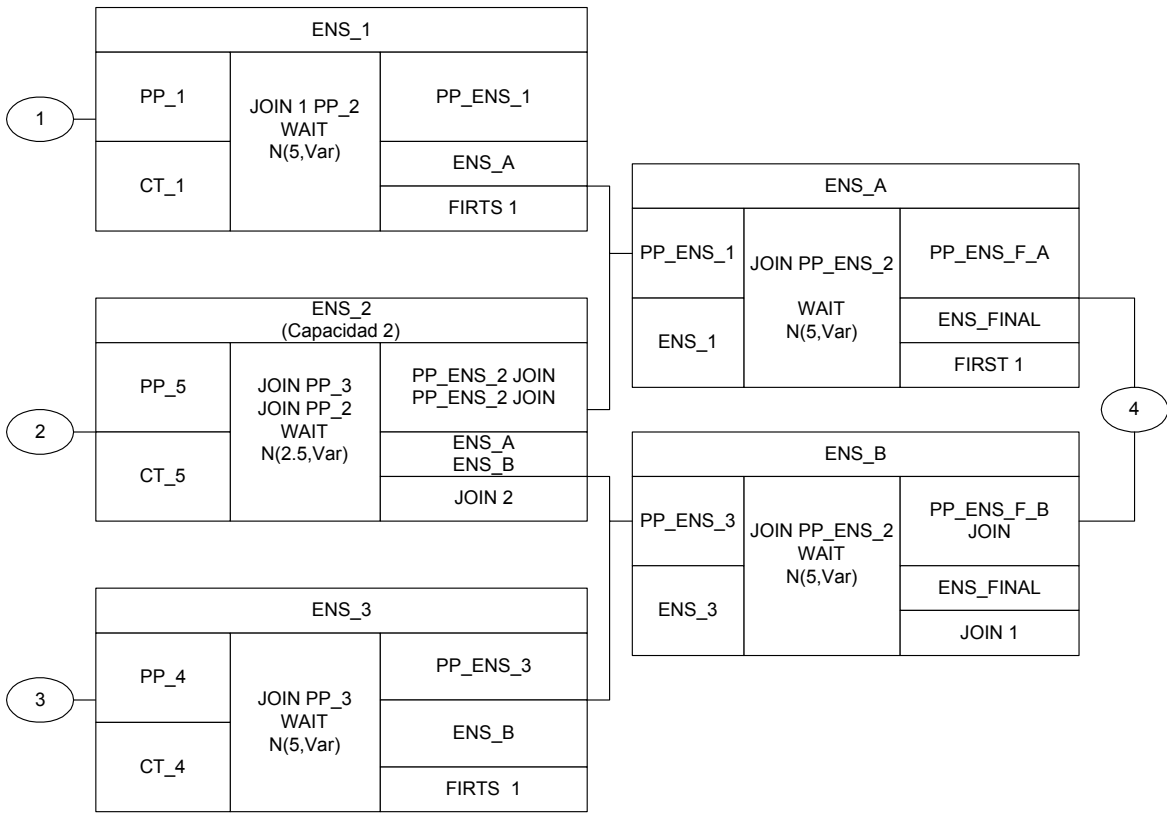
CURE, Laila, SALCEDO, Adriana y PATERNINA, Carlos. Beneficio Obtenido En Un Sistema De Producción Estocástico Con la Incorporación de Buffer Simétricos A Lo Largo

de La Línea de Producción. 2004. Trabajo de Investigación (Ingeniería Industrial).
Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia

ANEXO 2

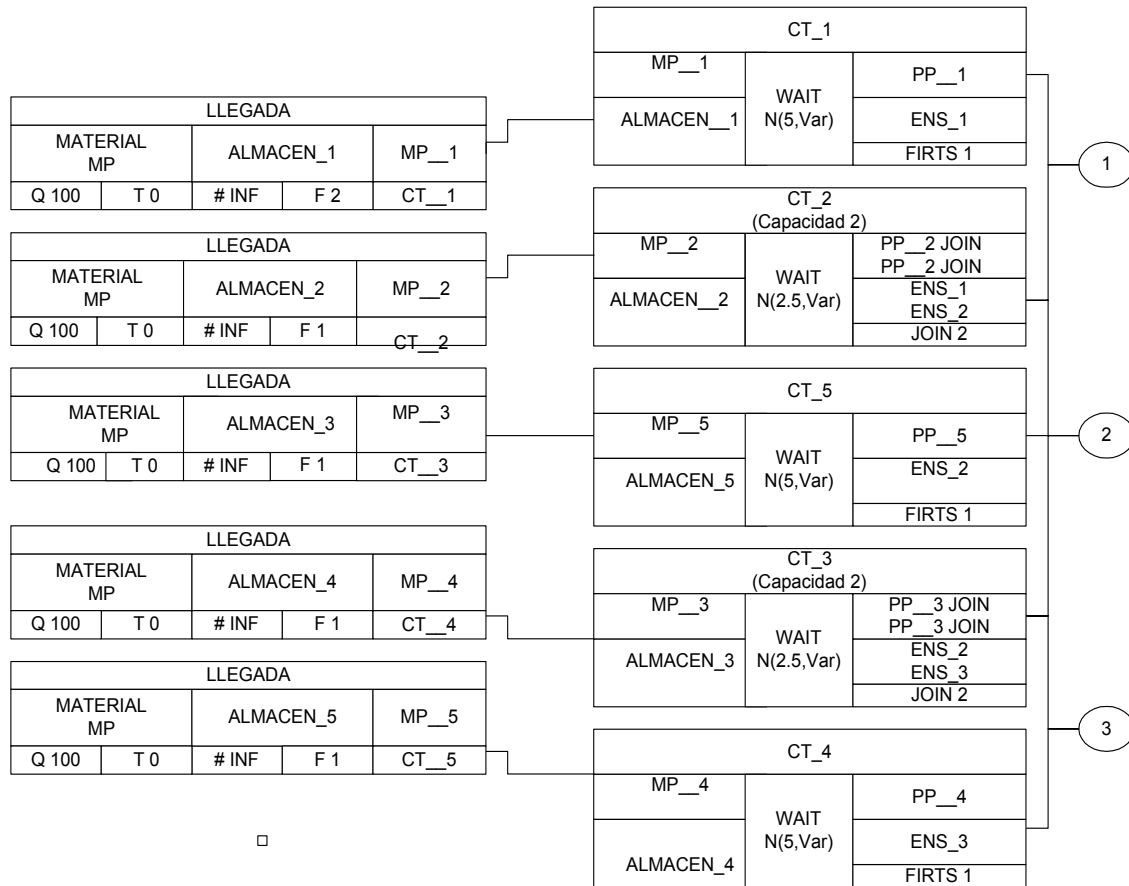
Diagrama de Flujo del prototipo General de la Planta Tipo A

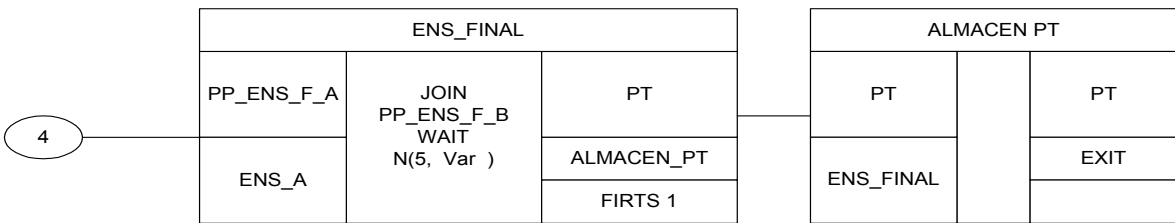
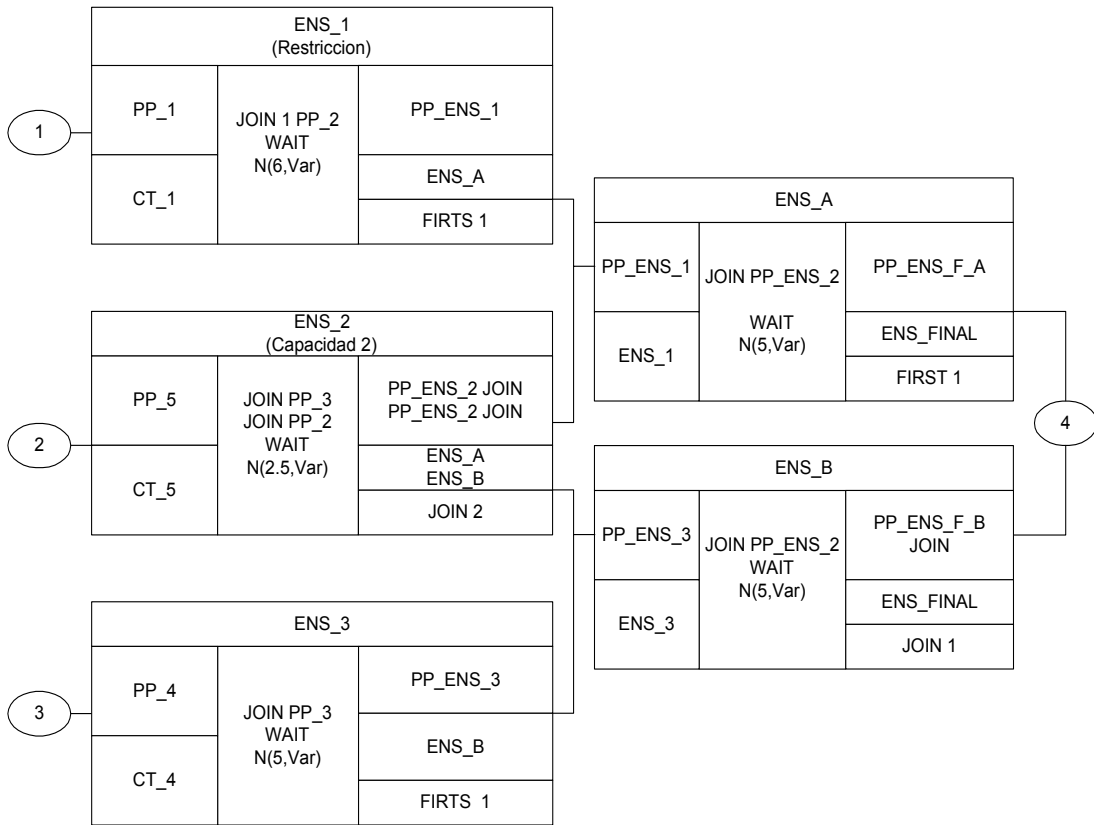




ANEXO 3

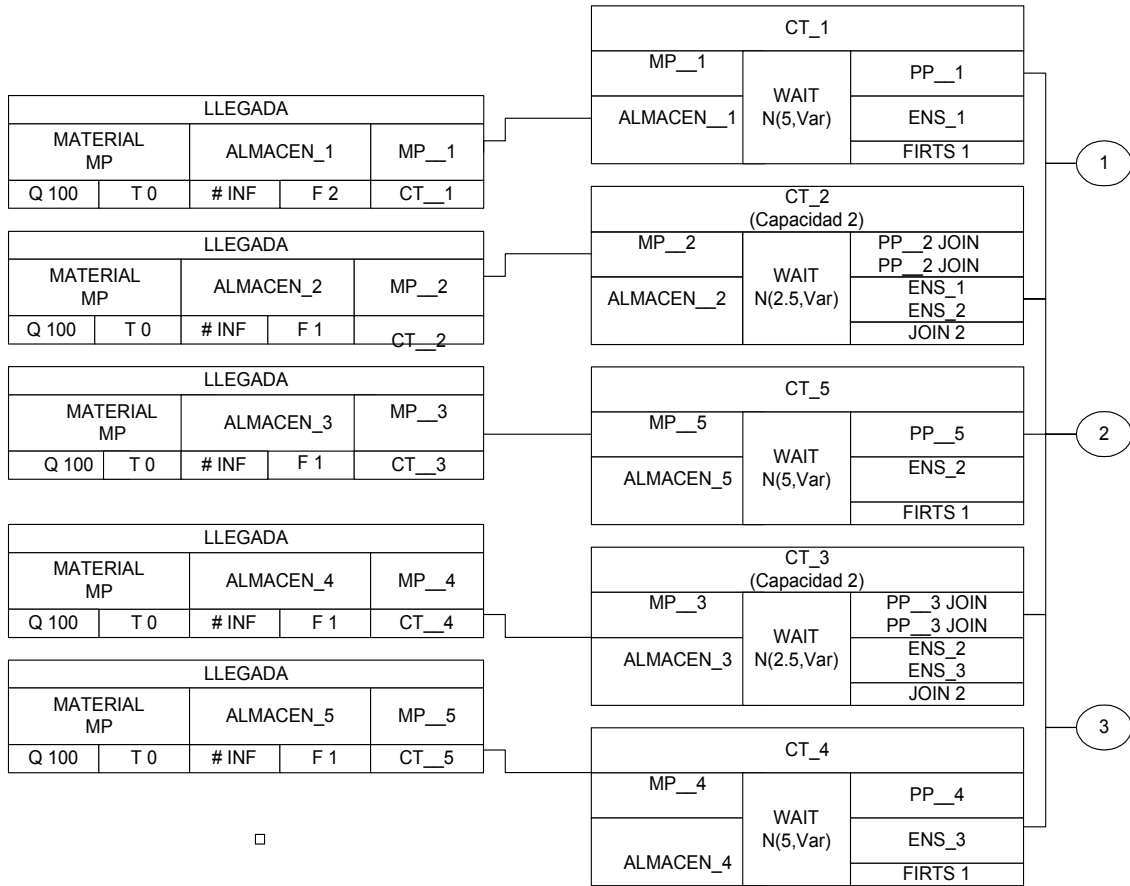
Escenario 1 Diagrama de Flujo del Prototipo General de la Planta Tipo A

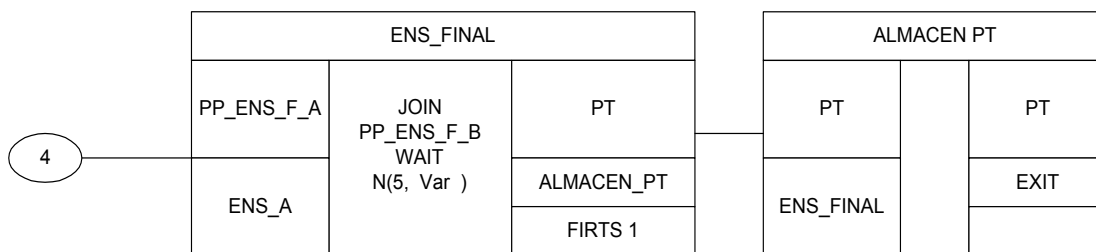
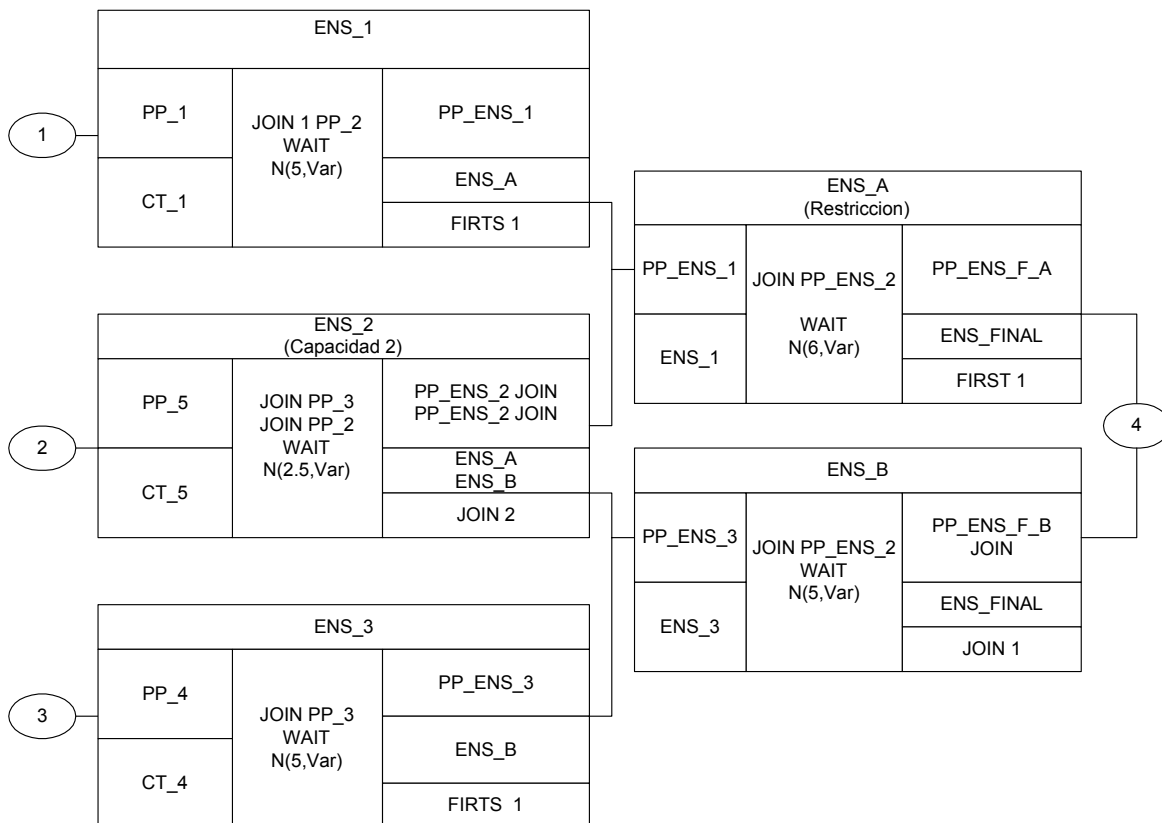




ANEXO 4

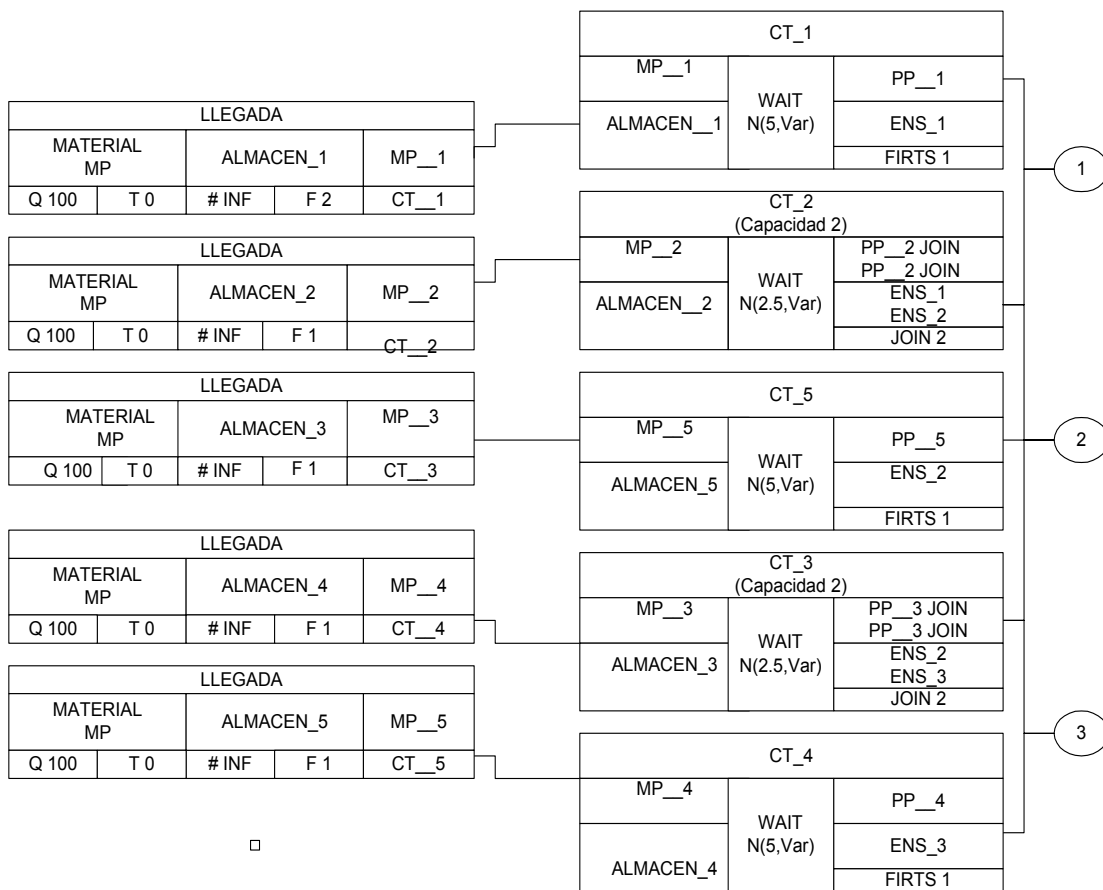
Escenario 2 Diagrama de Flujo del Prototipo general de la Planta Tipo A

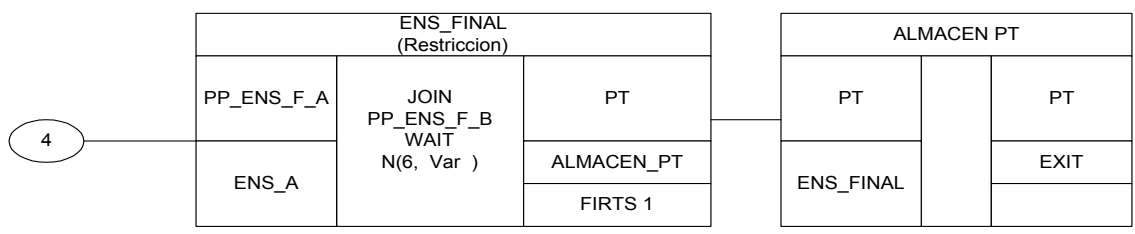
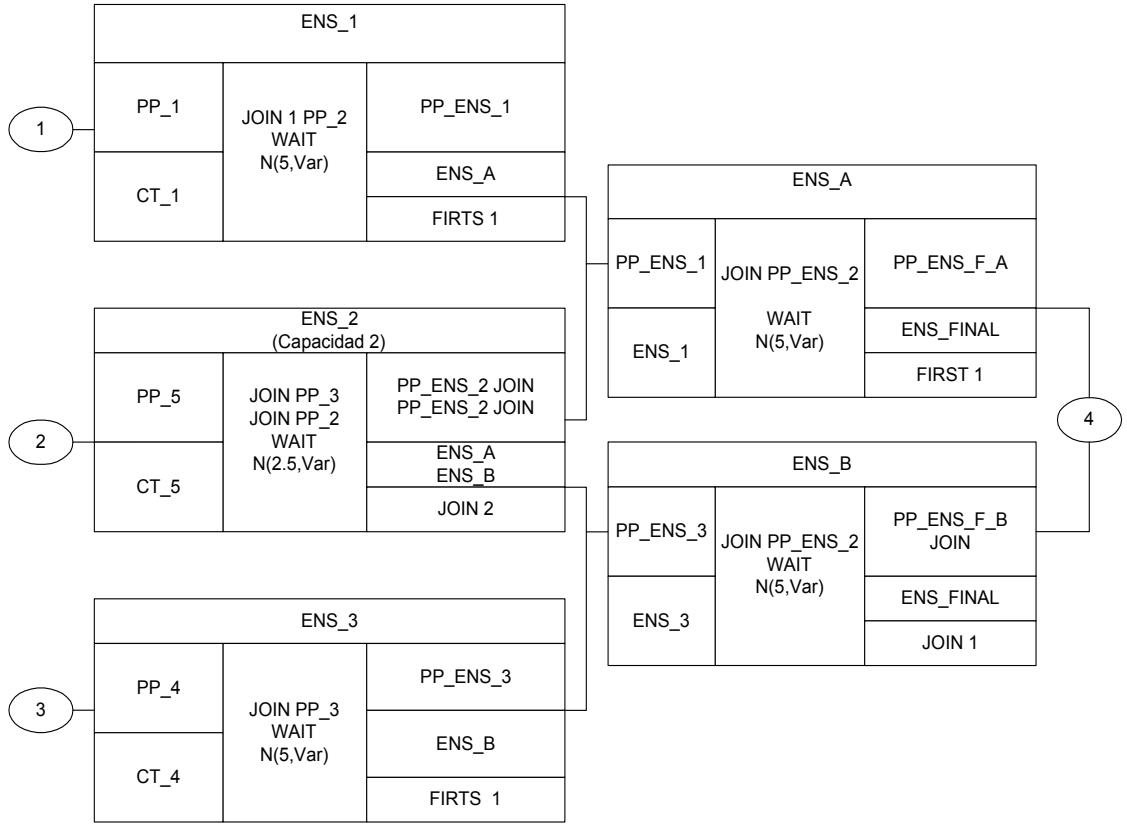




ANEXO 5

Escenario 3 Diagrama de Flujo del Prototipo General de la Planta Tipo A





ANEXO 6

Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA₂. Escenario 1, Caso 1.

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average		Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
				Minutes Per Entry	Average Minutes				
ENS 1	13.992	1	132.333	6.345265	1	1	1	100.00	
ENS 1	3.677408028e-15	0	1.9518	0.093394	0	0	0	0.00	
ENS 2	13.992	2	133.4	12.424804	1.97381	2	2	98.69	
ENS 2	3.677408028e-15	0	2.02837	0.224642	0.00962618	0	0	0.48	
ENS 3	13.992	1	132.467	6.207661	0.979302	1	1	97.93	
ENS 3	3.677408028e-15	0	2.13363	0.094938	0.00795248	0	0	0.80	
ENS A	13.992	1	132.333	5.497573	0.866438	1	0.866667	86.64	
ENS A	3.677408028e-15	0	1.9518	0.146840	0.0208355	0	0.351866	2.08	
ENS B	13.992	1	132.467	6.139624	0.968553	1	0.933333	96.86	
ENS B	3.677408028e-15	0	2.13363	0.102630	0.00841971	0	0.258199	0.84	
ENS FINAL	13.992	1	132.467	5.258590	0.829617	1	0.933333	82.96	
ENS FINAL	3.677408028e-15	0	1.95911	0.158833	0.0233721	0	0.258199	2.34	
AMORT	13.992	12	142.067	52.606994	8.90051	12	10.7333	74.17	
AMORT	3.677408028e-15	0	1.90738	3.131445	0.50959	0	1.62422	4.25	

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% States				(Average)	(Std. Dev.)
		% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down		
AMORT	13.992	0.10	58.89	41.01	0.00	(Average)	
AMORT	3.677408028e-15	0.40	4.97	5.11	0.00	(Std. Dev.)	

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% States						(Average)	(Std. Dev.)
		% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down		
ENS 1	13.992	93.34	0.00	0.00	0.00	6.66	0.00	(Average)	
ENS 1	3.677408028e-15	1.18	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	(Std. Dev.)	

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System		Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked	(Average)	(Std. Dev.)
			In System	In System						
P ENS FI	131.533	0	369.563482	0.000000	0.321489	20.595783	348.646210		(Average)	
P ENS FI	2.03072	0	3.169193	0.000000	0.091208	0.194055	3.180518		(Std. Dev.)	

ANEXO 7

Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA₂ Escenario 1, Caso 2.

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
ENS 1	13.992	1	115.333	7.281329	1	1	1	100.00
ENS 1	3.677408028e-15	0	2.09307	0.133061	0	0	0	0.00
ENS 2	13.992	2	116.4	14.050614	1.9474	2	2	97.37
ENS 2	3.677408028e-15	0	2.02837	0.348067	0.0210243	0	0	1.05
ENS 3	13.992	1	115.4	6.888370	0.946484	1	0.933333	94.65
ENS 3	3.677408028e-15	0	1.99284	0.200020	0.015207	0	0.258199	1.52
ENS A	13.992	1	115.267	6.150982	0.844254	1	0.933333	84.43
ENS A	3.677408028e-15	0	2.05171	0.258480	0.0308285	0	0.258199	3.08
ENS B	13.992	1	115.4	6.707215	0.921555	1	0.933333	92.16
ENS B	3.677408028e-15	0	2.06328	0.212057	0.0173532	0	0.258199	1.74
ENS FINAL	13.992	1	115.267	5.760621	0.790966	1	0.666667	79.10
ENS FINAL	3.677408028e-15	0	1.98086	0.258507	0.0384359	0	0.48795	3.84
AMORT	13.992	11	125.333	60.368192	9.00617	11	11	81.87
AMORT	3.677408028e-15	0	2.09307	3.206218	0.360357	0	0	3.28

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
AMORT	13.992	0.00	46.37	53.63	0.00	(Average)
AMORT	3.677408028e-15	0.00	6.92	6.92	0.00	(Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down	
ENS 1	13.992	82.06	0.00	0.00	0.00	17.94	0.00	(Average)
ENS 1	3.677408028e-15	2.63	0.00	0.00	0.00	2.63	0.00	(Std. Dev.)

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked	
P ENS FI	114.6	0	379.765141	0.000000	0.853370	20.560649	358.351122	(Average)
P ENS FI	2.02837	0	7.635842	0.000000	0.173172	0.339334	7.570515	(Std. Dev.)

ANEXO 8

Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA₂. Escenario 2, Caso 1.

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
ENS 1	13.992	1	124.533	5.355938	0.794397	1	0.866667	79.44
ENS 1	3.677408028e-15	0	1.24595	0.085528	0.00782998	0	0.351866	0.78
ENS 2	13.992	2	129.6	12.570754	1.94019	2	1.933333	97.01
ENS 2	3.677408028e-15	0	1.54919	0.292941	0.0300739	0	0.258199	1.50
ENS 3	13.992	1	133.067	6.202669	0.982962	1	1	98.30
ENS 3	3.677408028e-15	0	1.98086	0.089651	0.00574282	0	0	0.57
ENS A	13.992	1	133	6.313376	1	1	1	100.00
ENS A	3.677408028e-15	0	1.88982	0.090129	0	0	0	0.00
ENS B	13.992	1	133.067	6.119363	0.969697	1	0.933333	96.97
ENS B	3.677408028e-15	0	1.98086	0.123453	0.00934256	0	0.258199	0.93
ENS FINAL	13.992	1	132.933	5.229257	0.827902	1	0.866667	82.79
ENS FINAL	3.677408028e-15	0	1.86956	0.093259	0.0116275	0	0.351866	1.16
AMORT	13.992	15	138.6	65.455606	10.8069	15	6.6	72.05
AMORT	3.677408028e-15	0	1.35225	3.662437	0.622731	0	1.29835	4.15

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
AMORT	13.992	0.00	67.24	32.76	0.00	(Average)
AMORT	3.677408028e-15	0.00	3.13	3.13	0.00	(Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down	
ENS A	13.992	93.96	0.00	0.00	0.00	6.04	0.00	(Average)
ENS A	3.677408028e-15	1.01	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	(Std. Dev.)

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked	
P ENS FI	132.067	0	372.956814	0.000000	0.272349	19.942774	352.741691	(Average)
P ENS FI	1.70992	0	3.078871	0.000000	0.062575	0.203020	3.153003	(Std. Dev.)

ANEXO 9

Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA₂ . Escenario 2, Caso 2.

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
ENS 1	13.992	1	109.333	5.764788	0.750486	1	0.8	75.05
ENS 1	3.677408028e-15	0	2.09307	0.199778	0.0209361	0	0.414039	2.09
ENS 2	13.992	2	113.733	14.244051	1.92922	2	2	96.46
ENS 2	3.677408028e-15	0	1.98086	0.292462	0.0264417	0	0	1.32
ENS 3	13.992	1	116	6.932772	0.957576	1	0.933333	95.76
ENS 3	3.677408028e-15	0	2.26779	0.169743	0.0132621	0	0.258199	1.33
ENS A	13.992	1	116	7.239959	1	1	1	100.00
ENS A	3.677408028e-15	0	2.32993	0.145014	0	0	0	0.00
ENS B	13.992	1	116	6.734684	0.930132	1	1	93.01
ENS B	3.677408028e-15	0	2.29907	0.232492	0.0230443	0	0	2.30
ENS FINAL	13.992	1	115.733	5.862208	0.80789	1	0.866667	80.79
ENS FINAL	3.677408028e-15	0	2.43389	0.277767	0.0363921	0	0.351866	3.64
AMORT	13.992	14	122.133	72.912814	10.6066	14	7.13333	75.76
AMORT	3.677408028e-15	0	1.80739	6.505227	0.948919	0	1.76743	6.78

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
AMORT	13.992	0.00	64.89	35.11	0.00	(Average)
AMORT	3.677408028e-15	0.00	8.69	8.69	0.00	(Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down	
ENS A	13.992	82.21	0.00	0.00	0.00	17.79	0.00	(Average)
ENS A	3.677408028e-15	2.57	0.00	0.00	0.00	2.57	0.00	(Std. Dev.)

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked	
P ENS FI	114.867	0	385.656486	0.000000	0.879653	20.016429	364.760405	(Average)
P ENS FI	2.38647	0	6.193841	0.000000	0.114718	0.368703	6.006823	(Std. Dev.)

ANEXO 10

Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA₂ . Escenario 3, Caso 1.

LOCATIONS								
Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
ENS 1	13.992	1	124.867	6.377093	0.948313	1	1	94.83
ENS 1	3.677408028e-15	0	2.13363	0.109788	0.012022	0	0	1.20
ENS 2	13.992	2	125.467	13.034561	1.94728	2	1.93333	97.36
ENS 2	3.677408028e-15	0	2.13363	0.334142	0.0229255	0	0.258199	1.15
ENS 3	13.992	1	124.333	6.479592	0.959291	1	0.933333	95.93
ENS 3	3.677408028e-15	0	2.12692	0.159563	0.0113679	0	0.258199	1.14
ENS A	13.992	1	124.8	4.979242	0.74008	1	0.8	74.01
ENS A	3.677408028e-15	0	2.17781	0.080674	0.0112266	0	0.414039	1.12
ENS B	13.992	1	124.333	6.185815	0.915609	1	0.866667	91.56
ENS B	3.677408028e-15	0	2.19306	0.231441	0.0204521	0	0.351866	2.05
ENS FINAL	13.992	1	140.533	5.973019	0.999543	1	1	99.95
ENS FINAL	3.677408028e-15	0	2.58752	0.113275	0.00177152	0	0	0.18
AMORT	13.992	24	145.067	80.454260	13.9161	23.4	5.53333	57.98
AMORT	3.677408028e-15	0	1.79151	10.564046	1.95274	0.736788	3.71996	8.14

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
AMORT	13.992	0.54	95.92	3.54	0.00	(Average)
AMORT	3.677408028e-15	2.03	4.98	4.95	0.00	(Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down	
ENS FINAL	13.992	99.95	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	(Average)
ENS FINAL	3.677408028e-15	0.18	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	(Std. Dev.)

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked	
P ENS FI	139.533	0	376.126715	0.000000	2.126487	19.012209	354.988019	(Average)
P ENS FI	2.58752	0	5.036522	0.000000	0.925851	0.164495	5.045578	(Std. Dev.)

ANEXO 11

Estadísticas del Software Promodel con la incorporación del tamaño factible del Amortiguador de Tiempo TA₂ . Escenario 3, Caso 2.

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
ENS 1	13.992	1	111.067	6.902249	0.912864	1	0.933333	91.29
ENS 1	3.677408028e-15	0	2.18654	0.199052	0.0211889	0	0.258199	2.12
ENS 2	13.992	2	111.333	14.507506	1.92327	2	1.86667	96.16
ENS 2	3.677408028e-15	0	1.87718	0.413608	0.0370472	0	0.351866	1.85
ENS 3	13.992	1	109.733	7.104175	0.928302	1	1	92.83
ENS 3	3.677408028e-15	0	1.90738	0.166204	0.0129856	0	0	1.30
ENS A	13.992	1	111.067	4.872059	0.644368	1	0.666667	64.44
ENS A	3.677408028e-15	0	2.28244	0.187953	0.0226414	0	0.48795	2.26
ENS B	13.992	1	109.533	6.500505	0.847684	1	0.733333	84.77
ENS B	3.677408028e-15	0	1.88478	0.322096	0.0344349	0	0.457738	3.44
ENS FINAL	13.992	1	143.6	5.854259	1	1	1	100.00
ENS FINAL	3.677408028e-15	0	5.51362	0.224010	0	0	0	0.00
AMORT	13.992	50	157.667	165.940185	31.2001	48.2667	15.0667	62.40
AMORT	3.677408028e-15	0	2.60951	21.226451	4.2798	1.27988	6.90204	8.56

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
AMORT	13.992	0.00	99.54	0.46	0.00	(Average)
AMORT	3.677408028e-15	0.00	1.40	1.40	0.00	(Std. Dev.)

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down	
ENS FINAL	13.992	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	(Average)
ENS FINAL	3.677408028e-15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	(Std. Dev.)

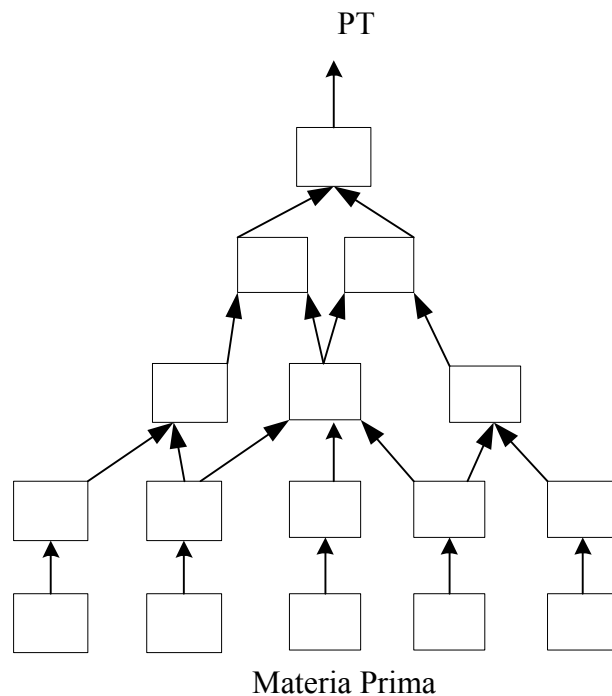
ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes Operation	Average Minutes In Blocked	
P ENS FI	142.6	0	401.114609	0.000000	2.921171	16.074532	382.118906	(Average)
P ENS FI	5.51362	0	10.268445	0.000000	0.981063	0.272503	10.245209	(Std. Dev.)

ANEXO 12

Ejemplo de la aplicación de la metodología para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo en una planta de producción tipo A.

1. Diagrama de Flujo de la Planta Tipo



2. Los tiempos de operación de las estaciones de trabajo poseen una distribución Normal con rango de aceptación mayor al 80%.

Descripción de los casos a plantear para cada escenario

	PARAMETRO	Cvp	μ_A	μ_B	μ_C	σ_A	σ_B	σ_C
EJEMPLO	CASO 1	0.2	3.5	7	8	0.7	1.4	1.6
	CASO 2	0.4	3.5	7	8	1.4	2.8	3.2

Cvp Coeficiente de variación de la distribución de tiempo de trabajo

μ_A Tiempo promedio de la estación de trabajo, que fabrica dos piezas para el PT

μ_B Tiempo promedio de la estación de trabajo no restrictiva

μ_C Tiempo promedio de la estación de trabajo restrictiva

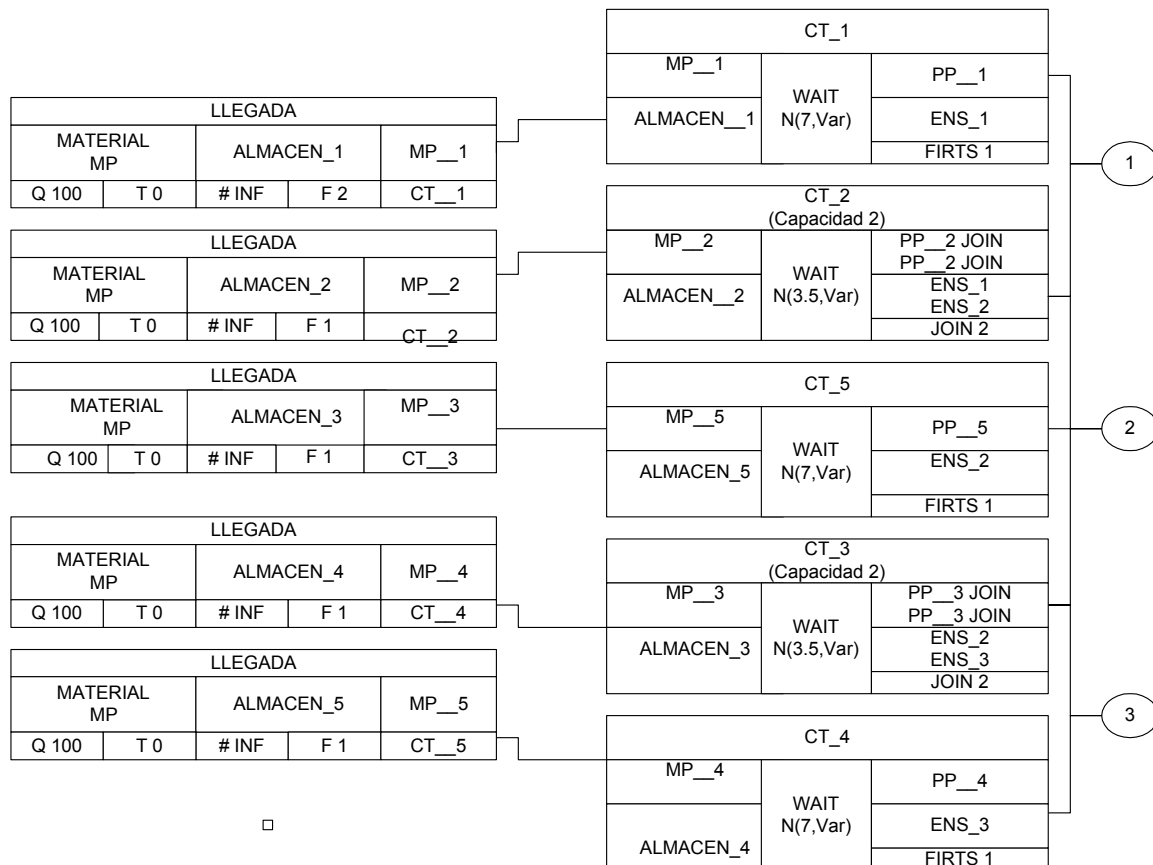
σ_A Desviación estándar de la estación de trabajo que fabrica dos piezas para el PT

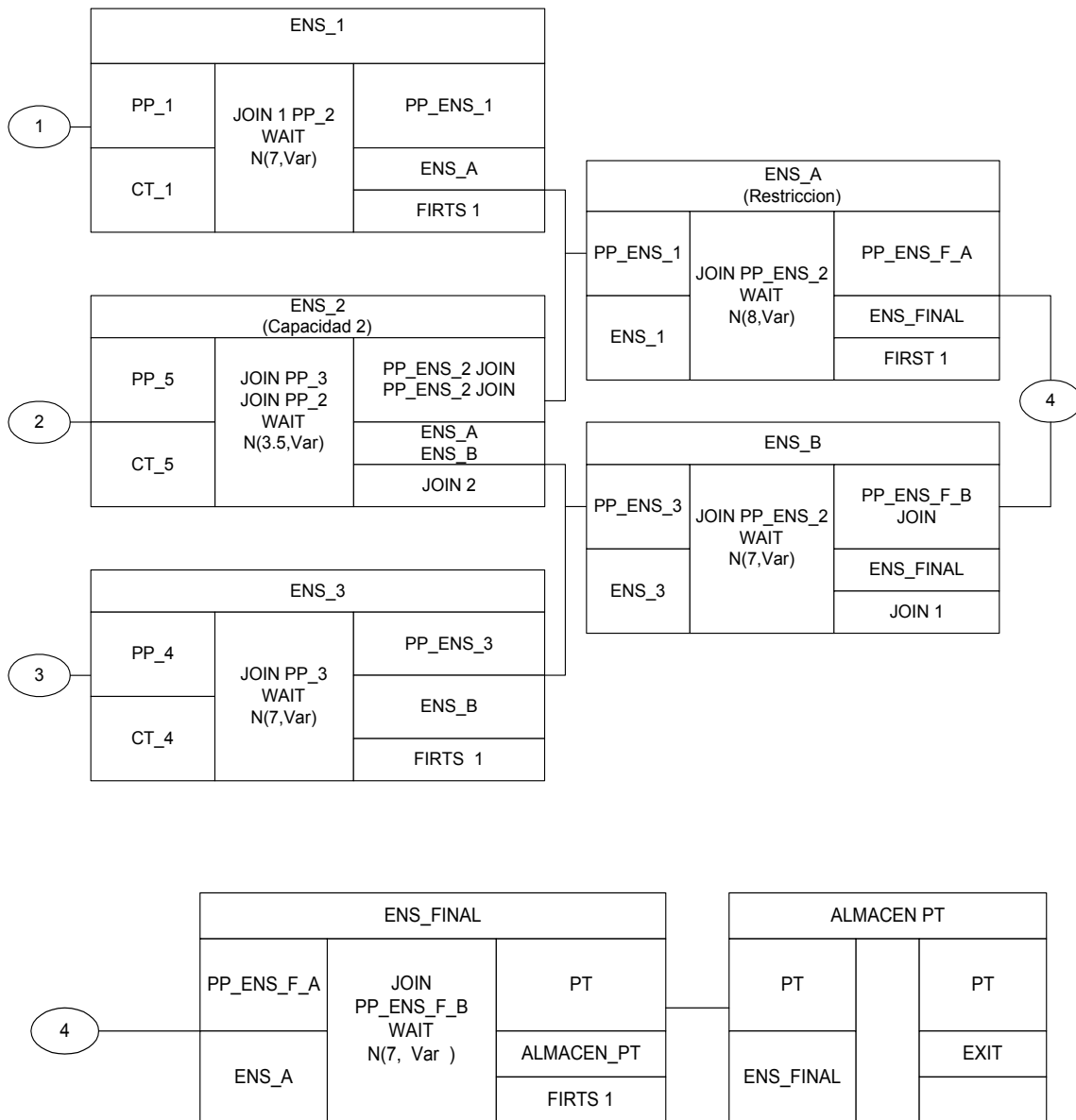
σ_B Desviación estándar de la estación de trabajo no restrictiva

σ_C Desviación estándar de la estación de trabajo restrictiva

3. La estación de trabajo restrictiva es “Ensambladora A” con el tiempo de procesamiento más largo, determinando la capacidad productora de la planta de producción. El sistema de producción a simular tiene infinita disponibilidad de materia prima, trabajando bajo un sistema push y la variabilidad a utilizar esta representada por el C_{vp} .

4. Diagrama de flujo que describe las interacciones entre estaciones, almacenes y productos (MP, PP y PT).





5. Simular y elaborar un Diagrama de Programación de la Producción, para conocer idealmente (Sin variaciones en el sistema) el tiempo necesario de Pre calentamiento, y el ritmo con el cual se produce una pieza en el sistema (FP).

El tiempo de precalentamiento será de 30 min., durante los 840 minutos de Simulación, además con la incorporación de la restricción una pieza se producirá cada 8 minutos.

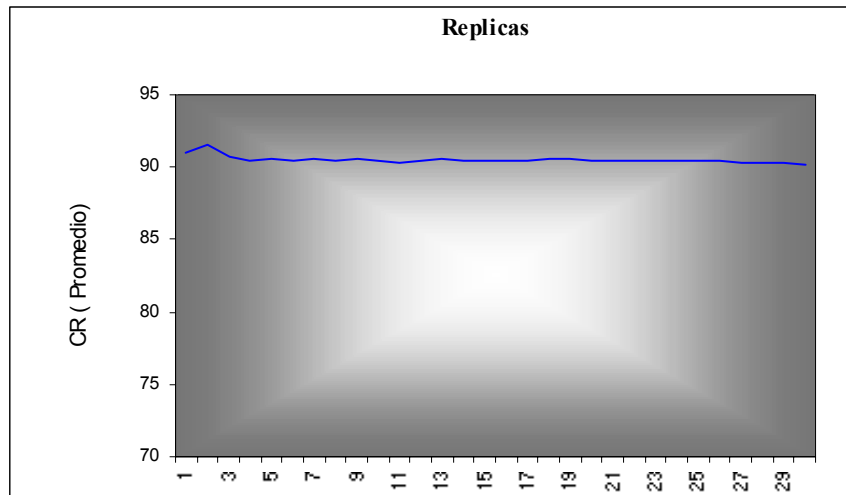
Tiempo	CT 1	CT 2	CT 3	CT 4	CT 5	ENS 1	ENS 2	ENS 3	ENS A	ENS B	ENS F
7	1	1_1	1_1	1	1						
14	2	2_2	2_2	2	2	1	1_1	1			
21	3	3_3	3_3	3	3	2	2_2	2	1	1	
28	4	4_4	4_4	4	4	3	3_3	3	2	2	
35	5	5_5	5_5	5	5	4	4_4	4	3	3	2
42	6	6_6	6_6	6	6	5	5_5	5	4	4	3
49	7	7_7	7_7	7	7	6	6_6	6	5	5	4
56	8	8_8	8_8	8	8	7	7_7	7	6	6	5
63						8	8_8	8	7	7	6
70									8	8	7

6. La capacidad nominal de la planta es:

$$CN = (840 / 8)$$

$$CN = 105 \text{ {unid.}}$$

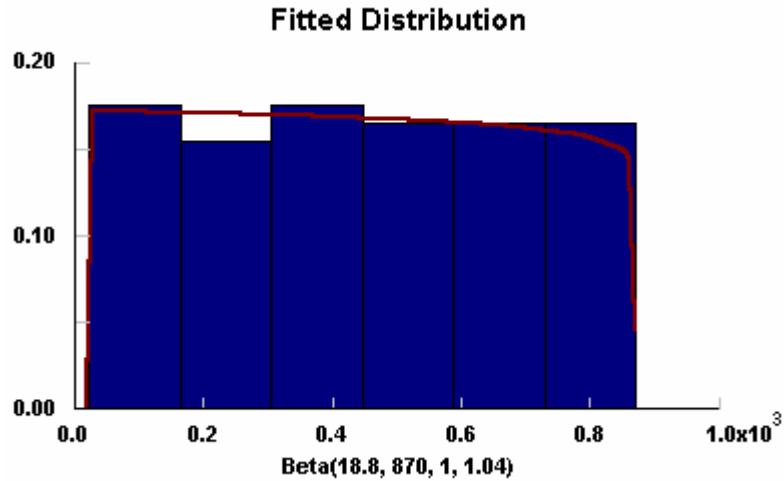
7. Para hallar el número de réplicas fue necesario simular el modelo de promodel con un número considerable de réplicas y contabilizar el número de unidades producidas CR en promedio por el sistema durante el tiempo de simulación; el sistema se estabilizo en la 6 replica, pero para efectos prácticos se considero en 10.



8. El tambor del sistema

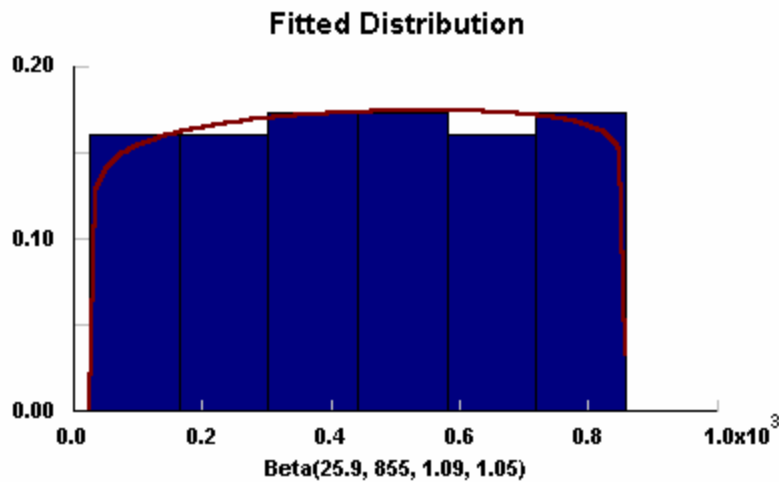
Caso 1 ($C_{vp} = 0.2$)

Distribución Beta: $B (18.8, 870, 1, 1.04)$



Caso 2 ($C_{vp} = 0.4$)

Distribución Beta: $B (25.9, 855, 1.09, 1.05)$



9. El tiempo promedio en el que el efecto Murphy se encuentra en el sistema de producción es de 120 min. Durante la simulación. Ya que se presentaron daños en las maquinas y se deberán someter a mantenimiento durante 60 min., esto se presenta con una Distribución $N(300, 1.5)$ min. ($D = 120$ min.).

10. Introducción en el modelo de la estación “Amort” que es la encargada de procesar las piezas producidas por la incorporación del amortiguador de tiempo.

ICP	Índice de la Capacidad Protectora de las estaciones de trabajo no restrictivas
IEC	Índice de la Eficiencia de la Capacidad Protectora ante la Presencia de Murphy
D	120 min.
TA₁	Tamaño del Amortiguador utilizando la ecuación
TENR	7 min.
TER	8 min.
T	840 min.
FP	8 min.

$$ICP = [1 - (7 / 8)] = 0.125$$

$$IEC = [1 - (120 / 840)] = 0.8571$$

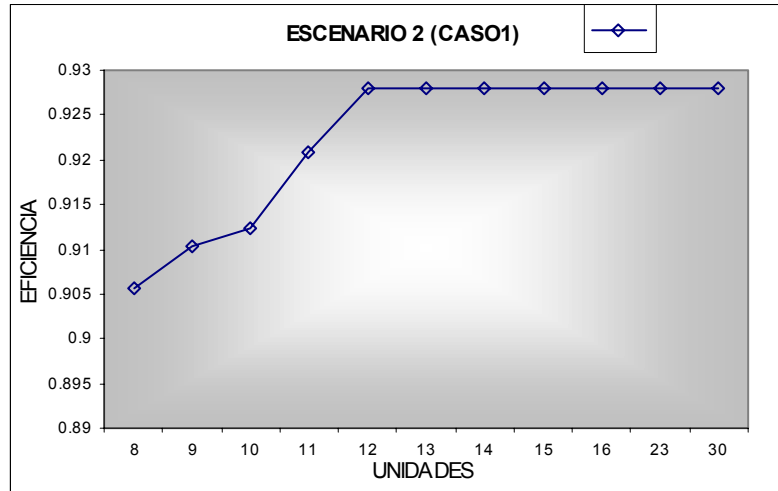
$$TA_1 \approx [120 * [1 - 0.125 * 0.8571]] = 107.14 \rightarrow 104 \text{ min.}$$

$$\text{Unidades } TA_1 = 104 / 8 = 13 \text{ Unidades}$$

11. Para escoger el tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA₂) se deben simular los diferentes valores obtenidos a través de los decrementos e incrementos de TA₁ analizando para cada uno de estos valores el numero de unidades procesas por el sistema CR, el estado de la estación “Amort” la cual no puede presentar tiempos vacíos y el tiempo de operación de la restricción.

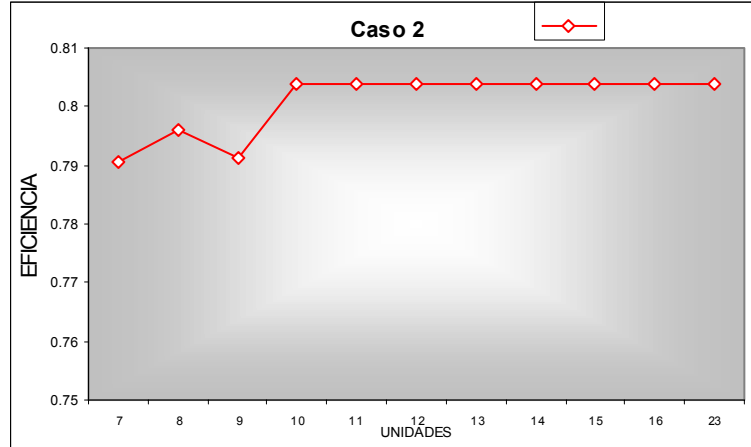
Caso 1

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	Estado Amort	ESTADO RESTRICCION		
				% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
8	95.10	1,523	0.9057	6.78	90.05	8.01	1.93
9	95.60	1,264	0.9104	3	91.58	1.23	0.79
10	95.80	1,475	0.9123	2.3	91.51	8.03	0.46
11	96.70	1,418	0.9209	1,05	91.01	8.95	0.03
12	97.20	1,316	0.928	0	91.66	8.34	0
13	97.20	1,317	0.928	0	91.66	8.34	0
14	97.20	1,318	0.928	0	91.66	8.34	0
15	97.20	1,319	0.928	0	91.66	8.34	0
16	97.20	1,320	0.928	0	91.66	8.34	0
23	97.20	1,321	0.928	0	91.66	8.34	0
30	97.20	1,322	0.928	0	91.66	8.34	0



Caso 2

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	ESTADO. AMORT	ESTADO RESTRICCION		
				% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
7	83.000	1.49	0.7904	7.63	78.46	20.24	1.3
8	83.600	1.42	0.7961	2.66	79.67	19.6	0.72
9	83.100	2.13	0.7914	0.91	78.88	20.91	0.2
10	84.400	2.06	0.8038	0.19	79.26	20.74	0
11	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
12	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
13	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
14	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
15	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
16	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
23	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0
30	84.400	2.06	0.8038	0	79.26	20.74	0



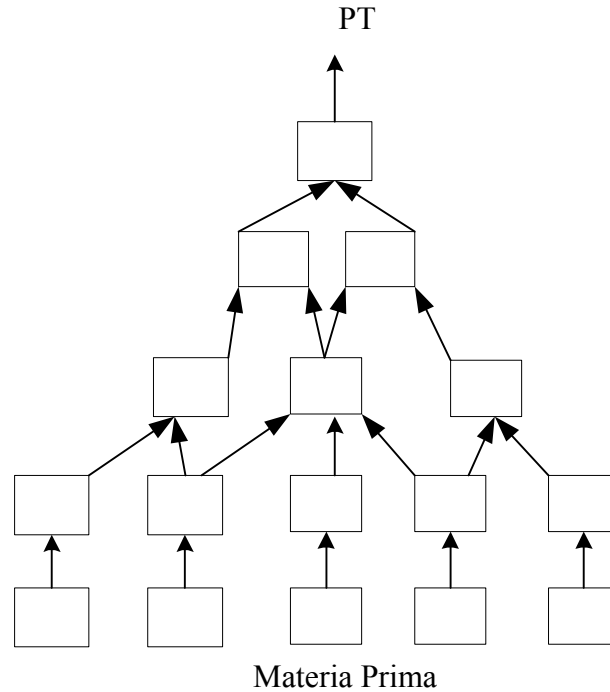
12. Por medio de la eficiencia arrojada del sistema (Numeral Anterior) se conoce el tamaño factible del Amortiguador de tiempo (TA_2). El TA_2 para el caso 1 es de 96 min. (12 unidades) y el caso 2 es de 88 min. (11 Unidades) Para aclaraciones un aumento en el valor del tamaño factible (TA_2) no representa ningún cambio en los resultados del modelo ya que a partir de este (TA_2) la eficiencia del sistema permanece constante; y una disminución en TA_2 representaría agujeros en el amortiguador y una baja eficiencia en el sistema.

13. Una vez se halla controlado y protegido la restricción RRC o Cuello de Botella en el sistema por medio del tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2); el amortiguador debe ser administrado bajo el concepto de la Teoría de Restricciones. Con las estadísticas de promodel se puede observar el numero promedio de unidades en la estación Amort y de esta forma evaluar su estado.

ANEXO 13

Ejemplo de la aplicación de la metodología para conocer el tamaño factible del amortiguador de tiempo en una planta de producción tipo A.

1. Diagrama de Flujo de la Planta Tipo



2. Los tiempos de operación de las estaciones de trabajo poseen una distribución Normal con rango de aceptación mayor al 80%.

Descripción de los casos a plantear para cada escenario

	μ_A	μ_B	μ_C	σ_A	σ_B	σ_C
EJEMPLO	2	5	8	0.4	1	1.6

μ_A Tiempo promedio de la estación de trabajo, que fabrica dos piezas para el PT

μ_B Tiempo promedio de la estación de trabajo no restrictiva

μ_C Tiempo promedio de la estación de trabajo restrictiva

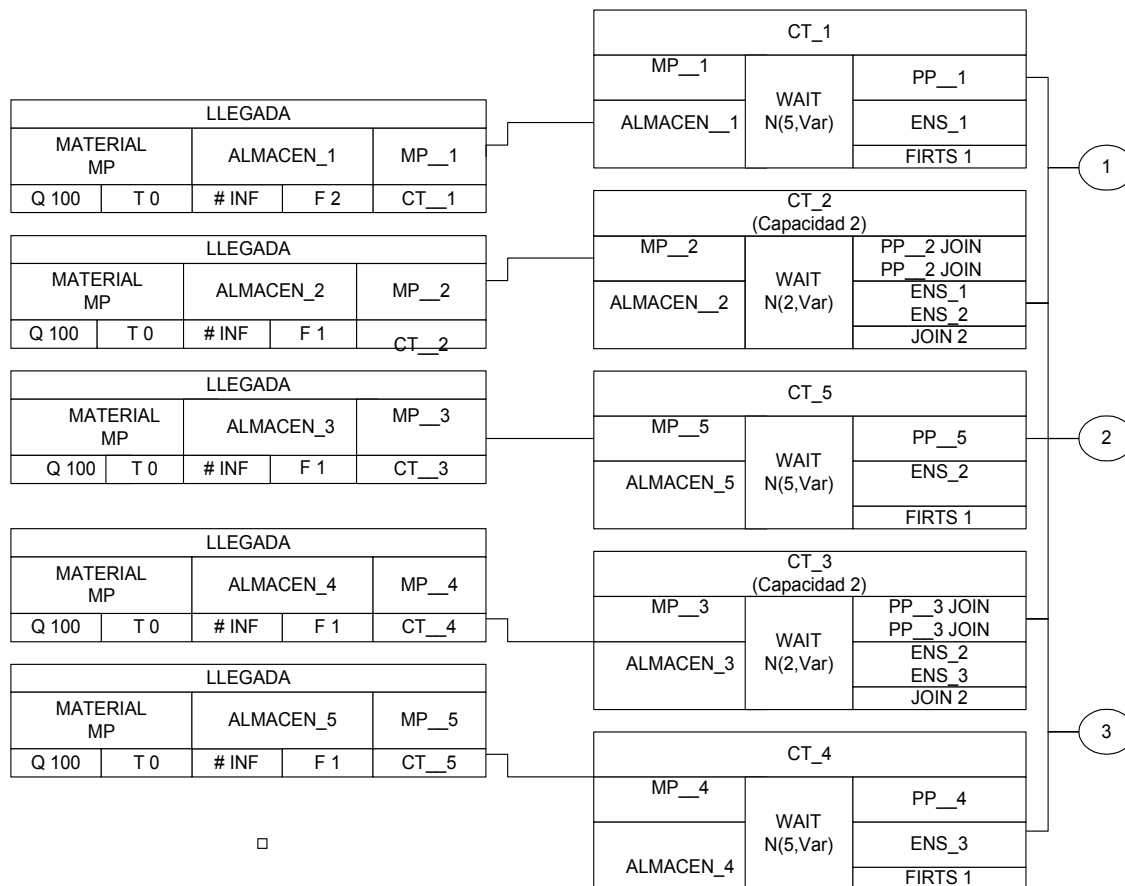
σ_A Desviación estándar de la estación de trabajo que fabrica dos piezas para el PT

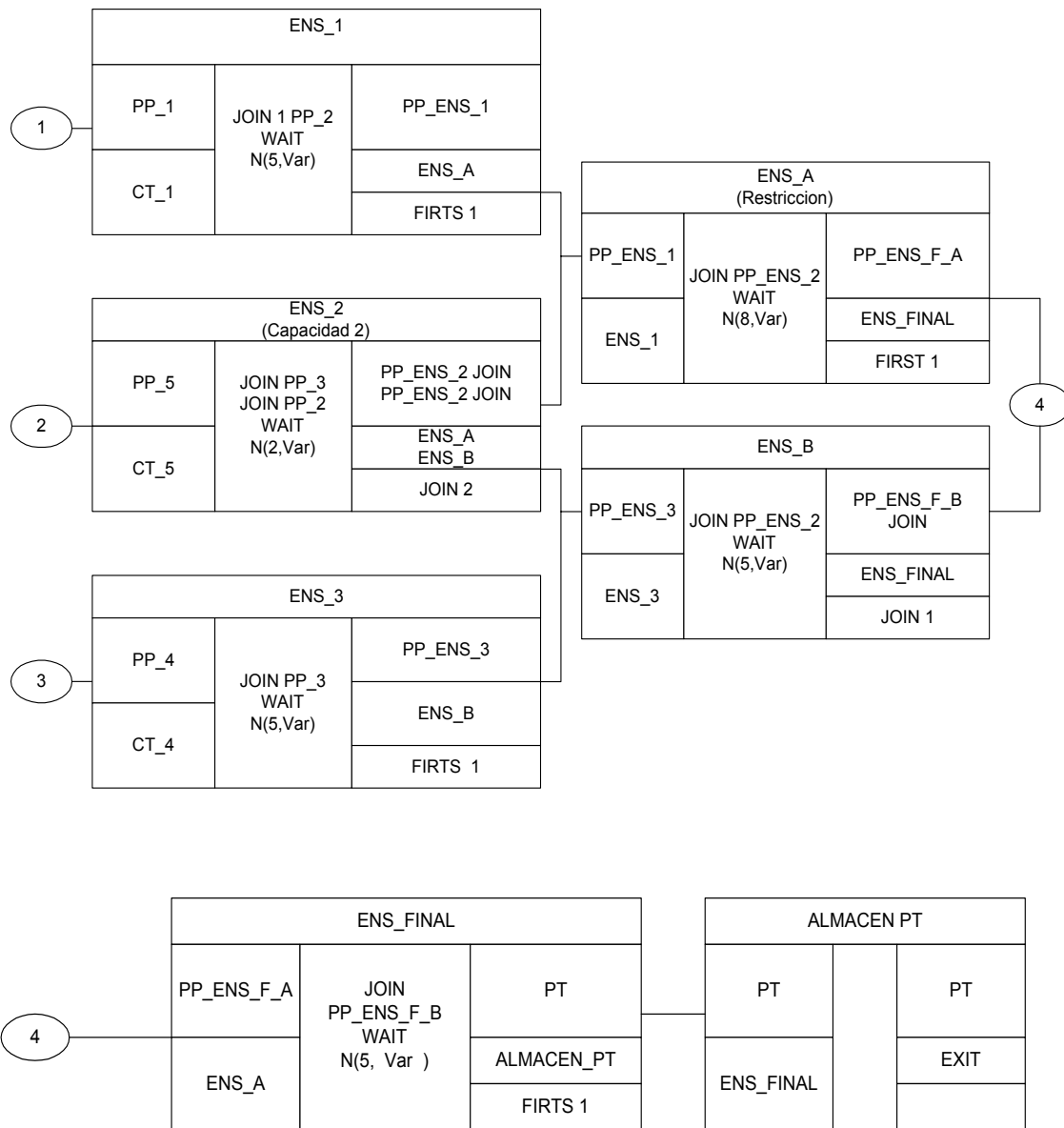
σ_B Desviación estándar de la estación de trabajo no restrictiva

σ_C Desviación estándar de la estación de trabajo restrictiva

3. La estación de trabajo restrictiva es “Ensambladora A” con el tiempo de procesamiento más largo, determinando la capacidad productora de la planta de producción. El sistema de producción a simular tiene infinita disponibilidad de materia prima, trabajando bajo un sistema push y la variabilidad a utilizar esta representada por el Cvp.

4. Diagrama de flujo que describe las interacciones entre estaciones, almacenes y productos (MP, PP y PT).





5. Simular y elaborar un Diagrama de Programación de la Producción, para conocer idealmente (Sin variaciones en el sistema) el tiempo necesario de Pre calentamiento, y el ritmo con el cual se produce una pieza en el sistema (FP).

El tiempo de pre calentamiento será de 30 min., durante los 840 minutos de Simulación, además con la incorporación de la restricción una pieza se producirá cada 8 minutos.

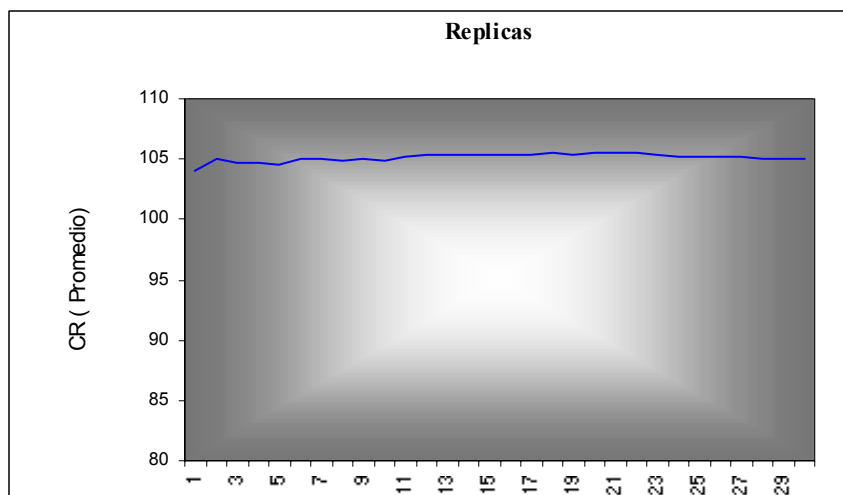
Tiempo	CT 1	CT 2	CT 3	CT 4	CT 5	ENS 1	ENS 2	ENS 3	ENS A	ENS B	ENS F
5	1	1_1	1_1	1	1						
10	2	2_2	2_2	2	2	1	1_1	1			
18	3	3_3	3_3	3	3	2	2_2	2	1	1	
23	4	4_4	4_4	4	4	3	3_3	3	2	2	
31	5	5_5	5_5	5	5	4	4_4	4	3	3	2
39	6	6_6	6_6	6	6	5	5_5	5	4	4	3
37	7	7_7	7_7	7	7	6	6_6	6	5	5	4
45	8	8_8	8_8	8	8	7	7_7	7	6	6	5
53						8	8_8	8	7	7	6

6. La capacidad nominal de la planta es:

$$CN = (840 / 8)$$

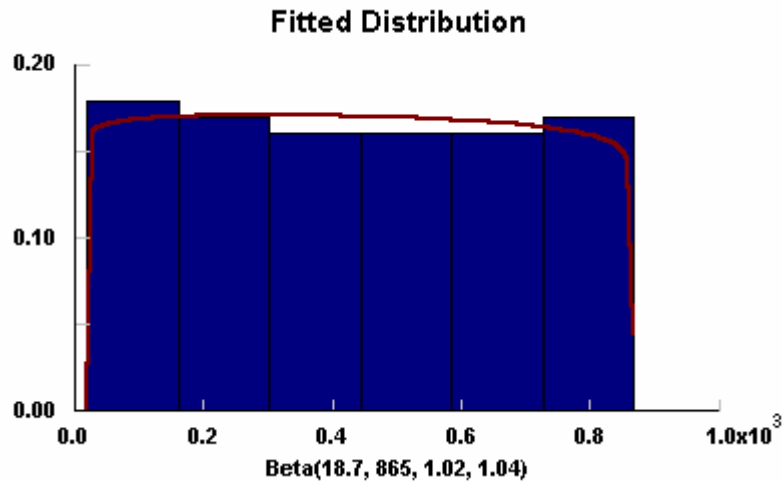
$$CN = 105 \{ \text{unid.} \}$$

7. Para hallar el numero de réplicas fue necesario simular el modelo de promodel con un numero considerable de réplicas y contabilizar el numero de unidades producidas CR en promedio por el sistema durante el tiempo de simulación; el sistema se estabilizo en la 11 replica, pero para efectos prácticos se considero en 15.



8. El tambor del sistema

Distribución Beta: $B(18.7, 865, 1.02, 1.04)$



9. El tiempo promedio en el que el efecto Murphy se encuentra en el sistema de producción es de 120 min. Durante la simulación. Ya que se presentaron daños en las maquinas y se deberán someter a mantenimiento durante 60 min., esto se presenta con una Distribución $N(300, 1.5)$ min. ($D = 120$ min.).

10. Introducción en el modelo de la estación "Amort" que es la encargada de procesar las piezas producidas por la incorporación del amortiguador de tiempo.

- ICP** Índice de la Capacidad Protectora de las estaciones de trabajo no restrictivas
- IEC** Índice de la Eficiencia de la Capacidad Protectora ante la Presencia de Murphy
- D** 120 min.
- TA₁** Tamaño del Amortiguador utilizando la ecuación
- TENR** 5 min.
- TER** 8 min.
- T** 840 min.
- FP** 8 min.

$$ICP = [1 - (5 / 8)] = 0.375$$

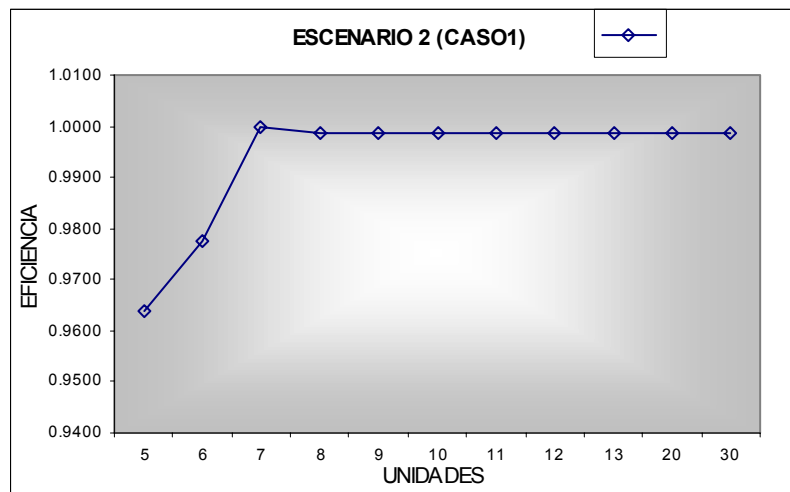
$$IEC = [1 - (120 / 840)] = 0.8571$$

$$TA_1 \approx [120 * [1 - 0.375 * 0.8571]] = 81.43 \rightarrow 80 \text{ min.}$$

$$\text{Unidades } TA_1 = 80 / 8 = 10 \text{ Unidades}$$

11. Para escoger el tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2) se deben simular los diferentes valores obtenidos a través de los decrementos e incrementos de TA_1 analizando para cada uno de estos valores el número de unidades procesadas por el sistema CR, el estado de la estación “Amort” la cual no puede presentar tiempos vacíos y el tiempo de operación de la restricción.

UNIDADES	CR	DESVIACION	EFICIENCIA	Estado Amort	ESTADO RESTRICCION		
				% EMPY	% OPER	%BLOQUE	% IDLE
5	101.200	2,0424	0.9638	8.6800	95.7700	0.1700	4.0600
6	102.667	1,3451	0.9777	6.7400	97.4500	0.1600	2.3900
7	105,067	1,2798	1.0000	4.3200	98.9900	0.2400	0.7700
8	104.860	2,4744	0.9986	1.0500	99.6500	0.3400	0.0100
9	104.860	2,4745	0.9986	0.0100	99.6600	0.3400	0.0000
10	104.860	2,4746	0.9986	0.0000	99.6600	0.3400	0.0000
11	104.860	2,4747	0.9986	0.0000	99.6600	0.3400	0.0000
12	104.860	2,4748	0.9986	0.0000	99.6600	0.3400	0.0000
13	104.860	2,4749	0.9986	0.0000	99.6600	0.3400	0.0000
20	104.860	2,4750	0.9986	0.0000	99.6600	0.3400	0.0000
30	104.860	2,4751	0.9986	0.0000	99.6600	0.3400	0.0000



12. Por medio de la eficiencia arrojada del sistema (Numeral Anterior) se conoce el tamaño factible del Amortiguador de tiempo (TA_2). El TA_2 80 min. (10 unidades) Para aclaraciones un aumento en el valor del tamaño factible (TA_2) no representa ningún cambio en los resultados del modelo ya que a partir de este (TA_2) la eficiencia del sistema permanece constante; y una disminución en TA_2 representaría agujeros en el amortiguador y una baja eficiencia en el sistema. Además se puede concluir que entre mayor sea la capacidad protectora de las estaciones de trabajo no restrictivas, menor será el tamaño (TA_2) necesario y mayor la eficiencia del sistema.
13. Una vez se halla controlado y protegido la restricción RRC o Cuello de Botella en el sistema por medio del tamaño factible del amortiguador de tiempo (TA_2); el amortiguador debe ser administrado bajo el concepto de la Teoría de Restricciones. Con las estadísticas de promodel se puede observar el numero promedio de unidades en la estación Amort y de esta forma evaluar su estado.