

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES  
EN TEJIDOS PINTEX S.A.

Alonso Ignacio Iturralde Pólit  
Ana Cristina Papenbrok Jijón

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de  
Ingeniería Industrial

Quito, Agosto 2007

**Universidad San Francisco de Quito**  
**Colegio Politécnico**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MANEJO DE  
MATERIALES EN TEJIDOS PINTEX S.A.**

Alonso Ignacio Iturralde Pólit  
Ana Cristina Papenbrok Jijón

Ximena Córdova, Ph.D.  
Director de Tesis

---

Patricio Cisneros, Msc.  
Miembro del Comité de Tesis

---

Hector A. Vergara, Msc.  
Miembro del Comité de Tesis

---

Angel Villablanca, Msc.  
Miembro del Comité de Tesis

---

Fernando Romo, Msc.  
Decano del Colegio Politécnico

---

**Quito, Jueves 30 de Agosto de 2007**

---

## RESUMEN

Tejidos Pintex S.A. es una empresa de manufactura de telas. Por el desarrollo actual de la empresa, se produjo una unificación entre dos secciones separadas para aumentar la capacidad de producción. Apareció la necesidad de optimizar los espacios y el manejo de materiales junto con el flujo general del proceso, dado que se dobló el número de máquinas en servicio ubicando todas las disponibles en el mismo edificio, sin modificar el tamaño de las instalaciones. Esta necesidad de encontrar soluciones originales y efectivas llevó a los directivos a iniciar un proyecto para mejorar el transporte de materiales. Se planteó la posibilidad de simular los procesos existentes para abarcar mayor información y obtener mejores resultados.

Utilizando el programa de simulación Arena Rockwell 7.1 se pudo obtener información crítica sobre el proceso en cuanto a inventario y tiempos de ciclo. Con el reto de disminuir ambas variables surgió la idea de diseñar dispositivos de transporte para acortar los tiempos de ciclo, ayudar a los operadores a acelerar su trabajo y evitar cargas físicas excesivas. Dos carros de transporte fueron desarrollados para movilizar pabilos y napas, evitando problemas de calidad en el material y de fatiga para los operadores. Además se diseñó un sistema de codificación por colores para organizar el inventario y disminuir las confusiones y mezclas de material.

Tejidos Pintex S.A. tiene ahora un punto de partida para controlar el inventario, mejorar la información visual en proceso y evitar el mal manejo de materiales dentro de la planta con miras a un mejoramiento continuo.

---

---

## ABSTRACT

Tejidos Pintex S.A. is a textile industry that recently decided to unify its two facilities. All the machines were relocated into the main building hoping to reduce transportation costs and logistic difficulties and to raise manufacturing capacity, but this relocation increased the material handling problem along the production lines. Management saw the need of finding original and effective solutions to optimize inventory levels, space and transportation systems. The idea of simulating the process arose because of the need to obtain better and reliable data.

Based on several models developed on Arena Rockwell 7.1, it was possible to find critical information about the processes in terms of inventory and cycle times. Targeting the reduction of both variables, the challenge of improving transportation systems led to two specific cart designs which lowered physical loads for operators and eased their work. In addition, these carts were thought to transport critical material without compromising their quality. Furthermore, a color code system was proposed to help the company to organize inventory in order to avoid confusion within the facility.

Now, Tejidos Pintex S.A. has the tools to control inventory, increase visual information of the process and enhance material handling, on the road to improve continuously on the years to come.

---

© Derechos de autor  
Alonso Ignacio Iturralde Pólit  
Ana Cristina Papenbrok Jijón  
2007

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO</b>		<b>vi</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>		<b>ix</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>		<b>x</b>
<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fundamento Teórico</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Tiempo de flujo</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Eficiencia del proceso</b>	<b>4</b>
<b>3.3</b>	<b>Demanda</b>	<b>4</b>
<b>3.4</b>	<b>Definición del manejo de materiales</b>	<b>5</b>
<b>3.5</b>	<b>Medición del trabajo</b>	<b>5</b>
3.5.1	Muestreo del trabajo	6
3.5.2	Estudio de tiempos	6
<b>3.6</b>	<b>Distribuciones utilizadas en el estudio</b>	<b>8</b>
3.6.1	Distribución normal	8
3.6.2	Distribución Poisson	8
3.6.3	Distribución triangular	8
3.6.4	Distribución Weibull	9
3.6.5	Distribución beta	9
3.6.6	Distribución lognormal	9
3.6.7	Distribución exponencial	9
<b>3.7</b>	<b>Prueba de normalidad Kolmogorov Smirnov</b>	<b>10</b>
<b>3.8</b>	<b>Prueba de ajuste chi-cuadrado</b>	<b>10</b>
<b>3.9</b>	<b>Gráfico de cuantiles</b>	<b>11</b>
<b>3.10</b>	<b>Análisis de varianza</b>	<b>11</b>
<b>3.11</b>	<b>Simulación</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Estudio de Tiempos y Movimientos</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Descripción del proceso de hilatura</b>	<b>13</b>
4.1.1	Apertura	13
4.1.2	Cardado	13
4.1.3	Reunido de cintas y de napas	14
4.1.4	Peinado	14
4.1.5	Estirajes	14
4.1.6	Pabilado	14
4.1.7	Hilado	15
4.1.8	Bobinado	15
<b>4.2</b>	<b>Flujogramas del proceso de hilatura</b>	<b>16</b>
4.2.1	Proceso general	16

4.2.2	Proceso detallado	17
<b>4.3</b>	<b>Cálculo de flujo de materiales en Hilatura</b>	<b>19</b>
4.3.1	Antecedentes	19
4.3.2	Metodología para la recolección de información	19
<b>5</b>	<b>Análisis</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Cardas de algodón</b>	<b>21</b>
5.1.1	Estudio de tiempos	21
5.1.2	Tiempos de paro	26
<b>5.2</b>	<b>Cardas Poliéster</b>	<b>26</b>
5.2.1	Estudio de tiempos	26
5.2.2	Tiempos de paro	31
<b>5.3</b>	<b>Reunidora de cintas</b>	<b>31</b>
5.3.1	Estudio de tiempos	31
5.3.2	Tiempos de paro	32
<b>5.4</b>	<b>Reunidora de napas</b>	<b>33</b>
5.4.1	Estudio de tiempos	33
5.4.2	Tiempos de paro	33
<b>5.5</b>	<b>Peinadoras</b>	<b>35</b>
5.5.1	Estudio de tiempos	35
5.5.2	Tiempos de paro	35
<b>5.6</b>	<b>Estirajes</b>	<b>38</b>
5.6.1	Estiraje paso 1	38
5.6.2	Estiraje paso 2	42
5.6.3	Estiraje paso final	45
5.6.4	Pabileras	51
5.6.5	Hilas	53
5.6.6	Autoconers	57
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Cálculo del flujo de materiales</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Simulación</b>	<b>61</b>
<b>7.1</b>	<b>Objetivo</b>	<b>61</b>
<b>7.2</b>	<b>Arena Rockwell 7.1 Versión Académica</b>	<b>62</b>
<b>7.3</b>	<b>Suposiciones y consideraciones</b>	<b>62</b>
7.3.1	Consideración parcial del sistema:	62
7.3.2	Utilización de tiempos totales en lugar de tiempos netos:	63
7.3.3	Consideración de las diferencias en grosor y metraje del material entre la entrada y salida de las máquinas:	63
7.3.4	Manejo de las diferencias de número de entradas y salidas en las máquinas:	65
7.3.5	Consideración del porcentaje de desperdicio utilizado en el resumen del flujo de materiales:	65
7.3.6	Consideración de lotes de 4 unidades en lugar de 8 o 16 de acuerdo a la máquina:	66
7.3.7	Utilización de los resultados de un modelo como distribución para crear entidades en el proceso siguiente:	66
7.3.8	Definición del tiempo de corrida y los tiempos de calentamiento:	68
7.3.9	Realización de veinte réplicas para poder obtener una distribución a partir de los resultados de la simulación:	70

<b>7.4</b>	<b>Lógica de la simulación</b>	<b>70</b>
7.4.1	Modelo de Peinadoras	71
7.4.2	Módulo de creación	71
7.4.3	Modelo de Estiraje Paso 1	71
7.4.4	Modelo de Estiraje Paso 2	72
7.4.5	Modelo de Estiraje Paso Final	72
7.4.6	Modelo de Pabileras	73
<b>7.5</b>	<b>Resultados y análisis</b>	<b>74</b>
<b>7.6</b>	<b>Verificación y validación de la simulación</b>	<b>85</b>
<b>7.7</b>	<b>Inventario</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>Oportunidades de mejora</b>	<b>89</b>
<b>9</b>	<b>Transporte</b>	<b>92</b>
<b>10</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>99</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>101</b>
	<b>Anexo A: Resumen de Flujo de Materiales</b>	<b>103</b>
	<b>Anexo B: Identificación de Distribuciones (Input Analyzer)</b>	<b>104</b>
	<b>Anexo C: Cálculos Utilizados para la Realización de la Simulación</b>	<b>110</b>
	<b>Anexo D: Modelos de Simulación</b>	<b>119</b>

## INDICE DE GRÁFICOS

Tabla 1.1 Tamaño de la Muestra Desarrollada por Shaw en General Electric	8
Tabla 5.1 Resultado de ANOVA para Cardas Co	24
Tabla 5.2 Parámetros de la Distribución para el Set Cardas Co	25
Tabla 5.3 Resultado de la Prueba ANOVA para Cardas 2, 4 y 5	29
Tabla 5.4 Parámetros para las Distribuciones de los Sets Cardas Pes	30
Tabla 5.5 Parámetros de la Distribución para Reunidora de Cintas	31
Tabla 5.6 Tiempos de Paro Reunidora de Cintas	32
Tabla 5.7 Parámetros de la Distribución Normal para Reunidora de Napas	33
Tabla 5.8 Tiempos de Paro Reunidora de Napas	34
Tabla 5.9 Parámetros de la Distribución Normal de Tiempo de Preparación Reunidora de Napas	34
Tabla 5.10 Parámetros de la Distribución Triangular para Peinadoras	35
Tabla 5.11 Tiempos de Paro Peinadoras	37
Tabla 5.12 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 1	39
Tabla 5.13 Tiempos de Paro Estiraje 1	40
Tabla 5.14 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 5	41
Tabla 5.15 Tiempos de Paro Estiraje 5	41
Tabla 5.16 Parámetros de la Distribución para Estiraje 2	42
Tabla 5.17 Tiempos de Paro Estiraje 2	43
Tabla 5.18 Determinación de la Distribución Triangular para Estiraje 6	44
Tabla 5.19 Tiempos de Paro Estiraje 6	45
Tabla 5.20 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 3	47
Tabla 5.21 Tiempos de Paro Estiraje 3	47
Tabla 5.22 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 4	48
Tabla 5.23 Tiempos de Paro Estiraje 4	50
Tabla 5.24 Parámetros de la Distribución Triangular para Estiraje 7	50
Tabla 5.25 Tiempos de Paro Estiraje 7	50
Tabla 5.26 Parámetros de la Distribución Triangular para Pabileras	51
Tabla 5.27 Distribución de la Producción por Materiales	54
Tabla 5.28 Parámetros de la Distribución Normal para T. 23	55
Tabla 5.29 Tabla Parámetros de la Distribución Triangular para Hila G33 U.20	56
Tabla 5.30 Resumen de Hilos Rotos y Husos Inactivos de Hilas	56
Tabla 5.31 Porcentaje de Tiempo Perdido por Roturas en Autoconers	58
Tabla 7.1 Resumen de Distribuciones de los Diferentes Procesos	67
Tabla 7.2 Resumen de las Características del Modelo	69
Tabla 7.3 Variabilidad Relativa de los Procesos	69
Tabla 7.4 Validación de la Simulación	87
Tabla 7.5 Resumen de Inventarios Promedio	88

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tamaño de la Muestra Desarrollada por Shaw en General Electric .....	8
Tabla 5.1 Resultado de ANOVA para Cardas Co.....	24
Tabla 5.2 Parámetros de la Distribución para el Set Cardas Co .....	25
Tabla 5.3 Resultado de la Prueba ANOVA para Cardas 2, 4 y 5 .....	29
Tabla 5.4 Parámetros para las Distribuciones de los Sets Cardas Pes .....	30
Tabla 5.5 Parámetros de la Distribución para Reunidora de Cintas .....	31
Tabla 5.6 Tiempos de Paro Reunidora de Cintas.....	32
Tabla 5.7 Parámetros de la Distribución Normal para Reunidora de Napas .....	33
Tabla 5.8 Tiempos de Paro Reunidora de Napas .....	34
Tabla 5.9 Parámetros de la Distribución Normal de Tiempo de Preparación Reunidora de Napas.....	34
Tabla 5.10 Parámetros de la Distribución Triangular para Peinadoras .....	35
Tabla 5.11 Tiempos de Paro Peinadoras.....	37
Tabla 5.12 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 1 .....	39
Tabla 5.13 Tiempos de Paro Estiraje 1 .....	40
Tabla 5.14 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 5 .....	41
Tabla 5.15 Tiempos de Paro Estiraje 5 .....	41
Tabla 5.16 Parámetros de la Distribución para Estiraje 2.....	42
Tabla 5.17 Tiempos de Paro Estiraje 2 .....	43
Tabla 5.18 Determinación de la Distribución Triangular para Estiraje 6.....	44
Tabla 5.19 Tiempos de Paro Estiraje 6 .....	45
Tabla 5.20 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 3 .....	47
Tabla 5.21 Tiempos de Paro Estiraje 3 .....	47
Tabla 5.22 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 4 .....	48
Tabla 5.23 Tiempos de Paro Estiraje 4 .....	50
Tabla 5.24 Parámetros de la Distribución Triangular para Estiraje 7.....	50
Tabla 5.25 Tiempos de Paro Estiraje 7 .....	50
Tabla 5.26 Parámetros de la Distribución Triangular para Pabileras .....	51
Tabla 5.27 Distribución de la Producción por Materiales .....	54
Tabla 5.28 Parámetros de la Distribución Normal para T. 23 .....	55
Tabla 5.29 Tabla Parámetros de la Distribución Triangular para Hila G33 U.20 .....	56
Tabla 5.30 Resumen de Hilos Rotos y Husos Inactivos de Hilas.....	56
Tabla 5.31 Porcentaje de Tiempo Perdido por Roturas en Autoconers.....	58
Tabla 7.1 Resumen de Distribuciones de los Diferentes Procesos .....	67
Tabla 7.2 Resumen de las Características del Modelo .....	69
Tabla 7.3 Variabilidad Relativa de los Procesos .....	69
Tabla 7.4 Validación de la Simulación .....	87
Tabla 7.5 Resumen de Inventarios Promedio .....	88

## **2 Introducción**

Tejidos Pintex S.A. fue fundada en agosto de 1959 por el señor Germánico Pinto Dávila. Los productos principales de la empresa son telas llanas y estampadas de varios anchos. Actualmente la empresa se encuentra en una etapa de unificación en la que se está trasladando toda la producción desde la planta secundaria, Planta B, hacia la planta principal, Planta A. Este cambio ha implicado solamente reubicación de máquinas, pero ningún cambio estructural por lo que el tema del manejo de materiales se ha vuelto de gran interés para los directivos de la empresa. Consideran que es indispensable encontrar la manera óptima de almacenar y transportar el producto dentro de la planta sin modificar la distribución de planta actual.

Este proyecto surgió del interés de Tejidos Pintex S.A. por evaluar y mejorar sus sistemas de manejo de materiales. La gerencia había encargado anteriormente a una persona hacer observaciones y mejoras sobre el tema pero este intento fracasó por falta de conocimientos y tiempo para investigar los aspectos más relevantes del manejo de materiales. Por esta razón se presentó la oportunidad de desarrollar el proyecto como tema de tesis. Se inició el proyecto investigando todos los aspectos que abarca el manejo de materiales y se encontró que las tres grandes áreas son el manejo y control de inventarios, el diseño de los sistemas de transporte y la ubicación de las bodegas y lugares de almacenamiento de inventario en proceso. Las tres están estrechamente relacionadas ya que para estandarizar sistemas de transporte o almacenamiento se debe conocer la cantidad de material en proceso que se tiene y a su vez los sistemas de transporte y almacenamiento deben definirse paralelamente para que funcionen congruentemente.

El análisis de manejo de materiales es, generalmente, más complejo que una serie de fórmulas y deben hacerse consideraciones diferentes dependiendo de cada industria. Aplicar fórmulas matemáticas directamente puede ser un camino muy limitante, sino imposible, dado que se debe considerar innumerables variables propias de los procesos que las generalizaciones matemáticas no siempre pueden hacer. La simulación es una herramienta que permite evaluar este tipo de situaciones con la ventaja de que se pueden probar cambios y suposiciones fácilmente. En este proyecto se utilizará la simulación

para evaluar el estado de las colas entre procesos y para demostrar que se pueden utilizar las máquinas de manera más eficiente, solamente modificando las reglas de asignación de material. Adicionalmente el análisis de las colas permitirá determinar los niveles de inventario esperados entre cada proceso, lo que facilitará a la empresa establecer los lugares óptimos de almacenamiento para cada tipo de material.

La segunda parte del proyecto, y la más importante para Tejidos Pintex S.A. es el diseño de sistemas de transporte y almacenamiento adecuados para aquellos productos más sensibles al maltrato de los operadores. Los diseños se basarán en la cantidad de material que se deba transportar, el espacio disponible para moverlo, la facilidad para llevarlo de un lugar a otro, la comodidad de los operadores al realizar la tarea y las necesidades propias del material. Se harán recomendaciones sobre donde y como almacenar el material pero esto será definido por la empresa en el futuro, cuando se termine la unificación de plantas, pues debe resolverse la ubicación final de todas las máquinas.

El proyecto busca implementar en Tejidos Pintex S.A. una nueva técnica para monitorear el proceso de hilatura, la que puede ser extendida para el monitoreo general de toda la empresa. En la actualidad, el monitoreo no está estructurado y los controles que se realizan son solo reacciones a problemas encontrados en un momento dado. Con la simulación se quiere crear en Tejidos Pintex S.A. una base metodológica y de información para lograr encontrar soluciones preventivas, con base en la revisión de posibles escenarios. Estos escenarios, que son modelados casi sin costo, servirán para detectar y corregir los problemas que pueden aparecer, eliminando poco a poco la filosofía de actuar sólo cuando el problema aparece. La simulación es una herramienta fácil de manipular y puede significar para la empresa el inicio de una etapa de mejoramiento continuo hacia una productividad y calidad excelentes.

### **3 Objetivos**

- Diseñar un modelo de simulación en Arena Rockwell 7.1 para representar el sistema de producción de Tejidos Pintex S.A. en el área de hilatura.
- Determinar la cantidad esperada de inventario en proceso que tiene la empresa.
- Diseñar sistemas de transporte y almacenamiento adecuados para los materiales más sensibles en el proceso de hilatura.
- Crear conciencia de la importancia de la estandarización y control de los procesos dentro de la empresa.
- Hacer una evaluación general del proceso de hilatura con el fin de crear un punto de partida para análisis futuros.
- Recalcar el sinnúmero de oportunidades de mejora y el potencial que tiene la empresa para crecer sin hacer mayores inversiones.

## **4 Fundamento Teórico**

### **4.1 Tiempo de flujo**

En el estudio de tiempos se considerará solamente el tiempo de máquina, esto implica que no se evaluarán las actividades de los operadores mientras las máquinas trabajan normalmente. En el tiempo de ciclo neto se considera el tiempo de producción de las máquinas más el tiempo de preparación mientras que en el tiempo total se considerará lo anterior más los tiempos de paro por cualquier causa excepto los treinta minutos de refrigerio. Este último se excluyó del análisis ya que la muestra no representa la proporción de lotes de producción que son realmente interrumpidos por el refrigerio.

### **4.2 Eficiencia del proceso**

La eficiencia teórica se calcula tomando en cuenta la producción real de las máquinas y el número de horas programadas. En este proyecto se calculará la eficiencia como una razón de la velocidad de las máquinas considerando tiempos totales (con paros) y tiempos netos. Esta eficiencia será utilizada para determinar la producción real posible semanalmente.

### **4.3 Demanda**

La demanda para cada máquina se calcula de atrás hacia delante en el proceso de tal manera que satisfaga la demanda final de tela terminada que tiene la empresa. La demanda general proviene del plan de producción realizado conjuntamente entre los departamentos de comercialización y productividad, como se ha definido en los procesos generales de Tejidos Pintex S.A. Comercialización proporciona un estimado de la demanda anual por tipo de producto terminado y Productividad elabora un programa general anual de producción de acuerdo a las horas disponibles y al flujo de material entre departamentos. Luego se calcula la producción necesaria de cada tipo de hilo, considerando en cada proceso un porcentaje de desperdicio esperado. Este porcentaje está basado en un promedio de datos históricos provenientes de reportes realizados por la jefatura de Hilatura.

#### **4.4 Definición del manejo de materiales**

El manejo de materiales significa proveer la cantidad correcta del material correcto, en las condiciones adecuadas, en el lugar correcto, en la posición correcta, en la secuencia correcta y por el costo correcto utilizando los métodos adecuados. (Tompkins, 164)

El manejo de materiales y la distribución de la planta son dos temas estrechamente relacionadas ya que un diseño eficiente del sistema de manejo de materiales requiere un diseño eficiente de la planta. El alcance de este proyecto se enfocará en analizar el sistema actual y proponer mejoras bajo las condiciones de distribución de planta actuales. El manejo de materiales comprende todas las operaciones realizadas sobre un producto, ya sea materia prima, producto en proceso o producto final sin considerar la elaboración, es decir los procesos productivos. El manejo ideal de materiales requiere la optimización de todas las actividades desde la recepción de materia prima hasta la llegada al consumidor final, que en el caso de la empresa Tejidos Pintex S.A. es la sección de Tejeduría debido a que solo se estudiará el proceso de Hilatura hasta los Autoconers. El manejo de materiales debe reducirse al mínimo, eliminando todos los movimientos o tiempos de almacenamiento innecesarios.

El manejo de materiales puede requerir en términos de personal hasta 25% de los empleados de una planta, 55% del espacio físico, 87% del tiempo total de producción y puede involucrar entre 15% y 70% de los costos totales de producción. De aquí que el manejo de materiales constituye una oportunidad de mejora importante, permitiendo reducir inventarios, aumentar la seguridad, disminuir desperdicios y mejorar el control del flujo de materiales. (Tompkins, 164)

#### **4.5 Medición del trabajo**

La medición del trabajo forma parte del estudio del trabajo. Consiste en aplicar técnicas estadísticas y de observación para determinar el tiempo que necesita una persona calificada, pero de rendimiento promedio, para realizar una actividad de acuerdo a la norma de ejecución establecida. El objetivo de la medición del trabajo es eliminar todos los tiempos improductivos, analizando la naturaleza y frecuencia de los mismos.

Para la medición del trabajo se utilizan por lo general una o más de las siguientes técnicas:

- Muestreo del trabajo
- Estimación estructurada
- Estudio de tiempos
- Normas de Tiempo Predeterminado (NTPD)

En este proyecto se utilizarán solamente el muestreo del trabajo y el estudio de tiempos.

#### **4.5.1 Muestreo del trabajo**

El muestreo del trabajo consiste en determinar de forma estadística, y mediante observaciones aleatorias, la frecuencia con la que se realiza cierta actividad. (Niebel, 525). Ha sido definido como un método para analizar trabajos, para establecer estándares y mejorar métodos tomando un gran número de observaciones a intervalos de tiempos al azar.

Este sistema se utilizará en la medición de roturas de las hilas debido a que resulta extremadamente complicado medir el tiempo exacto que pasan cierto número de husos parados; por lo que se tomarán muestras y se asumirá que en promedio ese número de husos pasa parado continuamente a lo largo de todo el tiempo de producción. Este valor se utilizará en el cálculo de la eficiencia de las máquinas, considerando la relación:  $(\text{husos disponibles} - \text{hilos rotos} - \text{husos inactivos}) / (\text{husos disponibles})$

#### **4.5.2 Estudio de tiempos**

El objetivo de realizar un estudio de tiempos es establecer tiempos estándares de producción. Se tomará en cuenta el tiempo de preparación, los tipos de paros más importantes y el tiempo de operación de la máquina. No se tomarán en cuenta todas las tareas que realiza el operador debido a que el objetivo del estudio no es determinar cargas de trabajo, sino solamente el tiempo de producción total. Sin embargo, se harán observaciones de las actividades durante la toma de tiempos, pues se harán recomendaciones respecto a la cantidad de inventarios y al método utilizado para almacenarlo y transportarlo.

Para realizar el estudio se puede realizar una toma de tiempos continuos en el que se registra no solo la duración de las actividades, sino el momento exacto en el que

sucedan, además de que se registran los tiempos de retraso. Este método es recomendado en operaciones cortas. También se puede utilizar la técnica de regreso a cero. Esto implica que se reinicia el cronómetro cada vez que se cambia de actividad. Con este sistema se omiten los retrasos y se puede perder tiempo significativo en reiniciar el cronómetro por lo que no es recomendable para actividades cortas. La gran ventaja de este sistema es que disminuye considerablemente el tiempo requerido para procesar la información debido a que se realizan anotaciones directas. Contrariamente para el estudio con tiempos continuos es necesario anotar el tiempo de inicio y fin de cada actividad y posteriormente hacer las restas respectivas. (Niebel 386).

Para este estudio se utilizará una combinación de los dos métodos. Se registrarán todo tipo de retrasos, como en el método continuo, pero se reiniciará el cronómetro después del tiempo de preparación y entre cada paro. Al final se obtendrá un tiempo de ciclo y un tiempo de ciclo neto que no considera paros ni tiempos de preparación.

Existen fórmulas estadísticas para determinar el número de ciclos que se deberían medir, sin embargo estos resultados pueden resultar muy costosos, especialmente para tiempos de ciclo largos. Por esta razón se calculará el tamaño de la muestra con el modelo desarrollado por Albert Shaw<sup>1</sup>, gerente de administración de salario en General Electric, el cual se muestra en la Tabla 1.1 (Niebel, 393).

---

<sup>1</sup> Niebel, Benjamín. Freivalds, Andris. Ingeniería Industrial, Métodos Estándares y Diseño del Trabajo. Edición Alfaomega. México: 2004.

Tabla 1.1 Tamaño de la Muestra Desarrollada por Shaw en General Electric

Tiempo de Ciclo en minutos	Número recomendado de ciclos
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1	30
2	20
5	15
10	10
20	8
40	5
Superior a 40 minutos	3

## 4.6 Distribuciones utilizadas en el estudio

### 4.6.1 Distribución normal

Es la distribución más conocida para descripción de todo tipo de procesos. Puede ser descrita a través de dos parámetros. El primero, la media, o promedio aritmético de los datos, es equivalente al dato de mayor probabilidad. El segundo es la varianza y mide la variabilidad de los datos respecto de la media. (Banks, 173)

### 4.6.2 Distribución Poisson

Esta distribución tiene dos parámetros necesarios para describir la forma de la distribución. Por sus características, en esta distribución, ambos parámetros son iguales, es decir, que al sacar el promedio aritmético de los datos, se obtienen ambos parámetros. La distribución Poisson es utilizada para medir número de ocurrencias en un intervalo de tiempo establecido de cualquier evento (Banks, 164).

### 4.6.3 Distribución triangular

La distribución triangular nace de la necesidad de establecer un parámetro de comportamiento de ciertos datos, cuando no se conoce la distribución a la que se ajustan y el número de datos disponible es pequeño. Para definir esta distribución, es necesario tener al menos la capacidad de estimar el dato máximo, mínimo y el más probable. La distribución triangular es considerada como una evolución de la distribución uniforme,

pues la moda, o valor más probable, tiene un mayor peso probabilístico. A partir de una serie de datos se puede obtener fácilmente el valor máximo y el mínimo simplemente observando los datos, mientras que la moda se calcula multiplicando la media por tres y luego restando de ello el valor máximo y el mínimo. (Banks, 182).

#### 4.6.4 Distribución Weibull

La distribución Weibull es frecuentemente utilizada para modelar tiempos entre fallas de un componente. Se describe a partir de tres parámetros: uno de localización  $v$  ( $-\infty, \infty$ ), otro de escala *Alfa* ( $\alpha > 0$ ) y finalmente uno de forma, *Beta* ( $\beta > 0$ ). Al igual que la exponencial, es un caso especial de la distribución Gamma. (Banks, 180).

#### 4.6.5 Distribución beta

Esta distribución es utilizada para modelar variables aleatorias con valores máximo y mínimo fijos. Se define a partir de dos parámetros *Beta 1* ( $\beta_1 > 0$ ) y *Beta 2* ( $\beta_2 > 0$ ). Por su naturaleza, la distribución *Beta* se define entre 0 y 1, pero puede escalarse, es decir, cambiar el rango, al multiplicarla por una constante. De la misma manera, puede ser trasladada en el eje  $x$  sumándole una constante *Beta* ( $\beta > 0$ ) (Banks, 185).

#### 4.6.6 Distribución lognormal

Es un caso especial de la distribución normal, en la que los datos que pueden ser utilizados por la distribución normal, han sido convertidos a logaritmos y dan como resultado esta distribución, es decir  $x = \ln(x)$  en la distribución Lognormal. Está basada en dos parámetros  $\mu$  ( $-\infty \leq \mu \leq \infty$ ) y  $\sigma^2$  ( $\sigma > 0$ ) que no son la media y la desviación estándar, sino que son determinantes de tamaño y forma. Si la media y la desviación reales son conocidas, es posible encontrar los valores de estos dos parámetros para definir la curva. (Banks, 184).

#### 4.6.7 Distribución exponencial

Esta distribución se utiliza para modelar tiempos entre arribos de ciertas entidades a un proceso y tiempos de servicio. En ambos casos  $\lambda$  es una tasa de arribo o de operación. También se utiliza para modelar la vida útil de algunos componentes, donde  $\lambda$ , en cambio, es la tasa de falla. La distribución puede ser descrita con una media que es el

inverso de  $\lambda$  y por una desviación estándar que es el inverso de  $\lambda$  al cuadrado. (Banks, 167).

Es muy importante aclarar que algunas de estas distribuciones toman en cuenta, por definición, posibles valores negativos. Sin embargo, estos valores no serán utilizados, pues la probabilidad de ocurrencia de cualquier valor negativo es extremadamente pequeña y no tiene un efecto significativo dentro de los cálculos que aparecerán a lo largo del documento.

#### **4.7 Prueba de normalidad Kolmogorov Smirnov**

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es una herramienta que ayuda a confirmar la distribución de los datos, después de realizar un gráfico de normalidad (Q-Q plot). Esta herramienta sirve para probar el ajuste de un conjunto de datos a cualquier distribución continua. Esta prueba es buena cuando los tamaños de muestra son pequeños y cuando no se han podido estimar parámetros para los datos. En general, esta prueba es bastante conservadora, es decir, tiende a aceptar las distribuciones dentro de un intervalo de confianza pequeño, de forma que aquellos datos que son aceptados como una distribución tengan un comportamiento suficientemente ajustado a los requerimientos de dicha distribución (Banks, 332).

#### **4.8 Prueba de ajuste chi-cuadrado**

Esta prueba es válida para la distribución Beta. Esta prueba es una formalización de cualquier comparación de datos con un histograma de los mismos. Su utilización es permitida para todo tipo de distribuciones, sean estas continuas o discretas. La prueba tiende a funcionar mejor cuando se tienen más datos disponibles. Es necesario obtener de los datos las frecuencias observadas y las esperadas, de forma que se pueda hacer una comparación entre estos datos y encontrar el estadístico que permitirá decidir si los datos pertenecen o no a la distribución planteada. Si el estadístico calculado a partir de los datos es mayor al estadístico predeterminado, entonces los datos no se ajustan a la distribución. (Banks, 327).

#### **4.9 Gráfico de cuantiles**

Ésta herramienta es utilizada para probar si las distribuciones que han sido determinadas empíricamente, son equivalentes a la distribución que se propone. Para el gráfico es necesario estandarizar los valores obtenidos y obtener datos que representen la distribución que será probada. Con estos datos, se puede graficar, y así comparar, los datos perfectos de la distribución (que se representan por una línea recta de  $45^\circ$ ) y los datos reales estandarizados, que deberán ubicarse muy cerca de la línea recta para que la comparación sea válida y se pueda establecer una distribución aceptable (DeVor, 94). En general, es mucho más útil utilizar histogramas para identificar distribuciones de ciertos grupos de datos. Cuando el número de datos es menor a treinta, el histograma pierde la utilidad, pues su interpretación depende del juicio del observador y de los intervalos que éste asignó al histograma.

#### **4.10 Análisis de varianza**

Es un modelo matemático que se utiliza para investigar los efectos que tienen ciertos factores en una variable cualquiera bajo parámetros de comparación bien establecidos. Esta herramienta de análisis recoge datos reales y los analiza de forma que pueda establecer alguna relación entre las condiciones en las que se tomaron los datos y el resultado. Por ejemplo, si se tiene varias máquinas, aparentemente parecidas, y se toman tiempos separados para cada una, se puede realizar un análisis de varianza para identificar si es que hay un efecto significativo de la máquina en el tiempo de proceso. Con esto se puede separar las máquinas diferentes e identificar grupos parecidos y así evitar mezclas de datos e interpretaciones erróneas. Para poder aplicar ANOVA se requiere que los datos estén normalmente distribuidos, que tengan una varianza común y que sean independientes. (Montgomery, 628)

#### **4.11 Simulación**

La simulación es una técnica de modelado de sistemas reales. Se usa frecuentemente para estimar resultados de una metodología propuesta ya que sin ser 100% reales, ofrecen una visualización del comportamiento del sistema en el futuro bajo

diferentes circunstancias posibles. Para la realización de este trabajo se utilizará el software Arena Rockwell 7.1. Para la ejecución correcta de la simulación se utilizarán técnicas estadísticas que permitan ingresar valores reales al programa para de allí obtener resultados representativos del sistema real.

## **5 Estudio de Tiempos y Movimientos**

### **5.1 Descripción del proceso de hilatura**

El proceso de hilatura consiste en transformar la materia prima, algodón y poliéster en hilo peinado o cardado para luego venderlo o producir tela. El proceso completo involucra siete subprocesos: apertura, cardado, reunido de cintas y napas, peinado, estirado, pabilado, hilado y bobinado. Cuando el hilo es únicamente cardado no pasa por el proceso de peinado y el producto tiene una calidad inferior. En Tejidos Pintex S.A. se utiliza hilo peinado para la producción de tela pero se produce también hilo cardado para la venta.

Además la empresa produce hilo de diferentes títulos de acuerdo a su aplicación final. El título es una medida del grosor de hilo y se expresa en gramos por metro o kilómetro. El hilo T.23 Tex (23 g/km) se utiliza para la trama y el U.20 Tex (20 g/km) para el urdido. Sin embargo ocasionalmente también se produce hilo U.40 Tex y T.40 Tex utilizados en la producción de tela sarga para la fabricación de colchones, 27 tex y 30 Tex para la venta.

#### **5.1.1 Apertura**

En la apertura se abren separadamente las pacas de algodón y poliéster, luego se las transforma en copos ligeros de donde es más fácil extraer los cuerpos extraños y las impurezas. Usualmente se abren las pacas veinte y cuatro horas antes del proceso de apertura para facilitar y regular el ritmo de alimentación de las mismas.

#### **5.1.2 Cardado**

El cardado es el subproceso más importante de la hilatura y es el segundo proceso de limpieza del algodón. Actualmente existe un sistema de alimentación por gravedad que distribuye los copos de algodón automáticamente en la carda. El algodón y el poliéster salen de éste proceso en forma de cinta. La empresa cuenta con cuatro cardas que procesan algodón y seis que procesan poliéster. Las Cardas de algodón procesan un tarro de cuatro mil ochocientos metros cada una y las de poliéster de tres mil doscientos o tres mil ochocientos metros cada tarro.

### **5.1.3 Reunido de cintas y de napas**

Estos procesos son necesarios en la hilatura de algodón debido a que las peinadoras requieren que el algodón ingrese a la máquina en forma de napa. Por lo tanto la Reunidora de cintas convierte la cinta proveniente de las cardas en una napa. En la napa, las cintas están muy marcadas, dificultando el proceso de peinado, por lo que es necesario reunir las nuevamente en la Reunidora de napas para obtener una distribución de material más uniforme. El producto de ambas máquinas es una napa de ciento ochenta metros.

### **5.1.4 Peinado**

En el peinado se separan las fibras largas del algodón, que serán utilizadas en la fabricación de la tela, de las fibras cortas, que son vendidas a otras empresas, por ejemplo para la fabricación del algodón común. De este proceso no se debería obtener más que un 15% de desperdicio mientras que actualmente este porcentaje gira en torno a un 20%. La salida del proceso es nuevamente el algodón en forma de cintas. Existen actualmente seis peinadoras, tres de ellas procesan un tarro de cinco mil ochocientos metros mientras que las otras sacan dos tarros de cuatro mil doscientos cincuenta metros cada una.

### **5.1.5 Estirajes**

El estiraje consiste en mezclar las cintas de poliéster con las de algodón hasta que se consiga homogeneidad. El hilo producido por la empresa tiene una composición de 65% y 35% respectivamente. En este proceso se espera conseguir que las fibras estén paralelas y tengan un título constante a lo largo de todo el producto. Para obtener la mezcla deseada es necesario considerar el número de cintas de cada material que se mezclaran y el título de cada una. Este proceso se divide en tres etapas, se conocen como pasos 1, 2 y final. Dos máquinas realizan el paso 1, dos máquinas el paso 2 y tres el paso final.

### **5.1.6 Pabilado**

Al final de la etapa anterior el título es demasiado alto para ser procesado en las Hilas por lo que es necesario el proceso de Pabilado. El resultado es el pabilo, que se embala en una bobina. Existen cuatro pabileras, dos de ellas tienen capacidad para ciento

veinte pabilos de aproximadamente tres mil ochocientos metros y dos para ochenta y dos pabilos de tres mil metros cada uno.

#### **5.1.7 Hilado**

En el proceso de Hilado se estira, tuerce y enrolla simultáneamente el pabilo hasta formar el hilo. El hilo sale enrollado en bobinas pequeñas y posteriormente se lo reprocesa y enrolla en conos más grandes. Existen cuatro máquinas muy modernas y veinte antiguas.

#### **5.1.8 Bobinado**

Este paso es necesario debido a que el largo del hilo al final del proceso de hilado no es suficiente para entrar al proceso de tejeduría. Tejidos Pintex S.A. cuenta con cuatro máquinas Autoconers para realizar éste proceso.

## 5.2 Flujogramas del proceso de hilatura

El proceso de hilatura es el punto central del análisis del presente documento. En la sección anterior fueron descritos individualmente los sub-procesos que forman parte de hilatura. Sin embargo, es difícil reconocer por las explicaciones el orden en el que estas actividades tienen lugar. Por eso, es muy útil la representación gráfica del flujo del proceso, de forma que se pueda tener una herramienta para reconocer cómo se mueve el material a lo largo de la hilatura y dentro de cada uno de los sub-procesos que conforman este gran proceso.

### 5.2.1 Proceso general

El Gráfico 4.1 muestra el proceso general de Hilatura.

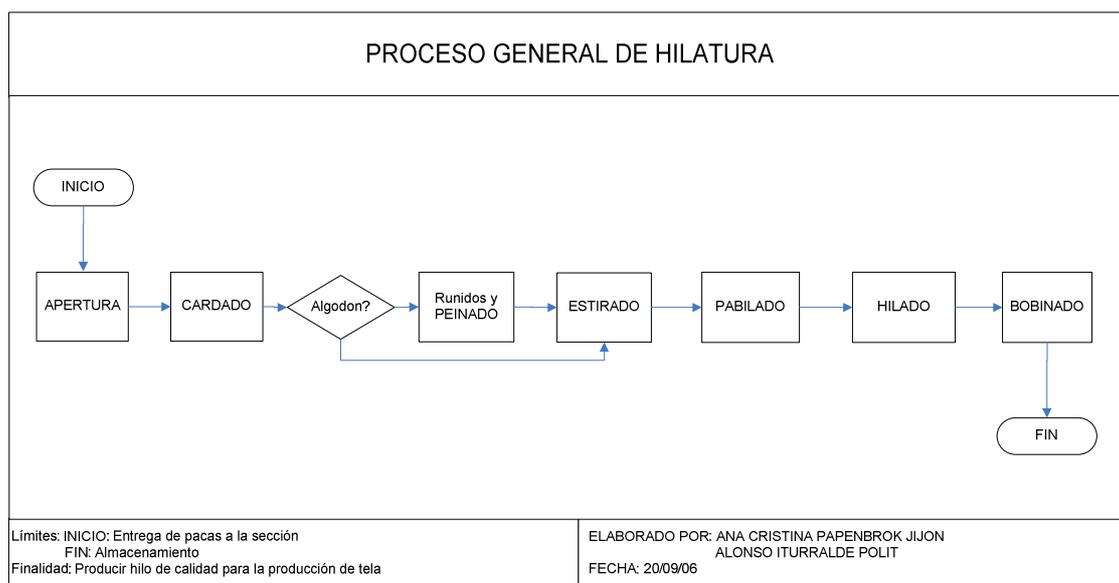


Gráfico 4.1 Proceso General de Hilatura

### 5.2.2 Proceso detallado

Los Gráficos 4.2 y 4.3 muestran detalladamente el proceso de Hilatura.

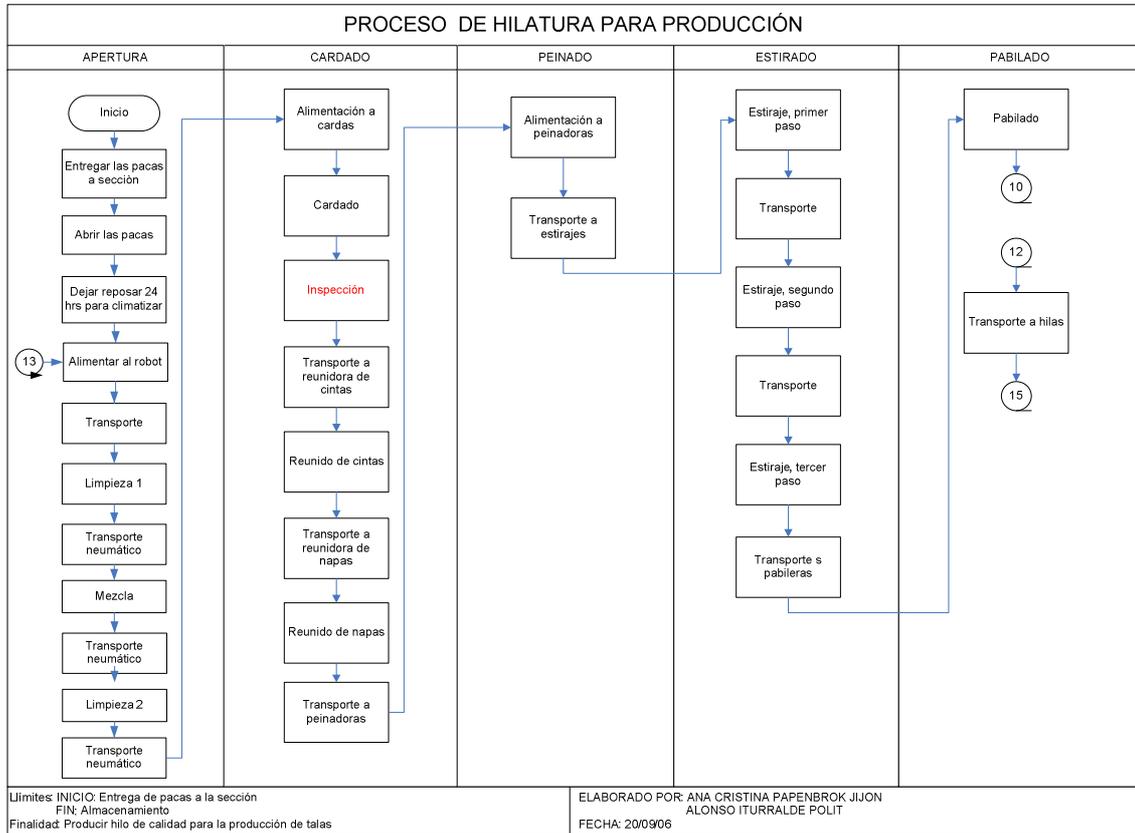


Gráfico 4.2 Proceso Detallado

**Proceso detallado (Cont.)**

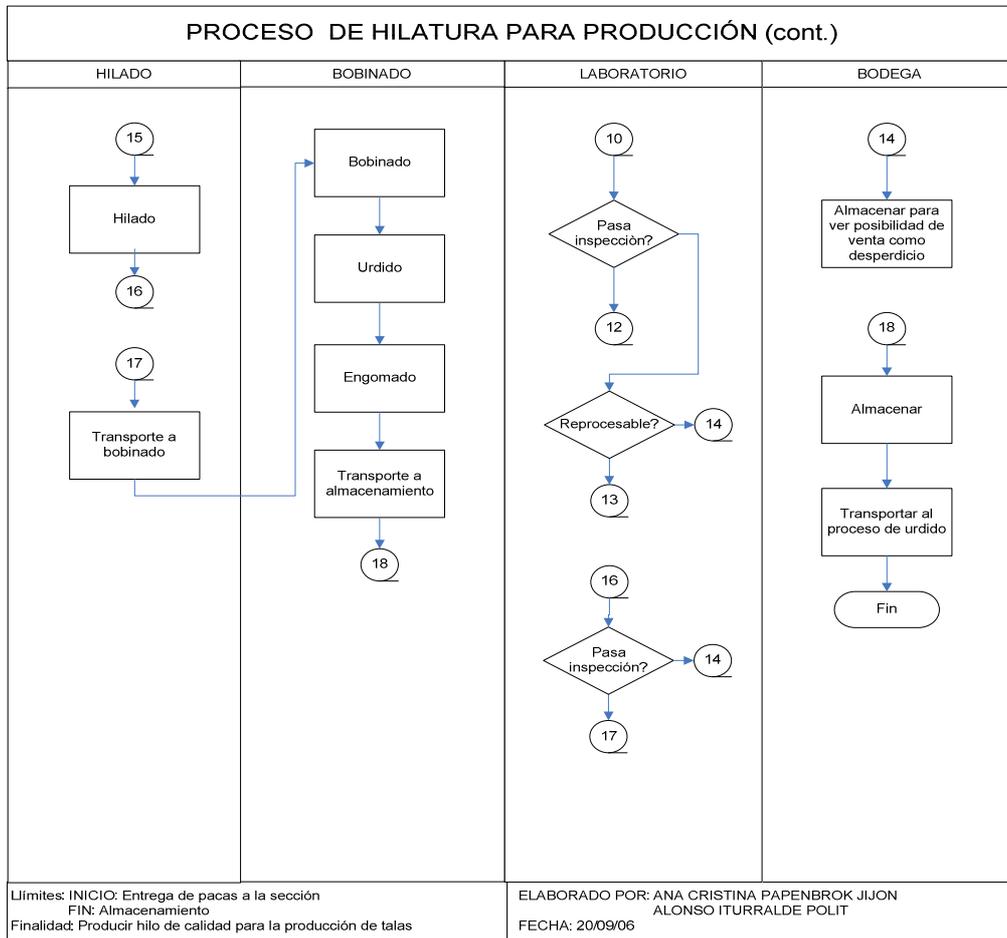


Gráfico 4.3 Proceso Detallado (Cont.)

### **5.3 Cálculo de flujo de materiales en Hilatura**

#### **5.3.1 Antecedentes**

La empresa cuenta con estándares de producción que determinan las velocidades de las máquinas y el metraje obtenido en cada corrida de producción de acuerdo al material que se quiere producir, sin embargo estos estándares no siempre se cumplen por necesidades específicas del momento, mala calibración o descuido.

El tiempo total de producción depende principalmente de la velocidad de las máquinas, el metraje y los paros ocurridos. Por ésta razón se hará un muestreo en cada tipo de máquina que permita determinar un promedio de tiempos de paro con lo cual se pueda calcular tiempos de producción reales. Es necesario considerar el tiempo de funcionamiento real de las máquinas y los distintos tiempos de paro separadamente ya que en la simulación es posible ingresar distribuciones de tiempo entre paros y de duración de paros por diferentes motivos. A través de la simulación se busca establecer una cantidad de material en proceso que permita obtener un flujo continuo de producción, siempre que esto esté programado, minimizando los costos por mantener inventarios.

#### **5.3.2 Metodología para la recolección de información**

Para poder calcular un flujo real y posteriormente simular el proceso se requiere conocer ciertos parámetros del proceso como la media, dependiendo de la distribución a la que se aproximen los datos. Por eso es necesario crear un formato y una metodología que permita levantar toda la información requerida.

La metodología que se utilizó fue la siguiente:

1. Observación de los distintos procesos.
2. Determinación de aspectos importantes del proceso, tales como tipos de paro, tiempo de preparación, demoras adicionales, etc.
3. Creación de un formato de toma de datos.
4. Recolección de información:

Realización de observaciones para cada tipo de máquina y material de manera aleatoria de acuerdo a la tabla de muestreo propuesta por Shaw<sup>2</sup> donde se propone el tamaño de la muestra para diferentes tiempos de ciclo (Niebel, 393). La aleatorización se logrará haciendo las observaciones en diferentes momentos del día, diferentes operadores y diferentes salidas de la máquina (cuando se aplica). En los procesos donde funcionan más de una máquina se determinará si estas son similares en capacidad y funcionamiento a partir de características de la máquina y operación. Para las que si lo sean se realizarán el total de observaciones individualmente pero se analizarán de forma común, debido a que en la simulación, por limitaciones propias del software, es conveniente trabajar con conjuntos de máquinas homogéneas.

#### 5. Análisis Estadístico de los datos.

- a. Determinación de la distribución a la que pertenece el tiempo de procesamiento sin paros de cada tipo de máquina:

Para aquellos procesos que no se pudieron tomar más de cinco datos debido a la duración del ciclo se utilizará una distribución triangular.

- b. Diagrama de frecuencia de paros:

Sirve para visualizar cuales causas de paro son más significativas en el tiempo total de producción perdido. Esto permitirá definir si la mayor parte de los paros ocurren por descuido del operador, por defectos de calidad del producto o por problemas mecánicos inherentes a la máquina.

- c. Determinación de las distribuciones y duración de cada tipo de paro:

En función de la metodología de recolección de información se utilizará la distribución Poisson, número de eventos en un intervalo de tiempo, para determinar la frecuencia de paro. La duración de los tipos de paro se calculará con un promedio simple ya que por lo general no se cuenta con muestras suficientes para determinar distribuciones.

---

<sup>2</sup> Niebel, Benjamín. Freivalds, Andris. Ingeniería Industrial, Métodos Estándares y Diseño del Trabajo. Edición Alfaomega. México: 2004.

## **6 Análisis**

El presente capítulo se aparta un poco de la línea del proyecto, pues los resultados y datos obtenidos a lo largo del análisis siguiente no son una herramienta utilizada para obtener los resultados expuestos más adelante. Sin embargo, por el tipo de análisis y por los datos obtenidos, la información que se presenta a continuación es de suma utilidad para Tejidos Pintex S.A. Durante el proceso de toma de tiempos se identificaron muchas causas de paro para cada una de las máquinas que forman parte del proceso de hilatura. Para los tiempos se hicieron análisis de normalidad para comprobar si los procesos siguen o no una distribución normal. Para las fallas se hicieron diagramas de Pareto en los que se identifican las causas más comunes de falla en las máquinas. Esta información es de vital importancia para la empresa, pues a partir de esos datos puede iniciarse un estudio de fallas y un proyecto interno de mantenimiento en el que se pueda estudiar los procesos para identificar las razones de estas fallas y, poco a poco, encontrar soluciones que signifiquen un mejoramiento muy notable en el sistema de producción. Una herramienta que puede combinarse con los datos aquí encontrados es el control estadístico de calidad, de forma que puedan identificarse muchos más problemas, eliminarlos y llevar al proceso a un control y estabilidad aceptable. Por ello, a pesar de que no se ha utilizado esta información como apoyo para la simulación, se ha considerado al capítulo como muy importante para fines de trabajos futuros de Tejidos Pintex S.A.

### **6.1 Cardas de algodón**

#### **6.1.1 Estudio de tiempos**

Este proceso toma aproximadamente cuarenta minutos sin paros por lo que es necesario hacer observaciones en tres ciclos completos. Se utilizó una prueba de ANOVA para determinar si las cuatro cardas son máquinas homogéneas debido a que para analizar el flujo y simular es preferible utilizar grupos de máquinas similares en lugar de tener varias máquinas distintas.

Para la utilización de ANOVA fue necesario verificar que las cuatro distribuciones eran normales e independientes. La independencia existe debido a que las cuatro realizan el

mismo proceso separadamente. Los gráficos 5.1 a 5.4 muestran la prueba de normalidad para las cardas de algodón.

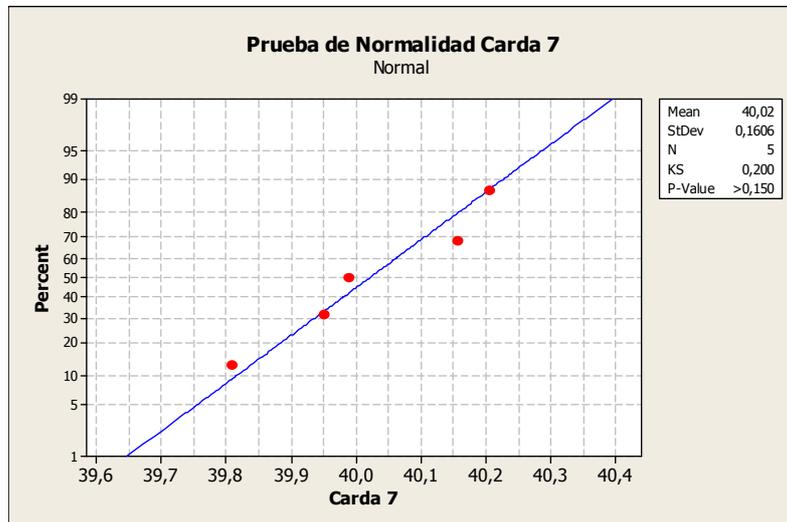


Gráfico 5.1 Prueba de Normalidad Carda 7

Se obtuvo un valor p superior a 0,150 que es mayor al valor  $\alpha$  por lo que se concluyó que los tiempos de procesamiento de la Carda 7 siguen una distribución normal.

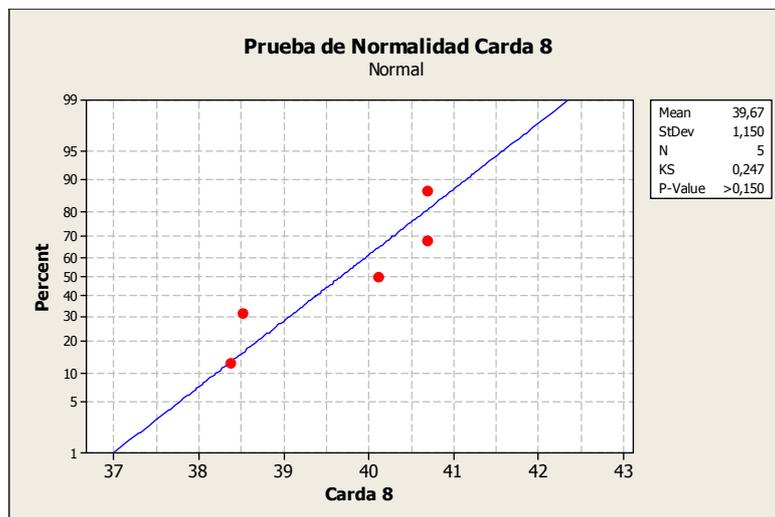


Gráfico 5.2 Prueba de Normalidad Carda 8

Para la Carda 8 se obtuvo un valor p superior a 0,150 que es superior al valor  $\alpha$  por lo que se concluyó que los tiempos de procesamiento de la Carda 8 también siguen una distribución normal.

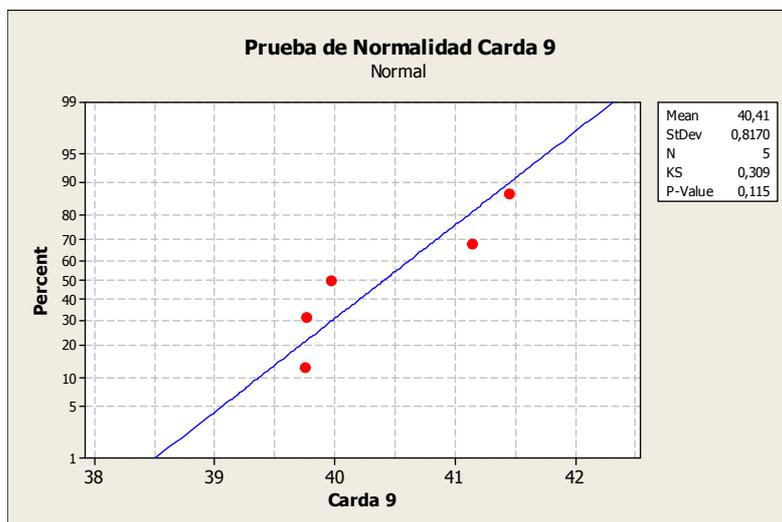


Gráfico 5.3 Prueba de Normalidad Carda 9

Para la Carda 9 se obtuvo un valor p de 0,115 que es superior al valor  $\alpha$  por lo que se pudo saber que los tiempos de procesamiento de la Carda 9 siguen una distribución normal.

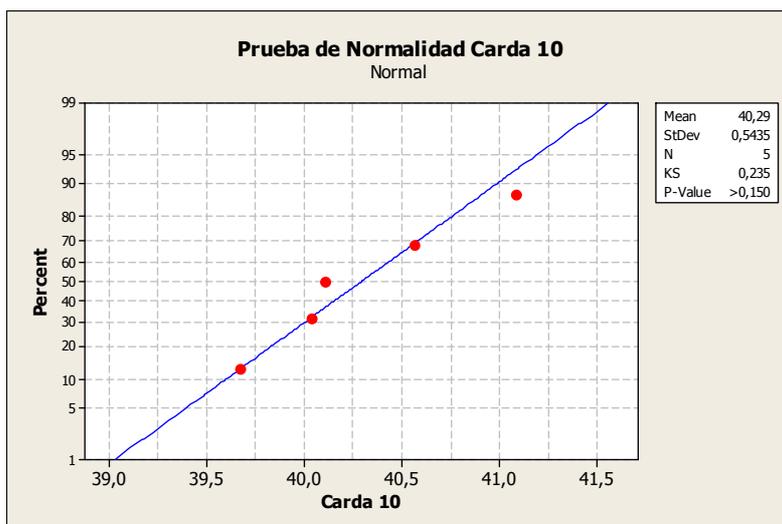


Gráfico 5.4 Prueba de Normalidad Carda 10

Finalmente, para la Carda 10 se tiene un valor  $p$  superior a 0,150 que es superior al valor  $\alpha$  por lo que también se concluyó que los tiempos de procesamiento de la Carda 10 siguen una distribución normal.

Con estos datos se realizó una prueba ANOVA con las cuatro máquinas para determinar si al menos una de ellas tiene una media estadísticamente diferente. Adicionalmente se graficaron los residuos (Gráfico 5.5) para verificar el comportamiento normal y aleatorio de los mismos. La Tabla 5.1 muestra los resultados de la prueba de ANOVA para cardas.

Tabla 5.1 Resultado de ANOVA para Cardas Co

One-way ANOVA: Cardas Co versus carda c					
Source	DF	SS	MS	F	P
carda c	3	1,614	0,538	0,93	0,448
Error	16	9,240	0,578		
Total	19	10,854			
S = 0,7599    R-Sq = 14,87%    R-Sq(adj) = 0,00%					

El único factor considerado en esta prueba es el número de la carda y este tiene un valor  $p$  de 0,448 que es mayor al valor  $\alpha$ . Esto indica que ninguna carda tiene un comportamiento diferente debido a que el factor no es significativo.

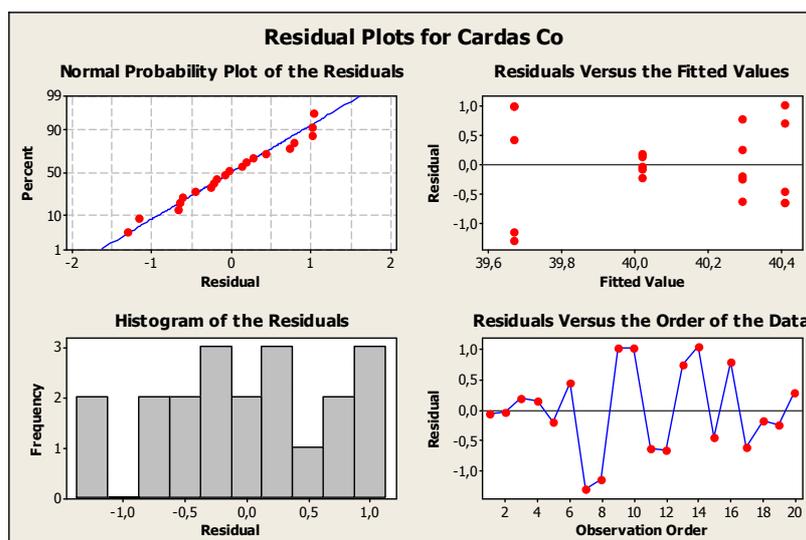


Gráfico 5.5 Residuos para Cardas Co

En la esquina superior izquierda del gráfico de residuos se observa un comportamiento normal de los resultados. Existe una tendencia de los datos a ubicarse cerca de la línea de referencia y adicionalmente se tiene una mayor concentración de datos en la parte central y una dispersión mayor en las colas. Por otro lado, hacia la derecha en los gráficos de dispersión se puede ver un comportamiento aleatorio de los datos y no se tiene ningún patrón definido de comportamiento.

Dado que no hay diferencias significativas entre máquinas se realizó una prueba de normalidad común para las 4 máquinas, como se muestra en el Gráfico 5.6.

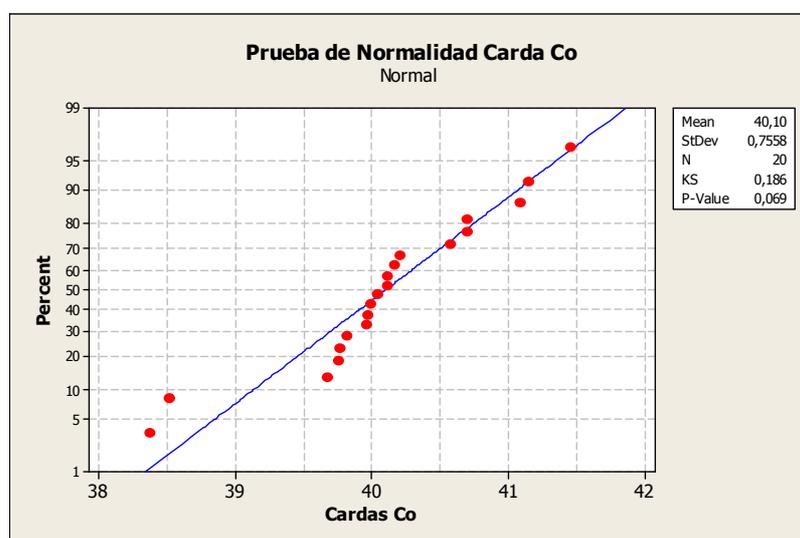


Gráfico 5.6 Prueba de Normalidad Cardas Co General

Se tiene un valor  $p$  de 0,069 que es superior al valor  $\alpha$  por lo que se concluyó que los tiempos de procesamiento de las cardas en conjunto siguen una distribución normal. En la tabla 5.2 se resumen los parámetros para la distribución normal obtenida para el grupo Cardas Co.

Tabla 5.2 Parámetros de la Distribución para el Set Cardas Co

Número de máquinas	Media	Desviación
Cardas 7 – 10	40,1 min	0,756 min

### 6.1.2 Tiempos de paro

En los registros obtenidos en los estudios de tiempos de estas máquinas no se encontró ningún paro por lo que se considera que los paros no son frecuentes y por lo tanto en términos generales son irrelevantes al tiempo de máquina.

## 6.2 Cardas Poliéster

### 6.2.1 Estudio de tiempos

Este proceso toma entre veinticinco y cuarenta minutos sin paros dependiendo de la máquina por lo que se realizaron cinco observaciones. Al igual que con las cardas de algodón se probó la normalidad y la homogeneidad de las máquinas. Los resultados de estas pruebas se muestran en los gráficos 5.7 a 5.12.

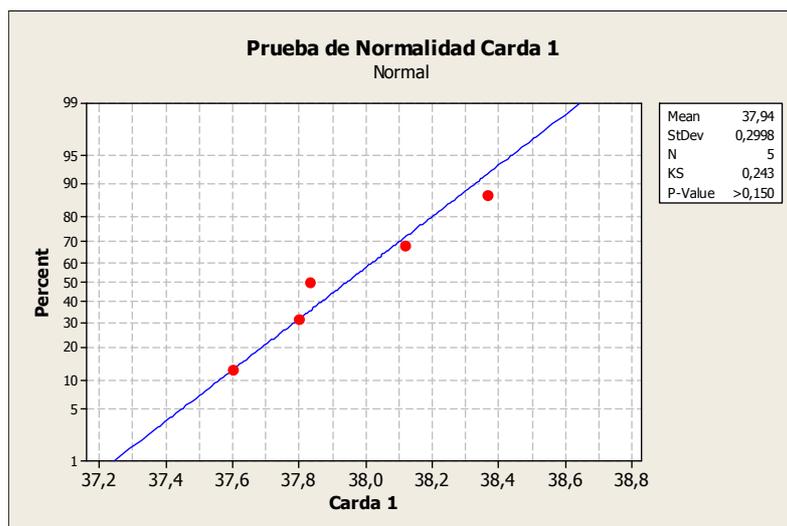


Gráfico 5.7 Prueba de Normalidad Carda 1

El gráfico 5.7 indica que la Carda 1 tiene un comportamiento normal debido a que el valor p es superior a 0,150 que a su vez es superior al valor  $\alpha$ .

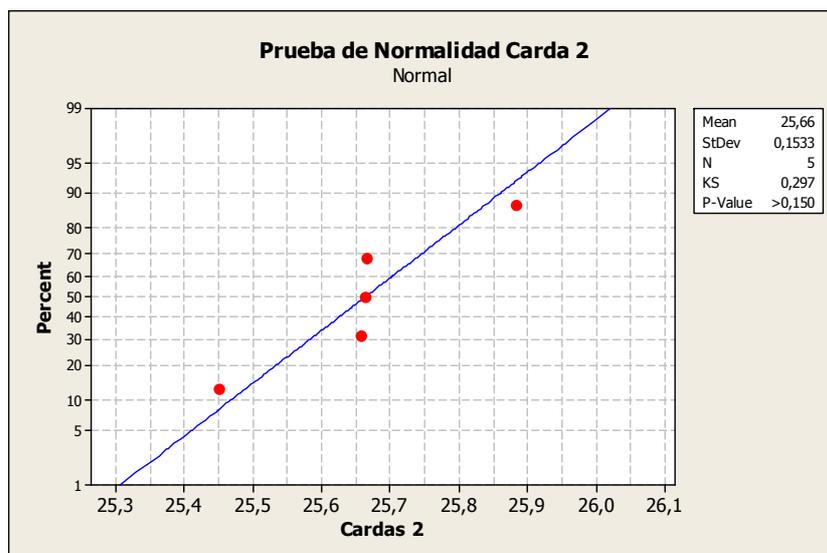


Gráfico 5.8 Prueba de Normalidad Carda 2

El gráfico 5.8 indica que la Carda 2 tiene un comportamiento normal debido a que el valor p es superior a 0,150 que a su vez es superior al valor  $\alpha$ .

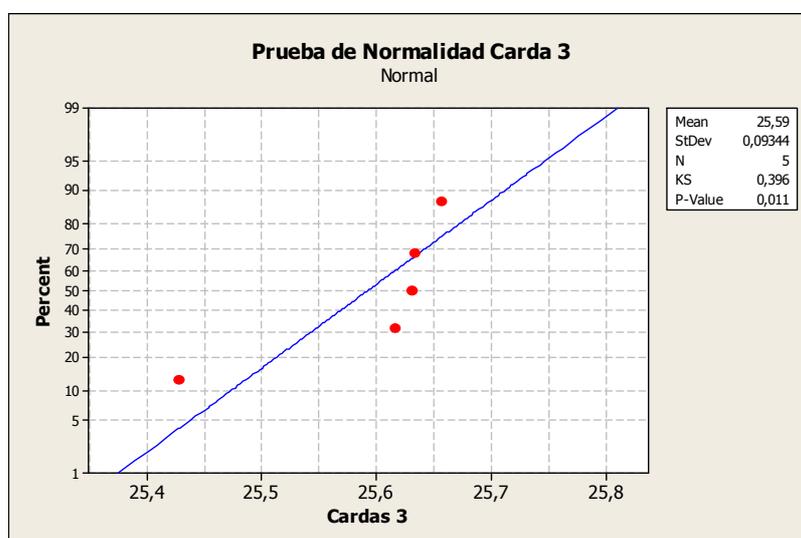


Gráfico 5.9 Prueba de Normalidad Carda 3

El gráfico 5.9 indica que la Carda 3 no tiene un comportamiento normal debido a que el valor p es 0,011 que es menor al valor  $\alpha$ . Este resultado fue inesperado y se debe a un aumento momentáneo de la velocidad de la máquina. Se tomaron nuevos datos del

tiempo de máquina pero no se logró corregir la distribución por lo que se mantuvieron los datos originales para la prueba de normalidad.

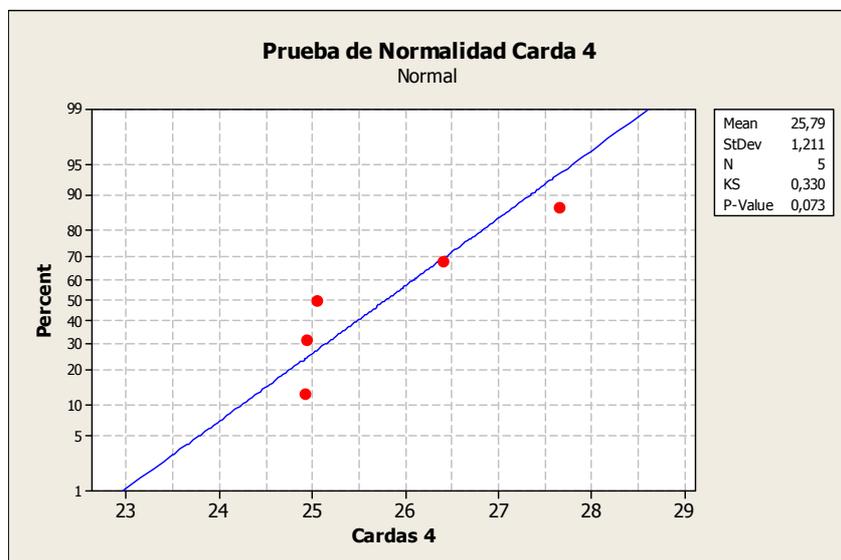


Gráfico 5.10 Prueba de Normalidad Carda 4

El gráfico 5.10 indica que la Carda 4 tiene un comportamiento normal debido a que el valor p es 0,079 que es mayor al valor  $\alpha$ .

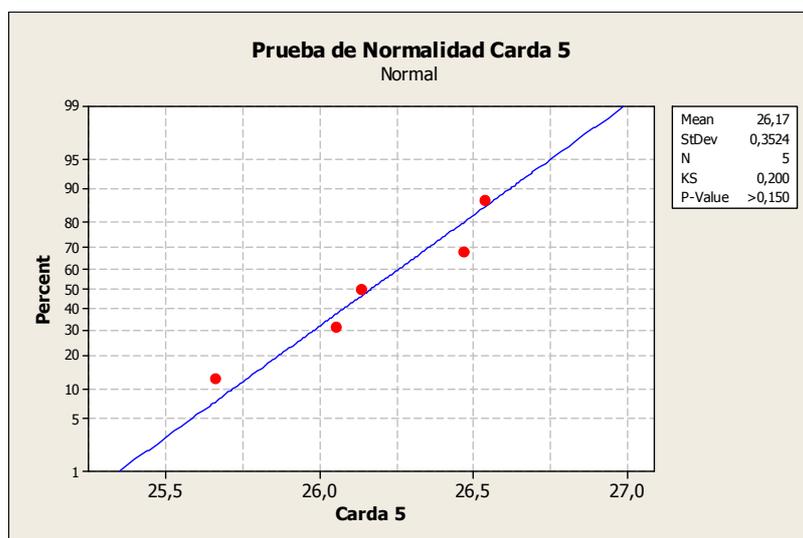


Gráfico 5.11 Prueba de Normalidad Carda 5

El gráfico 5.11 indica que la Carda 5 tiene un comportamiento normal debido a que el valor p es superior a 0,150 que es mayor al valor  $\alpha$ .

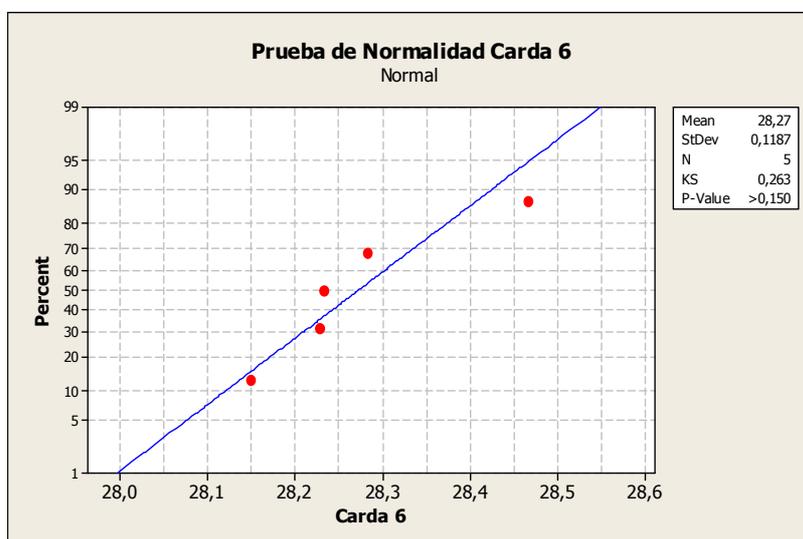


Gráfico 5.12 Prueba de Normalidad Carda 6

El gráfico 5.12 indica que la Carda 6 tiene un comportamiento normal debido a que el valor p es superior a 0,150 que es mayor al valor  $\alpha$ .

En las pruebas de normalidad se pudo observar que las Cardas 1 y 6 son distintas y que la Carda 3 debe considerarse de forma separada ya que no se ajustó a una distribución normal. Además las Cardas 2, 4 y 5 son similares por lo que se realizó una prueba ANOVA para verificar la igualdad de medias. El resultado obtenido se muestra en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Resultado de la Prueba ANOVA para Cardas 2, 4 y 5

One-way ANOVA: Cardas Pes versus carda p					
Source	DF	SS	MS	F	P
carda p	2	0,689	0,344	0,64	0,545
Error	12	6,459	0,538		
Total	14	7,147			
S = 0,7336		R-Sq = 9,63%		R-Sq(adj) = 0,00%	

El resultado indica que las tres máquinas tienen medias estadísticamente similares debido a que el valor p es superior a 0,05 por lo que se pueden considerar como un

mismo grupo de máquinas. Se determinó la distribución normal común para las tres máquinas y el resultado se presenta en el Gráfico 5.13.

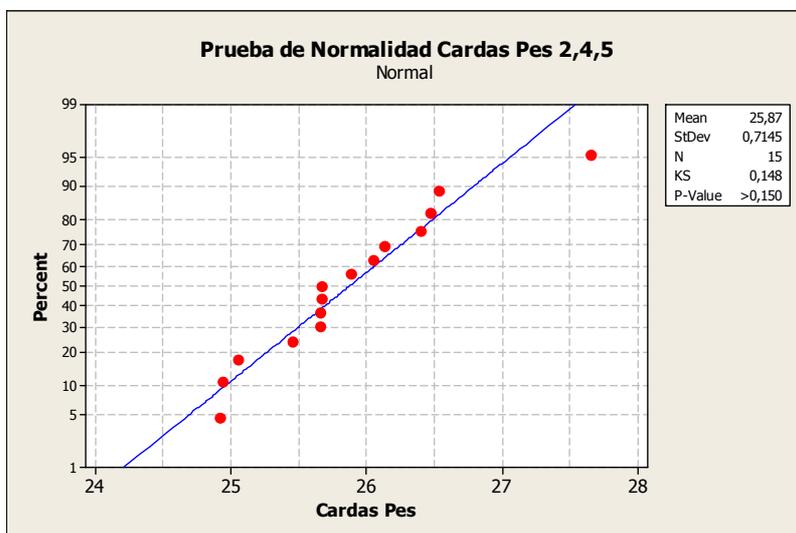


Gráfico 5.13 Prueba de Normalidad Cardas Pes 2,4,5

Tal como se esperaba las Cardas 2, 4 y 5 siguen en conjunto una distribución normal. Los parámetros de la distribución conjunta de las Hilas se muestran más adelante en el resumen de la sección.

En la Tabla 5.4 se resumen los grupos que se formaron para cardas de algodón. La Carda 1 formará el grupo Cardas Pes 1, las Cardas 2, 4 y 5 formarán el grupo Cardas Pes 2, la Carda 3 el grupo 3 y finalmente la Carda 6 formará el cuarto grupo.

Tabla 5.4 Parámetros para las Distribuciones de los Sets Cardas Pes

Máquinas	Distribución	Media	Desviación	
Carda 1	Normal	37,94 min	0,2998 min	
Cardas 2, 4, 5	Normal	25,87 min	0,7145 min	
Carda 6	Normal	28,27 min	0,1187 min	
-----	Distribución	Min	Moda	Max
Carda 3	Triangular	25,42 min	25,66 min	25,8 min

## 6.2.2 Tiempos de paro

Al igual que en las cardas de algodón el cardado poliéster tampoco presenta causas de paro significativas por lo que no se definirán distribuciones ni diagramas de frecuencias de paro.

## 6.3 Reunidora de cintas

### 6.3.1 Estudio de tiempos

Este proceso toma aproximadamente tres minutos sin paros por lo que es necesario realizar observaciones en quince ciclos completos. Al terminar de hacer las observaciones se concluyó que dos de las observaciones no eran válidas debido a que habían ocurrido bajo condiciones no normales del proceso. Por esta razón se realizó la prueba de normalidad utilizando únicamente trece datos como se presenta en el Gráfico 5.14.

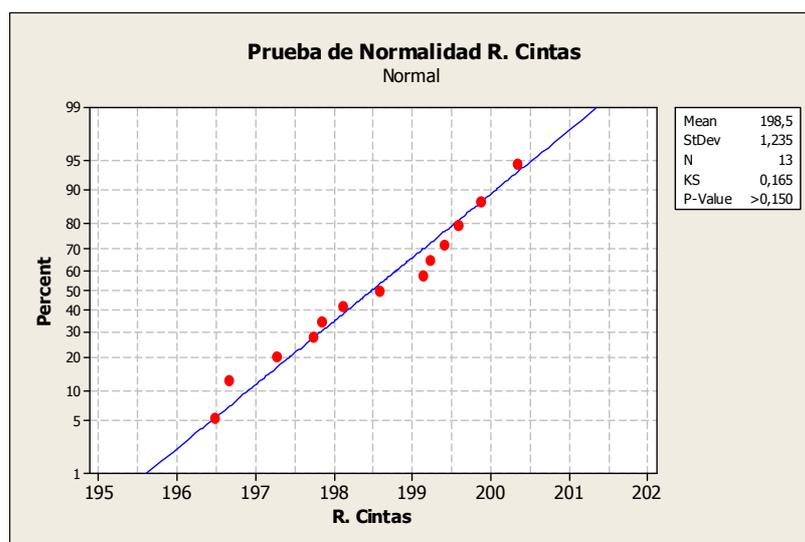


Gráfico 5.14 Prueba de Normalidad Reunidora de Cintas

Se obtuvo un valor p de 0,150 que es superior al valor  $\alpha$  lo que indica que el proceso es normal. Los parámetros de la distribución se resumen en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Parámetros de la Distribución para Reunidora de Cintas

Número de máquinas	Media	Desviación
R. Cintas	198,5 seg	1,235 seg

### 6.3.2 Tiempos de paro

En la Reunidora de cintas se encontró solo un tipo de paro significativo. La Rotura de cintas representa el 65% del tiempo de paro ocurrido en el proceso. Este paro puede ser ocasionado por mala calidad del material o por mala operación del operador. En la mayor parte de casos, se da por problemas en el material aunque en ocasiones al operador se le cae la cinta del tarro y al recogerla del piso y volverla a colocar en el tarro esta se enreda y al pasar por la polea se rompe. El siguiente diagrama de paros (Gráfico 5.15) muestra las causas de paro en la Reunidora de cintas.

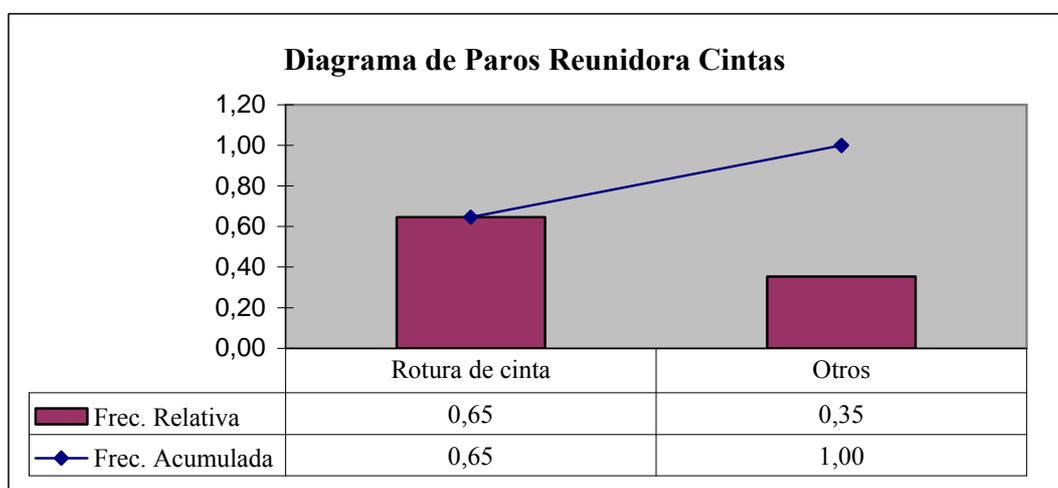


Gráfico 5.15 Diagrama de Paros Reunidora de Cintas

Adicionalmente se tiene un tiempo de paro cuando se acaba el material en un tarro y el operador no lo ha reanudado a tiempo a otro tarro. No fue posible tomar tiempos de este tipo de paro debido a que el tiempo de ciclo de este proceso es muy corto. En la Tabla 5.6 se presenta el resumen del promedio de paros por minuto y la duración de los mismos.

Tabla 5.6 Tiempos de Paro Reunidora de Cintas

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Rotura Cinta	0,047	53,500 seg
Otros	0,023	24,800 seg

## 6.4 Reunidora de napas

### 6.4.1 Estudio de tiempos

Este proceso toma aproximadamente cuatro minutos sin paros por lo que es necesario realizar observaciones en quince ciclos completos. El Gráfico 5.16 muestra la prueba de normalidad para la Reunidora de napas.

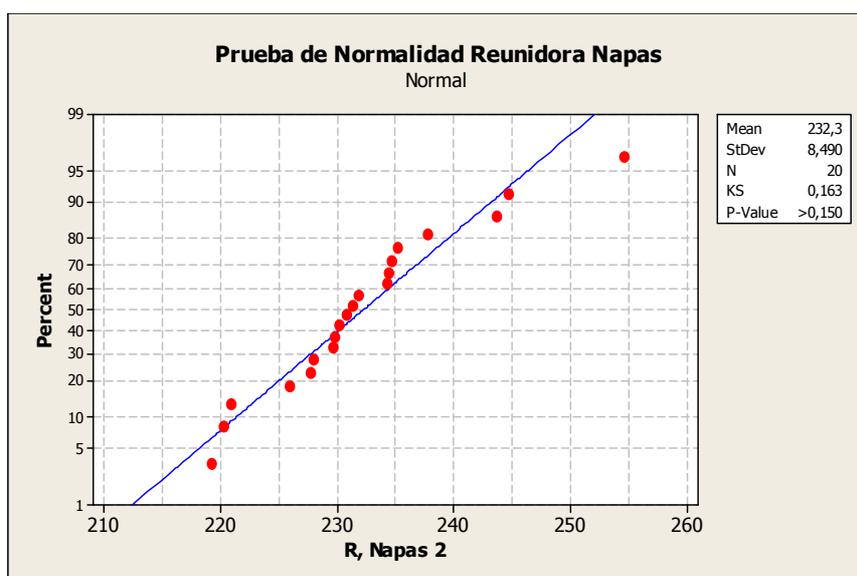


Gráfico 5.16 Prueba de Normalidad Reunidora de Napas

En el gráfico fue posible observar claramente la presencia de una distribución normal con un valor p de 0,130. Los parámetros de esta distribución se resumen a continuación en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Parámetros de la Distribución Normal para Reunidora de Napas

Número de máquinas	Media	Desviación
1	232,3 seg	8,49 seg

### 6.4.2 Tiempos de paro

En esta máquina no se encontró un tipo de paro significativo, sin embargo se observó que algunas veces el operador se demora en atender la máquina, el material utilizado no estaba en buen estado o la cinta se enredaba en los cilindros. Estos paros

fueron clasificados como “otros” debido a que no ocurren frecuentemente pero de todas maneras afectan el rendimiento de la máquina. El número promedio de paros por minuto y la duración de los mismos se presenta en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Tiempos de Paro Reunidora de Napas

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Otros	0,236	68,314 seg

Adicionalmente se tiene el paro por tiempo de preparación. Este paro ocurre cada determinado tiempo y su duración depende de la atención y rapidez del operador. Se realizó una prueba de normalidad (Gráfico 5.17) para determinar la distribución de los datos y se obtuvo un valor p superior a 0,150.

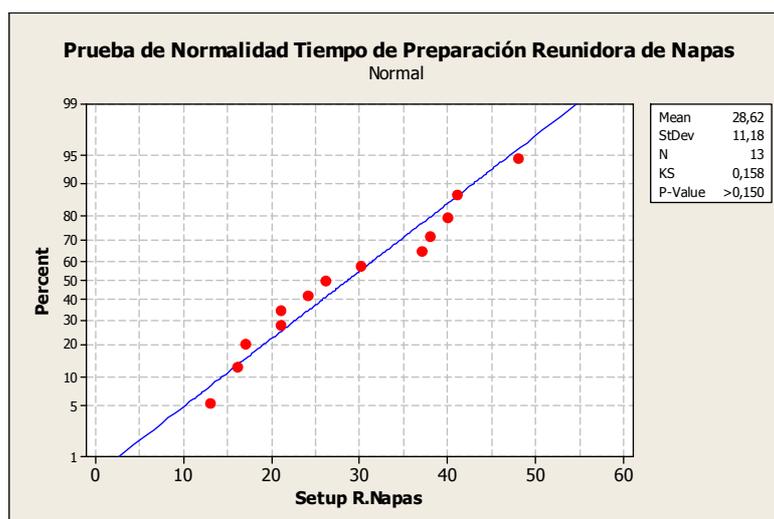


Gráfico 5.17 Prueba de Normalidad Tiempo de Preparación Reunidora de Napas

El gráfico confirma que los tiempos de preparación en la Reunidora de napas siguen una distribución normal, cuyos parámetros se presentan en la Tabla 5.9. La alta variación en los tiempos se debe a que el tiempo de preparación se hace manualmente.

Tabla 5.9 Parámetros de la Distribución Normal de Tiempo de Preparación Reunidora de Napas

Máquinas	Media	Desviación
Reunidora de Napas	28,62 seg	11,18 seg

## 6.5 Peinadoras

### 6.5.1 Estudio de tiempos

Debido a que el proceso de peinado supera las dos horas de tiempo de ciclo no se dispone de los cinco datos por máquina necesarios para probar normalidad e igualdad de medias por lo tanto se definieron únicamente distribuciones triangulares para cada una de las máquinas. Estos resultados se encuentran en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10 Parámetros de la Distribución Triangular para Peinadoras

Maquina	Parámetros			
	Min	Max	E(x)	moda
Peinadora 1	72,726	79,851	75,368	73,527
Peinadora 2	72,786	82,581	76,627	74,513
Peinadora 3	41,459	42,654	42,024	41,958
Peinadora 4	150,06	157,36	152,589	150,347

Los diagramas de frecuencia de paros para las cuatro peinadoras se presentan en los Gráficos 5.18 a 5.21. Actualmente trabaja también una quinta peinadora a la que no se le tomaron datos debido a que entró de forma tardía al proceso. Debido a que esta máquina tiene dos salidas y trabaja aproximadamente a la misma velocidad que la Peinadora 4 se asumirá que son similares y en el futuro deberá hacerse estudios y verificarse esta suposición.

### 6.5.2 Tiempos de paro

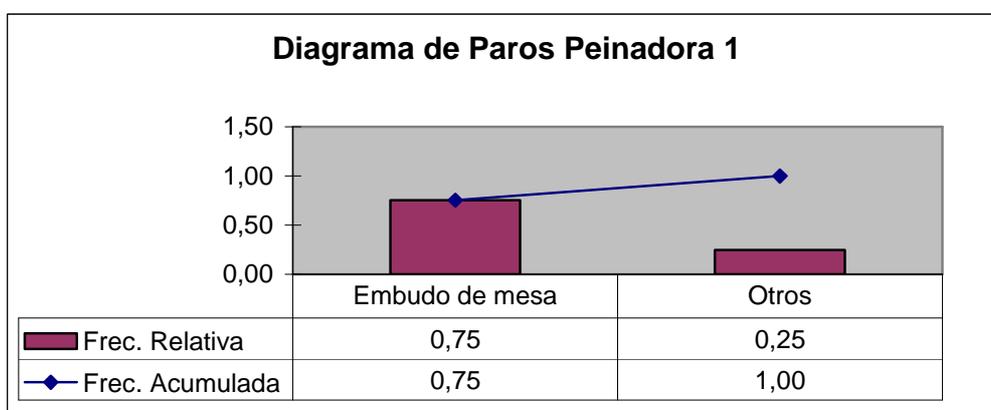


Gráfico 5.18 Diagrama de Paros Peinadora 1

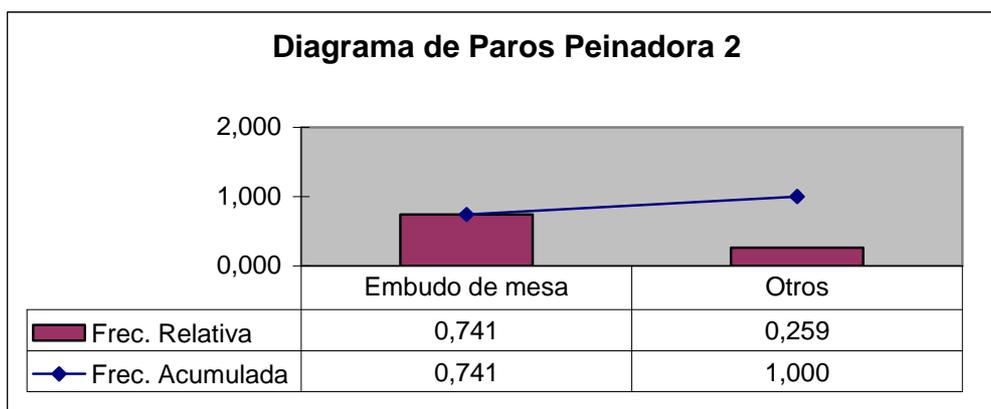


Gráfico 5.19 Diagrama de Paros Peinadora 2

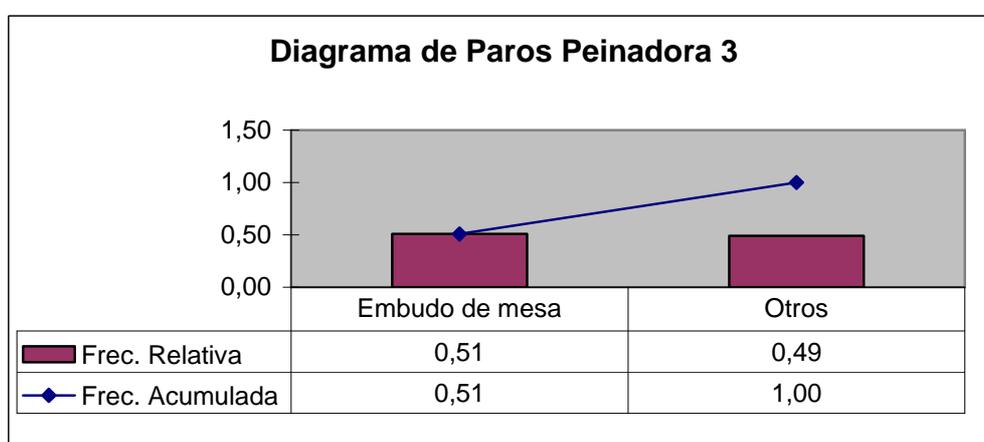


Gráfico 5.20 Diagrama de Paros Peinadora 3

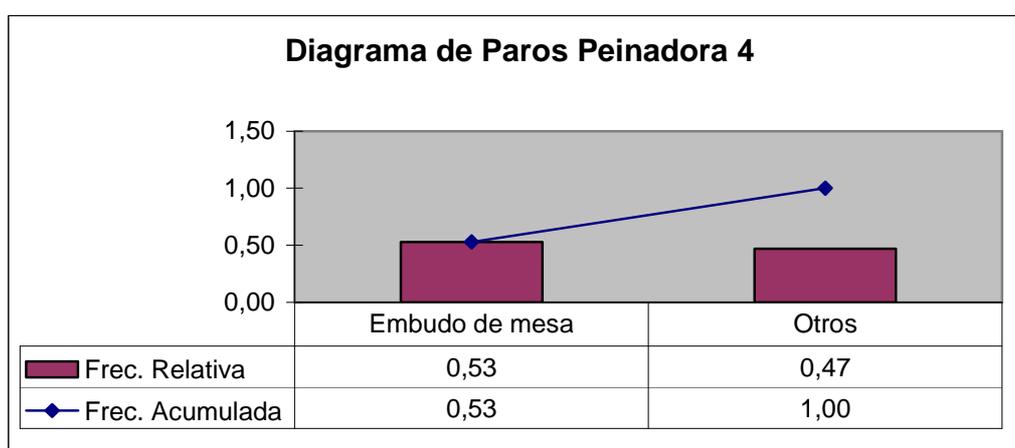


Gráfico 5.21 Diagrama de Paros Peinadora 4

Se observó en todos los casos que la causa más frecuente de paro es el Embudo de Mesa. Esto ocurre principalmente por una diferencia entre la velocidad del peinado y el arrastre del material. También puede darse por la presencia de motas o imperfectos en las napas. Las otras causas de paro son por lo general ausencia del operador; sin embargo en la Peinadora 3 se tuvo un daño en el motor.

En la Tabla 5.11 se resumen los paros por minuto y la duración de los mismos en las cuatro peinadoras.

Tabla 5.11 Tiempos de Paro Peinadoras

Máquina	Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Peinadora 1	Embudo de mesa	0,091	100,936 seg
	Otros	0,033	64,946 seg
Peinadora 2	Embudo de mesa	0,036	142,36 seg
	Otros	0,035	44,041 seg
Peinadora 3	Embudo de mesa	0,053	62,813 seg
	Otros	0,018	104,738 seg
Peinadora 4	Embudo de mesa	0,079	61,842 seg
	Otros	0,072	62,728 seg

Adicionalmente se midió y analizó los tiempos de preparación de las peinadoras. Este tiempo consiste en cambiar normalmente 4 napas y no sucede en cada corrida de producción. En el Gráfico 5.22 se probó la normalidad de los tiempos obtenidos.

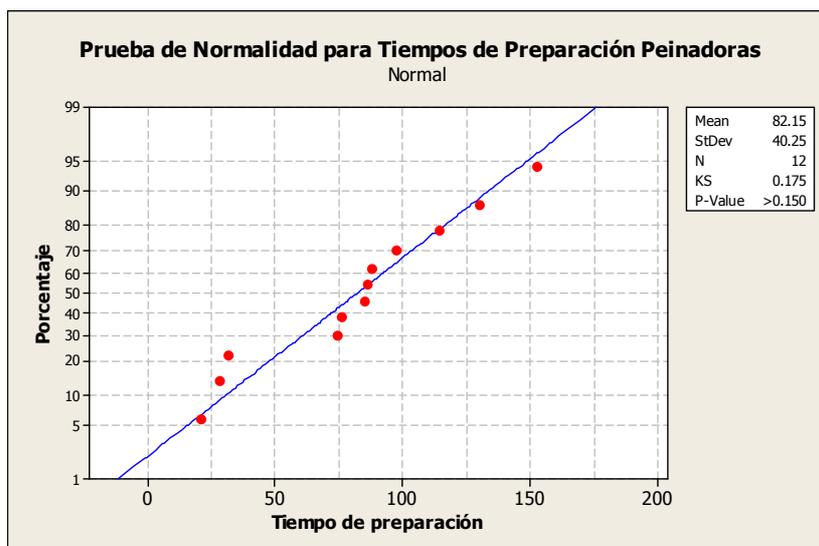


Gráfico 5.22 Prueba de Normalidad para Tiempos de Preparación Peinadoras

## 6.6 Estirajes

El proceso de Estiraje consiste en el paso 1, 2 y la salida. Esto se debe a que se debe realizar tres veces el Estiraje de algodón y poliéster con el fin de obtener el nivel de calidad deseado. Los Estirajes 1 y 5 realizan el primer paso, 2 y 6 el segundo paso y los Estirajes 3, 4 y 7 realizan el paso de salida. De esta forma se balancea la producción ya que en las máquinas 3, 4 y 7 hay solamente una salida por máquinas mientras que los Estirajes 1 y 2 tienen dos salidas por máquina.

### 6.6.1 Estiraje paso 1

#### 6.6.1.1 Estiraje 1

##### 6.6.1.1.1 Estudio de tiempos

El Estiraje 1 cuenta con dos salidas por lo que procesa al mismo tiempo dos tarros de dos mil cuatrocientos cada uno. Este proceso toma aproximadamente ocho minutos en el Estiraje 1 sin paros por lo que es necesario realizar observaciones en diez ciclos completos. Se tomaron quince datos de los cuales se eliminaron tres por considerarse fuera de lo normal. En el Gráfico 5.23 se realizó la prueba de normalidad para determinar la distribución de los datos.

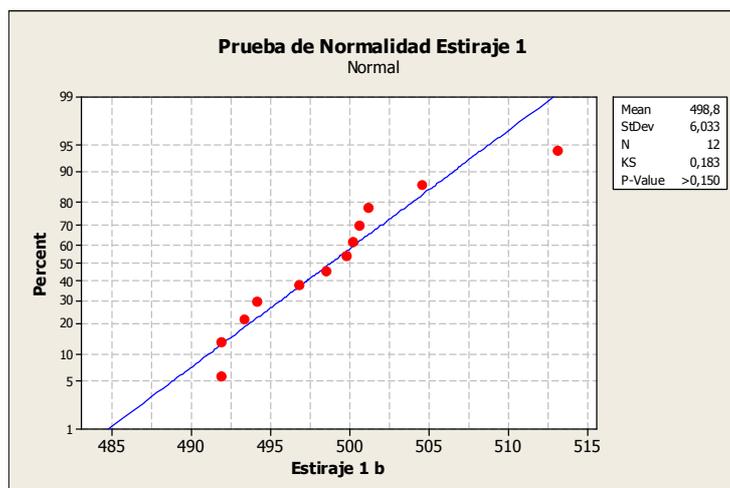


Gráfico 5.23 Prueba de Normalidad Estiraje 1

Se obtuvo un valor p superior a  $\alpha$  por lo que se puede concluir que los datos siguen una distribución normal cuyos parámetros se resumen en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 1

Máquinas	Media	Desviación
Estiraje 1	498,8 seg	6,033 seg

### 6.6.1.1.2 Tiempos de paro

Para el Estiraje 1 también se realizó un gráfico de frecuencias de paro que se encuentra en el Gráfico 5.24.

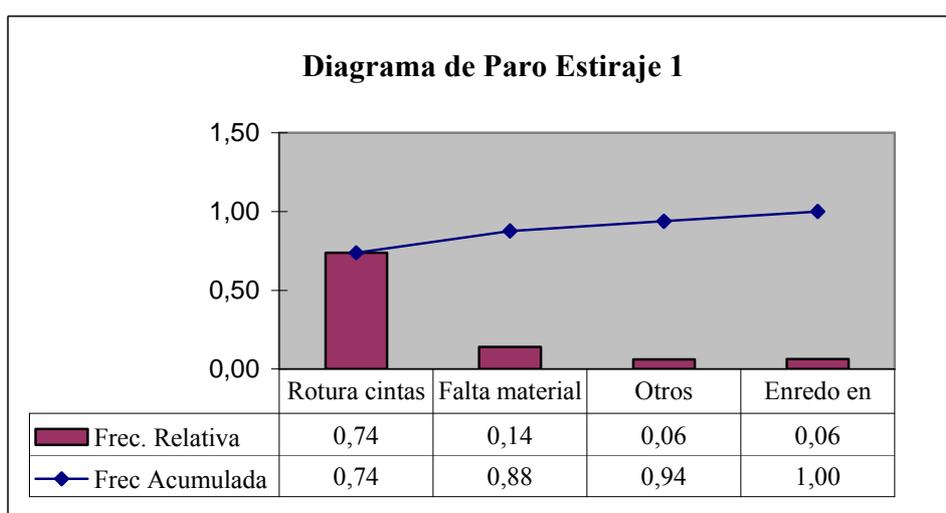


Gráfico 5.24 Diagrama de Paros Peinadora 1

La rotura de cintas es la mayor causa de paro, representando el 75% del tiempo de paro por cada corrida de producción. Esto es problema tanto de calidad como de falta de atención del operador. El factor otros también es significativo en este caso porque hubo un paro no justificado superior a cuatro minutos.

En la Tabla 5.13 se muestra el resumen con el promedio de paros por minuto y la duración de cada causa de paro.

Tabla 5.13 Tiempos de Paro Estiraje 1

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Rotura Cinta	0,11	54,10 seg
Falta de Material	0,039	33,71 seg
Enredo Tren Estiraje	0,019	30 seg
Otros	0,020	29,59 seg

## 6.6.1.2 Estiraje 5

### 6.6.1.2.1 Estudio de tiempos

El Estiraje 5 también realiza el paso 1 pero es una máquina más antigua que el Estiraje 1 por lo que trabaja a menor velocidad. La máquina tiene dos salidas por lo que proceso dos tarros de mil cien metros simultáneamente. Debido a que esta máquina fue implementada recientemente en la planta no se pudieron tomar los datos bajo el mismo criterio que para las otras máquinas y se tomaron solo cinco observaciones. Se realizó una prueba de normalidad en el gráfico 5.25 para verificar la distribución de los datos.

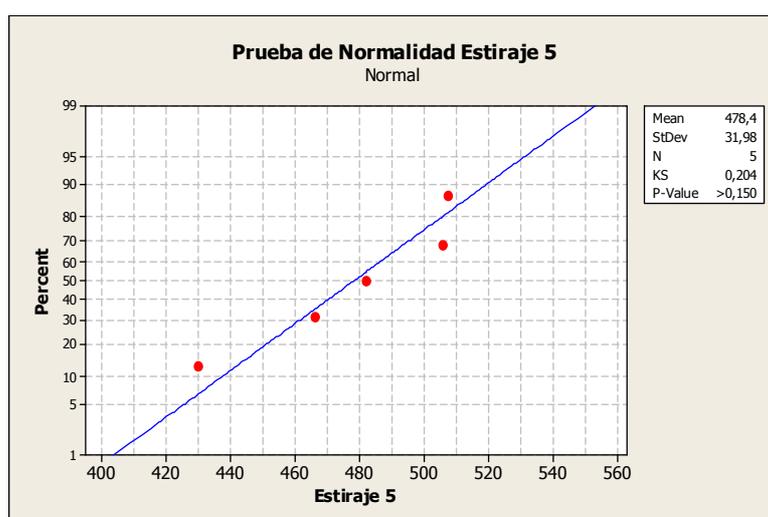


Gráfico 5.25 Prueba de Normalidad Estiraje 5

En el gráfico se observa un valor  $p$  mayor a 0,150 por lo que se puede concluir que el Estiraje 5 tiene un tiempo de procesamiento normal. En el futuro sería recomendable aumentar el tamaño de la muestra para obtener parámetros más precisos para la distribución cuyos parámetros se muestran en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 5

Máquinas	Media	Desviación
Estiraje 5	478,4 seg	31,98 seg

### 6.6.1.2.2 Tiempos de paro

El diagrama de frecuencias de paro se encuentra en el Gráfico 5.26 y el resumen con el número promedio de paros por minuto y la duración de los mismos en la Tabla 5.15.

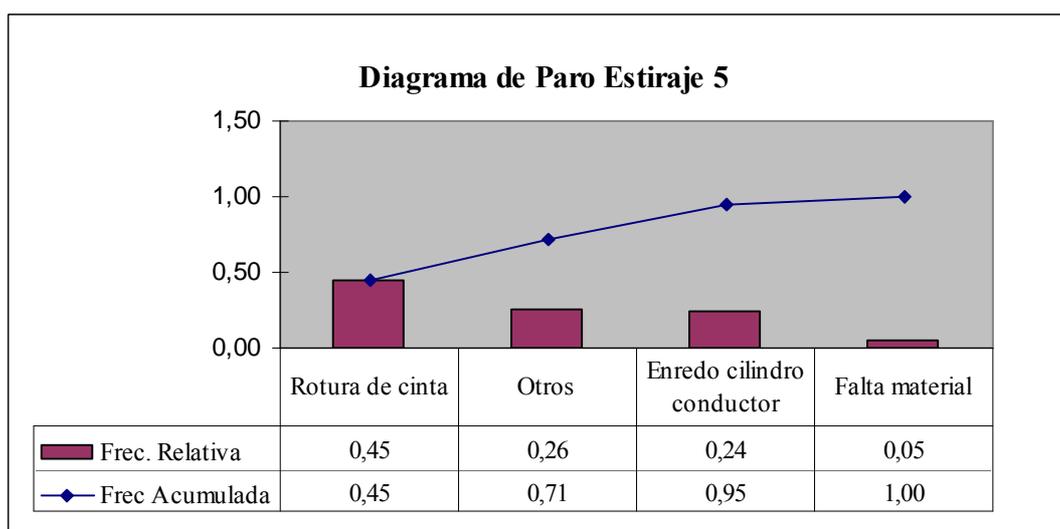


Gráfico 3.26 Diagrama de Paro Estiraje 5

Tabla 5.15 Tiempos de Paro Estiraje 5

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Rotura de Cintas	0,002	50,874 seg
Falta de Material	0,0003	36,800 seg
Enredo Cilindros Conductors	0,001	78,993 seg
Otros	0,001	56,87 seg

## 6.6.2 Estiraje paso 2

### 6.6.2.1 Estiraje 2

#### 6.6.2.1.1 Estudio de tiempos

Este proceso toma aproximadamente 8,5 minutos sin paros por lo que al igual que con el paso 1 es necesario realizar observaciones en 10 ciclos completos. Se realizaron más observaciones de los necesarios porque se tomaron algunos datos que aparentemente no representaban las condiciones normales del proceso. Con las 17 observaciones definitivas se realizó una prueba de normalidad para determinar la distribución de los datos. El resultado se encuentra en el Gráfico 5.27.

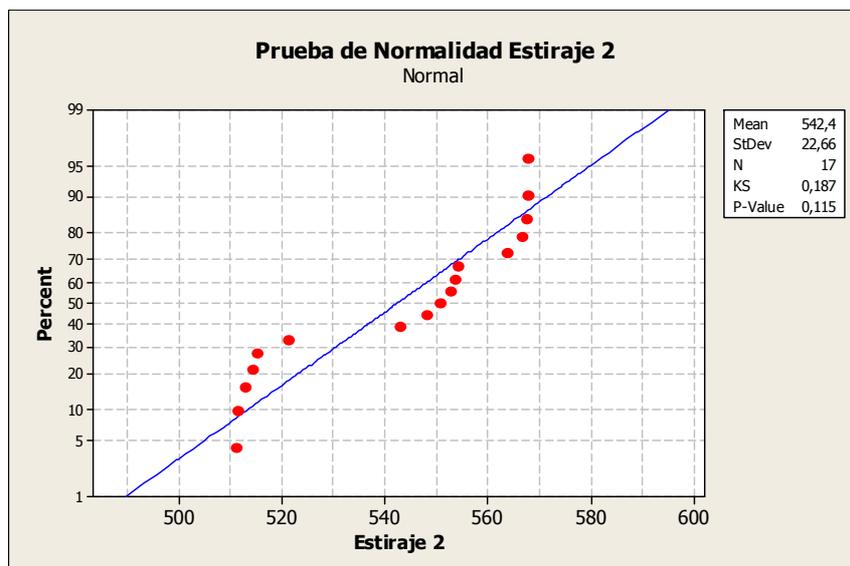


Gráfico 5.27 Prueba de Normalidad Estiraje 2

Se encontró que el valor p es de 0.115 por lo que se puede concluir que los tiempos siguen una distribución normal y cuyos parámetros se encuentran en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Parámetros de la Distribución para Estiraje 2

Máquinas	Media	Desviación
Estiraje 2	542,4 seg	22,66 seg

### 6.6.2.1.2 Tiempos de paro

Se encontró que la mayor causa de paro en el Estiraje 2 es la falta de material. Este tipo de paro es completamente evitable siempre y cuando el paso 1 del estiraje sea capaz de mantener continuo el flujo y el operador de la máquina esté pendiente de reanudar la cinta a un nuevo tarro antes de que se acabe. Es comprensible que en ocasiones el operador no llegue a tiempo por estar trabajando en otras máquinas, sin embargo si hay posibilidad de reducir el tiempo total perdido por esta causa. El diagrama de frecuencias de paro se encuentra en el Gráfico 5.28 y el resumen con el número de paros por minuto y su duración en la Tabla 5.17.

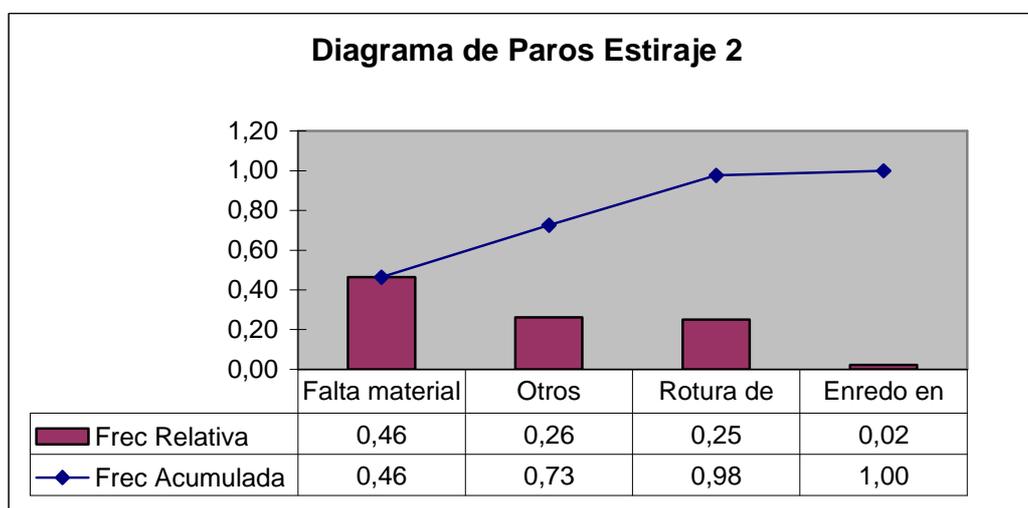


Gráfico 5.28 Diagrama de Paro Estiraje 2

Tabla 5.17 Tiempos de Paro Estiraje 2

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Rotura Cinta	0,084	46,270 seg
Falta de Material	0,064	60,067 seg
Enredo Tren Estiraje	0,012	28,21 seg
Otros	0,089	50,009 seg

## 6.6.2.2 Estiraje 6

### 6.6.2.2.1 Estudio de tiempos

El Estiraje 6 realiza también el segundo paso del estiraje y cuenta únicamente con una salida de material. Al igual que el Estiraje 5, esta máquina se introdujo al proceso recientemente por lo que no fue posible tomar más de tres datos. Debido a que estos no son suficientes para probar la normalidad se los describirá con una distribución triangular cuyos parámetros se determinan en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18 Determinación de la Distribución Triangular para Estiraje 6

Máquina	Parámetros (seg)			
	Min	Max	E(x)	Moda
Estiraje 6	334	354	344	343,75

### 6.6.2.2.2 Tiempos de paro

Debido a que solo se tomaron 3 tiempos en el Estiraje 6 no fue posible identificar más de dos causas de paro. La Rotura de cinta representa un mayor porcentaje de tiempo de paro que la Falta de material pero esto podría cambiar si se realizan más observaciones. El diagrama obtenido a partir de los tiempos observados se encuentra en el Gráfico 5.29 y el resumen con el promedio de paros por minuto y su duración en la Tabla 5.19.

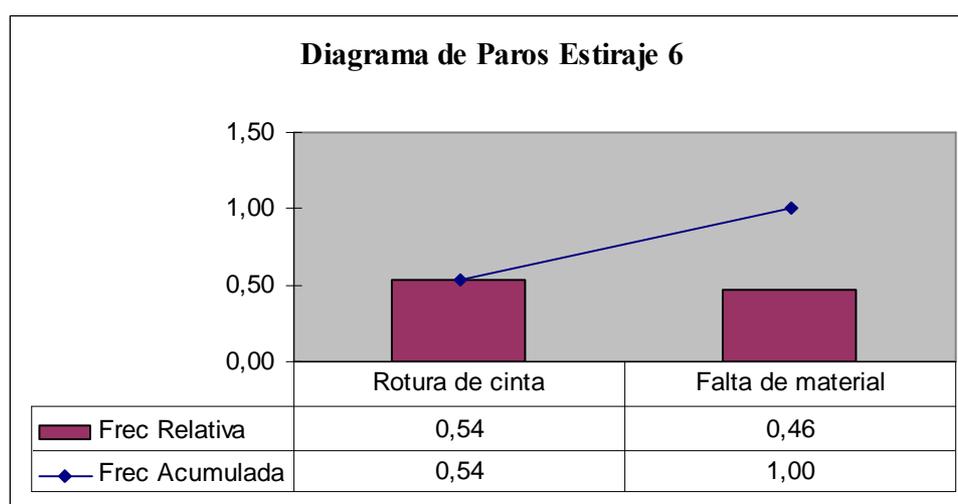


Gráfico 5.29 Diagrama de Frecuencias de Paro Estiraje 6

Tabla 5.19 Tiempos de Paro Estiraje 6

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro (seg)
Rotura de Cintas	0,002	88,325
Falta de Material	0,001	153,250

### 6.6.3 Estiraje paso final

#### 6.6.3.1 Estiraje 3

El Estiraje 3 procesa normalmente tres mil metros de cinta por lote. Este proceso toma aproximadamente cinco minutos sin paros por lo que se realizarán observaciones en diez ciclos completos. Se presenta el histograma de los tiempos en el Gráfico 5.30

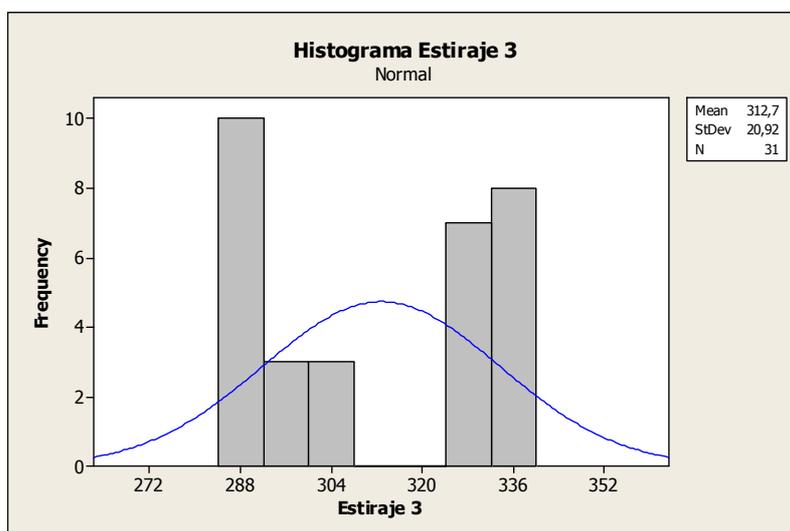


Gráfico 5.30 Histograma Estiraje 3

El histograma muestra dos poblaciones claramente distintas, esto ocurrió por una aparente disminución de la velocidad de la máquina y aumento en el metraje de salida del tarro. Se estableció que el proceso normalmente se da con tres mil metros de cinta y a una velocidad alrededor de los 607 m/min por lo que se trabajará con los tiempos que corresponden a esta situación. En el Gráfico 5.31 se encuentra un histograma con los datos que serán considerados en el estudio.

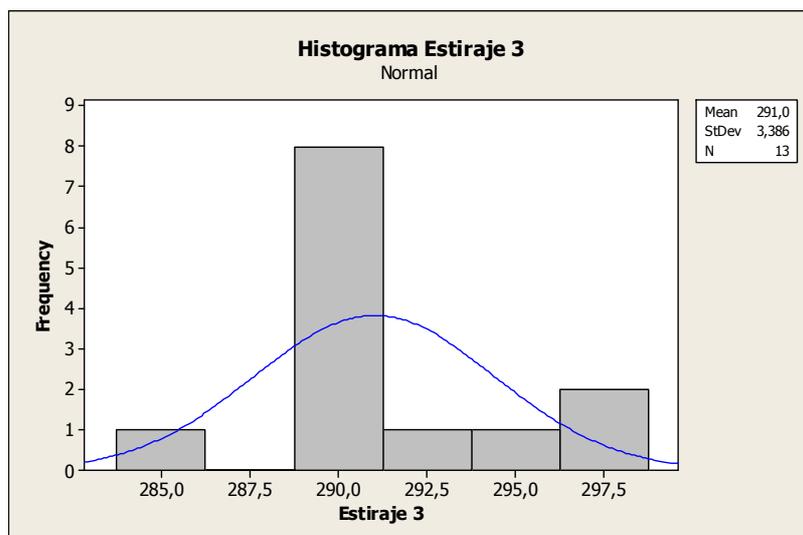


Gráfico 5.31 Histograma Estiraje 3 Proceso Más Común

Luego se realizó una prueba de normalidad, Gráfico 5.32, para los tiempos mostrados en el histograma anterior.

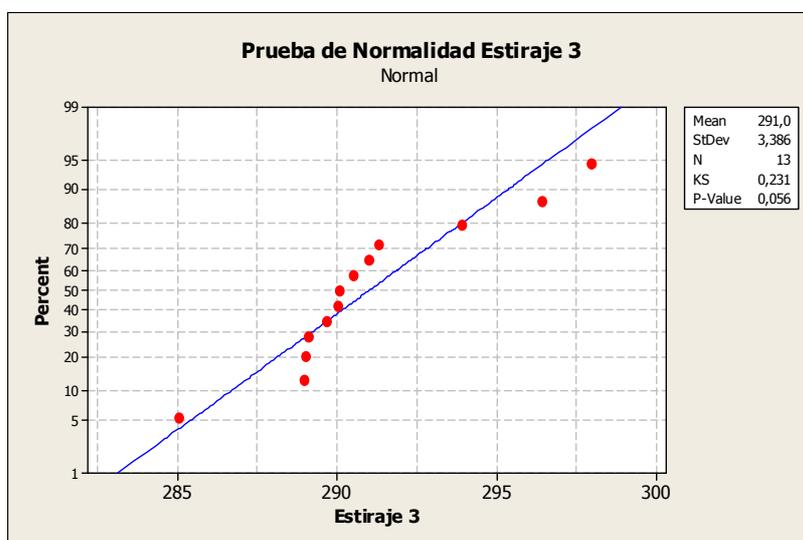


Gráfico 5.32 Prueba de Normalidad Estiraje 3

Se obtuvo un valor p de 0,056 que es apenas superior al valor de  $\alpha$  pero confirma la normalidad de los datos. Los parámetros de la distribución normal se encuentran en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 3

Máquinas	Media	Desviación
Estiraje 3	291seg	3,386 seg

### 6.6.3.1.1 Tiempos de paro

A partir de los tiempos de paro obtenidos para el Estiraje 3 se realizó un diagrama de frecuencias de paro que se encuentra en el Gráfico 5.33.

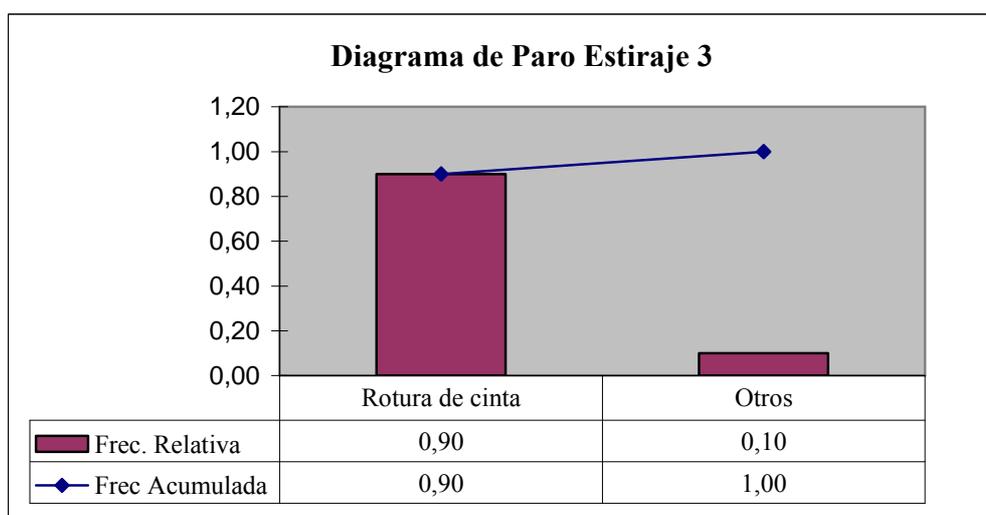


Gráfico 5.33 Diagrama de Paro Estiraje 3

En el gráfico se observa que la razón principal de paros es la rotura de cinta. Esto indica que pueden existir problemas en la calidad del material o que el operador no está pendiente de la máquina o está ocupado atendiendo otras máquinas. El resumen con los paros por minuto promedio y la duración de los mismos se encuentra en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21 Tiempos de Paro Estiraje 3

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Rotura Cinta	0,063	40,650 seg
Otros	0,032	9 seg

## 6.6.3.2 Estiraje 4

### 6.6.3.2.1 Estudio de tiempos

El estiraje 4 procesa normalmente cuatro mil quinientos metros de cinta por lote, con un tiempo promedio procesamiento de 7.1 minutos. En el Gráfico 5.34 se realizó una prueba de normalidad para determinar la distribución de los datos.

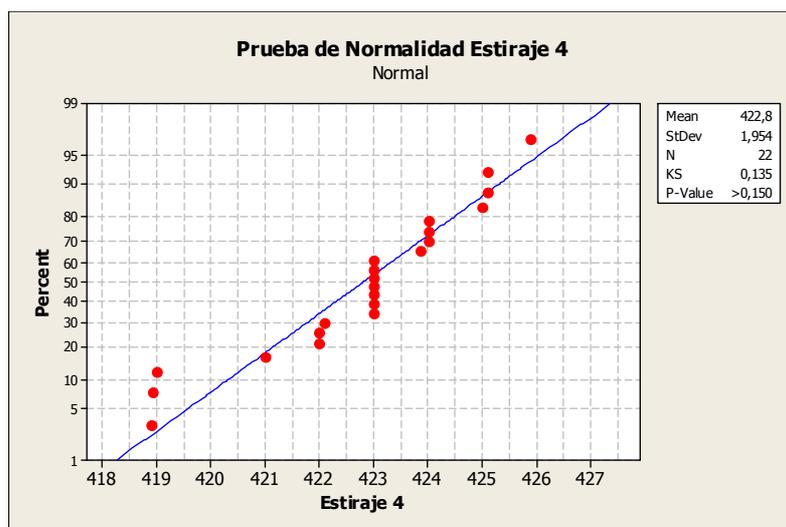


Gráfico 5.34 Prueba de Normalidad Estiraje 4

En el gráfico se observa la presencia de una distribución normal debido a que el valor p es superior a 0,150 aunque gráficamente se muestran grupos de datos independientes. Los parámetros de la distribución se muestran en la Tabla 5.22.

Tabla 5.22 Parámetros de la Distribución Normal para Estiraje 4

Máquinas	Media	Desviación
Estiraje 4	422,8 seg	1,954 seg

### 6.6.3.2.2 Tiempos de paro

A partir de los tiempos de paro obtenidos para el Estiraje 4 se realizó un diagrama de frecuencias de paro que se encuentra en el Gráfico 5.34.

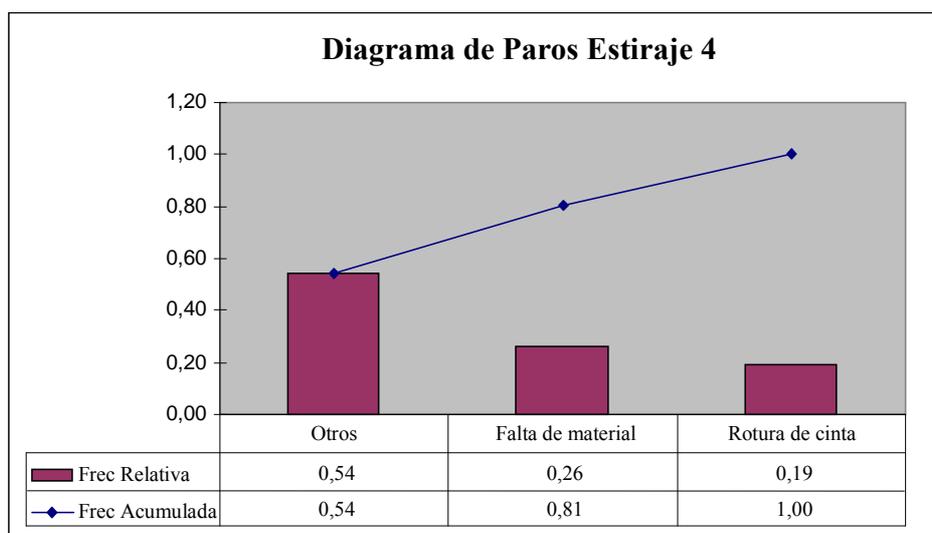


Gráfico 5.34 Diagrama de Paro Estiraje 4

Se observa que el 85% del tiempo total de paro esperado en cada lote de producción ocurre por falta de material u otras causas. El factor otras causas incluye principalmente excesivo porcentajes de variación en distintos indicadores de la máquina. Se observó que el operador por lo general ignora estas advertencias y vuelve a arrancar la máquina. Se sugiere verificar la calibración de las máquinas respecto a estos parámetros e indicar a los operadores que medidas deben tomar cuando la máquina se para por esta razón. Los descansos por almuerzo fueron eliminados del tiempo de ciclo y de los tiempos de paro de algunos datos para restarle importancia al factor otras causas puesto que los almuerzos corresponden a paros programados de las máquinas no a causas aleatorias. La falta de material es una causa de paro que podría evitarse casi en su totalidad siempre y cuando el paso 2 pueda mantener continuo el flujo de material y el operador este atento a reanudar la cinta a un nuevo tarro antes de que esta se acabe. Por lo general el operador se demora porque está trabajando en otra máquina, moviendo material o simplemente distraído. El resumen con el promedio de paros por minuto y su duración se encuentra en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Tiempos de Paro Estiraje 4

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro
Rotura Cinta	0,032	56,60 seg
Falta de Material	0,006	383,83 seg
Otros	0,012	397 seg

### 6.6.3.3 Estiraje 7

El Estiraje 7 también realiza el tercer paso del estiraje pero a menor velocidad que las otras dos máquinas. Adicionalmente el metraje definitivo de cada tarro no ha sido establecido todavía pero se considerarán los datos para tres mil doscientos metros ya que la política de la empresa es trabajar con el metraje máximo posible.

#### 6.6.3.3.1 Estudio de tiempos

Debido a que solo se cuenta con 4 observaciones no es posible probar una distribución normal por lo que se trabajará con una triangular cuyos parámetros se presentan en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24 Parámetros de la Distribución Triangular para Estiraje 7

Maquina	Parámetros (seg)			
	Min	Max	E(x)	Moda
Estiraje 7	325,87	396,65	353,125	336,855

#### 6.6.3.3.2 Tiempos de paro

Considerando únicamente los datos correspondientes a la producción de tres mil doscientos metros se obtuvo solo un tiempo de paro significativo, un problema en el tren de estiraje. Esta información se encuentra en la Tabla 5.25. Dado que en los otros estirajes no se presenta este problema se concluye que la máquina no ha alcanzado todavía un ritmo de funcionamiento normal o que tiene un daño mecánico o de calibración. Adicionalmente en esta máquina también es posible que existan paros por falta de material aunque en las observaciones que se realizaron no se encontró esta causa de paro.

Tabla 5.25 Tiempos de Paro Estiraje 7

Tipo de Paro	Paros/min	Tiempo paro (seg)
Enredo tren estiraje	0,001	22,255

### 6.6.4 Pabileras

El proceso de pabilado dura en promedio cien minutos pero las cuatro máquinas trabajan a diferentes velocidades. Dos de ellas producen conos de aproximadamente tres mil ochocientos metros cada uno y las otras aproximadamente dos mil metros cada uno. Una de estas últimas máquinas fue introducida al proceso al mismo tiempo que se aumentaron máquinas de estirado por lo que se tomaron tiempos solo para las tres primeras. En metraje final de cada lote de producción se ve afectado significativamente por el número de roturas de cinta que se tuvieron durante la parada debido a que el operador rompe los pedazos de cinta que están defectuosos.

#### 6.6.4.1 Estudio de tiempos

Se realizó una prueba de normalidad para la Pabilera 1 debido a que si se tenían al menos cinco datos pero se encontró que no eran normales debido a que dos datos son significativamente menores del resto. Por ésta razón se decidió estimar distribuciones triangulares para las tres pabileras y asumir que la distribución para la Pabilera 4 es la misma que para la 3 ya que son máquinas que trabajan de forma similar. Los parámetros de las tres distribuciones se encuentran en la Tabla 5.26.

Tabla 5.26 Parámetros de la Distribución Triangular para Pabileras

Máquina	Parámetros (min)			
	Min	Max	E(x)	Moda
Pabilera 1	92,2	97,55	95,86	97,85
Pabilera 2	117,6	124,33	120,72	120,26
Pabilera 3	77,4	84,944	80,26	78,45

#### 6.6.4.2 Tiempos de paro

Los gráficos de frecuencia de paros obtenidos a partir de las observaciones realizadas para Pabileras 1, 2 y 3 se encuentran en los gráficos 5.35 a 5.37.

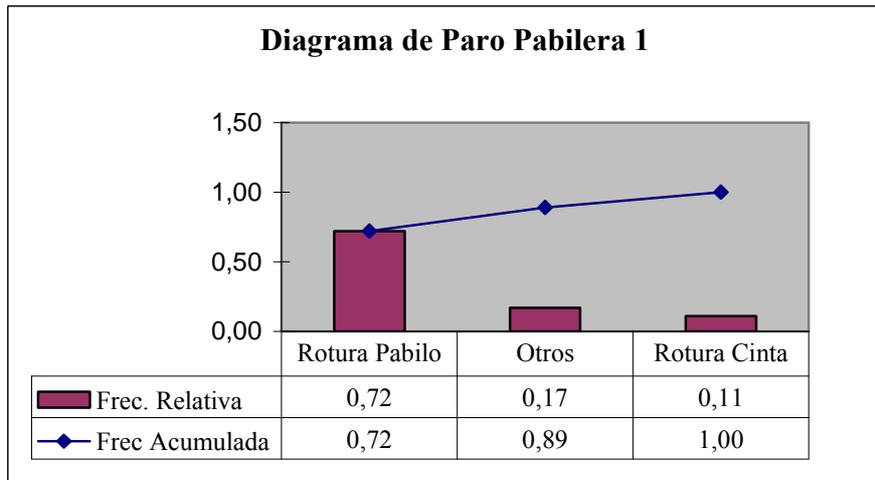


Gráfico 5.35 Diagrama de Paro Pabilera 1

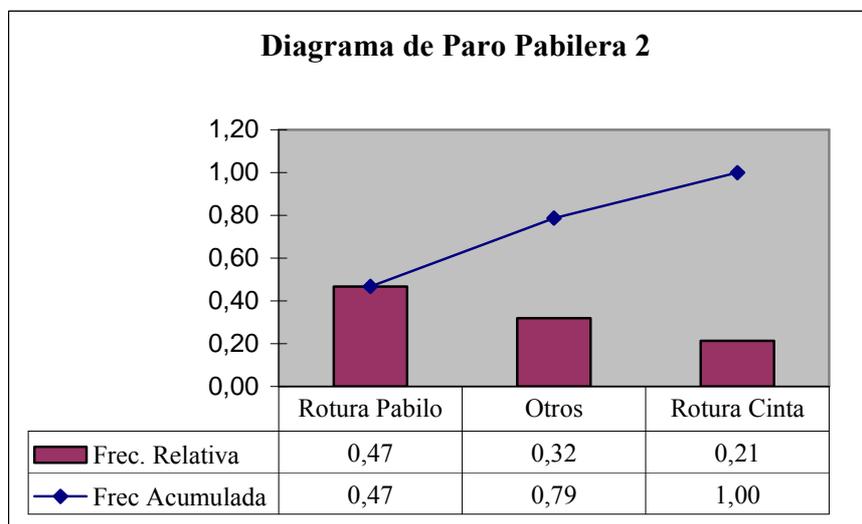


Gráfico 5.36 Diagrama de Paro Pabilera 2

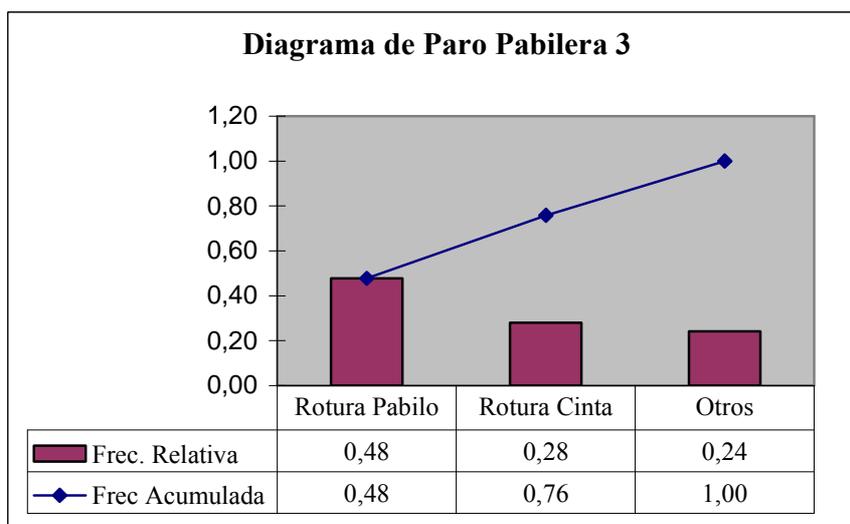


Gráfico 5.37 Diagrama de Paro Pabilera 3

Se observa que la rotura de pabilo y la rotura de cinta son las causas más frecuentes de paro. Esto además de causar pérdida en el tiempo productivo de la máquina ocasiona pérdida de material ya que cuando el pabilo se rompe una especie de aspiradoras pequeñas empiezan a absorber la cinta rota hasta que el operador atiende la máquina. Las otras causas de paro son por lo general operador ocupado atendiendo otra máquina o simplemente operador ausente. Este problema es más significativo para las Pabileras 1 y 2 ya que son atendidas por el mismo operador.

### 6.6.5 Hilas

Tejidos Pintex S.A. produce dos tipos de hilos principales, trama 23 tex o urdido 20 tex, los cuales se utilizan para la producción de Tela. Adicionalmente se producen también otros tipos de hilos únicamente para la venta. Debido a que la producción de éstos últimos no es constante en el tiempo ni se utilizan siempre las mismas máquinas se tomarán en cuenta solamente tres categorías de productos. Los dos primeros son los dos hilos principales y el tercero agrupará hilos 23 tex, 30 tex, 20 tex para la venta y cualquier otro que pudiera realizarse. La producción de cada tipo de hilo se expresa como un porcentaje promedio de una demanda total que varía mes a mes (Tabla 5.27).

Tabla 5.27 Distribución de la Producción por Materiales

Material (tipo de hilo)	Porcentaje de Producción
Urdido 20	41%
Trama 23	42%
Hilo para la venta	17%

La producción en la planta está organizada de tal manera que por lo general las hilas 23, 24 y 25 producen trama 23 mientras que todas las otras realizan urdido 20 por lo que se obtendrán tiempos de producción de acuerdo a éstos grupos de máquinas. No todas las máquinas de cada grupo trabajan bajo condiciones exactamente iguales, sin embargo se considerarán máquinas homogéneas debido a que sus tiempos de ciclo son extremadamente prolongados y no es factible realizar un estudio individual para cada máquina. La gran variabilidad presente en los tiempos de producción de las Hilas se debe a que la calibración se realiza manualmente por lo que es improbable conseguir que las máquinas trabajen exactamente a la misma velocidad y con el mismo metraje final. Adicionalmente la calidad del material, la climatización y el mantenimiento realizado también afectan el comportamiento de las máquinas y no son factores que están debidamente controlados dentro de la planta.

#### 6.6.5.1 Estudio de tiempos

Todas las máquinas trabajan con velocidades y metrajes finales ligeramente distintos por lo que se decidió probar la normalidad de todas las Hilas antiguas conjuntamente, luego la normalidad de las Hilas G33 que trabajan hilo T.23 y finalmente obtener una distribución triangular para la Hila 26 que trabaja hilo U.20. Las pruebas de normalidad se encuentran en los Gráficos 5.38 5.39 y la distribución triangular en la Tabla 5.28.

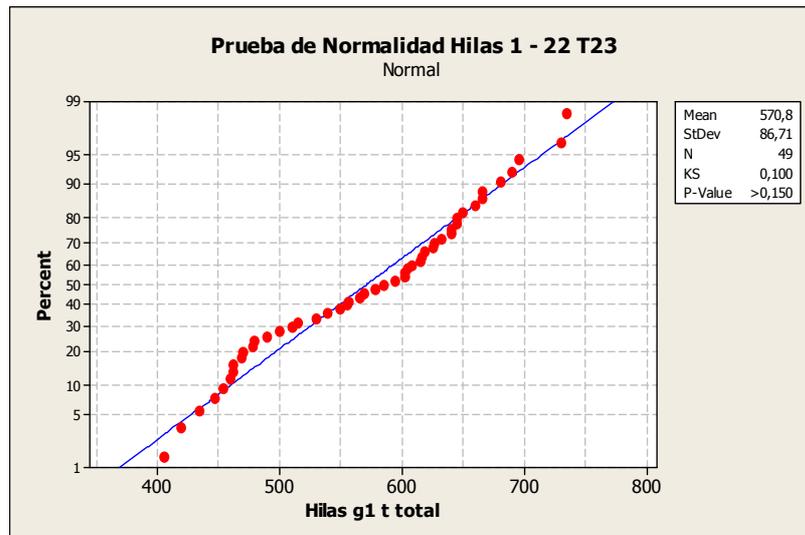


Gráfico 5.38 Prueba de Normalidad Hilas 1 – 22

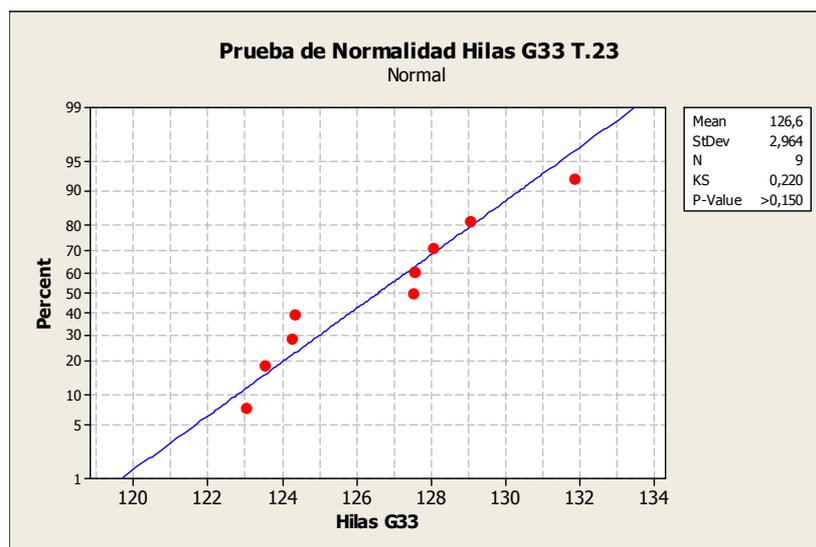


Gráfico 5.39 Prueba de Normalidad Hilas G33 T.23

En las pruebas de normalidad se obtuvieron valores  $p$  superiores a 0.150 por lo que se puede concluir que las distribuciones son normal. Los parámetros de las mismas se encuentran en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28 Parámetros de la Distribución Normal para T. 23

Máquinas	Media (min)	Desviación (min)
Hilas 1 – 22 T23	570.8	86.71
Hilas G33 T23	126.6	2.964

Tabla 5.29 Tabla Parámetros de la Distribución Triangular para Hila G33 U.20

Maquina	Parámetros (min)			
	Min	Max	E(x)	moda
Hila 26 U20	194	197	195,33	195

### 6.6.5.2 Tiempos de paro

En las Hilas no ocurren paros no previstos ya que las roturas de hilo de un huso no interrumpen el funcionamiento del resto de la máquina. Sin embargo se obtuvo información a partir de datos históricos del promedio de husos inactivos, dañados o parados por falta de material, e hilos rotos. Esta información se encuentra en la Tabla 5.30 y se usó para calcular las eficiencias y la capacidad de producción de las hilas presentadas en el Anexo A.

Tabla 5.30 Resumen de Hilos Rotos y Husos Inactivos de Hilas

Hilas	Husos Inactivos	Hilos Rotos
1	4	2
2	1	2
3	2	2
4	0	3
5	0	2
6	6	4
7	4	2
8	6	2
9	4	2
10	2	2
13	0	1
14	0	2
15	4	4
16	9	4
17	9	4
18	4	2
19	5	2

20	7	4
21	12	4
22	5	3
23	49	14
24	93	51
25	73	14
26	8	10

### 6.6.6 Autoconers

No se determinaron distribuciones para los tiempos de procesamiento en Autoconers debido a que cada máquina proceso materiales diferentes y a su vez cada material viene de hilas que procesan conos con diferentes metrajes por lo que las condiciones de proceso son muy cambiantes. Adicionalmente se definió que los tiempos de ciclo de Autoconers no afectan la producción de la planta ya que es el proceso siguiente a Hilas, el cuello de botella, y tiene evidente sobrecapacidad de producción. Sin embargo, luego de hacer algunas observaciones, se consideró importante cuantificar el número de roturas ocurridas por periodo de tiempo ya que son muy frecuentes y en cada una se pierde poco más de seis segundos de tiempo productivo.

#### 6.6.6.1.1 Determinación de los tiempos de falla

Debido a que se registraron el número de fallas ocurridas en cada parada de producción y no se anotó el momento exacto en que ocurrió cada falla no es posible calcular el tiempo promedio entre fallas sino el promedio de paros por unidad de tiempo lo cual implica la utilización de una distribución Poisson en lugar de una exponencial. El número de roturas no considera la rotura por cambio de cono de entrada y el tiempo en el cual se cuantificó los paros incluye el tiempo de preparación.

Se realizaron algunas mediciones de los tiempos de paro y se determinó un promedio de 6.378 segundos por paro. A partir de esto se determinarán los tiempos por hora de producción perdidos por roturas. En la Tabla 5.31 se clasificaron los tiempos perdidos por roturas de acuerdo a la máquina y título de hilo que produce. El Autoconer 4 trabaja

con título 20 de las máquinas antiguas y también de la G33 por lo que se realizó esta distinción también.

Tabla 5.31 Porcentaje de Tiempo Perdido por Roturas en Autoconers

Máquina	Velocidad	Título	Paros/Min	T Perdido Min / Hr	Porcentaje
1	697,427	U20	1,606	10,246	<b>17,1%</b>
1	890,716	u20cb	1,221	7,789	<b>13%</b>
1	757,221	23	0,928	5,920	9,9%
1	748,792	U27	1,180	7,529	<b>12,5%</b>
1	644,410	U30	1,924	12,270	<b>20,4%</b>
2	871,609	U20	0,820	5,229	8,7%
2	871,609	T23	1,033	6,590	<b>11%</b>
3	939,194	U20	1,875	11,959	<b>19,9%</b>
3	914,461	T23	0,735	4,686	7,8%
4	746,923	u20 G33	0,155	0,991	1,7%
4	769,335	u20 Otras	0,127	0,810	1,3%

Los resultados mostrados en la tabla indican que hay seis situaciones con porcentajes de tiempo perdido superiores al 10%, lo que es considerado crítico en la empresa, estos valores se encuentran resaltados con negrilla en la tabla anterior. El tiempo de paro no es controlable ya que la máquina lo realiza automáticamente sin embargo hay dos causas significativas. La primera es la calibración de la máquina debido a que se puede determinar que diámetro de nudos es considerado calidad aceptable en el material y a partir de donde la máquina debiera romper y reanudar el hilo. La segunda causa es la mala calidad del material que ingresa al proceso no solo porque tiene nudos demasiado grandes sino porque el material es frágil y se rompe fácilmente.

## **7 Resultados**

### **7.1 Cálculo del flujo de materiales**

Se resumió la información obtenida en el estudio de tiempos en una hoja de cálculo que permita obtener las tasas de producción de cada proceso en kilogramos por hora. Se usarán estas unidades debido a que el producto cambia de forma después de cada proceso por lo que no es posible contabilizar la producción en unidades más específicas tales como metros o número de conos producidos. Además se incluye la eficiencia esperada y el porcentaje de desperdicio para cada máquina con lo que es posible calcular un flujo real de materiales a través de cada proceso. Las eficiencias de las máquinas están basadas en la experiencia, la carga de trabajo de los operadores y la necesidad de producción.

El tiempo de producción incluye el tiempo de preparación solo para aquellos procesos en el que se realiza automáticamente. Todos los paros no programados se restaron del tiempo total para obtener un tiempo neto. Se calcularon dos valores de velocidades que se llamarán velocidad y velocidad paros. Para la primera se dividió el tiempo neto de producción para el metraje de salida esperado y para la segunda se utilizó el tiempo total. Se utilizó la razón de la velocidad con paros sobre la velocidad con tiempo neto para determinar la eficiencia de la máquina.

En todas las máquinas anteriores al Pabilado es posible controlar el metraje electrónicamente por lo que se asume que la variación en el metraje final será mínima o que estará incluida dentro de los porcentajes de desperdicio. Así mismo las Pabileras 1 y 2 y las Hilas 23, 24, 25 y 26 también cuentan con contadores electrónicos de metrajes: sin embargo las otras dos pabileras y el resto de hilas deben ser calibradas manualmente para obtener el metraje deseado por lo que además de los tiempos se obtuvieron datos del metraje final en diferentes lotes de producción para poder obtener los valores de velocidades. Cabe recalcar que en las hilas 21 y 22 el metraje depende enteramente del operador ya que la máquina no se para automáticamente.

En las hilas el operador debe chequear las máquinas continuamente para reanudar los hilos. Ya que realmente los operadores no están tan atentos a las máquinas, existe un

porcentaje significativo de hilos rotos. Adicionalmente por daño de la máquina o por falta de pabilos se tiene también un determinado número de husos inactivos.

Para obtener la producción en kilogramos por hora se multiplica la velocidad en metros por minuto por el título en gramos por metro y se transforman las unidades. Los valores de los títulos son proporcionados por el laboratorio. Ellos elaboran un informe semanal con los títulos promedio realizados por cada máquina, a través de la transformación presentada en el Gráfico 6.1.

$$\frac{m}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{g}{m} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Gráfico 6.1 Cálculo de Tasa de Producción en kg/h

Para calcular la producción de las pabileras, hilas, autoconers y algunas peinadoras y estirajes se debe multiplicar la tasa de producción por el número de salidas que tiene la máquina. Además a partir de las hilas se debe considerar la producción de diferentes materiales, considerando principalmente hilo T23 y U20.

El Autoconer 1 se divide en seis secciones, permitiendo procesar materiales diferentes, pero con velocidad constante por lo que no se complica el cálculo de producción final en kilogramos por hora.

Finalmente se consideró un porcentaje de eficiencia y un porcentaje de desperdicios para obtener un dato de producción más real y con el que se calculó un porcentaje de error en relación a la información de una semana de producción real en la planta.

Todas las consideraciones explicadas previamente se pueden revisar en el resumen de flujo de materiales de Tejidos Pintex S.A. que se encuentra en el Anexo A.

## **8 Simulación**

El flujo de materiales presentado en la sección anterior sirve para determinar necesidades o exceso de material pero de ninguna manera proporcionan una estimación exacta de la producción semanal dado que no considera la variabilidad de los tiempos de producción. Esta variabilidad tiene una incidencia importante sobre el rendimiento del sistema completo ya que indudablemente alargan los tiempos de espera de los materiales e incluso el tiempo de ciclo total desde que el algodón y el poliéster entran al sistema hasta que salen en forma de hilo. La simulación es una herramienta que permite visualizar los efectos de esta variabilidad en un intervalo de tiempo.

Adicionalmente, dado que el proceso de hilatura es tanto un sistema discreto como continuo no es posible calcular inventario en proceso, tiempos y número de entidades en espera con fórmulas de teoría de colas por lo que fue necesario simular el proceso para cuantificar estas variables. Con los resultados se espera poder estimar de mejor manera la capacidad de los sistemas de transporte necesario y los lugares óptimos de almacenamiento. Esta última parte se encuentra fuera del alcance de este proyecto pero se recomienda aprovechar esta información para determinar cuantos tarros vacíos y coches son realmente necesarios mantener en la planta para así poder aprovechar mejor los pocos espacios libres que se tienen. Se podría mejorar los métodos de trabajo, especialmente de Pabileras 3 y 4 si fuera posible enviar a bodega todos los tarros que constantemente están vacíos al costado de estas máquinas.

### **8.1 Objetivo**

El objetivo principal del estudio es determinar si es posible reducir los niveles de inventario en proceso optimizando los costos pero permitiendo un flujo de materiales ininterrumpido. En la empresa esto es especialmente importante debido a que el espacio físico disponible es muy limitado y actualmente los espacios entre máquina y vías de acceso se encuentran sobreocupados, aumentando el tiempo utilizado por los operadores en transportar los materiales entre un proceso y otro. Además esta situación aumenta el riesgo de daños en caso de ocurrir un incendio u otra situación que requiera reacciones rápidas e inmediatas.

## **8.2 Arena Rockwell 7.1 Versión Académica**

La versión académica del programa Arena Rockwell 7.1 tiene todas las características funcionales de la versión profesional pero es capaz de modelar solamente sistemas pequeños. Se pueden utilizar un número limitado de módulos, ya sean módulos de información o de flujo y no se pueden modelar sistemas con más de ciento cincuenta entidades simultáneamente. Los módulos de información son aquellos que describen las características de elementos del modelo como colas, entidades, recursos y variables. Los módulos de flujo son nodos a través de los cuales fluyen las entidades y en donde se define la dinámica del modelo. Las entidades son los materiales o personas que se mueven a través del sistema y que deben ser creadas en el comienzo del modelo y eliminadas al final. Los recursos son máquinas, personas o sistemas de transporte necesarios para realizar un proceso. La mayoría de módulos deben estar relacionados a través de conectores para establecer la secuencia de las actividades. Antes de correr el modelo se deben definir el número de replicas deseadas, la duración de cada una, el tiempo de calentamiento antes de que se empiecen a calcular resultados, la velocidad con que se quiere realizar la simulación, los reportes deseados entre otros (Kelton, 59 ).

## **8.3 Suposiciones y consideraciones**

Para desarrollar la simulación fue necesario hacer una serie de suposiciones que permitan ver el proceso como un sistema discreto. A continuación se describen las situaciones que representaron un reto en la simulación y la forma en que se resolvió cada una.

### **8.3.1 Consideración parcial del sistema:**

Se simuló solo una parte del proceso de hilatura debido a que la versión académica del software Arena Rockwell 7.1 no tiene capacidad para modelar el sistema completo dado el gran número de entidades que se tienen en el proceso al mismo tiempo. Para definir que parte es más importante simular se consideró el proceso cuello de botella y aquel en el que el tiempo de paro de las máquina se ve afectado significativamente por paros en otras máquinas del mismo proceso a causa de que el operador se encuentra ocupado. Por un lado en el resumen del flujo de materiales se observó que el Peinado es el proceso que tiene menor capacidad aunque aparentemente es suficiente en relación a

los requerimientos de material impuesto por las Hilas. De aquí que el segundo cuello de botella es el Peinado. El primero serían las Hilas, sin embargo no se las considera como un cuello de botella ya que éstas definen el volumen de producción, entonces los cuellos de botella se miden a partir de la capacidad máxima determinada por Hilas. Por otro lado se observó durante el estudio de tiempos que en las Hilas hay husos inactivos por falta de material y que los tiempos de paro son muy frecuentes en el Pabilado, sobretodo en las Pabileras 1 y 2. De aquí que se simuló el proceso entre Peinado y Pabilado lo que indirectamente incluye también a la Reunidora de napas y a las Cardas de poliéster ya que estas definen la tasa de creación de las entidades algodón y poliéster respectivamente.

Se realizará primero el modelo para el proceso de Peinado. Con los resultados obtenidos a partir de veinte réplicas, cada una de ocho horas de duración más cuatro horas de periodo de calentamiento para alcanzar un estado estable, se iniciará el modelo de Estiraje Paso 1 ya que las distribuciones de entrada de material a este modelo estarán definidas por la salida del anterior. Con la misma lógica se continuará hasta terminar el modelo para el proceso de Pabilado.

### **8.3.2 Utilización de tiempos totales en lugar de tiempos netos:**

Al realizar las primeras pruebas de los modelos de simulación se observó que estos eran muy pesados y tendían a bloquearse o pararse sin ninguna razón. De aquí que se decidió no sobrecargar el modelo con 2, 3 o hasta 4 tipos de paros diferentes por cada máquina sino utilizar distribuciones de tiempos de producción correspondientes a los tiempos totales de las observaciones realizadas. Se volvió a utilizar una distribución triangular en aquellos procesos donde no se pudieron tomar suficientes datos para probar mejores distribuciones, y se determinaron nuevas distribuciones para los otros procesos utilizando el Input Analyzer, herramienta que forma parte del software Arena Rockwell 7.1. Los resultados del software se encuentran en el Anexo B y la información resumida se encuentra en la Tabla 7.1.

### **8.3.3 Consideración de las diferencias en grosor y metraje del material entre la entrada y salida de las máquinas:**

Para simular correctamente que el producto cambia completamente de un proceso a otro y que además el metraje de entrada y salida no coinciden, se transformarán todas

las unidades de producción a kilogramos para que se pueda utilizar una unidad común en todos los procesos. Para obtener el peso en kilogramos de los tarros se multiplica el metraje de los mismos por el título (gramos por metro) correspondiente y se divide para mil, luego para determinar el peso total de entrada o salida se multiplica el peso por tarros por el número de tarros que entran o salen del proceso simultáneamente.

Entre las Cardas de Poliéster, cinco producen un metraje y una produce otro, pero por facilidad en el manejo posterior de materiales se determinó un promedio de tres mil trescientos metros por tarro. Considerar el metraje específico de las máquinas dificulta la determinación de la duración de cada lote de entrada a los procesos siguientes ya que habría que crear lotes de diferentes tamaños de acuerdo a los metrajes de los tarros. En las Peinadoras, Estirajes y Pabileras se trabaja generalmente como dos líneas de producción paralelas, como se observa en el Gráfico 7.1, pero para incluir la decisión humana de utilizar tarros de una línea en la otra cuando falta material se incluirán una serie de módulos que representen el movimiento de tarros de una máquina a otra de acuerdo a la necesidad.

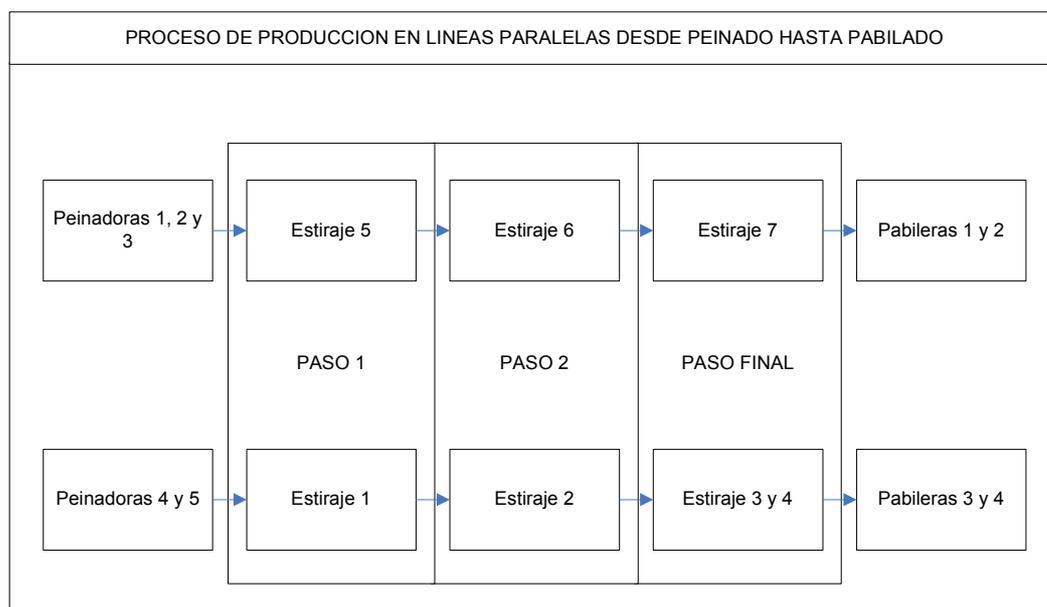


Gráfico 7.1 Proceso de Producción en Líneas Paralelas

#### **8.3.4 Manejo de las diferencias de número de entradas y salidas en las máquinas:**

El número de salidas por cada entrada significa que por cada lote de material de entrada se obtienen determinadas salidas. Lo que se hizo primero fue agrupar los productos de salida de acuerdo al número de entradas del siguiente proceso ya que la máquina no puede funcionar correctamente si estas entradas no están completas. Luego se determinó cuantos procesos completos pueden realizarse con un solo lote de entrada. Esto quiere decir que no es necesario realizar un cambio de material cada vez que se acaba una corrida de producción. Este cálculo servirá para separar el lote creado previamente en el número de unidades correspondientes al número de corridas posibles con un solo lote de entrada. Al hacer esto se tendría un modelo en que un lote de entrada sí se transforma en un solo lote de salida lo que es más manejable en el modelo de simulación.

#### **8.3.5 Consideración del porcentaje de desperdicio utilizado en el resumen del flujo de materiales:**

Para determinar cuantas salidas se consiguen con una entrada se multiplicó los kilogramos de entrada por  $(1 - \text{porcentaje de desperdicio}/100)$  y luego se dividió para los kilogramos de salida. Los porcentajes de desperdicio de cada proceso se encuentran detallados en el resumen del flujo de materiales presentado anteriormente.

Debido a que el cálculo de número de salidas por entrada no resulta un número entero se incluyó un módulo de decisión que permita eliminar del proceso la fracción adicional de material. Por ejemplo, si en un proceso se encontrara que una entrada equivale a 1.5 salidas, entonces se tendría un módulo de separación que dirija el producto original al módulo de proceso y el único duplicado a un módulo de decisión por probabilidad que elimine el 50% de los productos y que dirija el resto al proceso. Es importante recalcar que esta lógica se vuelve más exacta conforme se aumente el tiempo de simulación.

### **8.3.6 Consideración de lotes de 4 unidades en lugar de 8 o 16 de acuerdo a la máquina:**

Luego de observar el comportamiento de los procesos de peinado y estirado durante más de cuatro meses fue posible establecer que los cambios de material de entrada ocurren normalmente de cuatro en cuatro, ya sean estos napas o tarros, independientemente de cuantos se están procesando al mismo tiempo. Por esta razón se entenderá el proceso como que está en un estado estable, en el que el material que esta lleno o semi lleno no afecta el proceso, simplemente esta ahí constantemente.

En el Pabilado la situación es distinta ya que durante el proceso ocasionalmente es necesario cambiar tarros pero la mayoría se cambian en tres o cuatro grupos en las Pabileras 1 y 2 y en dos grupos en las Pabileras 3 y 4. Cada cambio de tarros dura aproximadamente cuarenta minutos. Hacerlo de uno en uno o en grupos más pequeños es complicado ya que todos los tarros están acumulados en la parte trasera de la máquina y no se tiene fácil acceso a cada uno sin mover los otros.

Adicionalmente, estas suposiciones simplifican el modelo ya que se reduce el número de entidades presentes en el sistema, de no ser así, no sería posible correr ninguno de los modelos, porque se excedería el límite de entidades impuesto por la versión académica del programa.

### **8.3.7 Utilización de los resultados de un modelo como distribución para crear entidades en el proceso siguiente:**

Se decidió modelar los cinco procesos separadamente ya que la versión académica del programa no tiene capacidad para hacerlo en un solo archivo y se consideró importante obtener la información de la secuencia completa no solamente de peinado y Pabilado, considerados los procesos más críticos después del hilado. Arena Rockwell 7.1 en versión académica presenta una limitación en cuanto al número de procesos y módulos creados y también respecto al número de entidades presentes en el sistema en cualquier instante. Para que las distribuciones utilizadas en la creación de entidades reflejen la realidad del proceso se decidió utilizar la información de entidades producidas en un proceso como limitante de entradas para el siguiente proceso. La información obtenida en los resultados de la simulación representa distribuciones Poisson

ya que cuantifican el número de entidades producidas en un intervalo de tiempo pero se utilizó distribución exponencial porque esta modela tiempo entre ocurrencias. Un ejemplo de los cálculos necesarios para obtener el valor de lamda se muestra en el Anexo C, Tabla C.3. Luego se consideró la modificación de la distribución anterior para representar la entrada de lotes en lugar de unidades individuales cuando el sistema excedía el límite de 150 entidades en un mismo instante. Finalmente se consideraron tiempos de preparación en los módulos de creación para los modelos donde eran relevantes.

La distribución final obtenida para cada modelo se encuentra resumida en la tabla 7.1

Tabla 7.1 Resumen de Distribuciones de los Diferentes Procesos

<b>RESUMEN DE DISTRIBUCIONES DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN</b>	
<b>MÁQUINAS</b>	<b>DISTRIBUCIÓN</b>
<b>REUNIDORA NAPAS</b>	877+EXPO(508 ) + NORM(114.46, 44.74)
<b>PEINADORAS</b>	MIN
1	TRIA(85.658, 96.864, 110.679)
2	TRIA(76.409, 88.6, 88.6375)
3	TRIA(46.468, 47.156, 49.1015)
4	TRIA(159.795, 188.944, 190.848)
5	TRIA(159.795, 188.944, 190.848)
6	TRIA(159.795, 188.944, 190.848)
<b>ESTIRAJE PASO 1</b>	SEG
1	491 + LOGN( 123 , 334 )
5	U(548, 796)
<b>ESTIRAJE PASO 2</b>	SEG
2	511+EXPO(173 )
6	TRIA(334.06, 497, 530.18)
<b>ESTIRAJE PASO FINAL</b>	SEG
3	289 + WEIB(7.03, 0.427)
4	422 + 395 * BETA(0.0364, 0.178)
7	TRIA(325.87, 362.25, 396.65)
<b>PABILERAS</b>	MIN
1	TRIA(100.2, 112.62, 151.92)
2	TRIA(143, 144.03, 193.49)
3	TRIA(91, 92.14, 117.86)
4	TRIA(91, 92.14, 117.86)

### **8.3.8 Definición del tiempo de corrida y los tiempos de calentamiento:**

Luego de establecer que es posible conectar los cinco modelos de la manera que se explicó anteriormente es necesario definir el tiempo de corrida y el tiempo de calentamiento del sistema que permitan simular la situación real. Se estableció que cuatro horas de tiempo de calentamiento es suficiente para los cinco procesos ya que las máquinas de los procesos más largos, Peinadoras y Pabileras avanzan a ocuparse y entrar a un estado estable en este tiempo. La duración de la corrida en cambio se definió considerando el tiempo de ciclo de los procesos y la necesidad de poder observar una situación real de entidades en cola y efectos de la variabilidad ocurrida principalmente por los tiempos de paro considerados en los tiempos totales de producción. En Peinadoras y Pabileras, se observan tiempos de ciclo superiores a dos horas por lo que se estableció que se debería correr al menos ocho horas de simulación. Al validar los modelos se consideró necesario aumentar el tiempo de simulación de Pabileras a treinta horas con seis de calentamiento ya que sus tiempos de producción presentan mayor variabilidad y los lotes de entrada son más grandes. Además en este tiempo se producen mayor número de lotes, obteniéndose promedios más reales de las tasas de producción de las máquinas. El resumen de las características específicas de cada modelo se presenta en las Tablas 7.2 y 7.3.

Tabla 7.2 Resumen de las Características del Modelo

PROCESO	TIEMPO DE CALENTAMIENTO	TIEMPO DE CORRIDA	NÚMERO DE RÉPLICAS	REUBICACIÓN DE COLAS	TRANSFORMACIÓN DE PESO
PEINADORAS	4	8	20	x	x
PASO 1	4	8	30	E5 a E1	87.89%
PASO 2	4	8	30	E2 a E6	2 Duplicados, 59,09%
PASO FINAL	4	8	20	E7 a E4	71.10%
				E7 a E3	62%
PABILERAS	6	30	40	P1 a P2	96.63%
				P1 a P3	1 Duplicado, 4,68%

JUSTIFICACIONES	
PEINADORAS	No se hicieron cambios respecto de los parámetros establecidos
PASO 1	Por los largos tiempos de producción de Peinadoras y la variabilidad del tiempo de producción de E1, se aumentaron el número de réplicas para tener una mejor estimación de la validez del flujo entre Peinadoras y Paso 1.
PASO 2	Por la variabilidad de los tiempos de producción de E2 se aumentó el número de réplicas.
PASO FINAL	No se hicieron cambios respecto de los parámetros establecidos
PABILERAS	Se aumentó el tiempo de calentamiento porque los lotes de entrada son grandes, se aumentó el tiempo de corrida por los largos tiempos de producción y su alta variabilidad debido a los tiempos de paro, se aumentó el número de réplicas para obtener un promedio más preciso de la tasa de producción de estas máquinas para poder compararla con un dato de producción real.

Tabla 7.3 Variabilidad Relativa de los Procesos

ESTIRAJES MÁS SIGNIFICATIVOS POR VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	
MÁQUINA	VARIABILIDAD RELATIVA (desvest/media)
PEINADORA 1	12.8%
PEINADORA 2	6.8%
PEINADORA 3	2.1%
PEINADORA 4	9.7%
E1	21.2%
E2	25.2%
E3	7.9%
E4 (50% de prod de E3 )	26.9%
PABILERA 1	17.9%
PABILERA 2	18.0%
PABILERA 3	15.1%

### **8.3.9 Realización de veinte réplicas para poder obtener una distribución a partir de los resultados de la simulación:**

Para poder utilizar los resultados de un modelo como tiempos de creación de entidades para el siguiente modelo es necesario tener suficientes datos para obtener una distribución significativa. Inicialmente se utilizaron veinte réplicas, sin embargo para algunos modelos se decidió aumentar el número de réplicas para aumentar la precisión de los mismos. En aquellos modelos donde la variabilidad del proceso era pequeña respecto a su media se mantuvieron 20 réplicas mientras que para Pabileras fueron necesarias 40 réplicas porque el tiempo de producción total tiene una variabilidad relativa alta (ver Tabla 7.3) y la Pabilera 2 tiene una eficiencia baja (ver resumen del flujo de materiales). Así mismo los Estirajes 1 y 2 presentaban una variabilidad significativa por lo que para los modelos de Paso 1 y 2 de Estiraje se realizaron 30 réplicas.

### **8.4 Lógica de la simulación**

Durante la simulación fue necesario determinar la cantidad de salidas que pueden ser procesadas por cada máquina a partir de un número dado de entradas. Para algunos procesos una entrada puede significar 2 o más salidas, mientras que para otros cada entrada alcanza para menos de una salida. En el Anexo C, Tablas C.5 a C.9 se encuentran los cálculos realizados para obtener los kilogramos de entrada y salida, número de salidas por entrada y el porcentaje de duplicados creados que deben entrar al proceso. Del resultado de la simulación se pueden obtener los valores de producción de cada réplica o directamente obtener un promedio de todas las réplicas. Inicialmente se realizaron los cálculos a partir de la información por réplicas porque esto permitía observar la variabilidad del proceso pero al final se utilizaron solo los resultados promedio porque ya se había aceptado el comportamiento de los procesos.

Finalmente, en el Anexo C, Tabla C.4 se encuentra el formato utilizado para la validación de los datos obtenidos durante la etapa de simulación respecto de los datos de producción (para el primer modelo) y de los datos obtenidos de las mismas simulaciones.

### **8.4.1 Modelo de Peinadoras**

#### **8.4.2 Módulo de creación**

Cualquier modelo de simulación debe empezar con un módulo de creación de entidades y en este caso la distribución de este módulo proviene de la información obtenida de los tiempos de ciclo y preparación de Reunidora de napas. La distribución final obtenida se encuentra resumida en la Tabla 7.4.

##### **8.4.2.1 Asignación de máquinas por menor número de entidades en cola**

Un módulo de decisión por condición permite definir a que peinadora debe enviarse cada lote de Reunidora de Napas. Cada condición compara el número de entidades en cola de una máquina con la menor cola de las máquinas restantes.

##### **8.4.2.2 Número de salidas por entrada**

Se dividieron las máquinas en dos grupos de acuerdo a sus características. Las Peinadoras 1, 2 y 3 forman el un grupo y las Peinadoras 4, 5 y 6 el otro. Para el primer grupo se requiere un duplicado, y de estos solamente 23.9% deben continuar al proceso. Para el segundo grupo no se requieren duplicados y de los originales pasan 84.5%. En el Anexo C, Tabla C.5 se encuentra el detalle de los cálculos realizados.

El modelo completo se muestra en el Anexo D, Gráfico D.1.

### **8.4.3 Modelo de Estiraje Paso 1**

#### **8.4.3.1 Módulo de creación**

Se utilizó la producción de Peinadoras 1, 2, 3 y 6 como entradas a Estiraje 1 y la producción de Peinadoras 4 y 5 para Estiraje 5. La entrada proveniente de la Peinadora 6 se dejó como Poisson ya que esta máquina no produce nada, pero se prefirió incluirla en el modelo para poder realizar cambios en el futuro.

##### **8.4.3.2 Reordenamiento de colas**

En este modelo los Estirajes funcionan casi como líneas de producción paralelas, pero los operadores tienen la opción de llevar tarros libres de una línea a otra, de acuerdo con la necesidad que se tenga de material. En la parte inicial del modelo se incluyó un

módulo de decisión que reubica el material desde Estiraje 5 hacia Estiraje 1, comparando el tamaño de las colas de ambas máquinas. El porcentaje de decisión es 87.89% y se encontró dividiendo los kilogramos de entrada de Estiraje 5 para los de Estiraje 1.

#### **8.4.3.3 Número de salidas por entrada**

Utilizando el formato de cálculos del Anexo C, Tabla C.6 se encontró que para el Estiraje 1 se requiere un duplicado que pase 84.1% de las veces, mientras que para el Estiraje 5 se requieren tres duplicados de los cuales 84.4% van hacia el siguiente proceso. El modelo completo se muestra en el Anexo D, Gráfico D.2.

#### **8.4.4 Modelo de Estiraje Paso 2**

##### **8.4.4.1 Reordenamiento de colas**

En el Paso 1, el Estiraje 5 procesa muy poco material y no abastece la necesidad del Estiraje 6 por lo que fue necesario reubicar material desde Estiraje 2 hacia Estiraje 6. Para que Estiraje 6 pueda utilizar este material, fue necesario transformarlo a lotes de peso equivalente válido para este estiraje. Se obtuvo que un lote de Estiraje 2 es equivalente a 2.1818 lotes de Estiraje 6, por lo que fue necesario un módulo de separación que cree dos duplicados y luego uno de decisión que permita la entrada al proceso de solamente 59.9% de los mismos. Este cálculo se lo realiza de manera similar al cálculo de salidas por entrada.

##### **8.4.4.2 Número de salidas por entrada**

Utilizando el formato de cálculos del Anexo C, Tabla C.7 se encontró que para el Estiraje 2 se requiere un duplicado que pase 90.5% de las veces, mientras que para el Estiraje 6 se requieren dos duplicados de los cuales 90.8% van hacia el siguiente proceso. El modelo completo se muestra en el Anexo D, Gráfico D.3.

#### **8.4.5 Modelo de Estiraje Paso Final**

##### **8.4.5.1 Asignación de máquinas por menor número de entidades en cola**

El material que sale de Estiraje 2 debe distribuirse entre Estiraje 3 y 4 por lo que se incluyó un módulo de decisión por condición de menor cola entre las dos máquinas.

#### **8.4.5.2 Reordenamiento de colas**

En el Paso Final fue necesario reubicar material desde Estiraje 7 hacia Estiraje 3 o 4, dependiendo cual de estos tiene menor cola. Se incluyó primero un módulo de decisión por menor cola y luego se convirtió el peso de entrada hacia Estiraje 7 al de Estiraje 3 y 4. Dado que en ambos casos la relación del peso fue menor que uno, se incluyeron solamente módulos de decisión del 71.1% para Estiraje 4 y de 62% para Estiraje 3.

#### **8.4.5.3 Número de salidas por entrada**

Utilizando el formato de cálculos del Anexo C, Tabla C.8 se encontró que para el Estiraje 3 se requieren siete duplicados, de los cuales deben pasar el 90.7% de las veces, para Estiraje 4 se requieren cuatro duplicados de los cuales 97.5% van hacia el siguiente proceso y finalmente para Estiraje 7 se necesitan cuatro duplicados y solamente 81.8% continúan al siguiente proceso.

El modelo completo se muestra en el Anexo D, Gráfico D.4.

#### **8.4.6 Modelo de Pabileras**

##### **8.4.6.1 Asignación de máquinas por menor número de entidades en cola**

Se estableció que el material procesado en Estiraje 3 va a Pabilera 1, de Estiraje 4 va a Pabilera 2 y de Estiraje 7 debe dividirse entre Pabileras 3 y 4 de acuerdo a un módulo de decisión por menor cola entre estas máquinas.

##### **8.4.6.2 Reordenamiento de colas**

Al correr el modelo se observó que era posible reubicar material de Pabilera 1 hacia Pabileras 2 y 3. No se considera mover tarros a Pabilera 4 porque la Pabilera 3 tiene capacidad para procesar todo el material adicional. Un lote de Pabilera 2 es igual al 96.63% del lote de Pabilera 1 por lo que se utilizó un módulo de decisión para realizar esta transformación. Para Pabilera 3 se incluyó primero un módulo de separación que cree un duplicado y luego una decisión que permita pasar al proceso solamente 4.68% de los mismos.

#### **8.4.6.3 Número de salidas por entrada**

Utilizando el formato de cálculos del Anexo C.9 se encontró que para Pabileras 1 y 2 se requieren dos duplicados , de los cuales deben pasar el 51.6% de las veces, mientras que para Pabileras 3 y 4 se requieren cinco duplicados y solo el 81.8% va al siguiente.

El modelo completo se muestra en el Anexo D, Gráfico D.5.

### **8.5 Resultados y análisis**

Dado que el objetivo de la simulación es determinar los niveles de inventario en proceso existente y el estado del flujo de materiales, en general se analizará específicamente el tamaño de las colas, el tiempo de espera y el número de salidas en el sistema en un tiempo determinado. Este último análisis sirve únicamente para determinar la frecuencia de entrada de entidades a los modelos siguientes. En el análisis de cada modelo se presentará un gráfico de barras del promedio del tamaño de las colas, WIP, y del tiempo de espera de las veinte réplicas realizadas. El promedio de tiempos de espera servirá únicamente de referencia para señalar cuanto se aumenta el tiempo de ciclo debido a las colas, pero no se lo podrá tomar literalmente, dado que este valor se refiere a la espera de unidades “ficticias” formadas para representar el número de salidas por entradas en cada proceso. En el Gráfico 7.2 se muestra el número de corridas por máquinas que se obtuvieron en ocho horas.

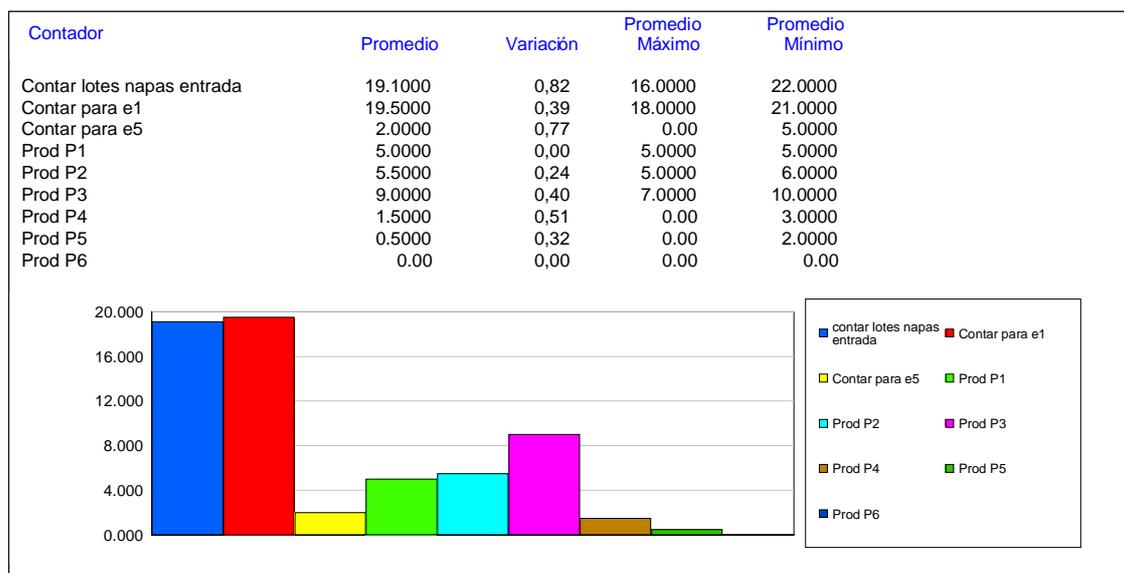


Gráfico 7.2 Contador Peinadoras

En el Gráfico 7.2 se observa que la Peinadora 6 no es utilizada en ningún momento y que las Peinadoras 4 y 5 se utilizan rara vez. Esto indica que el proceso de Peinado tiene excesiva capacidad de producción en relación a la disponibilidad de algodón proveniente de la Reunidora de napas. Por lo tanto se puede concluir que podría eliminarse completamente una máquina del proceso sin afectar el flujo de materiales. En el día a día en la fábrica esta situación no es tan evidente debido a que las primeras cinco máquinas no son utilizadas con la eficiencia calculada en el resumen del flujo de materiales, obligando a trabajar a la Peinadora 6. Por otro lado, es importante aclarar que el programa siempre da prioridad a la primera condición de cualquier módulo de decisión. Es decir, que si se tienen tres condiciones siempre la primera será escogida sobre las demás. Por ello, la Peinadora 6, en el proceso real, si tiene trabajo, pues los operadores deciden indistintamente a que peinadora dar trabajo, pero si aplicaran la lógica de evaluar siempre la Peinadora 1, luego la Peinadora 2 y así sucesivamente, se lograría el mismo resultado de cero producción en la Peinadora 6.

En el Gráfico 7.3 se observa el tamaño de las colas y los tiempos de espera de cada máquina.

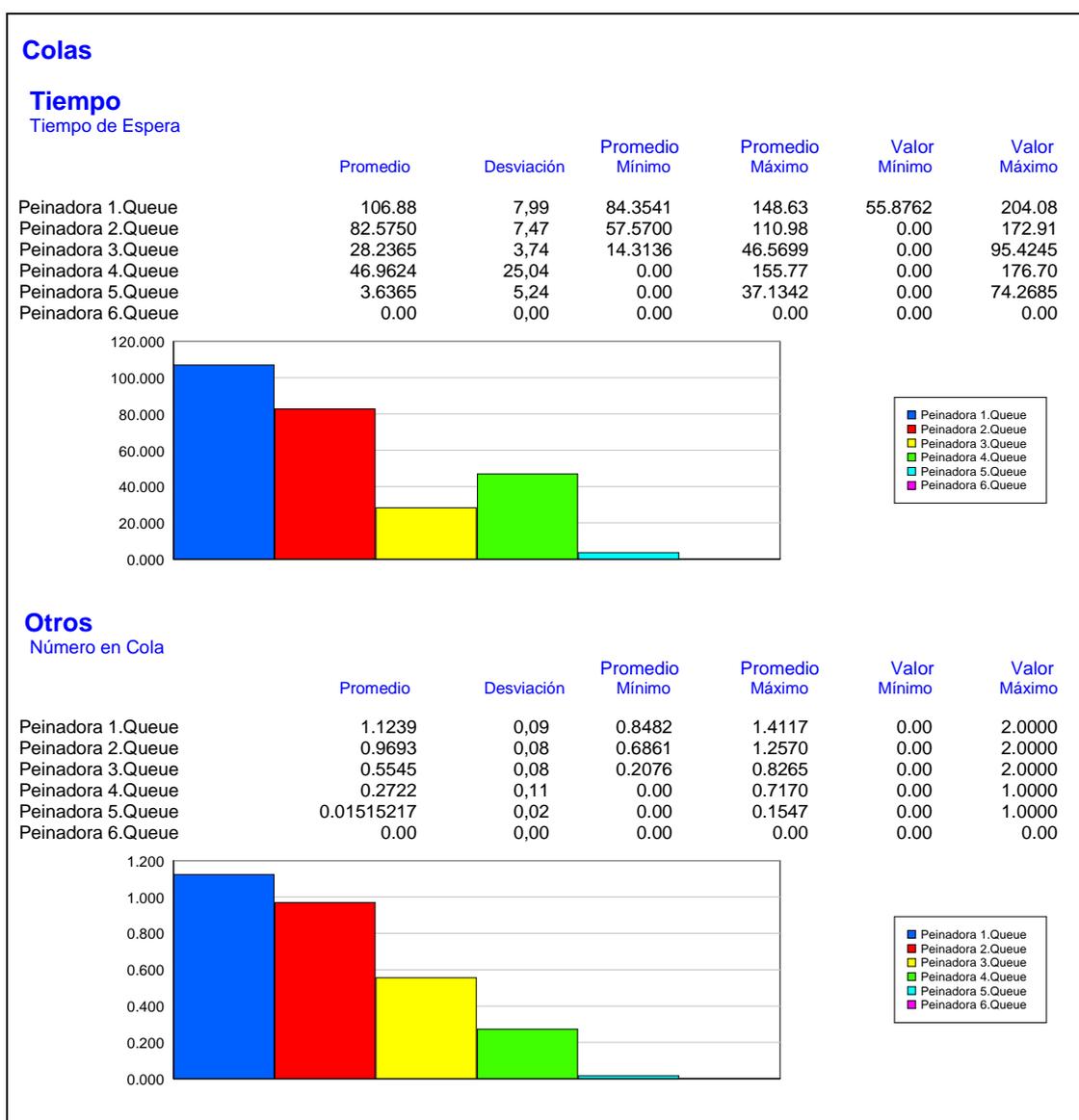


Gráfico 5.3 Tiempos (min) y Tamaño de las Colas Peinadoras

El tamaño de las colas está dividido por máquinas, cuando en realidad se almacenan todas las napas en un mismo lugar hasta ser colocadas en las Peinadoras detrás de las napas que están cerca de acabarse. Esto acelera el proceso de cambio de napas cuando estas se acaban. Se observa que en promedio se tiene una cola total menor a tres lotes. Considerando los tiempos máximos de espera, el menor de todos es 74 minutos, se podría pensar en tratar de reducir el inventario de napas pero en la práctica sería muy difícil considerando la gran variabilidad en los tiempos de producción de las máquinas ya

que no es posible establecer un cronograma relativamente preciso de los momentos en que serán necesarios nuevos lotes de napas. Por último, eliminar la Peinadora 6 implica un ingreso económico debido a la venta de la máquina y una ganancia de espacio físico en la planta, ya sea para ser utilizado para almacenamiento de materiales, facilitar el transporte de materiales hacia y desde las máquinas cercanas o para reubicar otras máquinas de manera más coherente.

En el Gráfico 7.4 se observa el número de corridas de producción que realizaron Estiraje 1 y Estiraje 5 en ocho horas.

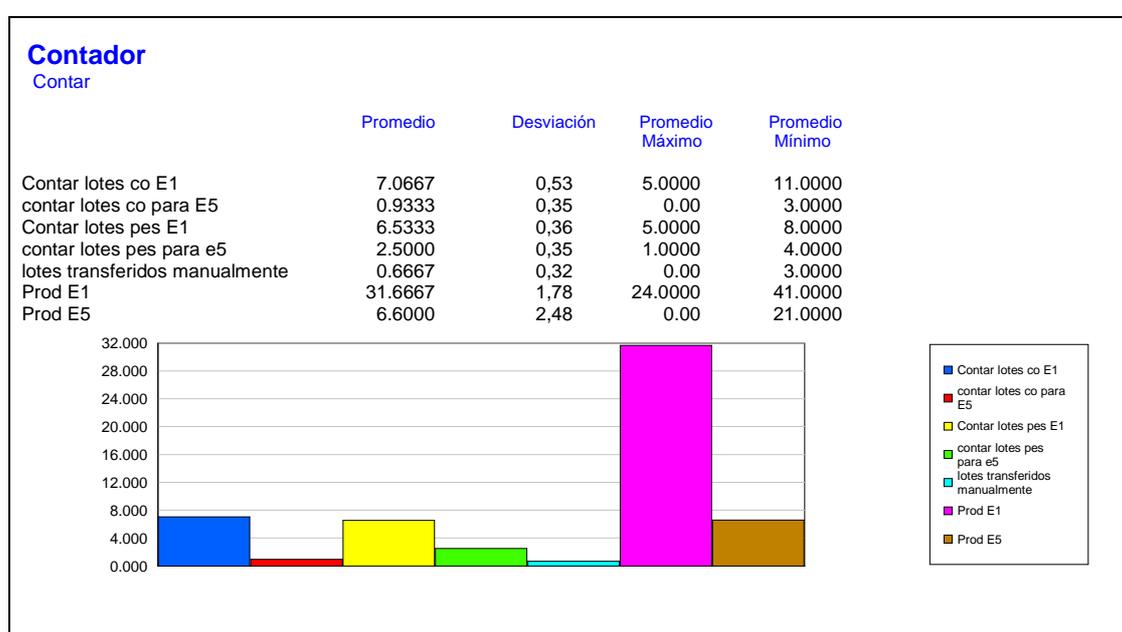


Gráfico 7.4 Contador Estiraje Paso 1

Para este modelo se incluyó un módulo de decisión que determine si la cola para Estiraje 1 es suficientemente grande como para enviar material para producirse en Estiraje 5. Se modificó el modelo algunas veces hasta encontrar la combinación de módulos de decisión que optimicen el resultado, de esta forma se incluye en el modelo la decisión de los operadores de transferir lotes de unas máquinas a otras. Se observa que en ocho horas, el Estiraje 5 produce en promedio 6,6 unidades, este resultado es un tanto inesperado dado que aparentemente esta máquina trabaja todo el tiempo, sin embargo, según el resumen del flujo de materiales, el Estiraje 1 tiene capacidad de procesar 12% más material del que envían las seis Peinadoras juntas llegando a un total de 31.6 tarros del doble del peso de lo que en realidad se produce. Esta unión se hizo para asegurar que

el programa no exceda el número máximo de entidades y poder simular sin problemas el proceso, sin embargo, dada esta transformación, el inventario deberá considerar que las colas son siempre el doble de lo que la simulación determina. Se puede concluir que incluso el 12% de exceso de capacidad no es suficiente para mantener el flujo continuo cuando la variabilidad en los tiempos de producción es significativa.

En el Gráfico 7.5 se observa claramente el comportamiento de las colas de los dos Estirajes del Paso 1.

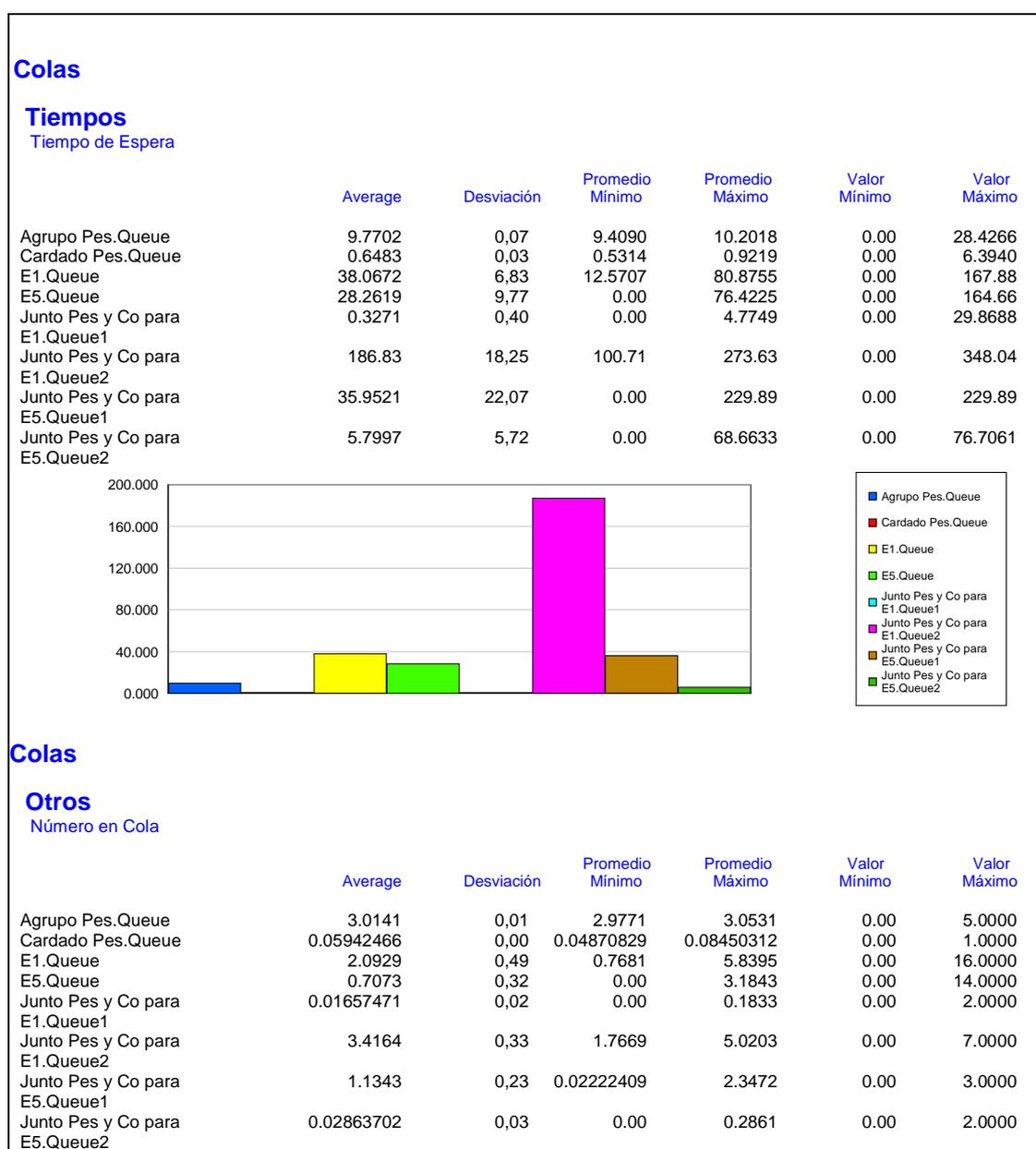
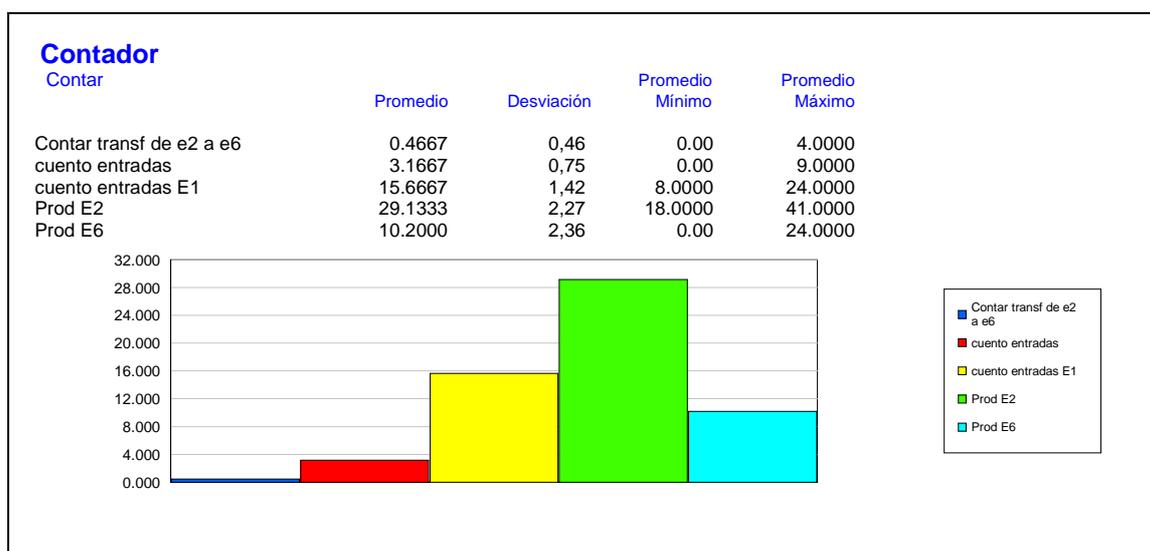


Gráfico 7.5 Tiempos (min) y Tamaño de las Colas Estiraje Paso 1

El promedio mínimo de lotes en cola para Estiraje 1, 0,76, sugiere que el reordenamiento de lotes fue efectivo dado que este valor es mayor que cero; sin embargo en algún momento se quedó sin material ya que el valor mínimo de lotes en cola es 0. Es probable que en este momento Estiraje 5 también tuviera cero unidades en cola ya que el modelo intenta ocupar Estiraje 1 siempre que esté disponible. Se puede concluir por lo tanto que las Peinadoras limitan la capacidad de producción del Paso 1 de estirajes, pero no son el cuello de botella del proceso, ya que a su vez la capacidad del proceso de peinado está limitado por la producción de napas de la Reunidora de napas. Además, las colas de poliéster proveniente de Cardas son mucho menores que las de algodón proveniente de peinadoras, lo que también se convierte en un limitante para el proceso de unificado que se realiza en el Paso 1.

En el Gráfico 7.6 se observan las corridas de producción que realizaron Estiraje 2 y Estiraje 6 en ocho horas.



En este modelo se acomodaron las colas de la misma forma que se realizó para el modelo anterior aunque de forma un poco más simple ya que no tiene módulos de empate o “match,” por lo que no fue necesario simular la posibilidad de mover material desde Estiraje 6 a Estiraje 2. Así mismo se encontró que Estiraje 2 tiene capacidad de procesar 75% del material que entra por lo que Estiraje 6 estará constantemente subutilizado. Esta situación hace que los operadores sean menos eficientes al trabajar

ambas máquinas ya que saben que descuidos esporádicos de la producción no deberían afectar la producción final y seguirían cumpliendo las bases mínimas. Se debería realizar un análisis de costos de producción para determinar si resultaría conveniente cambiar los métodos de trabajo para aprovechar al máximo la capacidad del Estiraje 2 mientras Estiraje 6 pasa casi siempre desocupada, en lugar de bajar la eficiencia de Estiraje 2 para incrementar la de Estiraje 6. Es probable que en este estudio se encuentre que la hora de producción en Estiraje 2 es menos costosa que en Estiraje 6 y que además Estiraje 2 da mejores resultados respecto a la calidad del material. Con el Gráfico 7.7 se puede analizar el comportamiento de las colas para el Paso 2 de estiraje.

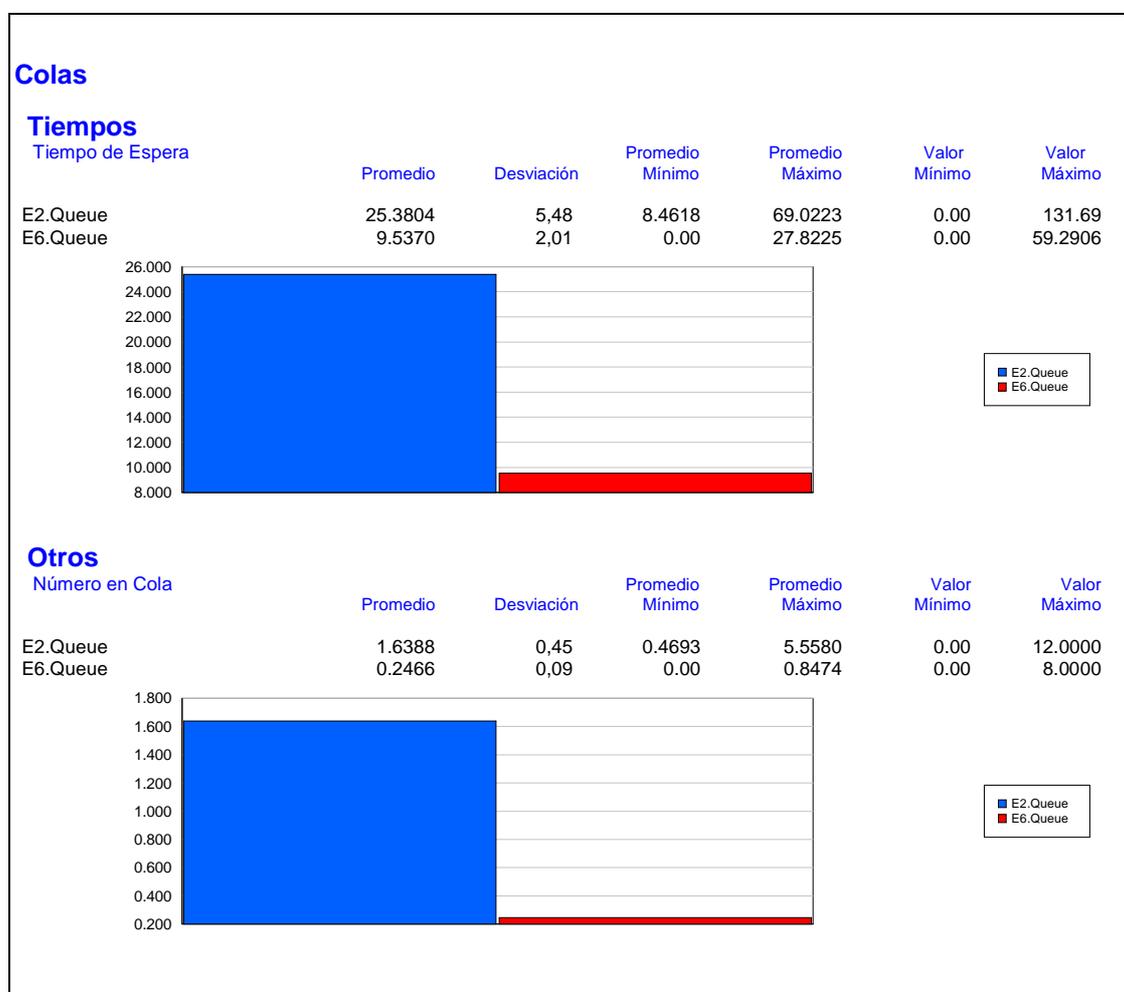


Gráfico 7.7 Tiempos (min) y Tamaño de las Colas Estiraje Paso 2

Se puede observar que tanto el número de lotes en cola como el tiempo de espera son mayores en Estiraje 2. Esto ocurre porque se está enviando la mayor parte del material a Estiraje 2. Aunque este modelo es óptimo en cuanto a la forma en que se simuló el reordenamiento de las colas desde Estiraje 2 a Estiraje 6 es probable que en la práctica se pueda controlar esto de mejor manera y se logre producir uno o dos lotes más en Estiraje 6, sin dejar de producir en Estiraje 2. La limitante que presenta la simulación es que la regla de despacho de lotes está siempre definida por la misma expresión, mientras que en la realidad la lógica de esta decisión puede variar de un momento a otro.

En el Gráfico 7.8 se observa el número de corridas de producción que realizaron los Estirajes 3, 4 y 7 en ocho horas.

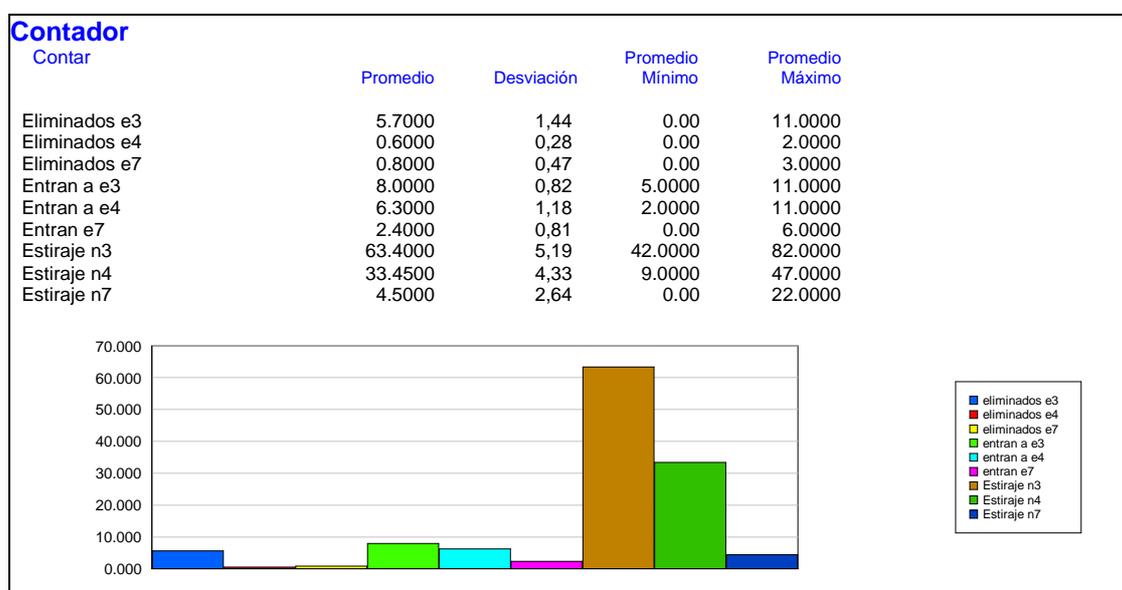


Gráfico 7.8 Contador Estiraje Paso Final

En este modelo también se incluyó un módulo de corrección de colas, de forma que se puedan equilibrar las colas de los Estirajes. Este módulo de decisión se ubicó antes del módulo de separación que convierte las entradas en número de salidas correctas, de forma que el exceso de cola que existía en este proceso sea menor, redireccionado a las otras dos colas que no tenían tanta carga. En las ocho horas de simulación se obtienen producciones bastante diferentes, pero esperadas. El Estiraje 3 cuyo tiempo de procesamiento es superior a los otros produce hasta 63.4 tarros, mientras que el Estiraje 4, que es más lento y saca más metraje, produce 33.45 tarros. El Estiraje 7, dada la

redirección de colas, produce solamente 4.5 tarros. Esto permite ver que este último proceso no es del todo necesario y que la capacidad de los dos anteriores podría ser suficiente para este paso.

Para estos mismos procesos, en el Gráfico 7.9 se muestran las colas de cada uno de los Estirajes:

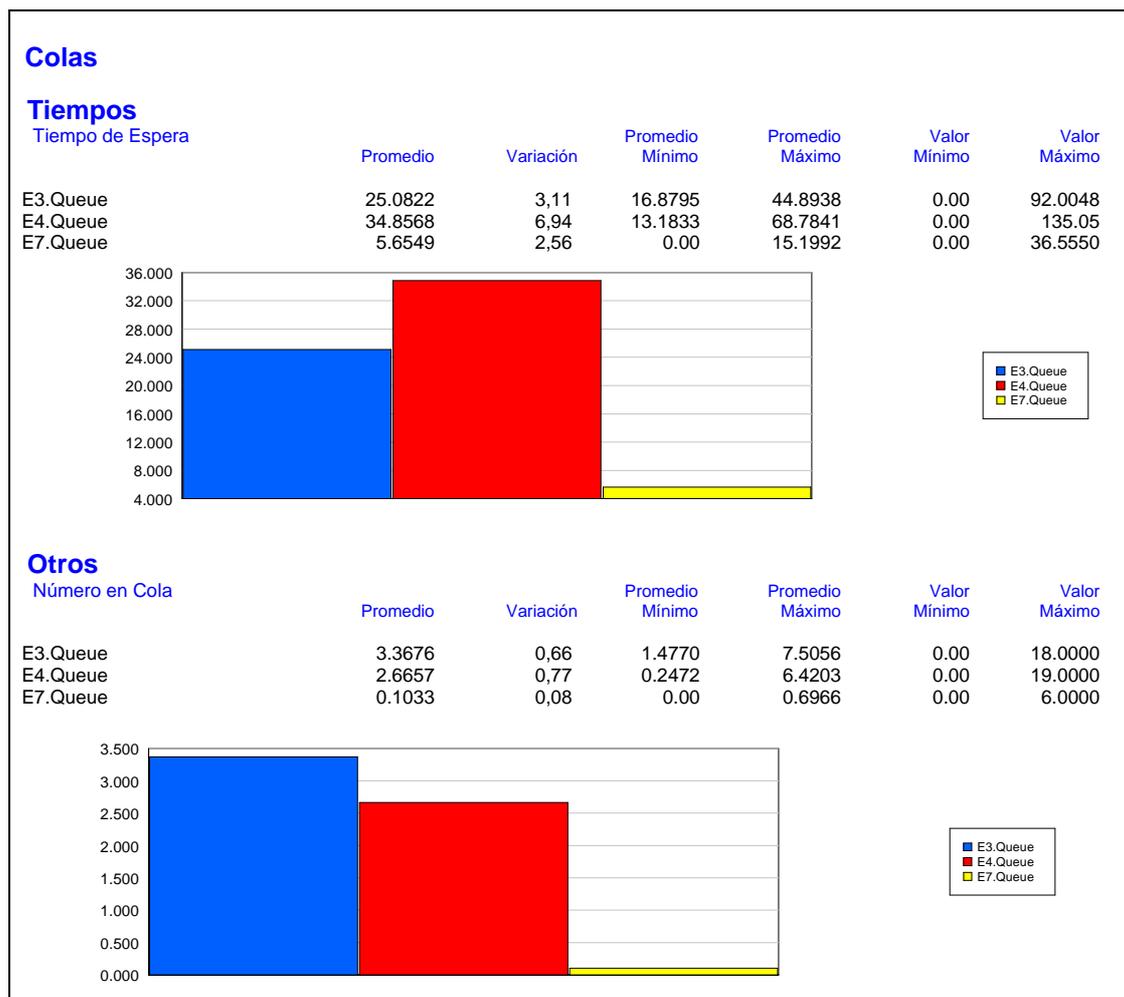


Gráfico 7.9 Tiempos (min) y Tamaño de las Colas Estiraje Paso Final

Las colas muestran que el reordenamiento de colas fue efectivo, pues en principio el Estiraje 7 tenía una cola extremadamente grande (casi de 320) por el alto ingreso y la poca capacidad de procesamiento. Al distribuir estos ingresos enormes, las colas aumentaron levemente en los Estirajes 3 y 4, sin embargo, se redujo mucho el nivel de espera en el paso 7. Esta reducción, como ya se dijo, se debe a la alta capacidad de los

procesos 3 y 4, que pueden abarcar más producción. Las colas de 3.36 y 2.66, representan correctamente el proceso ya que el tercer paso tiene más capacidad de producción que los otros dos. Por la producción obtenida se puede saber que el siguiente proceso, Pabileras, tiene suficiente material para trabajar en relación a la necesidad de las hilas. Además, la capacidad de este proceso está subutilizada, pues al tener tres máquinas y que una de ellas solo logre una producción de 4.5 tarros en ocho horas, puede verse que de haber más material de entrada, la producción podría aumentar en una buena proporción, tanto que podrían llegar a producirse hasta sesenta tarros más por las mismas ocho horas de trabajo.

En el Gráfico 7.10 se observa el número de corridas de producción que realizaron las Pabileras:

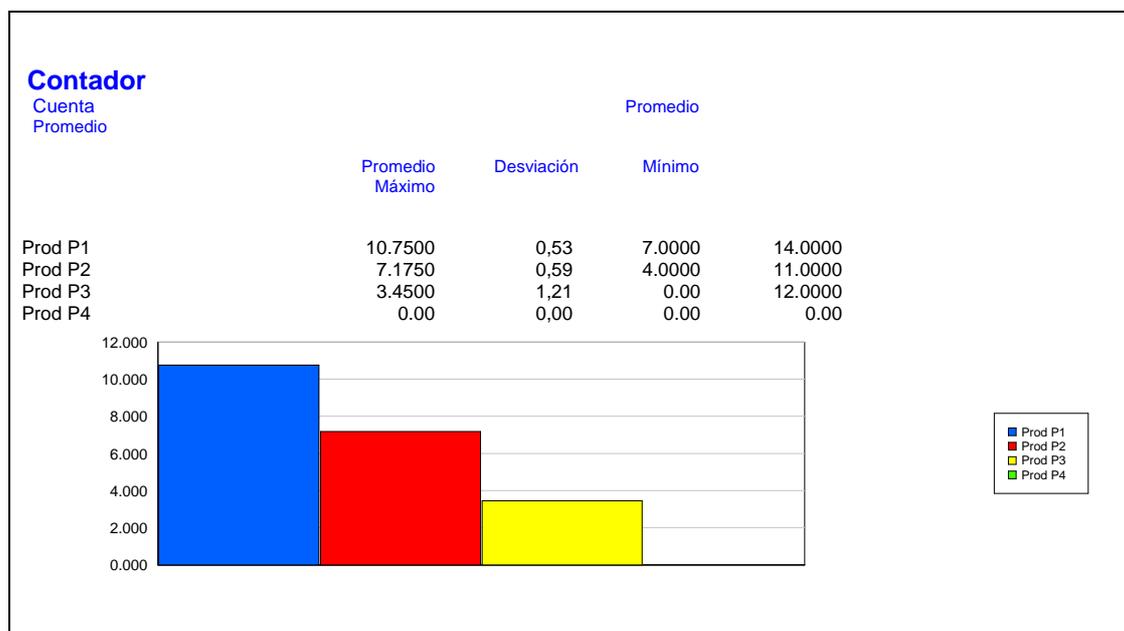


Gráfico 7.10 Contador Pabileras

La simulación de Pabileras resultó un poco diferente de las otras, pues para que sea factible y poder ver resultados, fue necesario extender el tiempo de cada corrida a treinta y seis horas, de modo que se vea producción en las máquinas. En las ocho horas anteriores, solo se alcanzaba a ver una o dos salidas de las Pabileras 1 y 2 (P1 y P2), mientras que de las otras no se veía ninguna. Por otro lado, y utilizando la misma lógica que en los modelos anteriores, para disminuir en algo la cola que se estaba acumulando en Pabilera 1 se puso un módulo de decisión que elige la cola más pequeña entre Pabilera

1 y Pabilera 2 de forma que Pabilera 2 puede producir mejor. Por otra parte, Pabilera 3 y Pabilera 4 tienen un ingreso directo de material no muy alto, proveniente de Estiraje 7, y, por un módulo de decisión se elige la máquina que va a producir bajo la lógica de menor cola.

Es importante aclarar que para este modelo se asume que los tarros de entrada para Pabilera 1 y Pabilera 2 son iguales. Ésto no es cierto en la práctica, pero para la simulación se obtuvo un promedio ponderado que toma en cuenta el número de tarros con un metraje de 3000 que salen de Estiraje 3 y el número de tarros con metraje de 4500 que salen de Estiraje 4. Este promedio ponderado es el que se utiliza para calcular el peso de entrada y poder así calcular cuantas salidas por cada entrada se pueden producir. Con esta suposición la producción de Pabileras alcanza 10.75 para Pabilera 1, 7.71 para Pabilera 2, 3.45 para Pabilera 3 y 0 para Pabilera 4. Estos datos son lotes de producción por tiempo. Entonces, Pabilera 1 produce 10.75 lotes de 119 pabilos, Pabilera 2 produce 7.71 lotes de 115 pabilos, Pabilera 3 produce 3.45 lotes de 84 pabilos y, finalmente, Pabilera 4 no produce. A partir de esta información se puede ver claramente que la capacidad de este último proceso excede al material para procesar que ingresa. De la misma manera que el resto de procesos es posible ahorrar utilización de equipos reduciendo variabilidad y aumentando producción a partir de prácticas de calidad.

En el Gráfico 7.11 se puede ver la distribución de las colas, tiempos de espera y otros valores. En este proceso se observa que las colas son mínimas. En realidad en todas las máquinas el promedio de colas nunca llega a ser un lote completo de producción. Como se puede ver y esperar, en Pabilera 4 las colas son muy pequeñas, pues como se dijo, esta máquina se utiliza muy poco y procesa muy poco material. Por otro lado, vemos que la cola de Pabilera 2 es un poco mayor que la de Pabilera 1, pero al igual que en el proceso anterior, esta diferencia de cola es mucho menor a la diferencia en el modelo sin reordenamiento de colas. Por ello este sistema se vuelve más eficiente y modela mejor la producción.

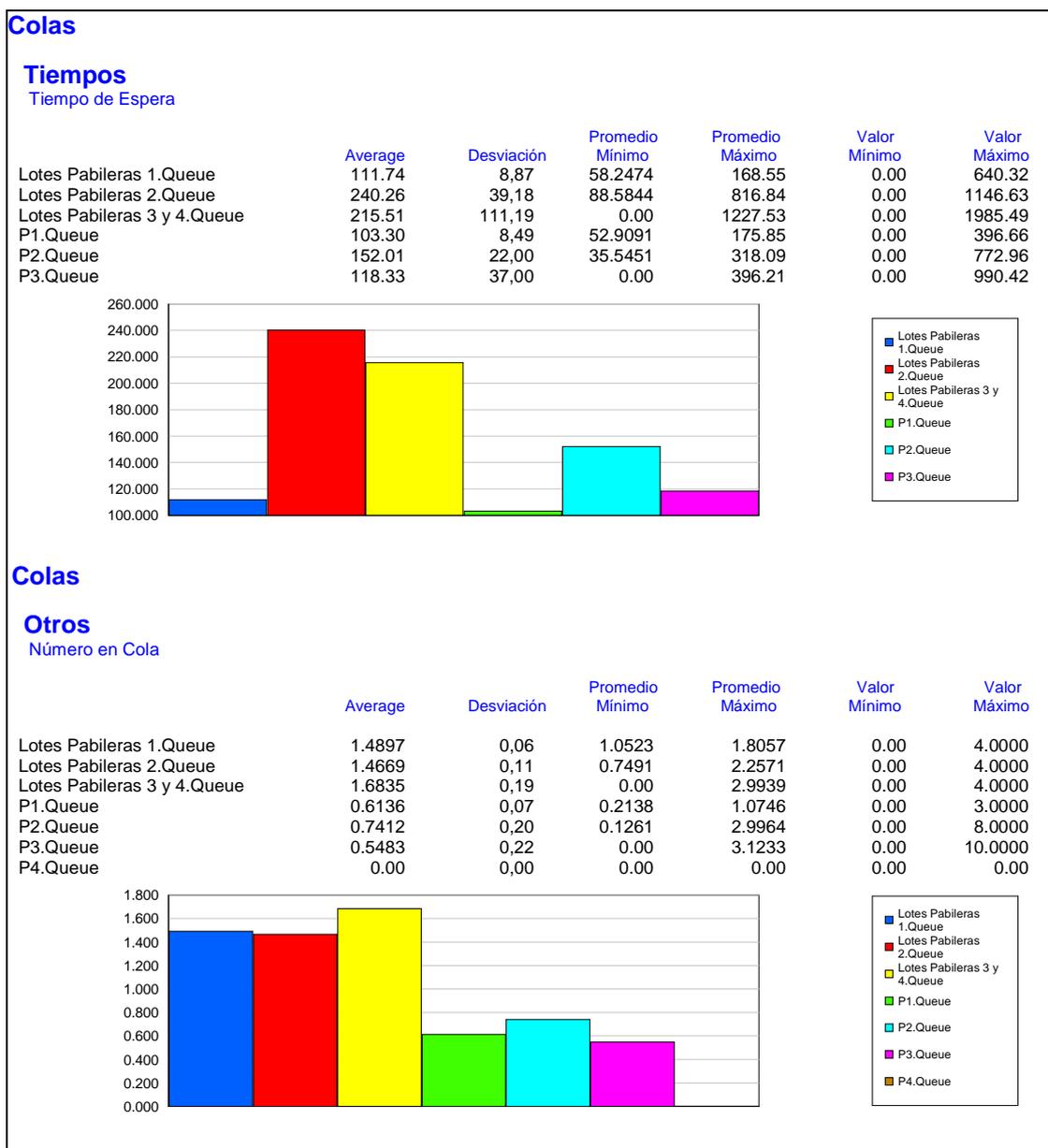


Gráfico 7.11 Tiempos (min) y Tamaño de las Colas Pabileras

## 8.6 Verificación y validación de la simulación

La verificación de un modelo consiste en comparar la lógica del modelo con la realidad para asegurar que son consistentes mientras que la validación busca determinar si los resultados del modelo son consistentes con el comportamiento del proceso real bajo diferentes circunstancias (Baker, 356). Usualmente las dos se realizan paralelamente en un proceso iterativo que consiste en probar y mejorar el modelo hasta que el analista y

gente experta tanto en el proceso real como en el funcionamiento del software estén satisfechos con los resultados.

En este caso se buscó asesoría respecto al comportamiento del software cuando se presentaban incoherencias en los resultados y se validaron los resultados respecto a un informe de producción real de la empresa y respecto al resumen del flujo de materiales calculado con la información obtenida del estudio de tiempos. Este proceso sirvió para constatar que la simulación representa el modelo real de forma eficiente. Además, se pudo comprobar que la simulación no está escondiendo o perdiendo material sin razón, es decir, se aseguró que los modelos, aunque fueron creados separadamente, sean capaces de pasar correctamente el material de un proceso al siguiente.

Para comparar el error de cada uno de los modelos, se inició considerando la producción total de peinadoras, con la que se tiene calculada como producción promedio real de la empresa. Sin embargo, los modelos de Estiraje no se compararon con los datos reales, sino con los modelos anteriores para poder asegurar que cada uno estaba trabajando según se esperaba. Los errores encontrados que se ven en la Tabla 7.4 muestran que no hay un exceso de producción perdida o que se esté procesando significativamente más material del que teóricamente debería entrar al proceso. Finalmente, el modelo de Pabileras se comparó con dos números. El primer número es la producción posible respecto al material procesado en el paso final de estiraje. Este error, como se ve en la Tabla 7.4 es pequeño, en el orden de 3.52%. El segundo número que se utilizó para la validación fue el dato real de producción de hilas y se obtuvo un error de 0.11%. Estos resultados confirman la capacidad de la simulación de recrear el sistema real eficientemente.

Tabla 7.4 Validación de la Simulación

CUADRO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS				
PEINADORAS				
PRODUCCION EN 8 HORAS		PESO SALIDA	PESO EN 8 HORAS	LAMDA E HR
PEINADORA 1	5	28,42	142,1	1,6
PEINADORA 2	5,5	28,42	156,31	1,454545455
PEINADORA 3	9	28,42	255,78	0,888888889
PEINADORA 4	1,8	41,65	74,97	4,444444444
PEINADORA 5	0,5	41,65	20,825	16
PEINADORA 6	0	41,65	0	
PESO SEMANAL POSIBLE		14510,125		
PESO SEMANAL	13080,94813	ERROR	-9,85%	
CUADRO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS				
ESTIRAJES PASO 1 (30 REP)				
PRODUCCION EN 8 HORAS		PESO SALIDA	PESO EN 8 HORAS	LAMDA E LOTE HR
ESTIRAJE 1	31,66	48	1519,68	0,505369551
ESTIRAJE 5	6,6	22	145,2	2,424242424
PESO SEMANAL POSIBLE		37075,1444		
PESO SEMANAL	33505,71	ERROR	-9,63%	
CUADRO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS				
ESTIRAJES PASO 2				
PRODUCCION EN 8 HORAS		PESO SALIDA	PESO EN 8 HORAS	LAMDA E LOTE HR
ESTIRAJE 2	29,13	50	1456,5	0,549261929
ESTIRAJE 6	10,2	15,5	158,1	3,137254902
PESO SEMANAL POSIBLE		33237,66432		
PESO SEMANAL	32493,825	ERROR	-2,24%	
CUADRO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS				
ESTIRAJES PASO FINAL				
PRODUCCION EN 8 HORAS		PESO SALIDA	PESO EN 8 HORAS	LAMDA E LOTE HR
ESTIRAJE 3	63,4	13,5	855,9	1,209253417
ESTIRAJE 4	33,45	20,25	677,3625	2,371699053
ESTIRAJE 7	4,5	14,4	64,8	18,22222222
PESO SEMANAL POSIBLE		32233,8744		
PESO SEMANAL	32161,00781	ERROR	-0,23%	
CUADRO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS				
PABILERAS				
PRODUCCION EN 30 HORAS		PESO SALIDA	PESO EN 30 HORAS	
PABILERA 1	10,75	301,53	3241,4475	
PABILERA 2	7,175	312,018	2238,72915	
PABILERA 3	3,45	114,93284	396,518298	
PABILERA 4	0	114,93284	0	
PESO SEMANAL POSIBLE		31871,55874		
PESO SEMANAL	31538,26289	ERROR	-1,05%	
PESO SEMANAL REAL	32581,77453	ERROR	-3,20%	

## 8.7 Inventario

Se determinaron los niveles de inventario esperado para cada proceso, a partir de los cuales la empresa debería determinar la ubicación y capacidad de los lugares de almacenamiento. Estos niveles de inventario se obtuvieron de los resultados de la mejor asignación posible de las máquinas en función de la cantidad de producción alcanzada. El inventario obtenido directamente de los resultados de la simulación no es real ya que cuenta la suma de los lotes originales y sus duplicados, por lo que hay que transformarlo a número de lotes reales, y luego, al multiplicar por el número de unidades en un lote, se obtienen el total de tarros disponibles. En la Tabla 7.5 se encuentra el resumen de inventarios promedio para cada proceso. Los cálculos utilizados para encontrar estos valores pueden revisarse en el Anexo C, Tabla C.1.

Tabla 7.5 Resumen de Inventarios Promedio

<b>Proceso</b>	<b>Número</b>		<b>Unidades</b>
<b>Peinadoras</b>	9.84		Napas
<b>Material</b>	<b>Algodón</b>	<b>Poliester</b>	
<b>Estiraje Paso 1</b>	6.68	3.25	Tarros
<b>Estiraje Paso 2</b>	3.76		Tarros
<b>Estiraje Paso 3</b>	4.09		Tarros
<b>Pabileras</b>	30.31		Tarros

## 9 Oportunidades de mejora

- Se ha observado que los hilos de diferentes títulos no están codificados debido a que en ocasiones no hay conos suficientes para hacerlo. Por lo general se intenta utilizar un mismo tipo de cono para cada tipo de hilo pero esto no está estandarizado por aquellas ocasiones en que no es posible hacerlo. Adicionalmente los lugares de almacenamiento para los diferentes productos en proceso y materiales no está definido debido a falta de espacio y supervisión por lo que en ocasiones se pierde tiempo en encontrar el tarro deseado.

Una opción para resolver este problema es comprar más conos para aquellos materiales que se producen más frecuentemente y otra es crear un sistema de señalización para los tarros que no sea costosa, sea fácil de implementar, sea comprensible para los operadores y permita identificar los tarros desde una distancia considerable.

Se propone colocar sobres transparentes en todos los tarros y preparar unas tarjetas de colores, tantos colores como producto en proceso y materiales se tengan. El objetivo es que el operador al retirar las paradas en los tarros coloque en el sobre la tarjeta con el color correspondiente, de esta forma no se pueden confundir los materiales y los tarros son fácilmente identificables a la distancia.

A su vez el operador que utiliza el material debe retirar la tarjeta y llevarla a un lugar determinado para almacenarlas de tal forma que no se pierdan fácilmente.

Se podría agregar un tema de trazabilidad al agregar tarjetas con números para identificar la máquina de donde proviene el material. Esto facilitaría el control de calidad debido a que las pruebas no requerirían interrumpir el proceso de producción y podrían identificarse mejor las repercusiones de ciertas deficiencias de calidad en procesos siguientes.

- Se ha observado que en la planta existe mucho inventario en proceso, lo que además de aumentar los costos de mantener inventario, ocasiona tráfico en el movimiento de materiales, demora los movimientos de los operadores y fuerza a ubicar tarros con inventario lejos de la máquina donde serán utilizados.

Los resultados de la simulación demuestran que al mejorar el flujo de materiales asignando máquinas adecuadamente se lograría reducir el material en proceso y estandarizar los lugares de almacenamiento lo cual facilitaría el trabajo de los operadores al disminuir los movimientos del material.

Para que esta solución sea factible es necesario reestructurar el sistema de incentivos ya que actualmente este está enfocado a que los operadores superen las bases establecidas. El problema que tiene este sistema es que la producción no está balanceada debido a que en un turno se puede tener sobreproducción mientras que en el siguiente se tienen paros de máquinas por “falta de material.”

Por esta razón se propone crear un sistema de control de producción tipo KANBAN que permita a los operadores saber si necesitan producir o no y que el sistema de incentivos se base en el cumplimiento de este nuevo sistema. Debido a su naturaleza, parar la mayoría de máquinas hasta tener una señal para empezar a producir no implica tiempos significativos de preparación ni daños en el material. En las pabileras y las hilas sería necesario terminar la corrida de producción antes de interrumpir la producción.

Para implementar el sistema de señales sería necesario capacitar a los operadores y hacerlos comprender que sus incentivos no serán perjudicados y que en algunos casos incluso se reducirá su carga de trabajo.

- Se ha observado que durante los treinta minutos que los operadores tienen de receso para almorzar, la mayor parte de las máquinas de la sección de hilatura están paradas debido a alguna falla en la máquina o el material.

El estudio de tiempos y paros ha demostrado que la probabilidad de que las máquinas fallen durante los treinta minutos de receso es considerablemente alta. Por esta razón se propone analizar un horario de almuerzos que permita que la mitad de las máquinas del mismo tipo funcione continuamente, esto implicaría por ejemplo que los operadores de los Estirajes 3 y 4 que realizan el paso final del estiraje no almuerzen simultáneamente permitiendo que el flujo de material hacia las pabileras continúe aunque a menor velocidad. Lo mismo debería repetirse para todos los grupos de máquinas que realicen la misma función. Para las Reunidoras de cintas y de napas que son máquinas únicas se sugiere capacitar a

otros operadores para atender estas máquinas también, únicamente en el momento del almuerzo y siempre que no se deteriore la calidad de su trabajo. Dichos operadores podrían recibir mayores incentivos salariales dado que se les aumenta la carga de trabajo.

- Se ha observado que el piso de la planta es desigual, haciendo que de vez en cuando la gente se tropiece y que a los operadores se les caiga los tarros, ocasionando maltrato al tarro y al material, lo que provoca paros innecesarios en los siguientes procesos.

Se comprende que es extremadamente complicado encementar todo el piso de la planta nuevamente porque implicaría desarmar y mover las máquinas pero sería recomendable al menos arreglar el piso parcialmente, en los lugares que se definan como ruta para el manejo de materiales.

- Se ha observado que el cambio de tarros en Pabileras resulta extremadamente largo dado que se cambian a veces más de 60 tarros simultáneamente a pesar de que se supone que lo deberían hacer en 4 grupos. Este proceso tarda alrededor de cuarenta minutos que luego tienen un efecto significativo sobre la utilización de husos en las hilas, ya que se trabaja la máquina sin aprovechar su capacidad total.

Sería recomendable cambiar los tarros en grupos de menor tamaño, facilitando el trabajo al barredor encargado de movilizar los tarros y al operador, ya que tendría tiempos de paros menores e inclusive podría adelantar la tarea mientras las máquinas están funcionando normalmente. Para poder cambiar los tarros en grupos más pequeños se necesitaría tener más espacio atrás de las máquinas para colocar los tarros de tal manera que se pueda acceder a grupos de ellos más fácilmente. Si se eliminara la Pabilera 4 del proceso esto sería posible para la Pabilera 3.

## **10 Transporte**

El transporte de materiales es un elemento crítico en el sistema de producción de Tejidos Pintex S.A. Durante todo el proceso existe una continua movilidad de material alrededor de la planta. A través del estudio realizado, se han identificado diferentes problemas con respecto al tema y sobretodo, se ha determinado que muchos procesos están sufriendo una disminución en la calidad de sus salidas pues durante el movimiento del material desde el proceso anterior, éste es maltratado y no llega en óptimas condiciones causando demoras innecesarias, afectando la eficiencia del proceso productivo, dañado los elementos de transporte y de trabajo y deteriorando, consistentemente, la calidad. Por ello, a través del estudio, se han encontrado puntos críticos en los que el transporte es totalmente inadecuado.

### **Transporte de pabilos**

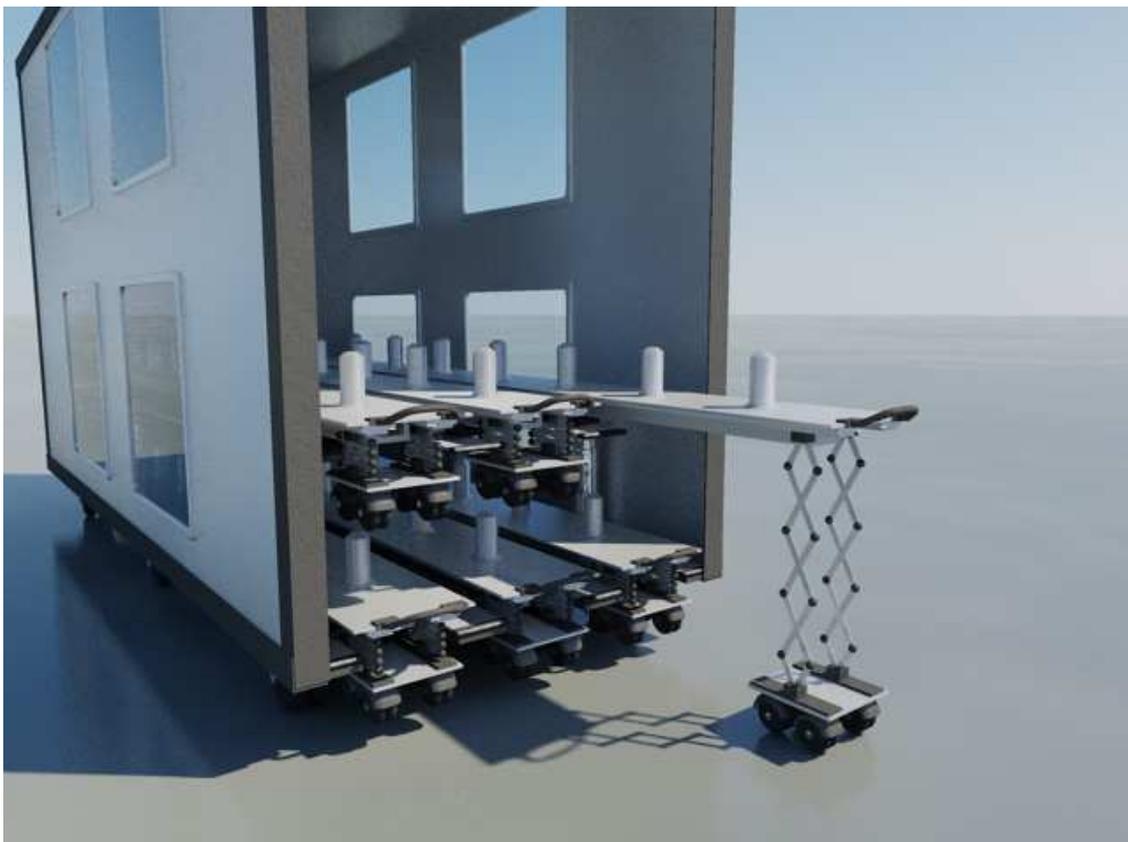
Los pabilos son cilindros de plástico con cinta de algodón, sin torsiones, enrollada en ellos. Esta cinta es muy frágil, dado que las fibras del algodón están solamente alineadas, por lo que pueden separarse o romperse muy fácilmente. En el proceso actual, la descarga de cada parada de pabileras se realiza con la ayuda de carritos metálicos dentro de los cuales se ubican los pabilos haciendo una suerte de pirámide, donde los pabilos del fondo soportan todo el peso de aquellos que son puestos encima durante la descarga. El problema con esta práctica es que el momento en que se juntan las cintas de algodón de dos pabilos diferentes estas tienden a unirse y el momento de separar las dos cintas, una de ellas puede romperse mientras que la otra puede perder su título y perder las propiedades necesarias para el proceso de hilatura. Por ello, se han analizado las maneras en las que los pabilos pueden ser cargados de forma que se pueda conseguir un transporte correcto y que tenga un mínimo impacto en el material.

En principio, las ideas se enfocaron a evitar el toque de las cintas de los pabilos. Para ello se pensó en un sistema que sostiene los cilindros colgados y alineados en fila, evitando golpes o cargas innecesarias sobre la cinta. Para ello se usaría una suerte de carro que tendría un sistema para soportar cada pabilo. Sin embargo, por falta de espacio, se determinó que este sistema no podría ser fijo, sino que debía tener cierta movilidad. La distancia de una a otra pabilera, y por lo tanto el espacio disponible para cargar y

descargar la máquina es de alrededor de noventa y cinco centímetros. Por lo tanto, la idea de poner un riel para colgar pabilos hizo difícil, pues el operador no podría trabajar desde un lado del carro para colgar sino desde su cara frontal. Por ello, fue necesario incluir la posibilidad de desplazar los pabilos colgados hacia atrás mientras se iban completando las filas. Para esto fue necesario incluir una banda en la que estarían posicionados los sistemas para colgar los pabilos. Por la complejidad de esta idea, el tamaño del carrito alcanzaría casi los dos metros de altura (2m), haciendo difícil su utilización. Además, otro problema apareció. Los pabilos, al estar colgados tendrían posibilidad de oscilar durante el movimiento del carro, por lo que no se estaba evitando del todo el roce entre cintas. Entonces se definió que adicionalmente a la banda superior, se necesitaría otra inferior que mantuviera fijo al pabilo sin importar el movimiento del carro. Esto hacía crecer la complejidad del carro y además limitaba la cantidad de carga posible de pabilos. Dado que se podrían ubicar solo seis (6) pabilos, por la profundidad máxima de dos metros veinte centímetros (2.20m), la carga máxima del carrito de dos pisos, con dos líneas por piso sería de veinticuatro pabilos. Esta carga máxima requeriría de cuatro descargas para las pabileras de ochenta y dos pabilos y de cinco para las de ciento quince y ciento diecinueve pabilos. Esta limitación de tamaño causaría que el tiempo de preparación de la máquina fuera demasiado alto, demorando aún más la producción, aunque protegía la calidad.

A partir de esta idea base se trató de encontrar una mejor manera de cargar y descargar los pabilos para ganar tiempo y disminuir la complejidad del mecanismo. Analizando la posición de los pabilos se determinó que no era necesaria la banda superior donde irían colgados los pabilos, sino que bastaba con la banda inferior, siempre y cuando los parantes donde encajan los cilindros plásticos sean suficientemente gruesos y altos para evitar que la parte superior del pabilo se mueva lo suficiente para toparse con otro. Con solo la banda inferior se disminuiría la cantidad de material y el peso extra de la banda. Sin embargo, el sistema todavía era complejo. Por ello, se ideó un sistema de rieles móviles que pueden entrar y salir del carro, permitiendo cargar cada piso y cada fila de cada piso independientemente, eliminando la banda y simplemente ubicando rodamientos simples que den movimiento a estos rieles. Además, se determinó que podrían ubicarse tres rieles de ocho pabilos cada una por piso, lo que aumentaba la

posibilidad de carga y descarga hasta cuarenta y ocho pabilos por vez. Sin embargo, apareció un problema, que al tener que poner los pabilos en los parantes, si el segundo piso superaba cierta altura, la ubicación de pabilos sería extremadamente difícil. Por ello, se determinó que el segundo piso podría estar soportado en amortiguadores de aire comprimido y podría subir y bajar fácilmente. Finalmente, se decidió que el carro de transporte sería cerrado, de forma que pueda servir como punto de bodega provisional mientras se espera a la descarga de pabilos y su ubicación en las hilas. Con esto se puede evitar que la pelusa o la suciedad ambiental lleguen a los pabilos y se mezclen con la cinta de algodón, ensuciando el material y disminuyendo la calidad. Estas últimas ideas son las que forman parte del modelo propuesto en los Gráficos 9.1 y 9.2 para el transporte de pabilos.



Diseño por Rafael Pólit

Gráfico 9.1: Diseño de un Coche para Transportar Pabilos (b)



Gráfico 9.2: Diseño de un Coche para Transportar Pabilos (b)

Diseño por Rafael Pólit

### **Necesidades**

Dadas las medidas del carro (2.20x1.50x0.85m) se necesitarían al menos tres carros para que se pueda hacer una parada completa de las pabileras más grandes sin tener que cargar y descargar algún carro. Por la posibilidad de que el término de las paradas de dos pabileras se cruce, se recomienda la construcción de al menos cinco carros. Con este número se podrá cubrir la necesidad básica de transporte y se eliminará por completo el maltrato al material. Para reducir el tiempo de preparación de paradas, es recomendable que sean dos los operadores que realicen la actividad de forma que puedan utilizarse dos carros a la vez, mejorando sustancialmente la velocidad de descarga y recarga de pabileras.

### **Transporte de napas**

Las napas son grandes rollos de cinta de algodón plana que se convierten en la entrada para las peinadoras, donde se separan las fibras largas del algodón de aquellas más cortas y desechables. Estas napas tienen una consistencia muy frágil, por lo que cualquier maltrato puede causar que la cinta se dañe, lo que a su vez causaría problemas en la peinadora, disminuyendo el título de la cinta de algodón peinado, o bien parando por completo la máquina por alguna rotura. Este material debe ser manejado con mucho cuidado. En el procedimiento actual, el material se transporta manualmente, es decir, los operadores cargan cada napa en sus manos y la movilizan hasta la peinadora que requiera material. Durante este proceso, la napa puede toparse con la ropa del operador y aunque solo sería una capa superior, una caída de la napa puede ensuciar el material y puede desenrollar la cinta causando pérdidas de material innecesarias. Además las napas son un objeto relativamente pesado, por lo que el operador necesita (actualmente no tiene) un cinturón para proteger la espalda, pues esta actividad realizada repetidamente puede darle problemas en el futuro. Por otro lado, y dentro de la misma propuesta, los cilindros de napas vacíos no son transportados de manera adecuada, ni tienen un lugar donde ser ubicados después de ser removidos de la Reunidora de napas o de las peinadoras. Por ello son ubicados en el piso sin ningún orden o cuidado.

Para solucionar estos dos problemas se diseñó un sistema muy simple de transporte en el que se podrán cargar a la vez cuatro napas, número escogido bajo la idea de que las recargas de peinadoras se hacen de cuatro en cuatro, y que ocho napas harían al carro demasiado largo y poco maniobrable. A la vez el carro tendrá unos soportes donde se podrán ubicar seis cilindros de napas vacíos para que no sean transportados manualmente. De ésta manera se asegura que los cilindros no se deterioren en exceso durante el manejo diario, se eliminan estorbos en el piso de la planta que puedan causar accidentes y se mejora el manejo del material, pues el operador puede cargar el carrito y mover las napas en conjunto y no una por una, ganando tiempo y disminuyendo la carga física. En el Gráfico 9.3 se muestra la propuesta física para el transporte de napas y cilindros.



Gráfico 9.3: Diseño de un Coche para Transportar Napas

Diseño por Rafael Pólit

### **Necesidades**

Este pequeño carro tiene las siguientes dimensiones 1.5x1.2x0.5m. Con este tamaño, el carrito podría cargar hasta 4 napas y 4 cilindros de napas. Dado el número de máquinas y la velocidad de las peinadoras para consumir el material, se recomienda tener 2 o 3 carros para que los mismos operadores de las peinadoras puedan tomar un carro, acercarse a la Reunidora de napas y tomar la recarga para sus máquinas. No se requiere un carro por peinadora porque sería subutilizado. Por ello, se fuerza a los operadores a compartir los carros y trabajar coordinadamente, de forma que puedan ayudarse unos a otros y requiriendo una menor inversión.

Por otro lado, y para los cilindros de napas, muchas veces no coincide a recarga de peinadoras con la llegada de nuevas napas a las máquinas, por lo que algunos cilindros quedan sin uso y no hay quien los transporte hacia la Reunidora de cintas o de napas. Por ello, se propone la utilización de un carrito-bodega, en el que los operadores de las

peinadoras pueden colgar los cilindros después de sacarlos de las peinadoras y cuando el carro esté lleno, pueden transportarlo hacia las Reunidoras para que los operadores recarguen sus respectivas máquinas.

### **Costos**

Los dos carros presentados anteriormente resultan ser una solución muy económica para un problema recurrente como es la falta de calidad. El primer modelo, por su complejidad resulta ser un poco más caro. El costo aproximado de este modelo para transporte de pabilos se estimó en mil (\$1000) dólares por cada uno. Es decir, se recomienda una inversión de cinco mil (\$5000) dólares, asumiendo que la empresa decida comprar el máximo recomendado. Esta inversión sería la solución a los problemas de calidad existentes en pabilos y mejoraría sustancialmente el sistema de transporte de material.

El segundo modelo, mucho más simple, no tiene un costo tan elevado, y se ha aproximado que con una inversión de alrededor de doscientos (\$200) dólares por carro solucionaría el problema de calidad, transporte y almacenamiento. Es decir, se haría una inversión de seiscientos (\$600) dólares para este segundo modelo. El total de la inversión, cinco mil seiscientos (\$5600) dólares, resulta bastante reducido para el alcance de la solución. Es una inversión a largo plazo y puede significar el primer paso en un cambio total del proceso de transporte y manejo de materiales.

## 11 Conclusiones y Recomendaciones

A pesar de que durante el documento se han presentado varias conclusiones sobre la simulación y se han realizado recomendaciones claras y detalladas para explotar las oportunidades de mejora, es importante que se tomen en cuenta las siguientes observaciones:

- Es posible eliminar la Peinadora 6 del proceso. Si se asignan correctamente las máquinas, esta no debiera necesitarse. Este cambio libera espacio físico y disminuye la carga de un operador lo cual implica que atienda mejor las otras máquinas a su cargo y que podría encargarse de alguna otra actividad.
- Los lugares de almacenamiento para los diferentes productos en proceso y materiales no están definidos por falta de espacio y supervisión. Esto hace que se pierda tiempo en encontrar el tarro deseado.
- Los resultados de la simulación demuestran que al mejorar el flujo de materiales asignando máquinas adecuadamente se lograría reducir el material en proceso y estandarizar los lugares de almacenamiento, lo cual facilitaría el trabajo de los operadores al disminuir los movimientos del material.
- Los resultados obtenidos en el capítulo 5 son de tremenda importancia para la empresa, pues toda la información sobre qué fallas son las más comunes en los diferentes procesos puede ser obtenida a partir de los diagramas de Pareto. Esta información puede ser el punto de partida para todo un plan de recuperación de la empresa en busca de un mejor rendimiento de las máquinas y de una mejora enorme en la calidad de los procesos.
- Analizar si es más conveniente trabajar los Estirajes 1, 2, 3 y 4 a su máxima capacidad mientras los Estirajes 5, 6 y 7 trabajan ocasionalmente o si es mejor reducir la utilización de las primeras máquinas y ocupar las otras.
- Debe considerarse la posibilidad de que los Estirajes 5, 6 y 7 procesen material de menor calidad que las otras.

- Además se debe tomar en cuenta la diferencia de velocidad de las máquinas y los retrasos en la salida del material que se tendría al aumentar la utilización de los Estirajes 5, 6 y 7.
- Es importante establecer el posible impacto que tendrían los cambios en la carga de trabajo que se asignará a cada máquina sobre la cantidad de trabajo de los operadores que las manejan.
- Mejorar la calidad del material de estiraje para reducir los paros que resultan en el Pabilado y aumentar el rendimiento de las Pabileras realizando mantenimiento preventivo adecuado. Así será posible disminuir la variabilidad en los tiempos de producción del Pabilado y como resultado se podría eliminar la Pabilera 4 del proceso. Nuevamente, esto liberaría espacio y reduciría la carga de trabajo de los operadores.
- Los hilos de diferentes tipos no están codificados, pues no existen suficientes conos de un mismo color para hacerlo. Para evitar esta confusión y facilitar el trabajo de los operadores, disminuyendo errores, se recomienda establecer un sistema de codificación por color, para que los operadores puedan determinar fácilmente qué hilo se está trabajando y a dónde debe dirigirse una parada de hilas sólo con identificar el color del cono.
- Como una manera de mejorar la productividad de los empleados y a la vez impulsar una política de participación activa, se recomienda la creación de un concurso de sugerencias en el que cada persona pueda aportar con ideas claves para la mejora continua de los procesos de la empresa.

## **Bibliografía**

- Banks, Jerry, et al. *Discrete – Event System Simulation*. Prentice Hall: USA, 2005
- DeVor, Richard. Chang, Tsong – how. Sutherland, John. *Statistical Quality Design and Control*. Prentice Hall: USA, 1992.
- Hopp, Wallace. Spearman, Mark. *Factory Physics*. Mc. Graw Hill: USA, 2001.
- Kelton, David. Sadowski, Randall. Sturrock, David. *Simulation with Arena*. Mc Graw Hill: USA, 2004.
- Marsal Amenós, Feliu. *Gestión de la Producción y de la Calidad en la Hilatura de Fibras Cortas*. Aitex: España.
- Montgomery Douglas. *Design and Análisis of Experiments*. Wiley: USA, 2005.
- Montgomery, Douglas. Runger, George. *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. Mc. Graw Hill: México, 1994.
- Niebel, Benjamín. Freivalds, Andris. *Ingeniería Industrial: Métodos Estándares y Diseño del Trabajo*. Alfa Omega: México, 2004.
- Tompkins, James, et al. *Facilities Planning*. Wiley: Singapur, 2003.
- Pólit, Rafael. *Diseño Gráfico de sistemas propuestos de transporte*. Programa 3D Estudio Max. Quito, 2007.

---

---

# **ANEXOS**

---

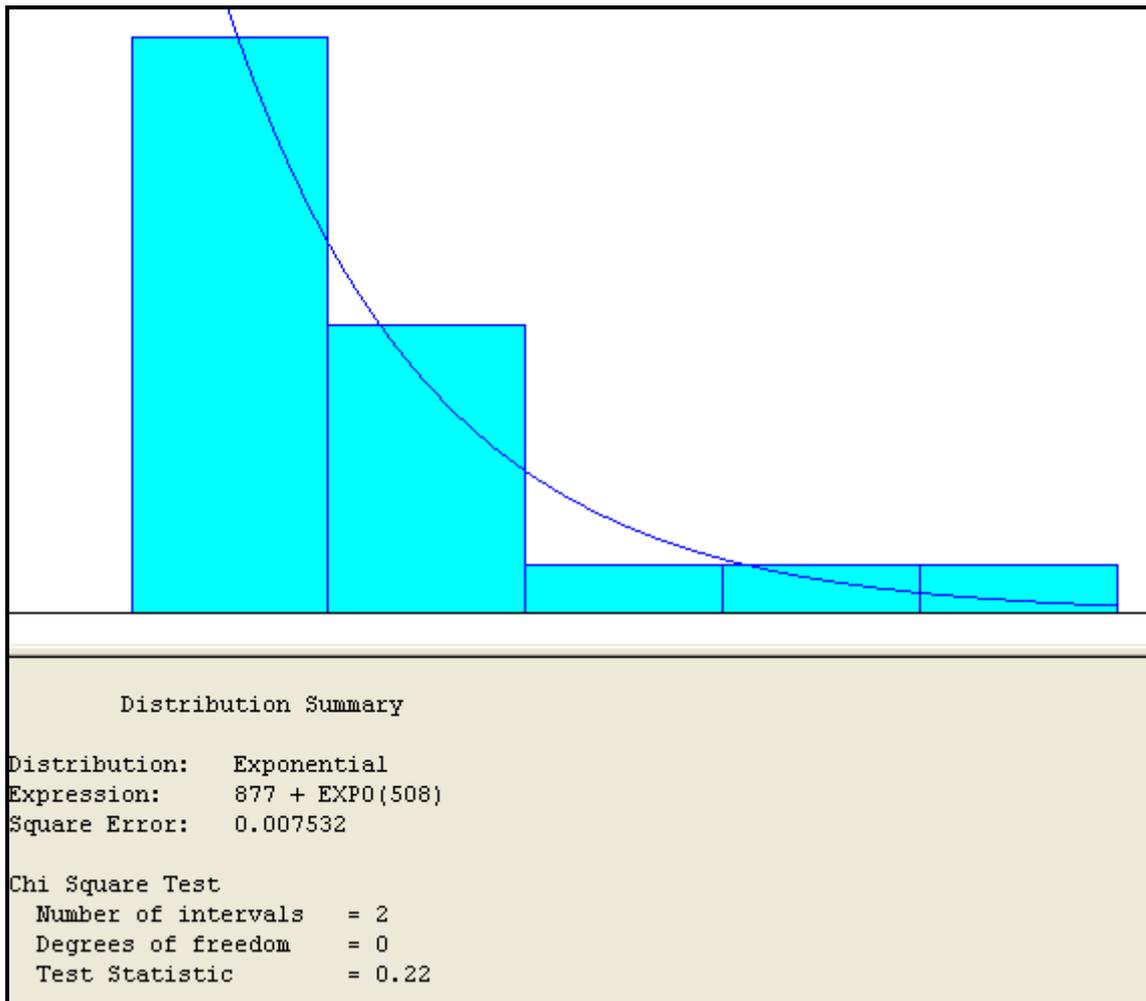
---

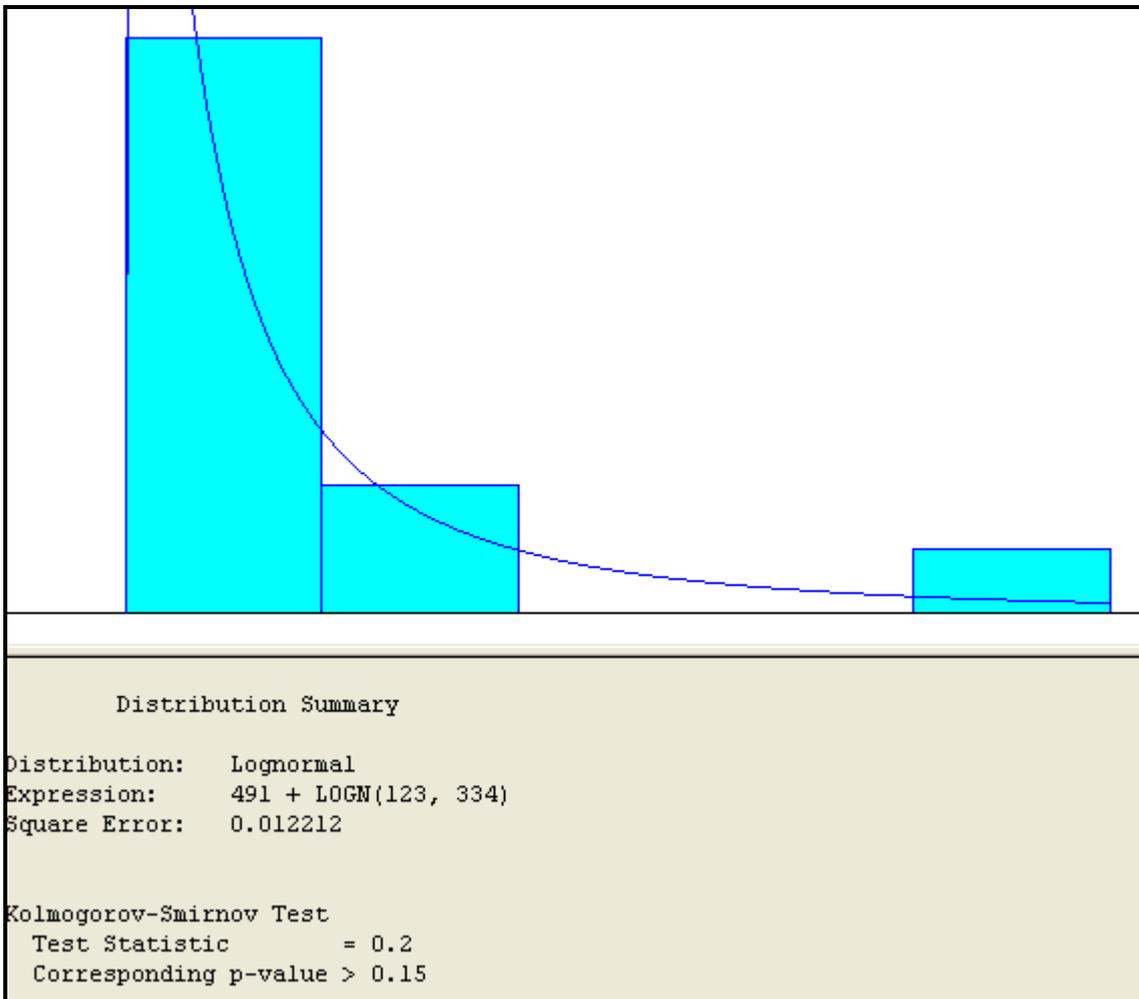
## Anexo A: Resumen de Flujo de Materiales

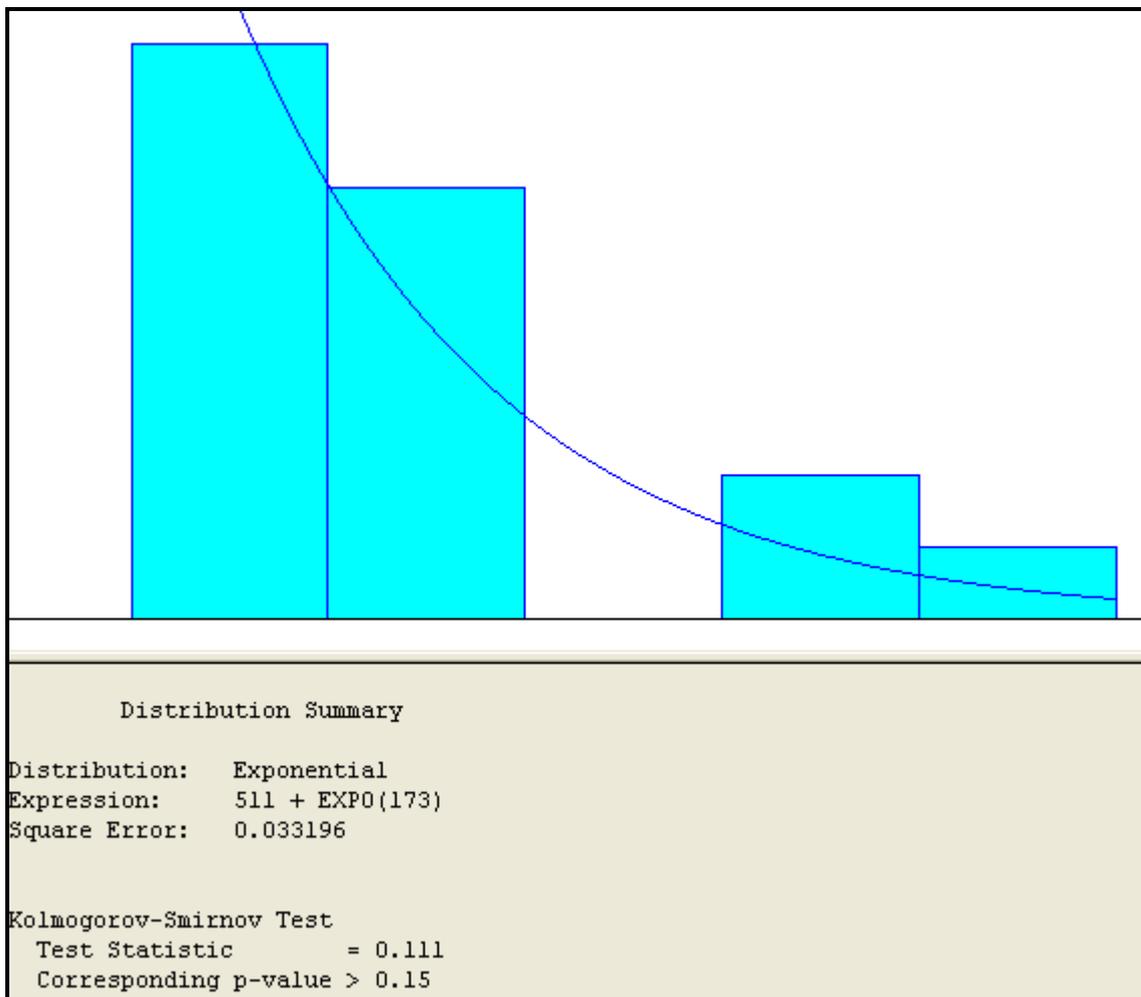
MAQUINA	# ENT	#	M/MIN m	M/MIN	M/MIN T	TITULO	KG/MIN	KG/HORA	Rot/huso	EFIC	KG/HORA 2	KG/HORA/AREA	% DESP	KG/HORA/AREA REAL	ESTADO DEL FLUJO	ESTADO FLUJO NECESIDAD	PROD SEMANAL	PROD SEMANAL REAL	PORCENTAJE ERROR	
Carda 1	N/A	1	83.63	80.09	83.63	5,46	0,457	27,398		88,48%	24,241									
Carda 2	N/A	1	126.11	128.73	126.11	5,63	0,710	42,600		97,26%	41,433									
Carda 3	N/A	1	123.64	125.15	123.64	5,499	0,680	40,793		99,00%	40,385									
Carda 4	N/A	1	128.02	123.03	128.02	5,507	0,705	42,301		93,87%	39,705	228,894	1,50%	225,461			36299,228			
Carda 5	N/A	1	117.25	122.40	117.25	5,721	0,671	40,246		99,00%	39,844									
Carda 6	N/A	1	134.41	124.74	134.41	5,6	0,753	45,161		95,85%	43,286							49767,000		-22%
Carda 7	N/A	1	119.94	120.05	119.94	5,7	0,684	41,019		99,00%	40,609									
Carda 8	N/A	1	121.07	117.65	121.07	5,7	0,690	41,408		99,00%	40,994	160,363	5,00%	152,345			24527,491			
Carda 9	N/A	1	118.82	115.92	118.82	5,7	0,677	40,637		94,54%	38,420									
Carda 10	N/A	1	119.15	120.16	119.15	5,7	0,679	40,748		99,00%	40,341									
Reun Cintas	16	1	54,41548866	60,10	54,42	58,42	3,179	190,737		89,15%	170,043	170,043	0,40%	169,362	FALTA MATERIAL		27267,350	16658,000		-64%
Reun Napas	8	1	46,5625646	59,70	46,56	59,93	2,790	167,414		99,00%	166,158	127,427	0,40%	126,917			20433,611	16353,000		-25%
Peinadora 6	8	2	24,7	27,00	24,7	27,00	54,00	4,85	2,262	15,714	75,00%	11,786								
Peinadora 4	8	2	27,86500459	29,70	27,86	29,70	55,73	4,85	2,270	16,217	84,36%	13,681								
Peinadora 3	8	1	138,0306145	146,30	138,03	146,30	4,91	0,678	40,664		87,35%	35,522					14521,705	12304,000		-18%
Peinadora 2	8	1	75,87399873	80,20	75,87	80,20	4,97	0,377	22,626		83,27%	18,840								
Peinadora 1	8	1	77,08934501	88,50	77,09	88,50	4,94	0,381	22,849		83,27%	19,026								
Estrajae 1	16	2	577,47	606,00	577,47	606,00	5	5,775	946,481		88,55%	906,808			FALTA ALGODON					
Estrajae 5	8	2	276,93	204,50	276,93	204,50	563,86	5	2,769	166,158	59,92%	99,570					64903,349			-44%
Estrajae 2	16	2	557,30	606,00	557,30	606,00	5	5,573	334,382		82,52%	275,923								
Estrajae 6	8	1	541,33	500,00	541,33	500,00	5	2,707	162,400		78,93%	128,186			FALTA MATERIAL		64541,022			-44%
Estrajae 3	8	1	618,60	608,00	618,60	608,00	4,5	2,784	167,021		95,93%	160,226								
Estrajae 4	6	1	638,60	595,80	638,60	595,80	4,5	2,874	172,421		90,76%	156,483			FALTA MATERIAL		72952,731	44421,000		-64%
Estrajae 7	8	1	542,141887	600,00	542,14	600,00	4,5	2,440	146,378		95,69%	140,068								
Pablara 1	115	115	40,09	41,90	40,09	41,90	0,69	3,181	190,887		78,19%	149,249								
Pablara 2	119	119	31,87	32,40	31,87	32,40	0,687	2,605	156,329		95,85%	93,568								
Pablara 3	82	82	25,35	30,50	25,35	30,50	0,688	1,430	85,807		80,23%	68,840					59648,936	43260,000		-38%
Pablara 4	82	82	22,61	27,20	22,61	27,20	0,697	1,292	77,526		80,23%	62,199								
Hila 1	296	10,24881744	10,25	3033,68	10,25	3033,68	0,02	0,061	3,640	2,000	96,59%	3,516	U20							
Hila 2	299	14,35	14,35	4290,65	14,35	4290,65	0,02	0,086	5,149	2,000	96,59%	4,873								
Hila 3	296	12,35734043	12,36	3882,49	12,36	3882,49	0,02	0,074	4,419	2,000	96,59%	4,266								
Hila 4	300	12,23544602	12,24	3670,63	12,24	3670,63	0,02	0,073	4,405	3,000	96,27%	4,241								
Hila 5	300	12,40667694	12,41	3722,00	12,41	3722,00	0,02	0,074	4,466	2,000	96,60%	4,314								
Hila 6	294	11,3	11,13	3322,20	11,13	3322,20	0,02	0,066	3,987	4,000	95,92%	3,824	T23							
Hila 7	296	10,75104719	10,75	3182,31	10,75	3182,31	0,02	0,064	3,819	2,000	96,59%	3,688								
Hila 8	294	10,70977332	10,71	3148,67	10,71	3148,67	0,02	0,063	3,778	2,000	96,58%	3,649								
Hila 9	376	11,3	11,13	4248,80	11,13	4248,80	0,02	0,085	5,099	2,000	91,00%	4,640								
Hila 10	376	12	12	4512,00	12	4512,00	0,02	0,090	5,414	2,000	91,00%	4,927								
Hila 11	376	9,7	9,7	3647,20	9,7	3647,20	0,02	0,073	4,377	2,000	91,00%	3,853								
Hila 12	376	0	0	0,00	0,00	0,00	0,02	0,000	0,000	2,000	91,00%	0,000								
Hila 13	300	10,13290787	10,13	3039,87	10,13	3039,87	0,02	0,061	3,648	1,000	96,92%	3,536								
Hila 14	300	11,0995	11,10	3329,85	11,10	3329,85	0,02	0,067	3,996	2,000	96,60%	3,860								
Hila 15	296	10,5304878	10,53	3117,02	10,53	3117,02	0,02	0,062	3,740	4,000	95,93%	3,598								
Hila 16	291	10,52341059	10,52	3062,31	10,52	3062,31	0,02	0,061	3,675	4,000	95,91%	3,524								
Hila 17	291	11,03418594	11,03	3210,95	11,03	3210,95	0,02	0,064	3,853	4,000	95,91%	3,695								
Hila 18	296	10,15	10,15	3004,40	10,15	3004,40	0,02	0,060	3,605	2,000	96,59%	3,462								
Hila 19	295	10,35515194	10,36	3054,77	10,36	3054,77	0,02	0,061	3,666	2,000	96,59%	3,541								
Hila 20	293	10,05948094	10,06	2947,43	10,06	2947,43	0,02	0,059	3,557	4,000	95,92%	3,393								
Hila 21	456	10,975	10,98	5004,60	10,98	5004,60	0,02	0,100	6,006	4,000	96,39%	5,789								
Hila 22	463	9,2	9,20	4259,60	9,20	4259,60	0,02	0,085	5,112	3,000	96,62%	4,939								
Hila 23	1200	1151	23,25275567	23,96	26763,92	0,023	0,616	36,934	14,000	96,06%	35,480									
Hila 24	1200	1107	24,58489799	23,96	27215,48	0,023	0,626	37,557	51,000	92,77%	34,840									
Hila 25	1200	1123	24,05686167	23,96	27112,08	0,023	0,624	37,415	14,000	96,04%	35,932									
Hila 26	1200	1192	18,85	18,85	22469,20	0,02	0,449	26,963	10,000	96,43%	26,000									
AC1	60	60	697,4267034	1100,00	697,43	1100,00	0,02	0,837	50,215	100,00%	50,215									
AC2	54	54	871,6085562	1200,00	871,61	1200,00	0,02	0,941	56,480	100,00%	56,480									
AC2	54	54	871,6085562	1200,00	871,61	1200,00	0,023	1,083	64,952	100,00%	64,952									
AC3	54	54	939,19	1200,00	939,19	1200,00	0,02	1,014	60,860	100,00%	60,860									
AC3	54	54	914,46	1200,00	914,46	1200,00	0,023	1,136	68,146	100,00%	68,146									
AC4	56	56	746,922568	825,00	746,92	825,00	0,02	0,837	50,193	100,00%	50,193									
												225,627	2,50%	219,9862014	FALTA MATERIAL		35417,77843	28330		-25%

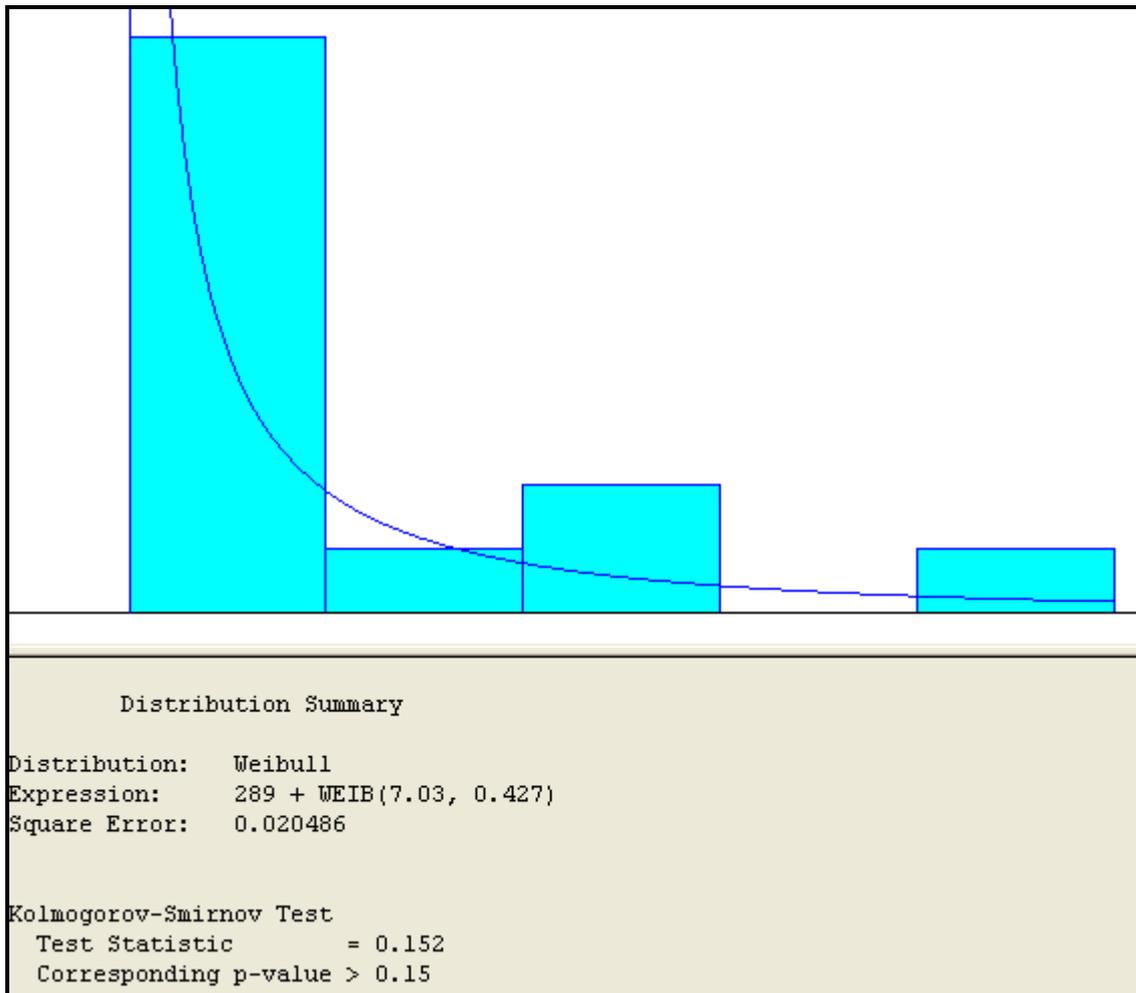
## Anexo B: Identificación de Distribuciones (Input Analyzer)

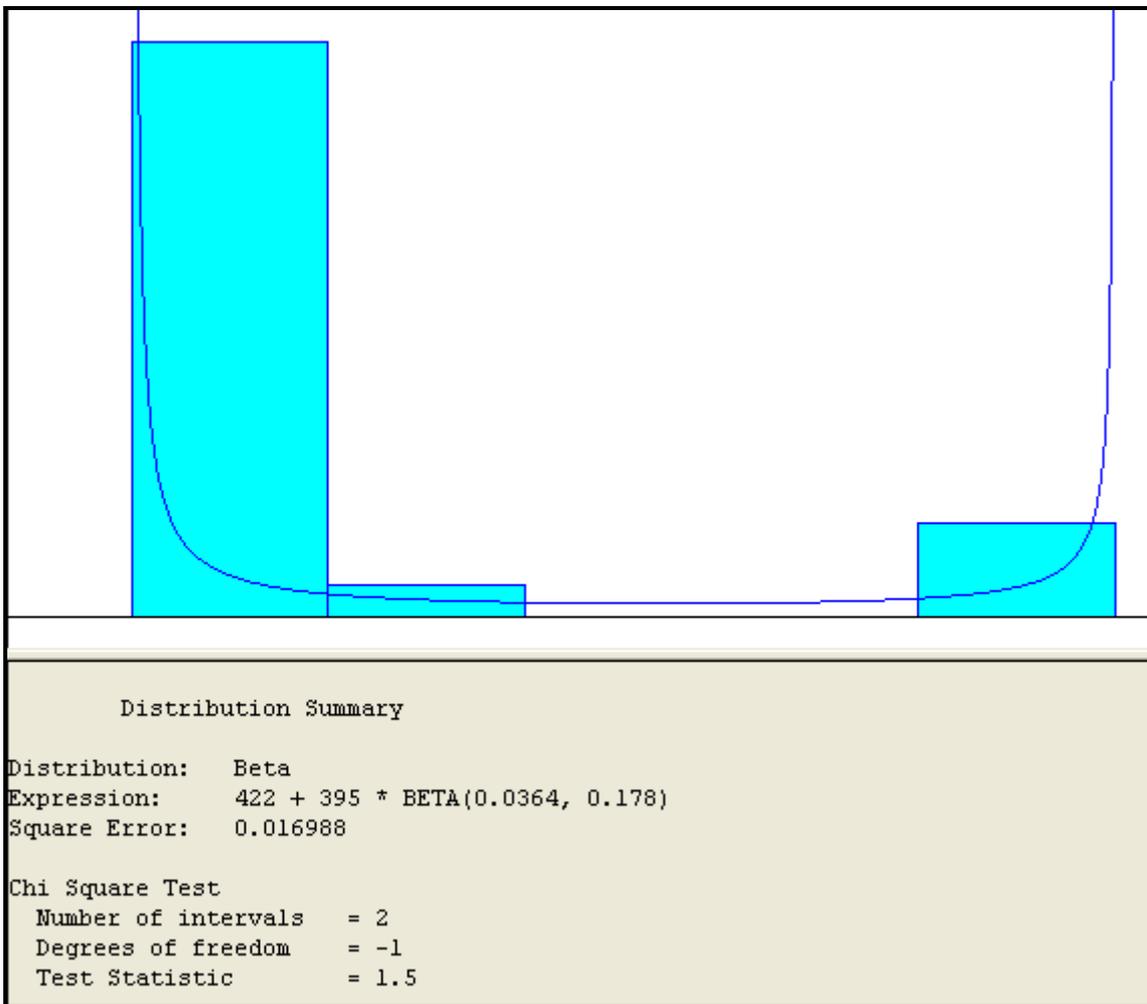
Gráfico B.1 Resultados para la Reunidora de Napas

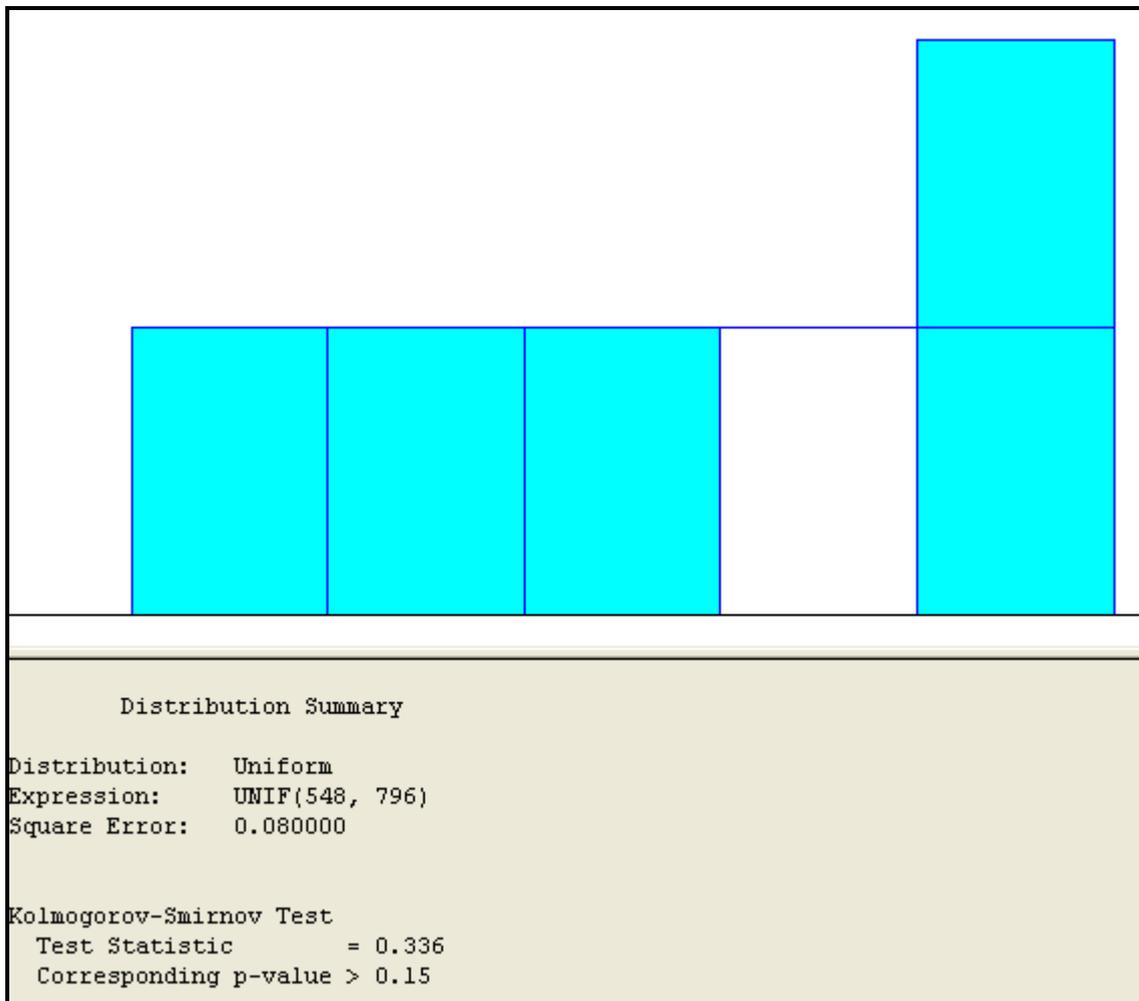


**Gráfico B.2 Resultados para el Estiraje 1**

**Gráfico B.3 Resultados para el Estiraje 2**

**Gráfico B.4 Resultados para el Estiraje 3**

**Gráfico B.5 Resultados para el Estiraje 4**

**Gráfico B.6 Resultados para el Estiraje 5**

## Anexo C: Cálculos Utilizados para la Realización de la Simulación

Tabla C.1 Resumen de Inventarios Promedio

	A	B	C	D
1	<b>Inventario en Proceso</b>			
2	<b>Proceso</b>	<b>Número</b>		<b>Unidades</b>
3	<b>Peinadoras</b>	9.84		Napas
4	<b>Material</b>	<b>Algodón</b>	<b>Poliester</b>	
5	<b>Estiraje Paso 1</b>	6.68	3.25	Tarros
6	<b>Estiraje Paso 2</b>	3.76		Tarros
7	<b>Estiraje Paso 3</b>	4.09		Tarros
8	<b>Pabileras</b>	30.31		Tarros
9				
10	<b>Celda</b>	<b>Formula</b>		
11	<b>B3</b>	$=\Sigma(\text{WIP } P_i / \text{Separación } P_i) * (\text{tamaño de lote})$		
12	<b>B5</b>	$=\Sigma((\text{WIP } Ep1_i / \text{Separación } Ep1_i) * 0.4) * (\text{tamaño de lote}) + \text{inventario previo a mezclar } Ep1_i$		
13	<b>C5</b>	$=\Sigma((\text{WIP } Ep1_i / \text{Separación } Ep1_i) * 0.6) * (\text{tamaño de lote}) + \text{inventario previo a mezclar } Ep1_i$		
14	<b>B6</b>	$=\Sigma(\text{WIP } Ep2_i / \text{Separación } Ep2_i) * (\text{tamaño de lote})$		
15	<b>B7</b>	$=\Sigma(\text{WIP } Ep3_i / \text{Separación } Ep3_i) * (\text{tamaño de lote})$		
16	<b>B8</b>	$=\Sigma[(\text{WIP } Pabi_i / \text{Separación } Pabi_i) * (\text{tamaño de lote } i)]$		

\*\*WIP: Inventario en proceso.

Tabla C.2 Resumen de Cálculos para Número de Salidas por Entradas

	A	B	C
1		<b>Proceso</b>	<b>Unidades</b>
2	<b>Und. Entrada Co</b>	3	Unidades
3	<b>Und. Entrada Pes</b>	5	Unidades
4	<b>Metraje c/Entrada Co</b>	5800	mts.
5	<b>Metraje c/Entrada Pes</b>	3300	mts.
6	<b>Título Entrada Co</b>	4.85	gr./mts.
7	<b>Título Entrada Pes</b>	5.6	gr./mts.
8	<b>Porcentaje de Desperdicio</b>	0.8%	%
9	<b>Kilogramos Entrada</b>	176.776	kg.
10	<b>Divido para 2 = lotes de 4</b>	88.388	kg.
11	<b>Und. Salida</b>	2	Unidades
12	<b>Metraje c/Salida</b>	4800	mts.
13	<b>Título Salida</b>	5	gr./mts.
14	<b>Kilogramos Salida</b>	48.0	kg.
15	<b># Salidas por c/Entrada</b>	1.841	Unidades
16	<b>Porcentaje de Duplicados que entran al proceso</b>	0.841	Unidades
17			
18	<b>Celda</b>	<b>Formula</b>	
19	<b>B15</b>	=B10/B14	
20	<b>B16</b>	=(B15-1)/(INT(B15))	
21	<b>B14</b>	=B11*B12*B13/1000	
22	<b>B9</b>	=((B2*B4*B6)+(B3*B5*B7))/1000*(1-(B8/100))	
23	<b>B10</b>	=B9/tamaño de lote	

**Tabla C.3 Resumen de Cálculos para Distribuciones de Entradas**

	A	B
1	<b>Replicas obtenidas del proceso de simulación</b>	
2	32	36
3	32	34
4	26	40
5	30	32
6	34	36
7	32	34
8	38	32
9	42	28
10	38	22
11	34	36
12	<b>PROMEDIO</b>	33.4
13	<b>LAMDA Poisson hr</b>	8.35
14	<b>LAMDA Poisson lote/hr</b>	2.0875
15	<b>LAMDA Exponencial lote/hr</b>	0.479041916
16		
17	<b>Celda</b>	<b>Formula</b>
18	A12	=promedio(A2:B11)
19	A13	=B12/horas de simulación
20	A14	=B13/tamaño de lote
21	A15	=1/B14

Tabla C.4 Resumen de Cálculos para Validación de Resultados

	A	B	C	D
1	<b>CUADRO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS</b>			
2	<b>Proceso</b>			
3		<b>PRODUCCION # HORAS</b>	<b>PESO SALIDA</b>	<b>PESO EN # HORAS</b>
4	Máquina	5	28.42	142.1
5	Máquina	5.5	28.42	156.31
6	Máquina	9	28.42	255.78
7	Máquina	1.8	41.65	74.97
8	Máquina	0.5	41.65	20.825
9	Máquina	0	41.65	0
10		<b>PESO SEMANAL POSIBLE</b>		14510.125
11		<b>PESO SEMANAL</b>		13080.948
12		<b>ERROR</b>		-9.85%
13				
14				
15		<b>Celda</b>	<b>Formula</b>	
16		<b>B4:B9</b>	Datos de producción	
17		<b>C4:C9</b>	Peso de salida por proceso	
18		<b>D4:D9</b>	=(columnaB * columnaC	
19		<b>C10</b>	=producción*161/8	
20		<b>C11</b>	=suma(D4:D9)	
21		<b>C12</b>	=(C11-C10)/C10	

**Tabla C.5 Resumen para la Simulación: Peinadoras**

<b>Máquina</b>	<b>Peinadoras 1, 2, 3</b>	<b>Peinadora 4, 5, 6</b>
<b>Und. Entrada</b>	4	4
<b>Metraje c/Entrada</b>	180	180
<b>Título Entrada</b>	59,93	59,93
<b>Porcentaje de Desperdicio</b>	18,4	18,4
<b>Kilogramos Entrada</b>	35,210	35,210
<b>Und. Salida</b>	1	2
<b>Metraje c/Salida</b>	5800	4250
<b>Título Salida</b>	4,9	4,9
<b>Kilogramos Salida</b>	28,42	41,65
<b># Salidas por c/Entrada</b>	1,239	0,845
<b>Porcentaje de Duplicados que Pasan</b>	0,239	

**Tabla C.6 Resumen para la Simulación: Estiraje Paso 1**

<b>Máquina</b>	<b>Estiraje 1</b>	<b>Estiraje 5</b>
<b>Und. Entrada Co</b>	3	3
<b>Und. Entrada Pes</b>	5	5
<b>Metraje c/Entrada Co</b>	5800	4250
<b>Metraje c/Entrada Pes</b>	3300	3300
<b>Título Entrada Co</b>	4,85	4,94
<b>Título Entrada Pes</b>	5,6	5,6
<b>Porcentaje de Desperdicio</b>	0,8%	0,8%
<b>Kilogramos Entrada</b>	176,776	155,373
<b>Divido para 2 = lotes de 4</b>	88,388	77,686
<b>Und. Salida</b>	2	2
<b>Metraje c/Salida</b>	4800	2200
<b>Título Salida</b>	5	5
<b>Kilogramos Salida</b>	48,0	22
<b># Salidas por c/Entrada</b>	1,841	3,531
<b>Porcentaje de Duplicados que Pasan</b>	0,841	0,844

**Tabla C.7 Resumen para la Simulación: Estiraje Paso 2**

<b>Máquina</b>	<b>Estiraje 2</b>	<b>Estiraje 6</b>
<b>Und. Entrada</b>	4	4
<b>Metraje c/Entrada</b>	4800	2200
<b>Título Entrada</b>	5	5
<b>Porcentaje de Desperdicio</b>	0,8	0,8
<b>Kilogramos Entrada</b>	95,232	43,648
<b>Und. Salida</b>	2	1
<b>Metraje c/Salida</b>	5000	3100
<b>Título Salida</b>	5	5
<b>Kilogramos Salida</b>	50	15,5
<b># Salidas por c/Entrada</b>	1,905	2,816
<b>Porcentaje de Duplicados que Pasan</b>	0,905	0,908

**Tabla C.8 Resumen para la Simulación: Estiraje Paso Final**

<b>Máquina</b>	<b>Estiraje 3</b>	<b>Estiraje 4</b>	<b>Estiraje 7</b>
<b>Und. Entrada</b>	4	4	4
<b>Metraje c/Entrada</b>	5000	5000	3100
<b>Título Entrada</b>	5	5	5
<b>Porcentaje de Desperdicio</b>	0,8	0,8	0,8
<b>Kilogramos Entrada</b>	99,200	99,200	61,504
<b>Und. Salida</b>	1	1	1
<b>Metraje c/Salida</b>	3000	4500	3200
<b>Título Salida</b>	4,5	4,5	4,5
<b>Kilogramos Salida</b>	13,5	20,25	14,4
<b># Salidas por c/Entrada</b>	7,348	4,899	4,271
<b>Porcentaje de Duplicados que Pasan</b>	0,907	0,975	0,818

**Tabla C.9 Resumen para la Simulación: Pabileras**

<b>Máquina</b>	<b>Pabilera 1</b>	<b>Pabilera 2</b>	<b>Pabilera 3</b>	<b>Pabilera 4</b>
<b>Und. Entrada</b>	38,333	39,666	41	41
<b>Und. Entrada / 4</b>	9,583333333	9,916666667	10,25	10,25
<b>Metraje c/Entrada</b>	3582,909461	3582,909461	3200	3200
<b>Título Entrada</b>	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>Porcentaje de Desperdicio</b>	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>Kilogramos Entrada</b>	612,489	633,793	585,086	585,086
<b>Und. Salida</b>	115	119	82	82
<b>Metraje c/Salida</b>	3800	3800	2024	2024
<b>Título Salida</b>	0,69	0,69	0,6925	0,6925
<b>Kilogramos Salida</b>	301,53	312,018	114,93284	114,93284
<b># Salidas por c/Entrada</b>	2,031	2,031	5,091	5,091
<b>Porcentaje de Duplicados que Pasan</b>	0,516	0,516	0,818	0,818

## Anexo D: Modelos de Simulación

Gráfico D.1: Modelo Peinadoras

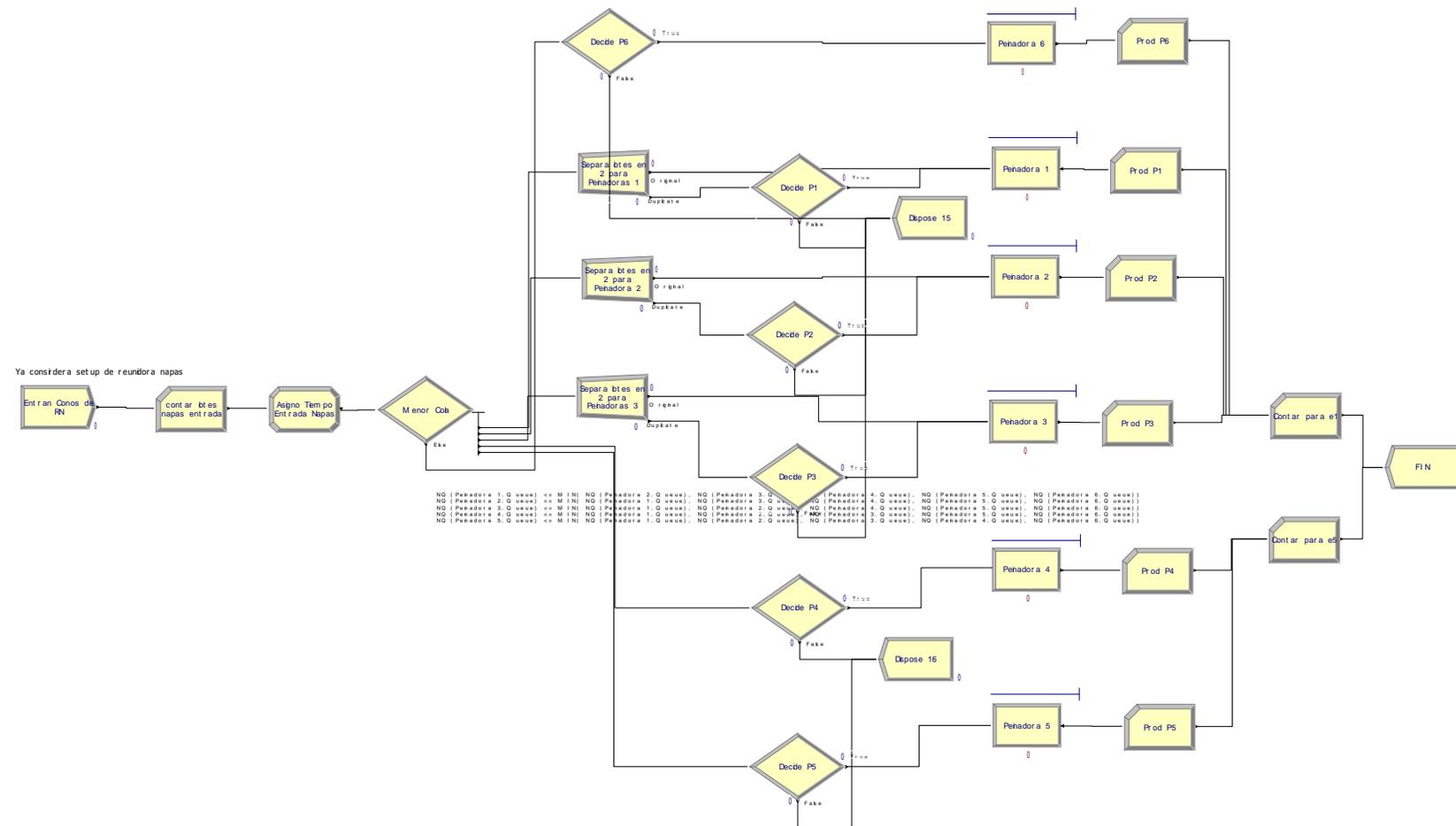


Gráfico D.2: Modelo Estiraje Paso 1

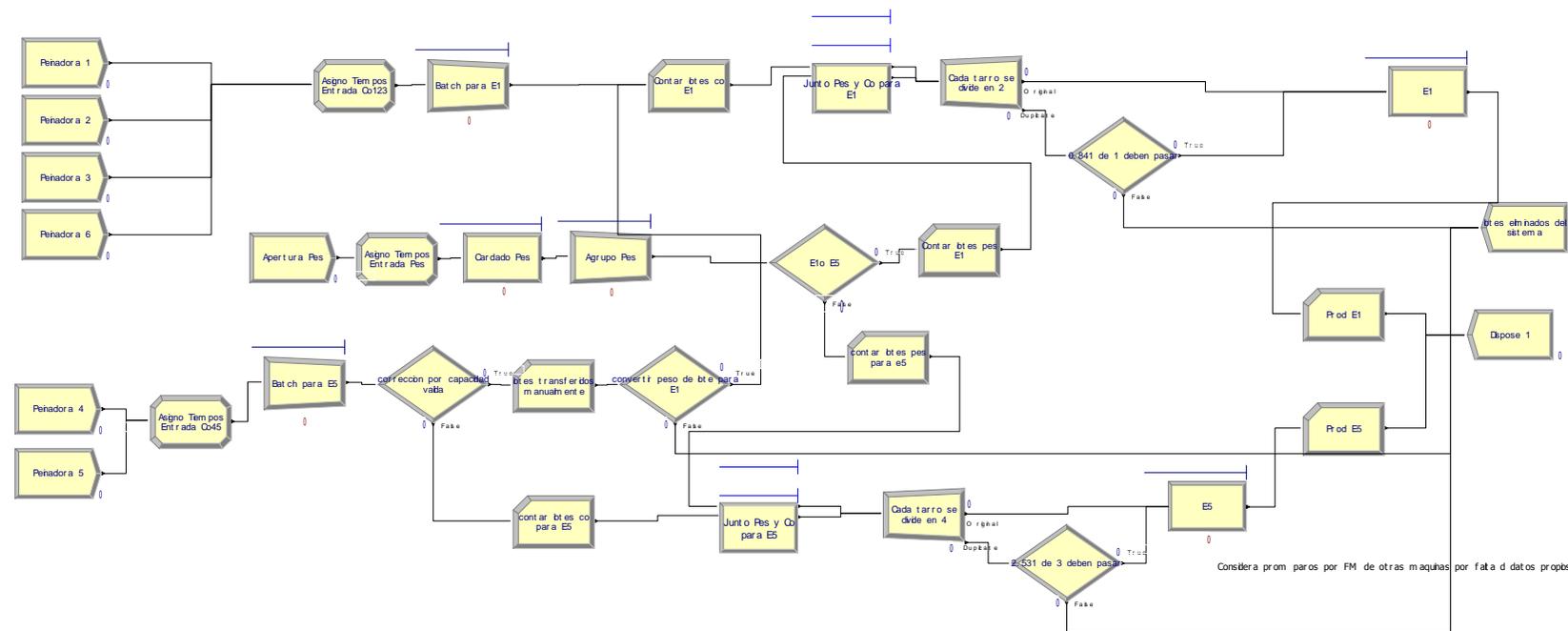


Gráfico D.3: Modelo Estiraje Paso 2

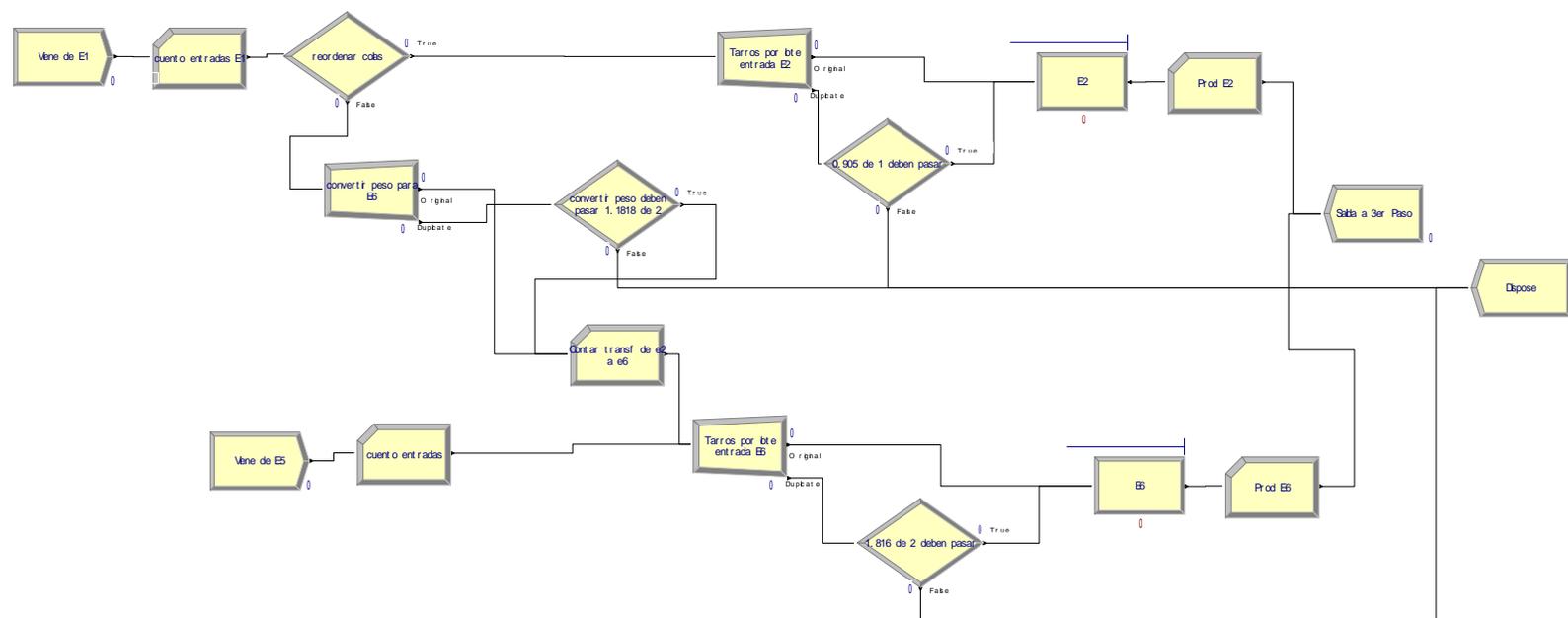


Gráfico D.4: Modelo Estiraje Paso Final

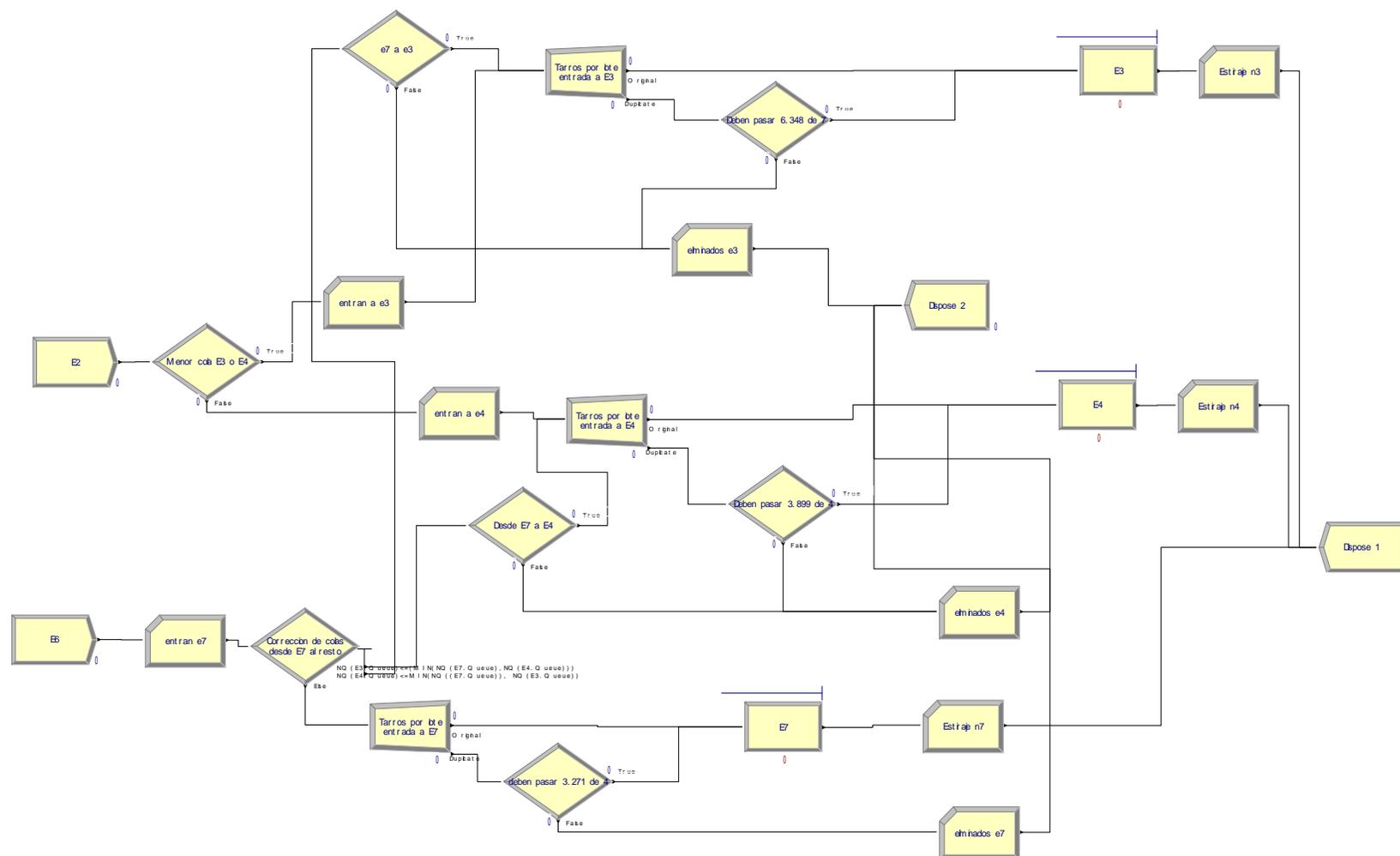
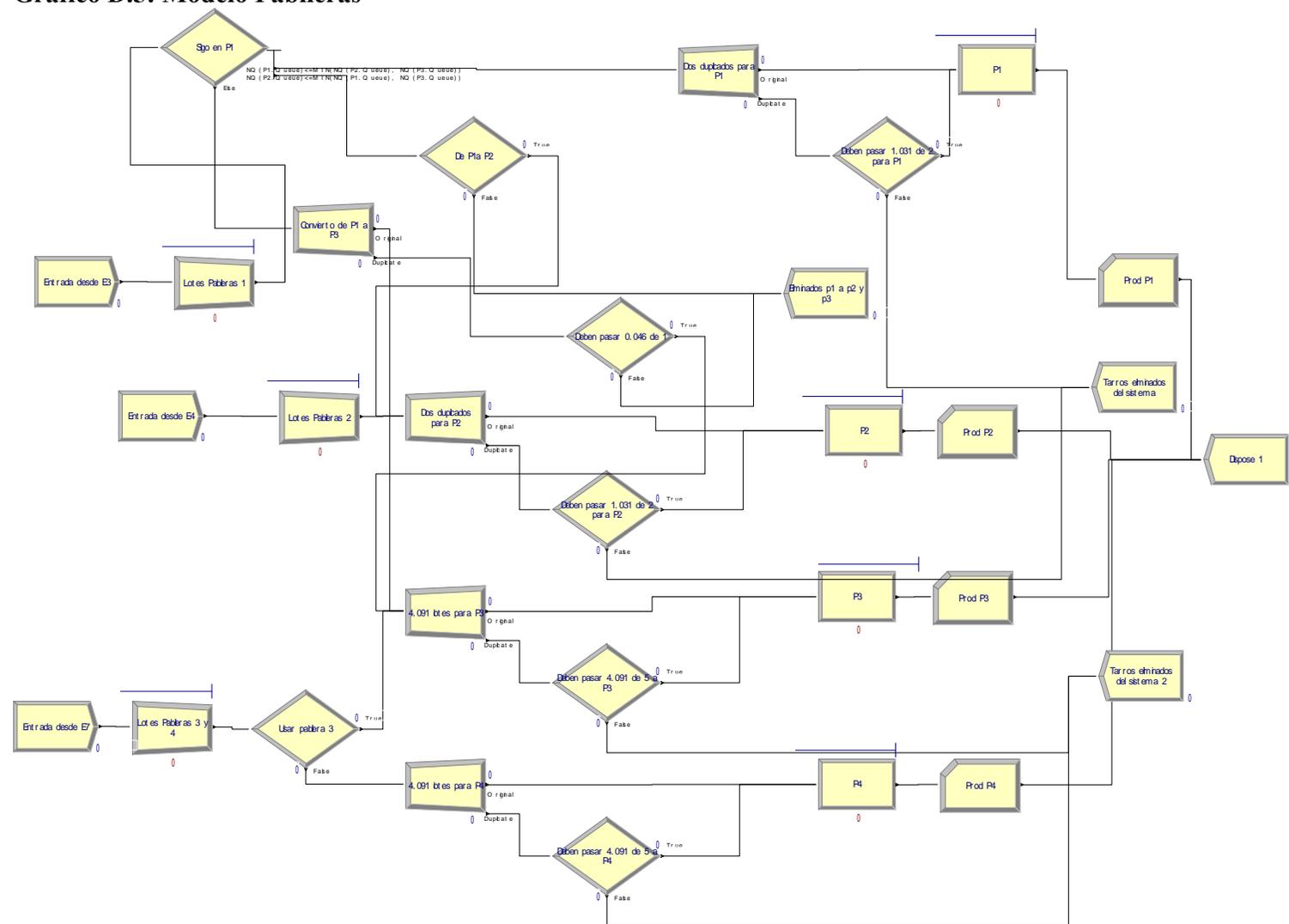


Gráfico D.5: Modelo Pabileras



FIN