

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

MEJORA EN EL ÁREA DE TINTORERÍA Y ACABADOS DE TELAS DE UNA EMPRESA TEXTIL PERUANA EMPLEANDO SIMULACIÓN

Tesis para optar el Título de **INGENIERA INDUSTRIAL**, que presenta el bachiller:

KATIA JANE ARMAS SARMIENTO

ASESOR: WILMER ATOCHE DÍAZ

Lima, julio del 2013

RESUMEN

El presente estudio analiza los procesos productivos en el área de Tintorería y Acabados de telas de una empresa textil peruana con la finalidad de mejorar los indicadores de tiempos de entrega de las diversas telas que se procesan en planta mediante la reducción de los tiempo en cola, y con ello también realizar un cambio positivo en los indicadores de utilización de las principales máquinas.

Para realizar el estudio fue necesario de un análisis y un procesamiento estadístico de datos correspondientes a los diversos tiempos de servicio en cada máquina perteneciente al área de estudio, esto se realizó considerando que los diversos productos pueden tener diferentes tiempos en proceso de acuerdo a sus propias características de uso final.

Adicionalmente se analizaron las diversas rutas de producción manejadas en planta para cada tipo de tela en particular tomando como referencia datos de producción histórica. En esta etapa se decidió analizar las rutas con mayor frecuencia dentro del total de rutas existentes dado que son dichas rutas las que engloban los productos de mayor nivel de producción de la empresa.

El modelo desarrollado considera todos los aspectos relevantes para una correcta simulación del área, verifica el funcionamiento del sistema y es validado con la situación actual de la empresa.

Empleando el software Arena se han propuesto diversas alternativas que buscan mejorar el flujo en el área, y es gracias a esta herramienta de simulación que se han podido evidenciar el impacto de dichos escenarios propuestos en los diferentes indicadores analizados: los tiempos en cola para los principales procesos y los porcentajes de utilización de las principales máquinas



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 – MARCO TEÓRICO	2
1.1 Herramientas Estadísticas	2
1.1.1 Población y muestra	2
1.1.2 Tamaño de muestra	2
1.1.3 Pruebas de hipótesis	4
1.1.4 Pruebas de Bondad de ajuste	5
1.1.5 Criterio de aceptación y rechazo empleando p-value	6
1.2	S
Simulación de sistemas	6
1.2.1 Definiciones	6
1.2.2 Etapas para la simulación de sistemas	7
1.2.3 Definiciones para la simulación de eventos discretos	10
1.2.4 Sistemas terminales y no terminales	11
CAPÍTULO 2 – DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	12
2.1 Descripción de la empresa y sus productos	12
2.2 Procesos productivos en el área de Tintorería y Acabados	14
2.3 Rutas de producción	18
2.3.1 Rutas de preparación	19
2.3.2 Rutas de semiproceso	23

2.3.2.1 Rutas de estampado	23
2.3.2.2 Rutas de teñido	25
2.3.3 Rutas de acabado	27
CAPÍTULO 3 – MODELO DE SIMULACIÓN	29
3.1 Supuestos para establecer el modelo	29
3.2 Análisis de datos	30
3.3 Desarrollo del modelo	D 45
3.3.1 Componentes del modelo	46
3.3.2 Descripción del modelo	50
3.4 Verificación y validación de resultados	59
3.4.1 Análisis de resultados	60
3.4.2 Resultados de la validación	62
CAPÍTULO 4 – PROPUESTAS DE MEJORA	63
4.1 Cambios en el mix de producción	63
4.2 Adquisición de recursos	66
CAPÍTULO 5 – EVALUACIÓN CUANTITATIVA	69
5.1 Comparación de propuestas	69
5.1.1 Tiempo en cola	69
5.1.2 Utilización de recursos	70
CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
6.1 Conclusiones	72
6.2 Recomendaciones	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística	4
Tabla 2.1 Tipos de tela	12
Tabla 2.2 Máquinas y operaciones	15
Tabla 2.3 Requerimientos de recetas por tipo de tela	19
Tabla 2.4 Codificación de rutas	19
Tabla 2.5 Rutas de preparación frecuentes	21
Tabla 2.6 Ruta de estampado	24
Tabla 2.7 Rutas de teñido frecuentes	26
Tabla 2.8 Rutas de acabado frecuentes	28
Tabla 3.1 Análisis de datos de las rutas de telas hilo/color	31
Tabla 3.2 Velocidades de operaciones de preparado para telas hilo/color	32
Tabla 3.3 Velocidades de operaciones de preparado para telas blancas	33
Tabla 3.4 Velocidades de operaciones de preparado para telas a teñir	33
Tabla 3.5 Velocidades de operaciones de preparado para telas a estampar	34
Tabla 3.6 Velocidad de la operación de cepillado por tipo de tela	35
Tabla 3.7 Velocidades de operaciones de teñido	35
Tabla 3.8 Velocidades de operaciones de estampado	35
Tabla 3.9 Velocidades de operaciones de acabado de telas hilo/color	36
Tabla 3.10 Velocidades de operaciones de acabado de telas blancas	36

Tabla 3.11 Velocidades de operaciones de acabado de telas teñidas	36
Tabla 3.12 Velocidades de operaciones de acabado de telas estampadas	37
Tabla 3.13 Promedio de horas de reposo	38
Tabla 3.14 Distribuciones de velocidad de revisión y enrollado	41
Tabla 3.15 Distribuciones de tiempos de set-up por máquina	41
Tabla 3.16 Distribuciones de tiempos de limpieza por máquina	42
Tabla 3.17 Distribuciones de reparaciones mecánicas por máquina	42
Tabla 3.18 Proporciones por operación	43
Tabla 3.19 Proporciones de cepillado por tela	44
Tabla 3.20 Distribuciones de tiempo de generación de receta	44
Tabla 3.21 Distribuciones de metros por lote por tipo de tela	45
Tabla 3.22 Distribución de entidades de ingreso	45
Tabla 3.23 Colores y cantidad de bobinas	46
Tabla 3.24 Atributos	47
Tabla 3.25 Colas	47
Tabla 3.26 Estaciones	48
Tabla 3.27 Secuencias	49
Tabla 3.28 Análisis de indicadores	62
Tabla 3.29 Intervalos de confianza	62
Tabla 5.1 Resultados de tiempo en cola	69
Tabla 5.2 Resultados de utilizaciones de máquina	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Flujograma de las etapas de la simulación	9
Figura 2.1 Diagrama de operaciones de la tela	14
Figura 2.2 Pareto frecuencia de Rutas de Preparación	20
Figura 2.3 Pareto frecuencia de Rutas de Estampado	24
Figura 2.4 Pareto frecuencia de Rutas de Teñido	25
Figura 2.5 Pareto frecuencia de Rutas de Acabado	27
Figura 3.1 Distribución para la velocidad de revisión de tela acabada	40
Figura 3.2 Ingreso y asignación de rutas	50
Figura 3.3 Bloques de preparado - procesos húmedos	51
Figura 3.4 Bloques de preparado - procesos secos	52
Figura 3.5 Bloques de proporción cepillado	53
Figura 3.6 Bloques de la zona de reposo	53
Figura 3.7 Bloques de semiproceso - Estampado	54
Figura 3.8 Bloques de semiproceso - Teñido	55
Figura 3.9 Bloques de semiproceso - reasignación del paso para reteñido	55
Figura 3.10 Bloques de acabado	56
Figura 3.11 Bloques de revisión	56
Figura 3.12 Bloques de asignación de reteñido	57
Figura 3.13 Bloques de doblado	58
Figura 3.14 Bloques de generación de recetas	58

Figura 3.15 Elemento DSTATS	59
Figura 3.16 Gráfica Plot de los tiempos de cola	61
Figura 4.1 Resultados optimización mix de producción 1	64
Figura 4.2 Resultados optimización mix de producción 2	65
Figura 4.3 Resultados de adquisición Lavadora	67
Figura 4.4 Resultados optimización adquisición bobinas	68



INTRODUCCIÓN

El primer capítulo contiene todos los conceptos teóricos necesarios para la comprensión de la captura y análisis de datos, se detallan las herramientas estadísticas a emplear, así como también se ahonda en los conceptos de simulación de sistemas para el entendimiento en la construcción del modelo del área de estudio.

El segundo capítulo describe la situación actual del sistema, detalla la maquinaria existente en el área de tintorería, hace referencia a los procesos productivos y a diferentes etapas de proceso en el área, así como también a las rutas de producción que siguen las diversas telas que se procesan.

El tercer capítulo detalla el análisis de datos y el modelamiento o construcción del modelo de simulación del área de estudio en el software Arena. Este capítulo también comprende la validación y verificación de los resultados obtenidos en el modelo, comparándolos con la información real.

En el cuarto capítulo se presentan las diversas propuestas de mejora obtenidas mediante el uso de una herramienta del programa que permite optimizar resultados. Se indicarán tres propuestas, la primera relacionada a la proporción de telas que ingresan en los diferentes tipos de producto, y las dos restantes relacionadas al número de recursos.

En el capítulo cinco se evalúan las propuestas indicadas en el capítulo anterior y se comparan los resultados de dos indicadores de producción entre los diferentes escenarios propuestos.

Finalmente, en el capítulo seis se detallan las recomendaciones y conclusiones del estudio.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Herramientas estadísticas

A continuación se describirán las herramientas de base estadística que se emplearán en el estudio.

1.1.1 Población y muestra

Córdova (2009) define población como la totalidad de valores posibles de una característica particular especificada por la investigación estadística.

El tamaño de una población viene dado por el número de elementos que componen dicha población. Si la población es muy grande puede ser considerada como infinita. Una población finita es aquella que contiene un número limitado de elementos.

Para estudiar el comportamiento o una característica de una población, se emplea una muestra estadística, es decir, una pequeña parte de la población.

Según Spiegel (2001) si la muestra es representativa de la población, el análisis de la muestra permite inferir conclusiones válidas acerca de la población.

1.1.2 Tamaño de muestra

El tamaño de muestra a calcular depende del estadístico que se desea estimar.

Para la estimación de la media, según Mendenhall y Sincich (1997) para una población infinita de datos, el tamaño de muestra busca representar a la población sujeta a estudio.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\sigma^2 \times \left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2}{e^2} \quad (1.1)$$

Donde:

- n es el tamaño de muestra final deseado
- σ es la desviación estándar poblacional, que puede aproximarse a la desviación de una muestra inicial para un “ n ” grande.
- Z es el nivel de confianza
- e es el error máximo permisible expresado en las mismas unidades de lo que se mide.

Para un tamaño conocido o finito de la población N , se emplea la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2 N \sigma^2}{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2 \sigma^2 + (N-1)e^2} \quad (1.2)$$

Para la estimación de la proporción, según Montgomery (2011) para una población infinita o muy grande de datos, podemos emplear la siguiente fórmula para hallar el tamaño de muestra adecuado:

$$n = \left(\frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{e}\right)^2 p(1-p) \quad (1.3)$$

Donde:

- \bar{p} es la estimación de la proporción
- e es el error máximo permisible expresado en las mismas unidades de lo que se mide.

Para un tamaño conocido de población N , se emplea la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2 p(1-p)N}{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2 p(1-p) + (N-1)e^2} \quad (1.4)$$

1.1.3 Prueba de hipótesis

Las pruebas de hipótesis estadísticas refieren a un proceso que nos lleva a tomar una decisión con respecto a diversos parámetros.

Según Mendenhall y Sincich (1997), los elementos de una prueba estadística son:

- H_0 , Hipótesis nula: es la hipótesis provisionalmente aceptada como verdadera y cuya validez se somete a prueba.
- H_1 , Hipótesis alternativa: representa la suposición contraria a la hipótesis nula, puede admitir varios valores.
- **Estadística de prueba**, calculada a partir de los datos de muestra.
- **Región de rechazo**, es la región que indica los valores de la estadística de prueba que determinarán el rechazo de la hipótesis nula.

Según Walpole y Myers (1998) las pruebas de hipótesis pueden resultar en diversas situaciones como se describe en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística

	H_0 es verdadera	H_0 es falsa
Se acepta H_0	Decisión correcta	Error tipo II β
Se rechaza H_0	Error tipo I α	Decisión correcta

Fuente: Walpole y Myers (1998)
Elaboración propia

El error tipo I ocurre cuando se rechaza una hipótesis H_0 que es verdadera. La probabilidad de que ocurra el error tipo I se representa como α . Este valor se fija y suele variar entre 1% y 10%.

El error tipo II ocurre cuando se acepta una hipótesis H_0 que es falsa. La probabilidad de que ocurra el error tipo II se representa como β . Debido a que el valor real del parámetro es desconocido, este error no puede ser fijado.

1.1.4 Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste se emplean para determinar si una muestra de datos se ajusta a una distribución teórica específica.

La prueba se basa en probar qué tan buen ajuste se tiene entre la frecuencia de ocurrencia de las observaciones en una muestra en estudio y las frecuencias esperadas que se obtienen de la distribución a la cual se quiere ajustar. Se tiene dos pruebas ampliamente conocidas:

a) La prueba Chi cuadrada de bondad de ajuste:

El estadístico de prueba es,

$$W = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} \sim \chi^2(k-1) \quad (1.5)$$

Donde:

- W es el valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se asemeja aproximadamente a una distribución Chi Cuadrado.
- O_i es el valor observado.
- e_i es el valor esperado según la distribución a la cual se quiere aproximar.
- k representa el número de parámetros estimados.

b) La prueba Kolmogorov-Smirnov

El estadístico de prueba es,

$$D = \max_x |F_n(x_i) - F_0(x_i)| \quad (1.6)$$

Donde:

- x_i es el i-ésimo valor observado en la muestra (cuyos valores han sido previamente ordenados de menor a mayor).

- $\hat{F}_n(x_i)$ es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i .
- $F_0(x_i)$ es la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i cuando H_0 es cierta.

Para cada prueba se desea examinar:

H_0 = los datos siguen una distribución específica

H_1 = los datos no siguen tal distribución específica

1.1.5 Criterio de aceptación y rechazo empleando p-value

Según Montgomery (2011) el valor P, o p-value, es la probabilidad de que el estadístico de la prueba asuma un valor que es al menos tan extremo como el valor observado del estadístico cuando la hipótesis nula H_0 es verdadera, es decir, es el nivel de significación menor que llevaría al rechazo de la hipótesis nula H_0 .

El nivel de significación se fija generalmente entre 0.05 y 0.01. Para un valor obtenido de p-value se rechaza la hipótesis nula si el valor de p-value es menor al valor de significación establecido.

1.2 Simulación de sistemas

A continuación se detallarán los conceptos y herramientas de la simulación de sistemas que se emplearán en el estudio en curso.

1.2.1 Definiciones

- Sistema
Según Fábregas (2003) un sistema se define como el conjunto de componentes o procesos interrelacionados que recibe entradas, las procesa y emite salidas con la finalidad de lograr un objetivo común.

- Simulación

La simulación de procesos refiere a una técnica para imitar o asemejar la operación de un sistema creado a una realidad mediante una colección de métodos y aplicaciones con la finalidad de evaluar escenarios diversos y estudiar el comportamiento del sistema.

1.2.2 Etapas para la simulación de sistemas

A continuación se describe cada etapa para la simulación de sistemas:

a) Definición del sistema

En esta etapa se debe definir los límites del sistema a modelar en función del problema principal que se quiere estudiar. Para lograrlo es necesario realizar un análisis preliminar y determinar las interacciones del sistema con otros sistemas que puedan influenciar en lo que se planea modelar.

b) Establecimiento de objetivos

Se deben establecer los objetivos de la simulación a modo de tener claro cuál es el propósito de la misma y con ello buscar en cada etapa su obtención.

c) Definición del modelo conceptual

En esta etapa se debe establecer la lógica del funcionamiento del modelo considerando todas las variables y restricciones reales del sistema.

d) Recolección de datos

Para cada proceso dentro del modelo primero se deben definir cuáles son los datos necesarios para el funcionamiento lógico del mismo, luego, se debe tomar una muestra válida de datos que respalden la realidad a simular.

e) Desarrollo del modelo

En esta etapa se realizará el modelo implementando la lógica definida anteriormente e ingresando los valores necesarios para el correcto funcionamiento del mismo.

f) Verificación del modelo

En esta etapa lo que se busca es que el modelo desarrollado cumpla con la lógica definida y que no se cometan errores en la programación que originen que la simulación no sea completada. Empleando el software Arena, podemos decir que el modelo no se verifica si al realizar una simulación del sistema este no corre, es decir, no completa la totalidad del modelo desarrollado. Se debe verificar nuevamente el modelo e identificar cuál es el error hasta solucionarlo.

g) Validación del modelo

Se deben comparar los resultados obtenidos a partir de la simulación con los resultados reales del sistema en estudio, si los resultados obtenidos muestran que el modelo es válido, entonces se puede concluir que el modelo ha sido correctamente formulado, diseñado y constituido, caso contrario se debe realizar un estudio en cada etapa que compone el modelo, es decir, revisar el desarrollo del modelo, y corregir los errores que se puedan encontrar hasta validar sus resultados.

h) Corridas y análisis de resultados

Una vez que el modelo desarrollado ha sido verificado y validado, se debe proceder a realizar experimentos para luego analizar los resultados que dichas situaciones simuladas puedan arrojar. En esta etapa se formulan alternativas de mejora, estas alternativas pueden desarrollarse a partir de modificaciones del modelo inicial tales como disminución o aumento de recursos, modificación de procesos, entre otras.

i) Documentación de reportes e implementación

Para cada situación simulada se deben documentar los resultados, de este modo, finalizado el estudio, se puedan comparar los resultados obtenidos y así llegar a una conclusión que permita mejorar el sistema simulado. Para la mejor

alternativa se debe buscar su implementación con la confianza de lograr los resultados obtenidos mediante esta herramienta.

A continuación en la figura 1.1 se presenta el flujograma donde se observa paso a paso cada etapa de la simulación tomando como base la metodología de Fitzsimmons (2004).



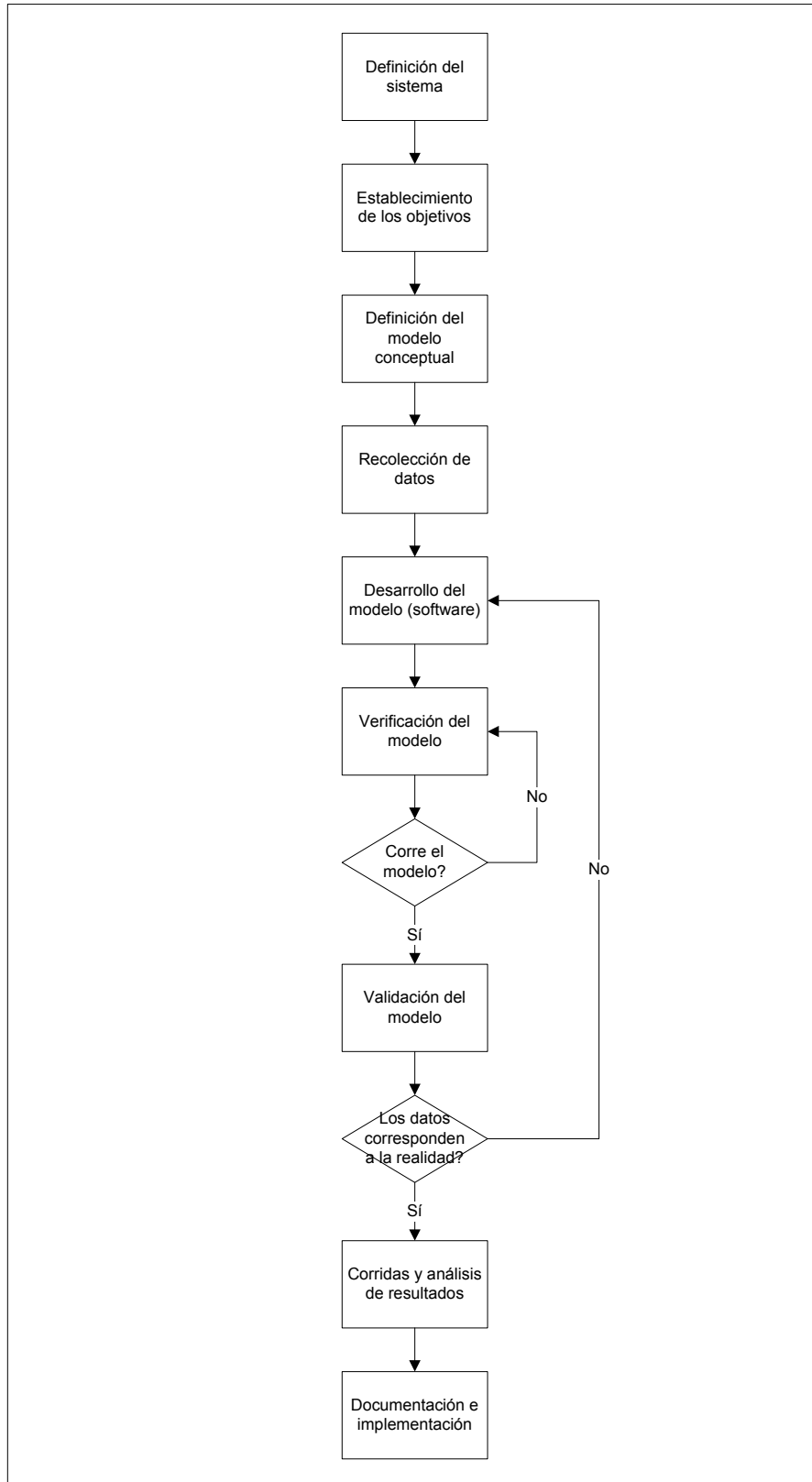


Figura 1.1 Flujograma de las etapas de la simulación
Elaboración propia

1.2.3 Definiciones para la simulación de eventos discretos

A continuación se definen algunos conceptos que nos ayudarán a la elaboración del modelo:

- **Evento**
Es un acontecimiento que sucede en un instante de tiempo determinado y que puede cambiar las condiciones de un sistema. Por ejemplo, algunos eventos en una simulación de sistemas pueden ser la llegada o salida de un objeto.
- **Entidad**
Una entidad se define como un objeto que cumple una función explícita en el sistema y que ocasiona cambios en las variables, y que además pueden ser afectados por otras entidades. Una entidad puede ser de dos tipos, estática o dinámica. Una entidad estática es aquella que no se mueve por el sistema mientras que una entidad dinámica es aquella que sí se desplaza por el sistema.
- **Recurso**
Un recurso es una entidad estática que provee de un servicio a las entidades dinámicas del modelo. Usualmente representa a personal o maquinaria.
- **Atributo**
Un atributo refiere a una característica propia de una entidad. Es importante mencionar que si bien todas las entidades tienen atributos, éstos pueden tomar diferentes valores dependiendo cada entidad, en adición a ello, cada entidad puede ser caracterizada por más de un atributo.
- **Variables de estado**
Es aquella información que detallará la situación de un sistema en un determinado momento.

- Variables globales

Una variable global del sistema refleja alguna característica del mismo sin importar las entidades que el sistema contenga. Una variable global no se encuentra atada a ninguna entidad en particular.

1.2.4 Sistemas terminales y no terminales

Antes de empezar a realizar un modelo de simulación se debe analizar si el modelo a desarrollar representa un sistema terminal o no terminal.

- **Sistema terminal**
Se define un sistema terminal como aquel que tiene una condición fija de inicio y un fin establecido. Este inicio y fin puede estar determinado por un suceso u hora en particular. Un ejemplo son los sistemas de atención en los bancos, restaurantes, tiendas, entre otros establecimientos que brindan servicio al cliente.
- **Sistema no terminal**
Un sistema no terminal es aquel que no cumple la condición de un sistema terminal, es decir, no tiene un inicio definido por una situación particular, así como tampoco tiene un fin establecido por lo que continúa su funcionamiento a lo largo del tiempo. Ejemplo de sistemas no terminales son las fábricas que trabajan las 24 horas al día sin interrumpir la producción.

Para efectos de simulación, un sistema no terminal puede ser modelado como terminal si éste lo permite.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 Descripción de la Empresa y sus productos

La Empresa en la cual se basa el estudio es una compañía textil verticalmente integrada que maneja los procesos productivos desde el desmote del algodón hasta la fabricación y acabado de telas, completando la cadena productiva gracias a su subsidiaria, la planta de confecciones. Se tienen tres líneas de producción: hilados, telas y confecciones.

La Empresa cuenta en la actualidad con siete plantas industriales ubicadas en diversas partes del país, tres de ellas se encargan únicamente del desmote del algodón, en las cuatro plantas restantes se producen los hilos y solo en una de ellas, en adición, las telas, siendo para esta planta en particular el producto principal; como se mencionó en el párrafo anterior es en una subsidiaria donde se realizan las confecciones.

El presente estudio ahondará en los procesos productivos para el producto telas únicamente. La Empresa produce tela plana, este tipo de tejido es característico de las telas de decoración y de la ropa de vestir casual: camisas, pantalones, vestidos, entre otros. Dichas telas se clasifican en distintos tipos en función de diversas características tal como se describe en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tipos de tela

Tipo de tela	Denominación	Descripción
Hilo/color	HC	Tela tejida en base a hilos crudos e hilos previamente teñidos. Empleados para camisería, pantalones y pañuelos.
Blanca	B	Tela tejida en base a hilos crudos netamente. Empleadas para los forros de bolsillo, camisería y pantalones color blanco.
Teñida	T	Tela tejida en base a hilos crudos netamente. Empleadas para uniformes, camisas, pantalones y pijamas.

Estampada	E	Tela tejida en base a hilos crudos netamente. Empleadas para decoración en su mayoría.
-----------	---	--

Elaboración propia

Cada una de ellas recibe diversos tratamientos físicos y químicos por lo que sus rutas de proceso son distintas según su tipo.

Todas las telas se diferencian por el tipo de hilo y el tipo de ligamento empleado para su tejido, todas ellas tienen un código de diseño o dibujo y en el caso de las telas teñidas particularmente tienen un código de color asignado. Como parte de la codificación de cada tela, estas llevan un código de acabado que es el que definirá esencialmente la ruta de procesos por los cuales atravesará la tela en sus diversas etapas de producción.

Existen varios miles de diseños/dibujos y combinaciones ya producidas, y varios miles más por producir. Mensualmente se despachan entre 500 mil y 700 mil metros de tela que corresponden a cientos de pedidos distintos de diferente metraje para una amplia gama de clientes reconocidos a nivel mundial.

La empresa es reconocida internacionalmente por su alta calidad de telas para camisería, específicamente, debido a las telas del tipo hilo/color que son las de mayor producción respecto al resto de telas.

Particularmente, las telas del tipo hilo/color tienen una vida corta en el área de estudio debido a que sus procesos son cortos y son los que menor probabilidad tienen de presentar defectos a lo largo de su cadena productiva, lo que aumenta la productividad de la planta en general.

Las telas blancas, las cuales representan alrededor del 15% de la producción, también se procesan en un tiempo menor en comparación con las telas teñidas y estampadas, las cuales requieren de procesos intermedios que alargan su permanencia en el área.

Las telas estampadas son las que se producen en menor proporción, alrededor del 8% de la producción, debido al exclusivo mercado al que son dirigidas, como se indicó en la tabla 2.1, son empleadas casi en su totalidad para fines de decoración: cortinas, tapicería para muebles, entre otros usos.

Las telas teñidas se producen en mayor proporción que las telas estampadas, sin embargo, su tiempo de permanencia en el área puede ser más o menos largo según los resultados de color obtenidos. Este tipo de telas tiene un alto porcentaje de reproceso por disconformidad de color.

2.2 Procesos productivos en el área de Tintorería y Acabados

En la figura 2.1 se puede apreciar la cadena de procesos que requiere una tela desde la concepción del hilado necesario, hasta que la tela es empacada para su despacho al cliente.



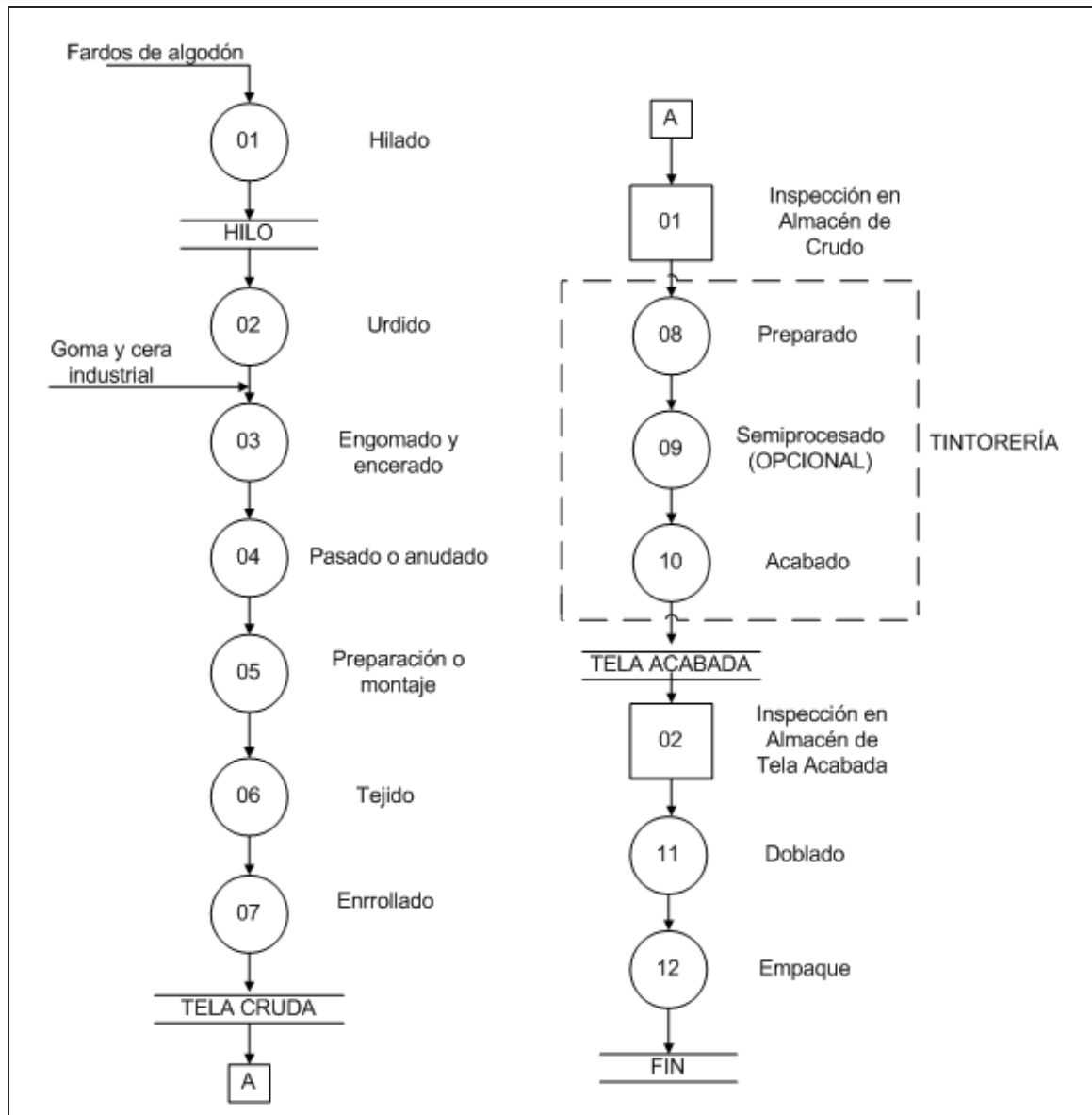


Figura 2.1 Diagrama de operaciones de la tela

Fuente: La Empresa

Elaboración propia

En la figura 2.1 se puede apreciar que el origen de toda tela nace en la producción del hilado; obtenidos los hilos, continúa el proceso de fabricación de la tela en el área de tejeduría donde se procede con el urdido de los hilos, engomado y encerado, pasado o anudado y tejido propiamente en el telar donde se obtiene la tela cruda.

Como se mencionó en el punto anterior, todas las telas reciben diversos tratamientos intermedios para poder ser empleadas acorde a su uso final deseado por el cliente. Estos procesos se dan en el área de Tintorería.

Como indicado en la figura 2.1, se distinguen tres grupos de procesos por los cuales atraviesa una tela en el área de tintorería: los procesos de *preparación* de la tela, los de *semiproceso*, que a su vez se subdividen en los procesos de teñido y de estampado, y finalmente, los procesos de *acabado* en ese orden.

Cada grupo de procesos refiere a una etapa diferenciada que requiere de una receta correspondiente a una ruta base específica en la que se detallan los procesos que la tela necesita.

Cada proceso es realizado en maquinaria diversa, a continuación se presenta una lista de la maquinaria existente en el área, y las operaciones que cada una de estas máquinas realiza:

Tabla 2.2 Máquinas y operaciones

Máquina	cod.	Descripción Operación
Gaseadora	2	Desencolado
	3	Chamusc/Desencolado
	9	Impreg. Oxalico
	11	Chamuscado
	12	Chamus. Oxalico
	16	Lavado varsol
	18	Escobillado
Blanqueadora	5	Blanq. Químico
	6	Lavado Blanqueo
	15	Lavado Desencolado
	20	Lavado Semiblanco
Lavadora II	15	Lavado Desencolado
	19	Lavado Teñido
	20	Lavado Semiblanco
	21	Lavado Estampado

Elaboración propia

Tabla 2.2 Máquinas y operaciones (continuación)

Máquina	cod.	Descripción Operación
Lavadora II	41	Jabonado
	51	Lavado Reductivo
	70	Fijación-Oxidación
Mercerizadora	13	Caustificado
	27	Lavado
	49	Mercerizado
	62	Lavado Impregnado
	64	Desencolado

	65	Jabonado
Cepilladora	20	Cepillado Cara
	21	Cepillado Revés
Jigger	2	Impregnado
	7	Desmontado
	27	Lavado
	36	Reducción/Oxidación
	41	Jabonado
	51	Lavado Reductivo
	58	Lavado Oxálico
	78	Teñido Ebullición
	79	Blanqueo y Lavado
	81	Descrudado
	82	Fijación/Oxidación
Foulard	83	Desarrollo
	1	Aprestado
	2	Impregnado
	80	Teñido Frio
	81	Teñido Thermosol
	82	Teñido/Impregnado/Secado
	83	Teñido Termofijado
	84	Teñido Thermosol Catiónico
Thermosol	85	Teñido Thermosol Tina
	86	Impregnado Tina
	56	Polymerizado
	75	Termofijado
	76	Curado Thermex
	77	Impregnado Tina

Elaboración propia

Tabla 2.2 Máquinas y operaciones (continuación)

Máquina	cod.	Descripción Operación
Rama Monforts	1	Aprestado
	46	Replanchado
	56	Polymerizado
	65	Secado
	66	Anchado
	69	Secado/Neutralizado
	70	Impregnado Húmedo
	71	Impregnado Suavizado

	72	Impregnado Dicofix
	73	Impregnado Tinofix
	75	Termofijado
	76	Impregnado c/Fijador
	77	Impregnado Hostalu
	78	Curado
Sanforizado	14	Sanforizado
	45	Pre-Humectado
	47	Palmer/Sanforizado
Calandra	10	Calandrado
Perchadora	97	Pase Cara
	98	Pase Revés
Rama Babcock	1	Aprestado
	10	Impregnado
	46	Replanchado
	56	Polymerizado
	65	Secado
	66	Anchado
	69	Secado/Neutralizado
	70	Impregnado Húmedo
	71	Impregnado Suavizado
	72	Impregnado Dicofix
	73	Impregnado Tinofix
	75	Termofijado
	76	Impregnado c/Fijador
77	Impregnado Hostalu	
78	Curado	

Elaboración propia

Como se puede observar existen máquinas que pueden realizar las mismas operaciones entre sí; sin embargo, las rutas de producción asignadas en las recetas de cada tela en sus respectivas etapas definen la lista teórica de máquinas por las cuales la tela seguirá su propia secuencia de procesos.

En la práctica, una ruta puede ser sujeta a modificaciones por el supervisor de turno en función de las colas que se generan por máquina, pudiendo variar la máquina donde se realizará el proceso, más no puede alterar la secuencia de procesos que la ruta indica.

Lógicamente no todas las telas requieren de todos los procesos mencionados por igual, qué secuencia de procesos seguirá cada tela depende de su uso final y del tipo de acabado definido y aprobado por el cliente, dicha secuencia es definida por el laboratorio químico de tintorería antes de la emisión de las recetas.

Es muy importante que el producto final obtenido de la secuencia de procesos físicos y químicos cumpla con los estándares aprobados por el cliente, es por ello que para cada pedido se mantiene un estricto seguimiento de los parámetros involucrados en cada proceso.

Cada etapa de procesamiento será profundizada en el siguiente punto.

2.3 Rutas de producción

Se definen como rutas de producción a la secuencia de procesos que seguirá cada tela en función de sus requerimientos.

Dependiendo del tipo de tela ésta necesitará entre dos a cuatro rutas de producción tal como se observa en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Requerimientos de rutas por tipo de tela

Tipo de tela	Tipos de rutas			
	Preparado	Teñido	Estampado	Acabado
Hilo/color	X			X
Blanco	X			X
Teñido	X	X		X
Estampado	X		X	X

Elaboración propia

Cada ruta se define en una 'Hoja de ruta' física que acompaña a la bobina o coche de tela en su recorrido por la planta, en la cual los operarios toman nota de las fechas, tiempos, metrajes para cada proceso, el número de bobina en la que se encuentra la tela y el encargado de la máquina u operario que supervisó el proceso en cada paso.

Las rutas de producción para cada etapa se codifican mediante cuatro dígitos, siendo el primer dígito el que determina la etapa correspondiente, mientras que los tres dígitos restantes son números correlativos.

Tabla 2.4 Codificación de rutas

Primer dígito	Ruta correspondiente
1	Rutas de preparación
2	Rutas de estampado
3	Rutas de teñido
4	Rutas de acabado

Elaboración propia

En cualquier etapa se pueden llevar a cabo re-procesos, dichas modificaciones de la ruta original generan una nueva emisión de Hoja de ruta que lleva una codificación similar según la etapa que se va a re-procesar. Es por este motivo que en la actualidad existen una gran cantidad de rutas que no se emplean, pues son producto de una formulación para casos puntuales de re-proceso que no tienen gran frecuencia.

2.3.1 Rutas de preparación

Las rutas de preparación son las rutas de ingreso al área de tintorería, en ellas las telas atraviesan diversos procesos químicos que las preparan para sus posteriores procesos. Ésta etapa de producción también es conocida como la etapa húmeda.

Todas las telas requieren de los diversos procesos de preparación, pues sin ellos no es factible el uso de la tela para la cual está destinada.

Si bien se tiene un registro de 245 rutas de preparación, de las cuales alrededor del 90% están descontinuadas debido a cambios en los procesos con el paso de los años, son pocas las que se emplean con gran regularidad.

Analizando la frecuencia de las rutas de preparación empleadas en los últimos doce meses, se obtiene el siguiente gráfico de Pareto en el que se observa que son solo siete las rutas que realmente agrupan más del 80% de las recetas generadas.

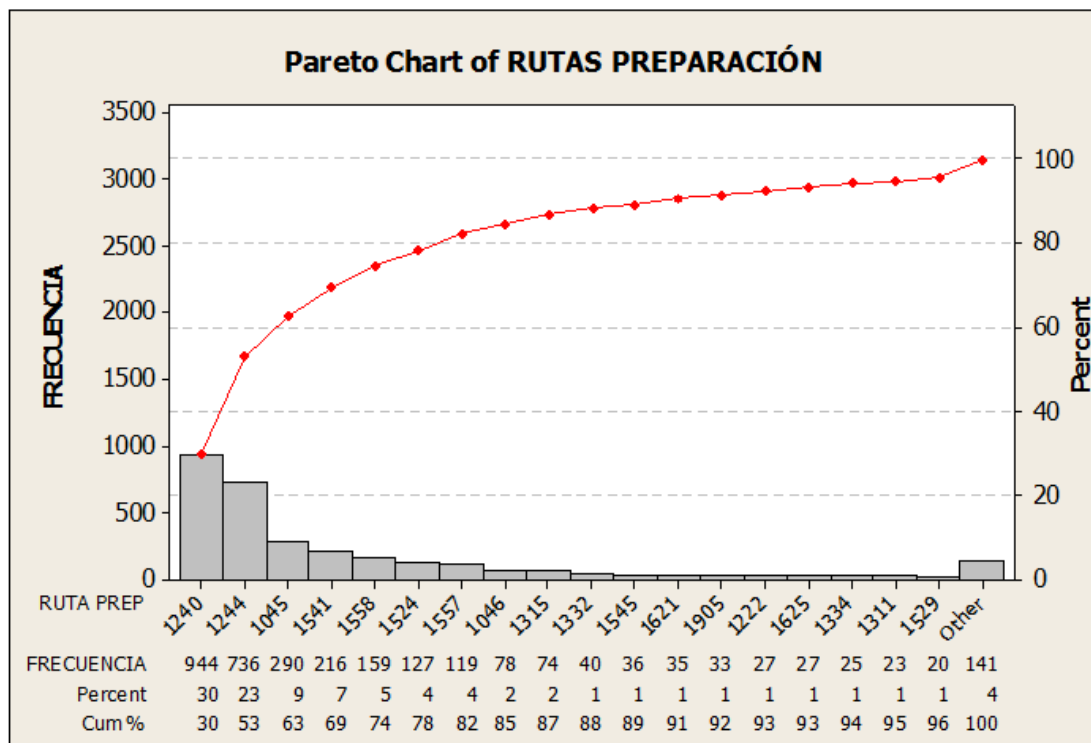


Figura 2.2 Pareto frecuencia de Rutas de Preparación

Fuente: La Empresa

Elaboración propia

Entre las rutas de preparado más comunes se encuentran las siguientes:

Tabla 2.5 Rutas de preparación frecuentes

Ruta Base	Descripción	Paso	Máquina	cod.	Operación
1240	Semiblanco mercerizado	10	Gaseador/Desen	3	Chamusc/Desencolado
		20	Estac. Reposo	90	Reposo 2horas
		30	Blanqueadora	5	Blanqueo Químico
		40	Estac. Reposo	94	Reposo 12horas
		50	Lavadora II	20	Lavado Semiblanco
		60	Mercerizadora	49	Mercerizado
		70	Rama Monforts	65	Secado
1244	Semiblanco mercerizado anchado	10	Gaseador/Desen	3	Chamusc/Desencolado
		20	Estac. Reposo	90	Reposo 2horas
		30	Blanqueadora	5	Blanqueo Químico
		40	Estac. Reposo	94	Reposo 12horas
		50	Lavadora II	20	Lavado Semiblanco
		60	Rama Monforts	66	Anchado
		70	Mercerizadora	49	Mercerizado
		80	Rama Monforts	65	Secado
1045	Desencolado mercerizado	10	Gaseador/Desen	3	Chamusc/Desencolado
		30	Lavadora II	15	Lavado Desencolado
		40	Mercerizadora	49	Mercerizado
		50	Rama Monforts	65	Secado
1541	Semiblanco mercerizado lavado blanqueo	10	Gaseador/Desen	3	Chamusc/Desencolado
		20	Estac. Reposo	90	Reposo 2horas
		30	Blanqueadora	5	Blanqueo Químico
		40	Estac. Reposo	96	Reposo 16horas
		50	Blanqueadora	6	Lavado Blanqueo
		53	Estac. Reposo	91	Reposo 4horas
		56	Lavadora II	20	Lavado Semiblanco
		60	Mercerizadora	49	Mercerizado
		100	Rama Monforts	65	Secado
1558	Semiblanco mercerizado anchado lavado blanqueo 1001	10	Gaseador/Desen	3	Chamusc/Desencolado
		20	Estac. Reposo	90	Reposo 2horas
		30	Blanqueadora	5	Blanqueo Químico
		40	Estac. Reposo	96	Reposo 16horas
		43	Blanqueadora	6	Lavado Blanqueo
		46	Estac. Reposo	91	Reposo 4horas
		50	Lavadora II	20	Lavado Semiblanco
		60	Rama Monforts	66	Anchado
		70	Mercerizadora	49	Mercerizado
		100	Rama Monforts	69	Secado/Neutralizado

Elaboración propia

Tabla 2.5 Rutas de preparación frecuentes (continuación)

Ruta Base	Descripción	Paso	Máquina	cod.	Operación
1524	Semiblanco caustificado anchado lavado blanqueo	10	Gaseador/Desen	2	Desencolado
		20	Estac. Reposo	90	Reposo 2horas
		30	Blanqueadora	5	Blanqueo Químico
		40	Estac. Reposo	98	Reposo 24horas
		43	Blanqueadora	6	Lavado Blanqueo
		46	Estac. Reposo	92	Reposo 8horas
		50	Lavadora II	20	Lavado Semiblanco
		60	Rama Monforts	66	Anchado
		70	Mercerizadora	13	Caustificado
		110	Rama Monforts	65	Secado
1557	Semiblanco mercerizado lavado blanqueo 1001	10	Gaseador/Desen	3	Chamusc/Desencolado
		20	Estac. Reposo	90	Reposo 2horas
		30	Blanqueadora	5	Blanqueo Químico
		40	Estac. Reposo	96	Reposo 16horas
		43	Blanqueadora	6	Lavado Blanqueo
		46	Estac. Reposo	91	Reposo 4horas
		50	Lavadora II	20	Lavado Semiblanco
		70	Mercerizadora	49	Mercerizado
		110	Rama Monforts	69	Secado/Neutralizado

Elaboración propia

Como se observa en la tabla 2.5, a cada ruta le corresponde una secuencia de procesos que debe respetarse, incluyendo las etapas de reposo. Sin embargo, en caso la tela presente alguna disconformidad al inicio o final de un proceso, es responsabilidad del operario reportar al supervisor de turno para que se decidan las acciones correctivas sin perjudicar la tela. Dichas modificaciones pueden ser alteraciones en las rutas como inclusión de procesos dentro de una ruta establecida; sin embargo, no es de gran frecuencia en esta primera etapa.

Esta fase es la de mayor duración debido a la demanda de las máquinas para cumplir las rutas y en adición por los tiempos de reposo que se requieren para que se completen los procesos químicos por los que es sometida cada tela.

Es importante mencionar que los pasos que involucran un reposo de tela también están sujetos a una capacidad de estaciones de reposo. La tela debe permanecer en la zona de reposo girando a una determinada velocidad para evitar que la humedad de la tela se precipite en un solo lugar, generando así reacciones químicas no uniformes.

Toda tela debe reposar el tiempo mínimo indicado en la receta, sin embargo, en la actualidad los tiempos reales que reposan las telas son superiores.

2.3.2 Rutas de semiproceto

Como se ha mencionado en puntos anteriores, las rutas de semiproceto se subdividen internamente en dos: rutas para las telas estampadas y rutas para telas teñidas.

Para las rutas de teñido específicamente se tiene internamente una serie de procesos y como proceso final un paso llamado Revisado de tela Semiprocetada.

En dicho paso la tela debe ser revisada completamente en búsqueda de cualquier desperfecto, esta operación es realizada por un operario en una de las máquinas revisadoras en el almacén de tela.

Luego, como parte del control de calidad un empleado del área de Control de Producción toma una muestra de la tela y la compara con la muestra aceptada por el cliente.

Si la muestra aprueba los estándares definidos por el cliente, o está dentro de sus tolerancias, se procede a generar la Hoja de ruta de la siguiente etapa. Si la muestra no es aprobada, se tiene que generar la correspondiente receta de re-proceso.

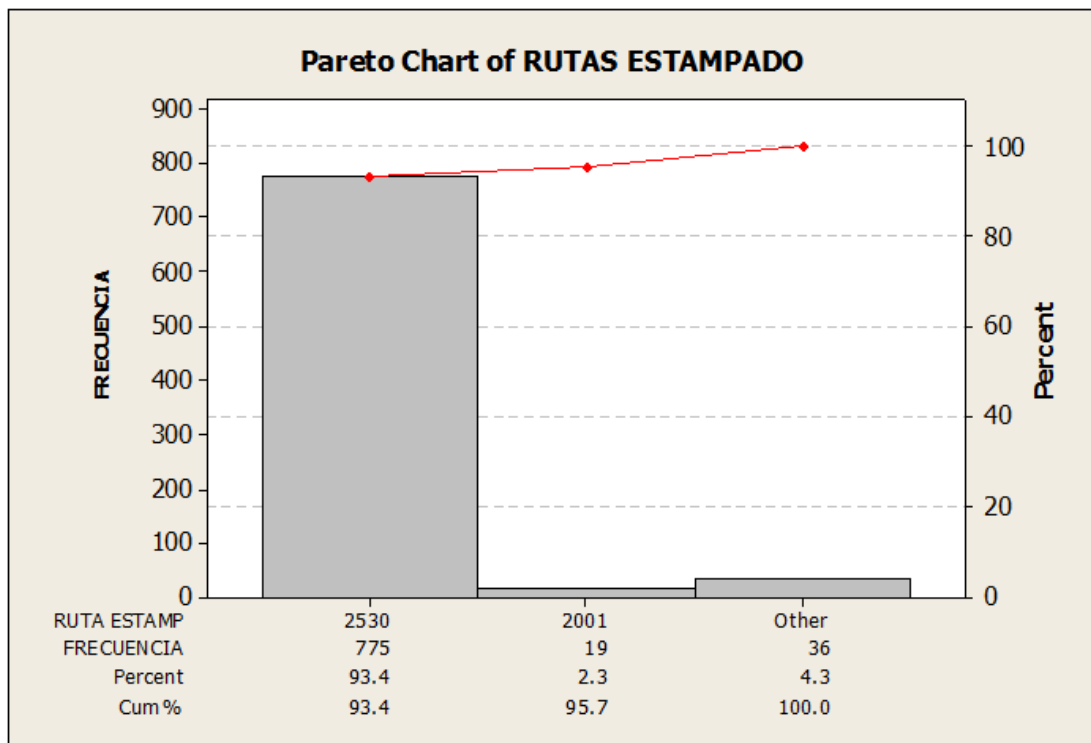
Tal como se analizó en las rutas de preparación, las rutas de semiproceto también son numerosas; sin embargo, son pocas las que se emplean con gran frecuencia. Para cada semiproceto se analizarán las rutas más frecuentes.

2.3.2.1 Rutas de estampado

Las rutas de estampado son, en comparación de procesos con las rutas de preparación, bastante cortas y simples, además, son las rutas que menores contratiempos generan a toda la cadena de procesos en las diversas etapas.

Parte de los procesos de las rutas de estampado son llevados a cabo en el área de Estampado, sin embargo, algunos procesos requieren de la maquinaria empleada en el área de Tintorería y Acabados por lo que es necesaria su descripción.

A continuación se observa en la figura 2.3 la gráfica Pareto de las rutas de estampado empleadas en los últimos 12 meses.



Fig

Figura 2.3 Pareto frecuencia de Rutas de Estampado
Fuente: La Empresa
Elaboración propia

De las trece rutas de estampado existentes en el sistema, sólo una ruta es empleada con gran frecuencia, más del 90% de las veces, la ruta 2530 tal como se demuestra en la figura 2.3.

A continuación se detallan los pasos de la ruta 2530.

Tabla 2.6 Ruta de estampado

Ruta Base	Descripción	Paso	Máquina	cod.	Operación
2530	Estampado vaporizado reactivo	10	Estamp. Stork	88	Est. Reactivo
		30	Vaporiz.Arioli	89	Fija.Col.Reac.
		40	Lavadora II	21	Lav. Estampado
		60	Rama Monforts	65	Secado

Elaboración propia

Como se observa en la tabla 2.6 los primeros dos procesos son realizados en maquinaria que no pertenece al área de tintorería según la lista presentada en la tabla 2.2., los dos procesos siguientes sí son realizados en el área de estudio.

El área de Estampado no será parte de la investigación debido a que, como ya se mencionó, los procesos involucrados son cortos y en menor cantidad comparado con el resto de telas.

2.3.2.2 Rutas de teñido

A continuación se presenta la gráfica Pareto para las rutas de teñido más frecuentes.

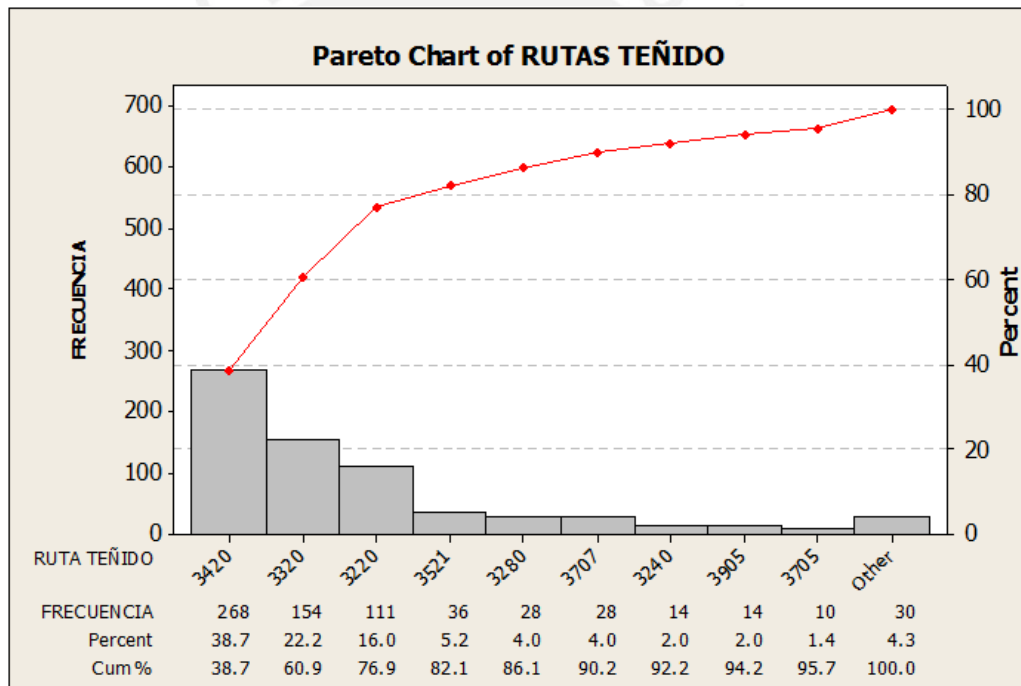


Figura 2.4 Pareto frecuencia de Rutas de Teñido

Fuente: La Empresa

Elaboración propia

En la tabla 2.7 se presentan las rutas de teñido más comunes correspondiente a lo presentado en la figura 2.4.

Tabla 2.7 Rutas de teñido frecuentes

Ruta Base	Descripción	Paso	Máquina	cod.	Operación
3220	Teñido claro reactivo	10	Foulard	80	Teñido Frío
		20	Estac. Reposo	94	Reposo 12horas
		30	Lavadora II	19	Lavado Teñido
		40	Rama Monforts	65	Secado
		50	Rev.Tela P/S/A	100	Rev.Tela Semip.
3320	Teñido medio reactivo	10	Foulard	80	Teñido Frío
		20	Estac. Reposo	94	Reposo 12horas
		30	Lavadora II	19	Lavado Teñido
		40	Lavadora II	22	Lavado Teñido
		50	Rama Monforts	65	Secado
		60	Rev.Tela P/S/A	100	Rev.Tela Semip.
3420	Teñido oscuro reactivo	10	Foulard	80	Teñido Frío
		20	Estac. Reposo	94	Reposo 12horas
		30	Lavadora II	19	Lavado Teñido
		40	Lavadora II	22	Lavado Teñido
		50	Lavadora II	23	Lavado Teñido
		60	Rama Monforts	54	Secado
		70	Rev.Tela P/S/A	100	Rev.Tela Semip.
3521	Teñido especial reactivo	10	Foulard	80	Teñido Frío
		20	Estac. Reposo	94	Reposo 12horas
		30	Lavadora II	19	Lavado Teñido
		40	Lavadora II	22	Lavado Teñido
		50	Lavadora II	23	Lavado Teñido
		60	Lavadora II	24	Lavado Teñido
		70	Rama Monforts	54	Secado
		80	Rev.Tela P/S/A	100	Rev.Tela Semip.

Elaboración propia

Si se observa detenidamente, todas las rutas se diferencian por el número de procesos Lavado Teñido necesarios, dicho proceso es requerido tantas veces sea necesario para lograr el color aprobado por el cliente.

Son las telas teñidas las que mayor conflicto generan a lo largo de la cadena de procesos debido a los resultados del color disconforme.

Para tales casos, es necesaria una reformulación de recetas en las que el laboratorio químico necesita re-definir la combinación de químicos y tintes necesarios para lograr llegar al color aprobado por el cliente.

Comúnmente los re-procesos de teñido son realizados sobre la tela teñida inicial, por lo que la reformulación de recetas de tintes puede demorar un tiempo considerable mientras duren las pruebas sobre muestras y se aprueben por los jefes de Control de producción y Tintorería.

2.3.3 Rutas de acabado

Los procesos de las rutas de acabado son bastante cortos a diferencia de las rutas expuestas previamente. Esta etapa se conoce también como la etapa seca de los procesos en el área.

Realizando el mismo análisis de frecuencia de rutas empleadas elaborado para las etapas anteriores, se obtiene el siguiente Pareto de frecuencias de rutas de acabado.

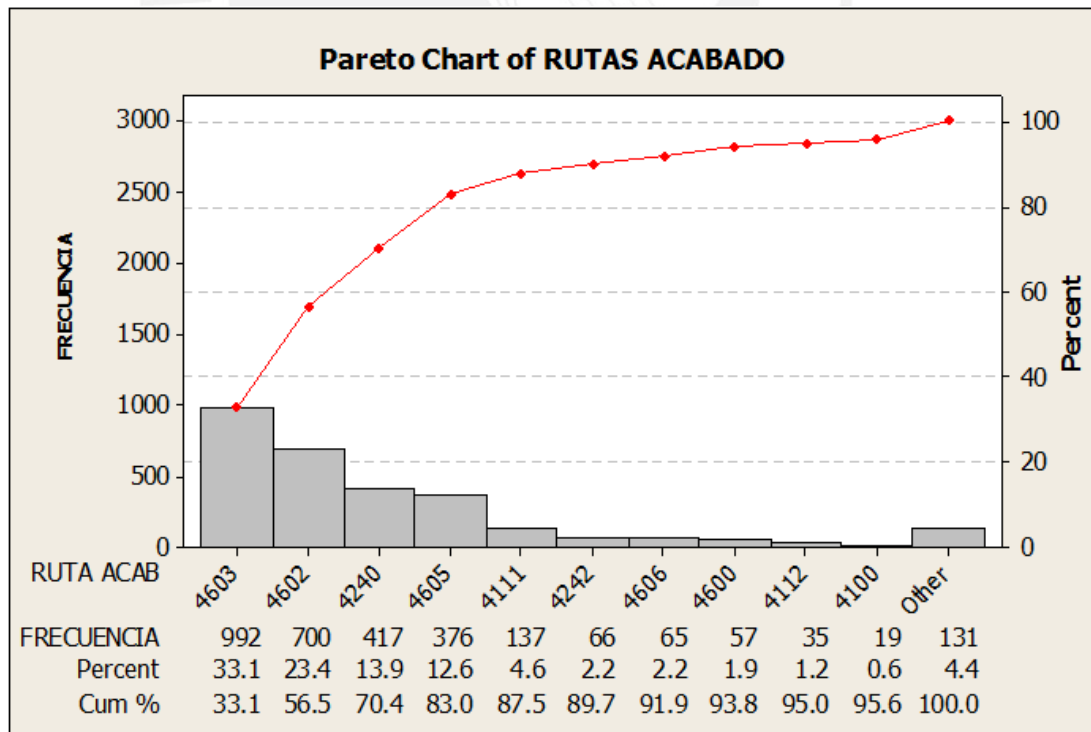


Figura 2.5 Pareto frecuencia de Rutas de Acabado

Fuente: La Empresa
Elaboración propia

Así como en las rutas anteriores, existen 78 rutas de acabado definidas en planta; sin embargo, son pocas las que se utilizan con gran frecuencia, éstas se muestran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Rutas de acabado frecuentes

Ruta Base	Descripción	Paso	Máquina	cod.	Operación
4602	Impregnado sanforizado	10	Rama Monforts	71	Impreg.Suavizado
		20	Sanforizado	14	Sanforizado
		30	Rev.Tela P/S/A	102	Rev.Tela Acab.
		40	Enroll/Doblado	110	Doblado/Enrollado
4603	Impregnado calandrado sanforizado	10	Rama Monforts	71	Impreg.Suavizado
		20	Calandra	10	Calandrado
		30	Sanforizado	14	Sanforizado
		40	Rev.Tela P/S/A	102	Rev.Tela Acab.
		50	Enroll/Doblado	110	Doblado/Enrollado
4240	Apresto sanforizado	10	Rama Monforts	1	Aprestado
		20	Sanforizado	14	Sanforizado
		30	Rev.Tela P/S/A	102	Rev.Tela Acab.
		40	Enroll/Doblado	110	Doblado/Enrollado
4605	Impregnado Calandrado Revisado Sanforizado	10	Rama Monforts	71	Impreg.Suavizado
		20	Calandra	10	Calandrado
		30	Rev.Tela P/S/A	102	Rev.Tela Acab.
		40	Sanforizado	14	Sanforizado
		50	Enroll/Doblado	110	Doblado/Enrollado

Elaboración propia

Esta etapa es con gran diferencia, la etapa más corta en la vida de una tela en el área de tintorería.

El último proceso de Doblado/Enrollado se lleva a cabo en el almacén de tela acabada, y sólo puede realizarse luego que los laboratorios físicos y químicos proporcionen los datos de resistencia, encogimiento y abrasión de cada tela, pues es parte de la información que se proporciona a todos los clientes y que debe cumplir los estándares establecidos por la Empresa.

CAPÍTULO 3: MODELO DE SIMULACIÓN

3.1 Supuestos para establecer el modelo

Se han tomado ciertos supuestos a la hora de conceptualizar el modelo a desarrollar, muchos de ellos parten de la experiencia del manejo de rutas y de las variaciones en las rutas en el día a día de la producción. A continuación se detallarán algunos supuestos tomados inicialmente.

Tal como ya ha sido detallado, se tiene un número muy grande de rutas existentes para todas las etapas, es por ello que para efectos de la simulación sólo emplearán aquellas que se han presentado como rutas frecuentes correspondientes a las rutas descritas en el capítulo 2. Estas rutas engloban todos los procesos que requieren las telas representativas y con mayor producción de la empresa.

Para cada entidad, el modelo asignará un valor de metraje que acompañará a la entidad a lo largo del modelo, es decir, cada tela ingresa y abandona el sistema con el mismo valor de metraje. Este atributo será útil para llevar un control sobre los metrajes de producción y para poder simular con mayor exactitud los tiempos de servicio de cada máquina por cada operación.

Para cada operación por máquina, complementando el supuesto anterior, se ha definido emplear las velocidades como atributos de cada entidad, dichos valores son variables en función de la ruta y del tipo de tela, por lo que no pueden ser manejados de forma global. Adicional a ello, dado que son valores que provienen de los estándares manejados por el área, todas las velocidades serán estimadas a partir del análisis de datos.

Tal como se mencionó en el capítulo 2, existen procesos que son realizados en diferentes máquinas, por ejemplo las operaciones que se realizan en la Rama Monforts y en la Rama Babcock; todas las rutas de producción (en el sistema ERP) solo contienen la primera máquina únicamente dado que la segunda máquina fue adquirida hace algunos años y por decisión superior las rutas de producción no fueron afectadas; sin embargo, se le dio autorización al área de tintorería de emplear la Rama Babcock

en las rutas y telas que crea conveniente. En el modelo se definirá un porcentaje de tela a la cual se le asignará cada una de las máquinas con base en diferentes muestras analizadas por operación.

Todos los supuestos serán profundizados en la explicación y desarrollo del modelo en el siguiente punto.

3.2 Análisis de datos

Como se ha indicado en los supuestos, los tiempos de servicio de cada operación por máquina dependerán de la velocidad y del metraje asociado a cada entidad.

Para todas las operaciones se realizarán diversas pruebas de hipótesis que permitirán o no agrupar las estimaciones de las velocidades. Con un tamaño de muestra inicial de 30 datos por cada ruta, lo que quiere decir también 30 datos por proceso por ruta, se realizará una prueba de varianzas iguales para la velocidad, de resultar positiva, es decir, de aceptarse varianzas iguales, se procederá a realizar una prueba ANOVA para las medias, que de resultar también positiva, p-value mayor a 0.05, permitirá juntar los datos para luego, con la desviación estándar total, hallar un tamaño de muestra final adecuado. Todas estas pruebas se realizarán en el software Minitab®. Con la muestra final, se estimará la velocidad para cada operación.

A modo explicativo, se detallarán los pasos realizados para una de las operaciones analizadas.

La primera operación a analizar es la de Chamuscado/desencolado en la máquina Gaseadora, partiendo de que las velocidades para cada tipo de tela y ruta podrían variar, se sacó 30 datos por cada ruta, y por cada tipo de tela a procesar.

En el caso de las telas hilo/color, se tomó 30 datos para la operación de chamuscado/desencolado de las rutas 1240, 1244 y 1045, rutas empleadas para las telas hilo/color. Los promedios y desviaciones estándar para cada muestra son los que se indican en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Análisis de datos de las rutas de telas hilo/color

Ruta Base	1240	1244	1045
Velocidad promedio (m/min)	9.31	6.35	9.56
Desviación Estándar	54.3	56.1	55.7

Elaboración propia

Analizando los promedios y desviaciones, se decide realizar una prueba de varianzas iguales, empleando el software Minitab®, para las rutas 1240 y 1045 únicamente.

Test for Equal Variances: M/MIN CHAM HC versus RUTA HC CHAM

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

RUTA HC CHAM	N	Lower	StDev	Upper
RUTA 1045 HC	30	7.37955	9.56045	13.4473
RUTA 1240 HC	30	7.18946	9.31418	13.1009

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1.05, p-value = 0.889

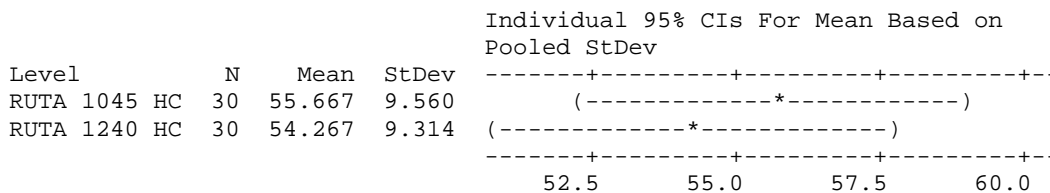
Como se puede observar en los resultados, el p-value es mayor a 0.05, por lo que se aceptan varianzas iguales.

Aceptada esta hipótesis, se procede a realizar una prueba ANOVA para las medias, dicha prueba muestra el siguiente resultado:

One-way ANOVA: M/MIN CHAM HC versus RUTA HC CHAM

Source	DF	SS	MS	F	P
RUTA HC CHAM	1	29.4	29.4	0.33	0.568
Error	58	5166.5	89.1		
Total	59	5195.9			

S = 9.438 R-Sq = 0.57% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 9.438

Como se observa, la prueba arroja un p-value igual a 0.568, por lo que se acepta la hipótesis nula que las medias son iguales

Obtenidos estos resultados se procede a calcular el tamaño de muestra total con una desviación de 9.438, empleando la fórmula 1.1, y considerando un porcentaje de error del 3% sobre la velocidad promedio de la muestra, se obtiene un tamaño de muestra de 277 datos.

Considerando los 277 datos requeridos, finalmente, se calcula la velocidad promedio.

Este mismo procedimiento se emplea para cada una de las operaciones de todas las rutas analizadas. En el ANEXO 1 se detalla todas las pruebas realizadas para todas las operaciones, por ruta y por tipo de tela. Para cada prueba se detalla el estadístico a evaluar, el p-value hallado, el tamaño de muestra calculado, y la estimación de la velocidad.

A continuación en la tabla 3.2 se presentan las velocidades promedio halladas para las rutas de preparación de las telas hilo/color.

Tabla 3.2 Velocidades de operaciones de preparado para telas hilo/color

Ruta Base	TELA HILO COLOR		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
1240	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	54.22
	Blanqueadora	Blanqueo químico	56.62
	Lavadora II	Lavado semiblanco	34.93
	Mercerizadora	Mercerizado	24.70
	Rama Monforts	Secado	52.97
	Rama Babcock	Secado	38.86
1244	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	57.05
	Blanqueadora	Blanqueo químico	56.62
	Lavadora II	Lavado semiblanco	35.51
	Rama Monforts	Anchado	57.33
	Rama Babcock	Anchado	39.13
	Mercerizadora	Mercerizado	24.95
	Rama Monforts	Secado	52.97
	Rama Babcock	Secado	38.86
1045	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	54.22
	Lavadora II	Lavado desencolado	28.72
	Mercerizadora	Mercerizado	24.70
	Rama Monforts	Secado	44.25
	Rama Babcock	Secado	38.86

Elaboración propia

En la tabla 3.3 se presentan las velocidades promedio halladas para las rutas de preparación de las telas cuyo acabado final será blanco:

Tabla 3.3 Velocidades de operaciones de preparado para telas blancas

Ruta Base	TELA PARA BLANCO		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
1558	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	59.31
	Blanqueadora	Blanqueo químico	48.59
	Blanqueadora	Lavado blanqueo	49.73
	Lavadora II	Lavado semiblanco	35.56
	Rama Monforts	Anchado	57.33
	Rama Babcock	Anchado	37.12
	Mercerizadora	Mercerizado	24.70
	Rama Monforts	Secado/neutralizado	45.06
	Rama Babcock	Secado/neutralizado	37.83
1557	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	59.31
	Blanqueadora	Blanqueo químico	48.59
	Blanqueadora	Lavado blanqueo	49.73
	Lavadora II	Lavado semiblanco	35.51
	Mercerizadora	Mercerizado	24.70
	Rama Monforts	Secado/neutralizado	45.06
	Rama Babcock	Secado/neutralizado	37.83
	1541	Gaseadora	Chamuscado/desencolado
Blanqueadora		Blanqueo químico	48.59
Blanqueadora		Lavado blanqueo	49.73
Lavadora II		Lavado semiblanco	35.51
Mercerizadora		Mercerizado	24.70
Rama Monforts		Secado	40.91
Rama Babcock		Secado	38.86

Elaboración propia

En la tabla 3.4 se presentan las velocidades promedio estimadas para las rutas de preparación de las telas que serán teñidas:

Tabla 3.4 Velocidades de operaciones de preparado para telas a teñir

Ruta Base	TEÑIDO		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
1524	Gaseadora	Desencolado	49.41
	Blanqueadora	Blanqueo químico	49.58
	Blanqueadora	Lavado blanqueo	49.73
	Lavadora II	Lavado semiblanco	37.41
	Rama Monforts	Anchado	41.67
	Rama Babcock	Anchado	25.02
	Mercerizadora	Caustificado	34.47
	Rama Monforts	Secado	34.55
1240	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	58.95
	Blanqueadora	Blanqueo químico	48.14
	Lavadora II	Lavado semiblanco	37.41
	Mercerizadora	Mercerizado	24.67
	Rama Monforts	Secado	44.25

Elaboración propia

Tabla 3.4 Velocidades de operaciones de preparado para telas a teñir (continuación)

Ruta Base	TEÑIDO		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
1541	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	55.76
	Blanqueadora	Blanqueo químico	48.14
	Blanqueadora	Lavado blanqueo	49.74
	Lavadora II	Lavado semiblanco	35.56
	Mercerizadora	Mercerizado	24.67
	Rama Monforts	Secado	40.91
1244	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	58.95
	Blanqueadora	Blanqueo químico	48.14
	Lavadora II	Lavado semiblanco	34.77
	Rama Monforts	Anchado	44.70
	Rama Babcock	Anchado	36.60
	Mercerizadora	Mercerizado	24.67
	Rama Monforts	Secado	40.91

Elaboración propia

En la tabla 3.5 se presentan las velocidades promedio halladas para las rutas de preparación para las telas que serán estampadas:

Tabla 3.5 Velocidades de operaciones de preparado para telas a estampar

Ruta Base	TELA PARA ESTAMPAR		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
1541	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	55.76
	Blanqueadora	Blanqueo químico	49.58
	Blanqueadora	Lavado blanqueo	49.74
	Lavadora II	Lavado semiblanco	35.56
	Mercerizadora	Mercerizado	24.67
	Rama Monforts	Secado	40.80
	Rama Babcock	Secado	32.54
1240	Gaseadora	Chamuscado/desencolado	55.76
	Blanqueadora	Blanqueo químico	49.58
	Lavadora II	Lavado semiblanco	35.56
	Mercerizadora	Mercerizado	24.67
	Rama Monforts	Secado	40.80
	Rama Babcock	Secado	32.54

Elaboración propia

La operación de cepillado no está definida en ninguna ruta de preparado propiamente, sin embargo, es un proceso que llevan gran parte de las telas antes de acabarse o teñirse. A continuación en la tabla 3.6 se presenta la velocidad de dicha operación.

Tabla 3.6 Velocidad de la operación de cepillado por tipo de tela

Ruta Base	Operación cepillado cara		
	Máquina	Tela	Velocidad (m/min)
1008	Cepilladora	Hilo/color	20.37
1008	Cepilladora	Blanco	22.14
1008	Cepilladora	Teñido	21.26

Elaboración propia

Siguiendo con la etapa de semiproceso, a continuación en la tabla 3.7 se presentan las velocidades estimadas para las operaciones de las rutas de teñido:

Tabla 3.7 Velocidades de operaciones de teñido

Ruta Base	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
3220	Foulard	Teñido frío	34.72
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Rama Monforts	Secado	39.05
	Rama Babcock	Secado	26.78
3320	Foulard	Teñido frío	34.72
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Rama Monforts	Secado	39.05
	Rama Babcock	Secado	26.78
3420	Foulard	Teñido frío	33.37
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Rama Monforts	Secado	37.39
	Rama Babcock	Secado	26.78
3521	Foulard	Teñido frío	39.76
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Lavadora II	Lavado Teñido	24.50
	Rama Monforts	Secado	36.21
	Rama Babcock	Secado	29.85

Elaboración propia

En la tabla 3.8 se detallan las velocidades estimadas para la ruta de estampado:

Tabla 3.8 Velocidades de operaciones de estampado

Ruta Base	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
2530	Estampadora Stork	Estampado reactivo	9.77
	Lavadora II	Lavado Estampado	23.02
	Rama Monforts	Secado	30.11
	Rama Babcock	Secado	30.11

Elaboración propia

La siguiente etapa es el acabado, a continuación en la tabla 3.9 se presentan las velocidades promedio halladas para las operaciones de las rutas de acabado para las telas hilo/color:

Tabla 3.9 Velocidades de operaciones de acabado de telas hilo/color

Ruta Base	TELA HILO COLOR		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
4603	Rama Monforts	Impregnado suavizado	54.61
	Calandra	Calandrado	20.61
	Sanforizadora	Sanforizado	36.89
4602	Rama Monforts	Impregnado suavizado	49.11
	Sanforizadora	Sanforizado	36.89
4605	Rama Monforts	Impregnado suavizado	54.61
	Calandra	Calandrado	20.61
	Sanforizadora	Sanforizado	36.89

Elaboración propia

En la tabla 3.10 se presentan las velocidades para las operaciones de las rutas de acabado de las telas blancas:

Tabla 3.10 Velocidades de operaciones de acabado de telas blancas

Ruta Base	TELA BLANCA		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
4603	Rama Monforts	Impregnado suavizado	47.83
	Calandra	Calandrado	20.61
	Sanforizadora	Sanforizado	33.95
4602	Rama Monforts	Impregnado suavizado	44.56
	Sanforizadora	Sanforizado	33.95
4605	Rama Monforts	Impregnado suavizado	44.56
	Calandra	Calandrado	20.61
	Sanforizadora	Sanforizado	33.95

Elaboración propia

En la tabla 3.11 se detallan las velocidades estimadas para las operaciones de las rutas de acabado de las telas teñidas:

Tabla 3.11 Velocidades de operaciones de acabado de telas teñidas

Ruta Base	TELA TEÑIDA		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
4603	Rama Monforts	Impregnado suavizado	41.51
	Calandra	Calandrado	20.75
	Sanforizadora	Sanforizado	32.25
4602	Rama Monforts	Impregnado suavizado	41.51
	Sanforizadora	Sanforizado	32.25

Elaboración propia

Tabla 3.11 Velocidades de operaciones de acabado de telas teñidas (continuación)

Ruta Base	TELA TEÑIDA		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
4240	Rama Monforts	Aprestado	29.70
	Sanforizadora	Sanforizado	32.25
4111	Rama Monforts	Impregnado suavizado	29.62
	Perchadora	Pase cara	19.66
	Perchadora	Pase revés	19.66
	Perchadora	Pase cara	19.66
	Perchadora	Pase revés	19.66
	Rama Monforts	Aprestado	16.16
	Sanforizadora	Sanforizado	28.94

Elaboración propia

A continuación en la tabla 3.12 se presentan las velocidades estimadas para las operaciones de las rutas de acabado de las telas estampadas:

Tabla 3.12 Velocidades de operaciones de acabado de telas estampadas

Ruta Base	TELA ESTAMPADA		
	Máquina	Operación	Velocidad (m/min)
4603	Rama Monforts	Impregnado suavizado	34.95
	Calandra	Calandrado	20.75
	Sanforizadora	Sanforizado	34.78
4602	Rama Monforts	Impregnado suavizado	38.64
	Sanforizadora	Sanforizado	34.78
4240	Rama Monforts	Aprestado	21.04
	Rama Babcock	Aprestado	14.77
	Sanforizadora	Sanforizado	23.54

Elaboración propia

Para el análisis de tiempos de reposo, se ha realizado el mismo procedimiento, a modo de ejemplo se presenta un caso.

Para las telas hilo/color, en las rutas 1045, 1240, y 1244, se tiene la operación de reposo², para ellas, se ha realizado un muestreo de 30 datos por ruta, con los cuales se realizó una prueba de varianzas iguales, y luego, una prueba ANOVA para las medias. Sus resultados se muestran a continuación:

Test for Equal Variances: HRS R2 HC versus RUTA HC R2

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

RUTA HC R2	N	Lower	StDev	Upper
TELA HC 1045	30	2.37114	3.12352	4.50484
TELA HC 1240	30	2.51522	3.31331	4.77856
TELA HC 1244	30	2.73011	3.59639	5.18683

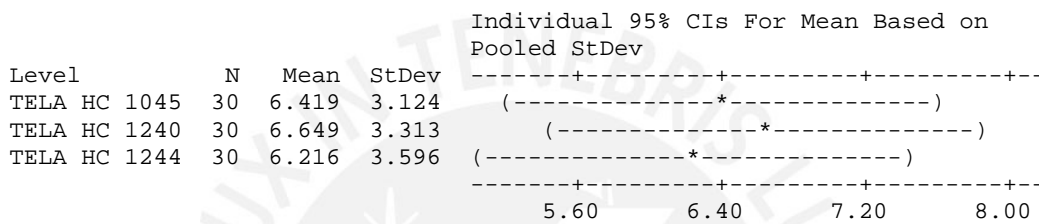
Bartlett's Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0.58, p-value = 0.750

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0.31, p-value = 0.736

One-way ANOVA: HRS R2 HC versus RUTA HC R2

Source	DF	SS	MS	F	P
RUTA HC R2	2	2.8	1.4	0.13	0.882
Error	87	976.4	11.2		
Total	89	979.2			

S = 3.350 R-Sq = 0.29% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 3.350

Dado que ambas pruebas dieron un p-value mayor a 0.05, se aceptan varianzas y medias iguales, por lo que se procede a calcular el tamaño de muestra final y el promedio final. Los datos para los tiempos promedio de reposo son los que se presentan en la tabla 3.13. En el ANEXO 2 se presentan los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 3.13 Promedio de horas de reposo

Operación	Tela	Horas promedio
Reposo 2horas	Hilo/color	11.06
	Blanco	7.57
	Teñido	7.14
	Estamp	6.33
Reposo 4horas	Blanco	25.94
	Teñido/Estamp	24.85
Reposo 8horas	Teñido	25.15
Reposo 12horas	Hilo/color	21.62
	Teñido	34.88
	Estamp	26.20
Reposo 16horas	Blanco	30.36
	Teñido/Estamp	28.63

Elaboración propia

Tabla 3.13 Promedio de horas de reposo (continuación)

Operación	Tela	Horas promedio
Reposo 24horas	Teñido	28.73
Reposo teñido	Teñido	28.58

Elaboración propia

En el caso de los tiempos de revisión y enrollado/doblado de tela, dado que los operarios intervienen directamente en los procesos, se debe determinar las distribuciones que se ajustan a la velocidad de cada operación. Para hallar estas distribuciones, se realizará el mismo procedimiento detallado para los casos anteriores, pero en vez de hallar una velocidad promedio, se hallará, mediante pruebas de bondad de ajuste utilizadas por el complemento del programa Arena, *Input Analyzer*, la distribución que se ajusta a los datos tomados.

Por ejemplo, para la operación de revisión de tela acabada se tomó inicialmente una muestra de 30 datos por tipo de tela, y se evaluó varianzas y medias iguales empleando el software Minitab®. A continuación se muestran los resultados de ambas pruebas:

Test for Equal Variances: M/MIN REV versus TELA

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

TELA	N	Lower	StDev	Upper
BLANCO	30	1.90805	2.54183	3.72967
ESTAMPADO	30	1.72983	2.30442	3.38131
HILO/COLOR	30	1.78166	2.37346	3.48262
TEÑIDO	30	1.35267	1.80198	2.64407

Bartlett's Test (Normal Distribution)

Test statistic = 3.55, p-value = 0.315

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 1.41, p-value = 0.245

One-way ANOVA: M/MIN REV versus TELA

Source	DF	SS	MS	F	P
TELA	3	11.23	3.74	0.72	0.539
Error	116	598.90	5.16		
Total	119	610.13			

S = 2.272 R-Sq = 1.84% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
BLANCO	30	10.567	2.542	(-----*-----)
ESTAMPADO	30	11.000	2.304	(-----*-----)
HILO/COLOR	30	10.767	2.373	(-----*-----)
TEÑIDO	30	10.167	1.802	(-----*-----)

Pooled StDev = 2.272

Como se observa en ambas pruebas se obtiene un p-value mayor a 0.05, por lo que se aceptan las hipótesis de varianzas y medias iguales. Con la desviación final de los datos obtenida, se procede a calcular el tamaño de muestra empleando la fórmula (1.1), y considerando un error del 1.5% sobre el promedio, se obtiene un valor de 760 datos.

Una vez tomados los datos, se ingresan en el *Input analyzer* del Arena, y se obtiene la siguiente distribución:

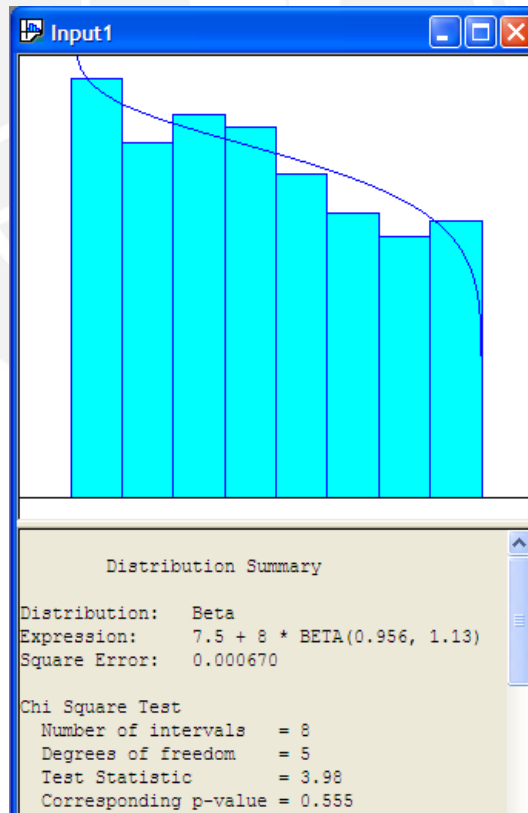


Figura 3.1 Distribución para la velocidad de revisión de tela acabada
Elaboración propia

Como se observa en la figura 3.1 el p-value correspondiente al ajuste es de 0.555, por lo que se acepta la distribución obtenida.

A continuación en la tabla 3.14 se presenta las distribuciones para la velocidad de todas las operaciones de revisión y enrollado/doblado de tela; en el ANEXO 3 se detallan los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 3.14 Distribuciones de velocidad de revisión y enrollado

Tela	Operación	Distribución (m/min)
Blanco	Rev. Tela Prep.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.18, 1.01)$
Teñido	Rev. Tela Prep.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.18, 1.01)$
Estamp	Rev. Tela Prep.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.18, 1.01)$
Teñido	Rev. Tela Semip.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.18, 1.01)$
Hilo/color	Rev. Tela Acab.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(0.956, 1.13)$
Blanco	Rev. Tela Acab.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(0.956, 1.13)$
Teñido	Rev. Tela Acab.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(0.956, 1.13)$
Estamp	Rev. Tela Acab.	$7.5 + 8 * \text{BETA}(0.956, 1.13)$
Hilo/color	Enrollado/Doblado	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.19)$
Blanco	Enrollado/Doblado	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.19)$
Teñido	Enrollado/Doblado	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.19)$
Estamp	Enrollado/Doblado	$7.5 + 8 * \text{BETA}(1.02, 1.19)$

Elaboración propia

En el caso de los tiempos de Set-up de cada máquina, dado que también dependen directamente de la mano de obra de los operarios, se ha procedido a hallar distribuciones de tiempo expresadas en horas siguiendo el mismo procedimiento detallado para el caso de las velocidades de revisión y doblado.

En la tabla 3.15 se presentan las distribuciones halladas para los set-up de cada máquina.

Tabla 3.15 Distribuciones de tiempos de set-up por máquina (horas)

Máquina	Distribución
Gaseadora	NORM(0.301, 0.0919)
Blanqueadora	NORM(0.481, 0.0696)
Mercerizadora	$0.08 + \text{LOGN}(0.18, 0.0578)$
Lavadora II	NORM(0.243, 0.0276)
Cepilladora	$0.03 + 0.54 * \text{BETA}(9.68, 8.13)$
Foulard	GAMM(0.215, 3.93)
Rama Monforts	LOGN(0.215, 0.0996)
Rama Babcock	LOGN(0.212, 0.0955)
Sanforizadora	$0.05 + \text{GAMM}(0.0248, 7.73)$
Calandra	$0.09 + \text{WEIB}(0.238, 4.08)$
Perchadora	$0.01 + 0.59 * \text{BETA}(14.2, 14)$

Elaboración propia

Para las diversas máquinas también se han analizado los tiempos y frecuencias de limpieza y reparaciones mecánicas a las que son sometidas siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior.

En la tabla 3.16 se detallan las distribuciones halladas para la duración y frecuencia de la limpieza.

Tabla 3.16 Distribuciones de tiempos de limpieza por máquina (horas)

Máquina	Frecuencia	Distribución
Gaseadora	LOGN(6.45, 8.11)	0.13 + WEIB(0.531, 11.3)
Blanqueadora	2 + GAMM(25.2, 1.21)	0.01 + LOGN(0.668, 0.299)
Mercerizadora	1 + WEIB(71, 0.846)	0.1 + GAMM(0.0836, 6.08)
Lavadora II	2 + WEIB(16.2, 0.925)	LOGN(0.571, 0.173)
Foulard	EXPO(20.3)	LOGN(1.18, 1.03)
Rama Monforts	1 + 81 * BETA(0.792, 3.25)	0.06 + LOGN(0.324, 0.137)
Rama Babcock	2 + EXPO(33.8)	0.1 + LOGN(0.285, 0.139)

Elaboración propia

En la tabla 3.17 se detallan las distribuciones halladas para la duración y frecuencia de las reparaciones mecánicas de las diversas máquinas.

Tabla 3.17 Distribuciones de reparaciones mecánicas por máquina (horas)

Máquina	Frecuencia	Distribución
Blanqueadora	WEIB(16.4, 0.752)	EXPO(2.18)
Lavadora II	2 + WEIB(121, 0.878)	LOGN(2.58, 2.51)
Foulard	5 + EXPO(176)	16 * BETA(0.633, 1.9)
Rama Monforts	2 + WEIB(108, 0.783)	LOGN(1.31, 1.29)
Rama Babcock	3 + WEIB(145, 0.635)	LOGN(2.98, 3.18)

Elaboración propia

En el ANEXO 4 se presentan los resultados de las pruebas aplicadas para todos los casos anteriores.

Como se detalló en los supuestos a considerar al inicio del capítulo, existen ciertas operaciones que las realizan las máquinas Rama Monforts y Rama Babcock, pero que sin embargo, en las rutas solo está definida la primera máquina por ser la más antigua. Para ellas se estimará una proporción que simule la cantidad de entidades que tomará cada máquina.

Para estimar la proporción de asignación de cada operación, se ha tomado por operación y por tipo de tela, una muestra de 100 datos, con estos valores, se calcula el tamaño de muestra considerando un error de 5%, para finalmente hallar la proporción que se colocará en el modelo.

A modo de ejemplo, se detallará la estimación de la proporción de la operación de Secado en preparación para las telas hilo/color.

Con una muestra de 100 datos, se obtienen una proporción de 33% de datos que emplearon la máquina Rama Monforts, y un 67% de datos que emplearon la Rama Babcock, con estas proporciones se procede a calcular el tamaño de muestra, considerando un error del 5%, con lo que se obtiene un tamaño de muestra de 340 datos.

Considerando el total de datos necesarios, se obtienen las proporciones finales que se emplearán en el modelo, un 31% para la Rama Monforts, y un 69% para la Rama Babcock.

A continuación en la tabla 3.18 se detallan las proporciones para todas las operaciones donde se ha requerido realizar este análisis, en el ANEXO 5 se detallan los resultados del procedimiento descrito para todos los casos analizados.

Tabla 3.18 Proporciones por operación

Operación	Tipo de tela	Máquina	Proporción
Secado	Hilo/color	Rama Monforts	0.31
		Rama Babcock	0.69
	Blanco	Rama Monforts	0.62
		Rama Babcock	0.38
	Teñido	Rama Monforts	1.00
		Rama Babcock	0.00
Estamp	Rama Monforts	0.45	
	Rama Babcock	0.55	
Secado neutralizado	Blanco	Rama Monforts	0.49
		Rama Babcock	0.51
Anchado	Hilo/color	Rama Monforts	0.22
		Rama Babcock	0.78
	Blanco	Rama Monforts	0.22
		Rama Babcock	0.78
	Teñido	Rama Monforts	0.11
		Rama Babcock	0.89
Secado Teñido	Teñido	Rama Monforts	0.23
		Rama Babcock	0.77
Secado estampado	Estamp	Rama Monforts	0.15
		Rama Babcock	0.85
Apresto	Estamp	Rama Monforts	0.40
		Rama Babcock	0.60

Elaboración propia

En el caso de la operación de cepillado, también se requiere hallar una proporción para las telas que serán cepilladas en los diferentes tipos. En la tabla 3.19 se presentan las proporciones halladas. El resultado de las pruebas realizadas también se detalla en el ANEXO 5.

Tabla 3.19 Proporciones de cepillado por tela

Operación	Tipo de tela	status	Proporción
Cepillado	Hilo/color	SI	0.10
		NO	0.90
Cepillado	Blanco	SI	0.22
		NO	0.78
Cepillado	Teñido	SI	0.46
		NO	0.54

Elaboración propia

Existe un tiempo de emisión y generación de receta que también requiere ser estimado. Este tiempo es el que se toma el área de PCP en emitir una nueva hoja de ruta para la siguiente etapa de una tela. Este tiempo considera que existen ciertas consideraciones antes de emitir una nueva hoja de ruta, tales como verificar disponibilidad de productos químicos, vigencias de recetas, evaluación de color en el caso de telas teñidas, prioridad del pedido, etc. Este tiempo será estimado mediante una distribución hallada siguiendo el mismo procedimiento ya descrito en los casos anteriores.

En la tabla 3.20 se detallan las distribuciones halladas.

Tabla 3.20 Distribuciones de tiempo de generación de receta (horas)

Tela	Distribución	Descripción
Hilo/color	$-0.001 + WEIB(6.66, 0.657)$	Emisión hoja ruta acabado
Blanco	$-0.001 + WEIB(12.1, 0.464)$	Emisión hoja ruta acabado
Teñido	$WEIB(66.8, 0.648)$	Emisión hoja ruta teñido
Estampado	$2 + 1.1e+003 * BETA(0.504, 1.01)$	Emisión hoja ruta estampado/acabado
Teñido	$1 + LOGN(48.9, 168)$	Emisión hoja ruta acabado
Teñido	$67 + WEIB(193, 1.08)$	Emisión receta de reteñido

Elaboración propia

Los resultados de las pruebas realizadas se detallan en el ANEXO 6.

Tal como se mencionó en los supuestos, es necesario hallar una función que se empleará para asignarle el metraje a cada una de las entidades que ingresa al modelo. Esta función dependerá del tipo de tela.

Para hallar las distribuciones para cada tamaño de lote por tipo de tela, se ha llevado a cabo el mismo procedimiento descrito en casos anteriores. Las funciones halladas son las que se muestran en la tabla 3.21.

Tabla 3.21 Distribuciones de metros por lote por tipo de tela

Tipo de tela	Distribución
Hilo/color	$1.06e+003 + 5.52e+003 * BETA(1.3, 1.87)$
Blanco	$909 + 6.07e+003 * BETA(0.925, 1.53)$
Teñido	CONT(0.0, 739, 0.02, 991.8, 0.085, 1244.5, 0.131, 1497.3, 0.172, 1750.1, 0.228, 2002.9, 0.364, 2255.6, 0.594, 2508.4, 0.754, 2761.2, 0.816, 3013.9, 0.865, 3266.7, 0.911, 3519.5, 0.933, 3772.3, 0.945, 4025.5, 0.952, 4530.6, 0.956, 4783.5, 0.966, 5036.1, 0.976, 5288.9, 0.990, 5541.7, 0.994, 6047.28, 1, 6300)
Estampado	CONT(0.0, 962, 0.058, 1194.5, 0.071, 1427.5, 0.083, 1660.25, 0.087, 2125.75, 0.09, 2358.5, 0.34, 2591.25, 0.346, 2824, 0.872, 3056.75, 0.981, 3289.5, 0.994, 3522.25, 1, 3755)

Elaboración propia

Para el ingreso de las bobinas al área de Tintorería, también se ha analizado el número de entidades que se ingresa diariamente realizando el mismo procedimiento que el caso anterior.

Tabla 3.22 Distribución de entidades de ingreso

Número entidades diarias	Distribución
	$0.5 + WEIB(7.63, 2.68)$

Elaboración propia

Los resultados de las pruebas realizadas para hallar la distribución del tamaño de lote y número de entidades se detallan en el ANEXO 7.

Adicionalmente, en el ANEXO 8 se encuentran todas las distribuciones a emplear en el estudio con sus respectivas funciones de densidad.

3.3 Desarrollo del modelo

Detallados todos los productos, recursos, operaciones, rutas de producción y realizado el análisis de datos, se desarrollará el modelo que permita simular el área de tintorería de acuerdo a lo anteriormente descrito.

El presente estudio empleará el programa *Arena Software®* para realizar la simulación. Dicho programa permite, empleando las plantillas de bloques y elementos, plasmar un

proceso productivo que muestre el comportamiento real del producto que se procesa a lo largo su línea de producción.

3.3.1 Componentes del modelo

En este punto se definirán todos los elementos que formarán parte del modelo y que son necesarios para el funcionamiento del mismo.

La única entidad que se desplazará por todo el modelo son las telas que, como ya se mencionó, tendrán asignadas un metraje que se mantendrá a lo largo de las secuencias.

Los recursos están conformados por todas las máquinas existentes en el área mostradas en la tabla 2.3. En adición a dichas máquinas, también se definen como recursos a las diferentes bobinas o coches que transportan la tela, la cantidad en metraje asociado a cada bobina, como ya se ha indicado, será un atributo propio de cada entidad.

La cantidad de bobinas por color se muestra en la tabla 3.23. Se hace distinción al color de cada bobina debido a que cada uno tiene un propósito particular en la cadena de procesos.

Tabla 3.23 Colores y cantidad de bobinas

Color	Cantidad	Uso
Azul	15	Transportan las bobinas con tela cruda para el ingreso a preparación.
Plomo	18	Reciben la tela luego de la operación de gaseado en la máquina Gaseadora.
Verde	8	Reciben la tela luego de la operación de teñido frío en la máquina Foulard.
Naranja	80	Reciben y transportan la tela en todos los procesos salvo a la salida de la máquina Gaseadora y Foulard.

Elaboración propia

Un recurso adicional a los ya mostrados son las estaciones de reposo que físicamente son espacios reservados donde las diferentes telas “reposan” girando una determinada cantidad de tiempo en función de sus rutas. Se tiene 30 espacios de reposo.

Como ya se ha mencionado, tanto las velocidades por operación como los metrajes serán manejados como atributos. En total se tienen 31 atributos diferentes definidos en el elemento *Atributtes*. La lista de atributos definidos se muestra en la tabla 3.24.

Tabla 3.24 Atributos

num	Atributo	num	Atributo
1	tipo de tela	17	vel. Teñido frío
2	metros por lote	18	vel. Lavado teñido
3	vel. Chamusc/desenc	19	vel. Secado teñido RM
4	vel. Desencolado	20	vel. Secado teñido RB
5	vel. Blanqueo químico	21	vel. Lavado estampado
6	vel. Lavado blanqueo	22	vel. Secado estampado
7	vel. Lavado Semiblanco	23	vel. Impregnado suavizado
8	vel. Anchado RM	24	vel. Cepillado
9	vel. Anchado RB	25	vel. Perchado
10	vel. Lavado desencolado	26	vel. Apresto RM
11	vel. Mercerizado	27	vel. Apresto RB
12	vel. Caustificado	28	vel. Calandrado
13	vel. Secado RM	29	vel. Sanforizado
14	vel. Secado RB	30	tiempo inicio
15	vel. Secado/neut RM	31	reproceso
16	vel. Secado/neut RB		

Elaboración propia

Las colas también están definidas en el modelo para cada uno de los procesos por máquina. La lista de colas se muestra en la tabla 3.25.

Tabla 3.25 Colas

num	Colas	num	Colas
1	cola reposo2	17	cola RM anchado
2	cola reposo4	18	cola blanqueadora lav blanqueo
3	cola reposo8	19	cola lavadora II lav desencolado
4	cola reposo12	20	cola RB sec neutralizado
5	cola reposo16	21	cola RM sec neuttralizado
6	cola reposo24	22	cola foulard teñido frio
7	cola reposo tenido	23	cola lavadora II lav teñido
8	cola gaseadora	24	cola lavadora II lav teñido 2
9	cola gaseadora desencolado	25	cola RB sec teñido
10	cola blanqueadora blanq químico	26	cola RB sec teñido
11	cola lavadora II lav semiblanco	27	cola lavadora II lav estampado
12	cola caustificado	28	cola RM sec estampado
13	cola mercerizado	29	cola RB sec estampado
14	cola RB sec prep	30	cola RM impregnado
15	cola RM sec prep	31	cola RB aprestado
16	cola RB anchado	32	cola RM aprestado

Elaboración propia

Tabla 3.25 Colas (continuación)

num	Colas	num	Colas
33	cola sanforizadora	38	cola revisado acabado
34	cola calandra	39	cola revisado preparado
35	cola cepilladora	40	cola revisado teñido
36	cola percha	41	cola doblado
37	cola estampado		

Elaboración propia

Cabe mencionar que todas las colas siguen el comportamiento *first in, first out*.

Para que el funcionamiento de las rutas sea posible es necesario emplear estaciones de trabajo, estas están definidas para cada proceso. Las estaciones definidas son:

Tabla 3.26 Estaciones

num	Estaciones	num	Estaciones
1	estación de llegada	21	estación calandrado
2	estación chamuscado	22	estación aprestado
3	estación desencolado	23	estación estampado
4	estación blanqueo químico	24	estación de revisión acabado
5	estación lavado semiblanco	25	estación de revisión teñido
6	estación caustificado	26	estación de revisión preparado
7	estación mercerizado	27	estación de doblado
8	estación secado prep	28	estación cepillado
9	estación anchado	29	estación perchadora
10	estación lavado blanqueo	30	estación de reposo2
11	estación lavado desencolado	31	estación de reposo4
12	estación secado neutralizado	32	estación de reposo8
13	estación teñido frío	33	estación de reposo12
14	estación lavado teñido	34	estación de reposo16
15	estación lavado teñido 2	35	estación de reposo24
16	estación secado teñido	36	estación de reposo teñido
17	estación lavado estampado	37	PCP recetas HC
18	estación secado estampado	38	PCP recetas T
19	estación impregnado	39	PCP recetas B
20	estación sanforizado	40	PCP recetas E

Elaboración propia

Por último, como indicado al inicio del capítulo, se han determinado un total de 37 secuencias tal como se muestran en la tabla 3.27.

Tabla 3.27 Secuencias

Tela	NS	Ruta Prep	Ruta Teñido	Ruta Estamp	Ruta Acab
HC	1	1240	-	-	4603
	2	1240	-	-	4602
	3	1240	-	-	4605
	4	1244	-	-	4603
	5	1244	-	-	4602
	6	1244	-	-	4605
	7	1045	-	-	4603
	8	1045	-	-	4602
	9	1045	-	-	4605
B	10	1558	-	-	4603
	11	1558	-	-	4602
	12	1558	-	-	4605
	13	1557	-	-	4603
	14	1557	-	-	4602
	15	1557	-	-	4605
	16	1541	-	-	4602
T	17	1524	3220	-	4111
	18	1524	3320	-	4111
	19	1524	3420	-	4111
	20	1240	3220	-	4602
	21	1240	3320	-	4602
	22	1240	3320	-	4240
	23	1240	3420	-	4603
	24	1240	3420	-	4602
	25	1240	3420	-	4240
	26	1240	3521	-	4240
	27	1541	3220	-	4602
	28	1541	3320	-	4602
	29	1541	3420	-	4602
	30	1244	3220	-	4603
	31	1244	3220	-	4602
32	1244	3320	-	4603	
33	1244	3320	-	4602	
E	34	1541	-	2530	4240
	35	1240	-	2530	4603
	36	1240	-	2530	4602
	37	1240	-	2530	4240

Elaboración propia

3.3.2 Descripción del modelo

Para un mejor entendimiento de esta etapa, en los anexos 9 y 10 se describe las funciones de todos los Bloques y Elementos a emplear en el estudio.

El modelo empieza con el ingreso diario de las entidades a partir del bloque *Create*, a cada entidad se le asignará el tipo de tela según el actual mix de producción mediante un bloque *Assign* para luego separar las entidades de acuerdo a su tipo mediante un bloque *Branch* para luego asignarles el metraje y secuencia respectiva en cada bloque *Assign*. A continuación las entidades ingresan a la estación de llegada para luego dirigirse a un bloque *Route* que llevará a cada entidad a la siguiente estación según su secuencia tal como se muestra en la figura 3.2.

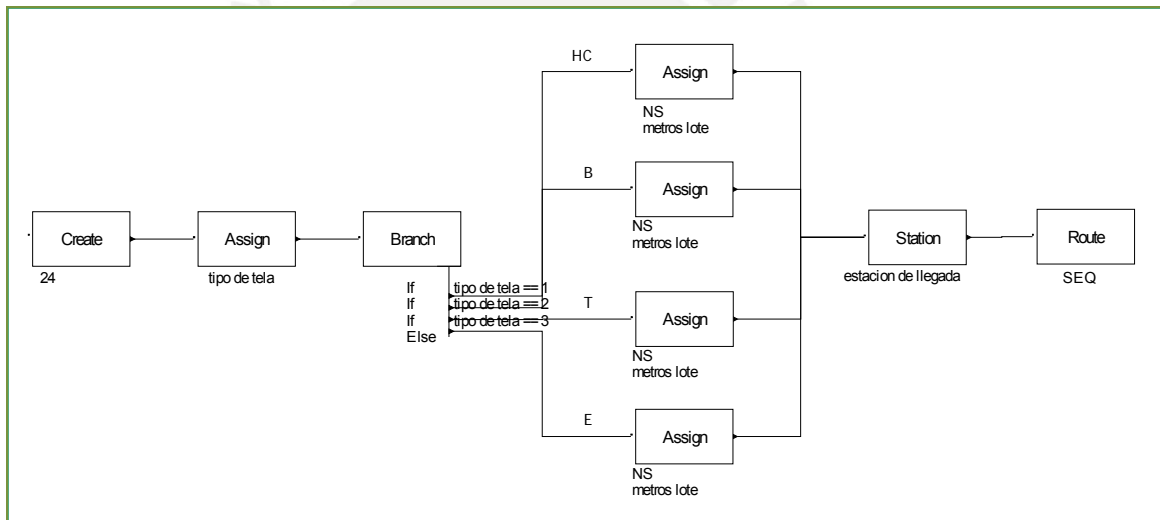


Figura 3.2 Ingreso y asignación de rutas
Elaboración propia

Como ya se ha indicado, las telas son transportadas en bobinas, una tela ocupa dos bobinas a lo largo de un proceso, tanto la bobina de ingreso que contiene la tela como la bobina de salida que recibe la tela. Para simular dicha realidad, una bobina es ocupada mediante el bloque *Seize* en un proceso y es liberada por un bloque *Release* recién hasta la salida del siguiente proceso según la secuencia de la entidad.

Para cada operación, las velocidades son atributos propios de la secuencia y por ende, propias también de la tela que tenga asignada dicha secuencia. Las velocidades son

asignadas a cada secuencia dentro del elemento *Sequences* de acuerdo a las tablas 3.2 hasta 3.12.

Casi todas las operaciones son representadas de manera similar por una misma cadena de bloques. En la figura 3.3 se muestra la cadena de bloques de los procesos húmedos de la etapa de preparación.

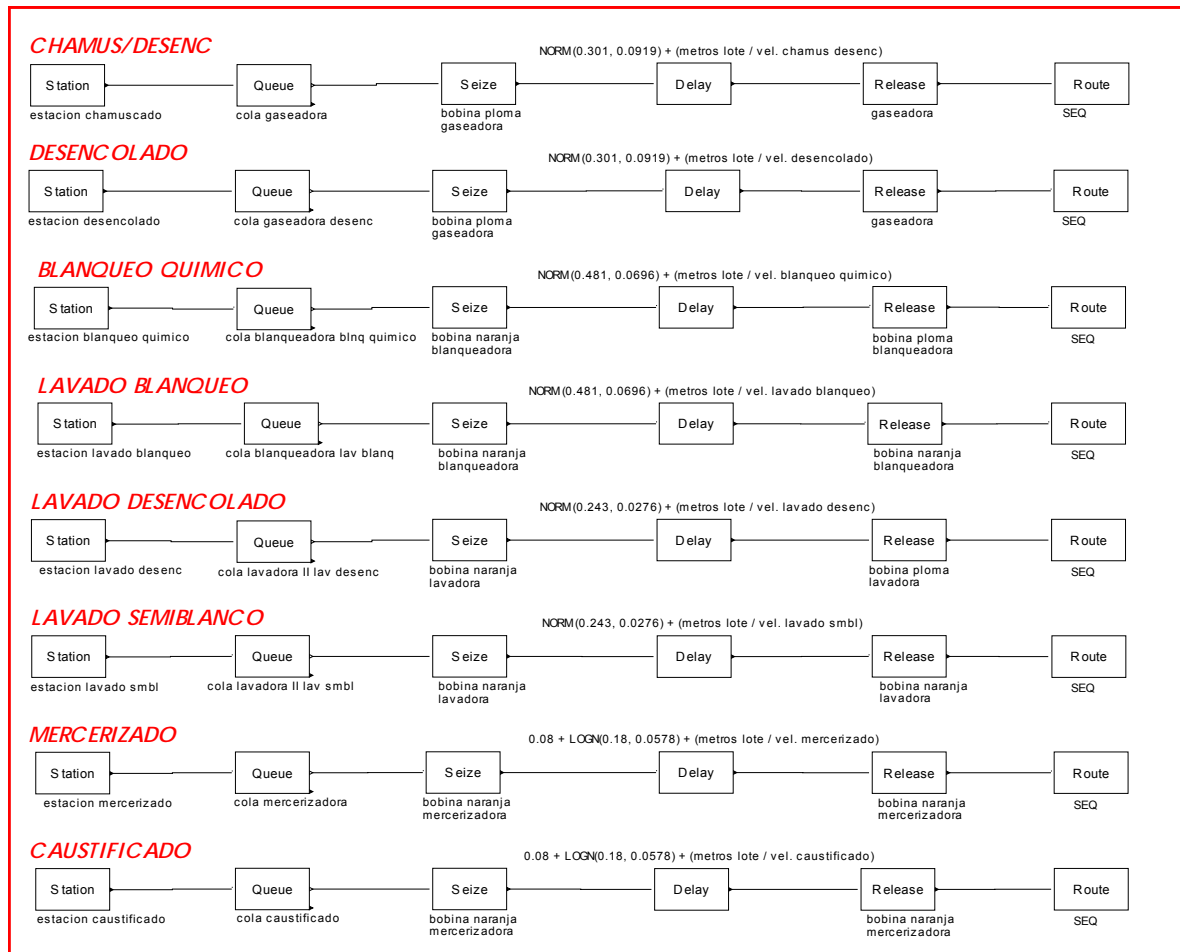


Figura 3.3 Bloques de preparado - procesos húmedos
Elaboración propia

Como se puede observar, todos los procesos empiezan con un bloque *Station* el cual define la estación donde se realizará el proceso, luego continúa un bloque *Queue* donde se almacenarán los datos de las colas para cada proceso. En las operaciones de la máquina Gaseadora, los procesos de Chamus/desenc y Desencilado, las entidades requieren ser recepcionadas en una bobina ploma, mientras que en los demás procesos, se requiere de una bobina color naranja.

A continuación, siguiendo la figura 3.3 se encuentra el bloque *Seize* donde la entidad ocupa los recursos necesarios para poder proseguir al siguiente bloque *Delay*, donde la entidad es procesada el tiempo necesario según la secuencia, en este bloque también se incluye el tiempo de set-up de cada operación. Completado el tiempo de servicio, se liberan los recursos empleados y la entidad continúa su secuencia.

Los procesos de anchado, secado neutralizado, y secado preparado, luego del bloque *Station* inicial, tienen un bloque *Branch* el cual separa las entidades según probabilidades o igualdad de condiciones (tipo de tela) para que éstas se procesen en la máquina Monforts o en la Babcock de acuerdo al análisis de datos realizado. La secuencia de bloques para estos procesos se observa en la figura 3.4.

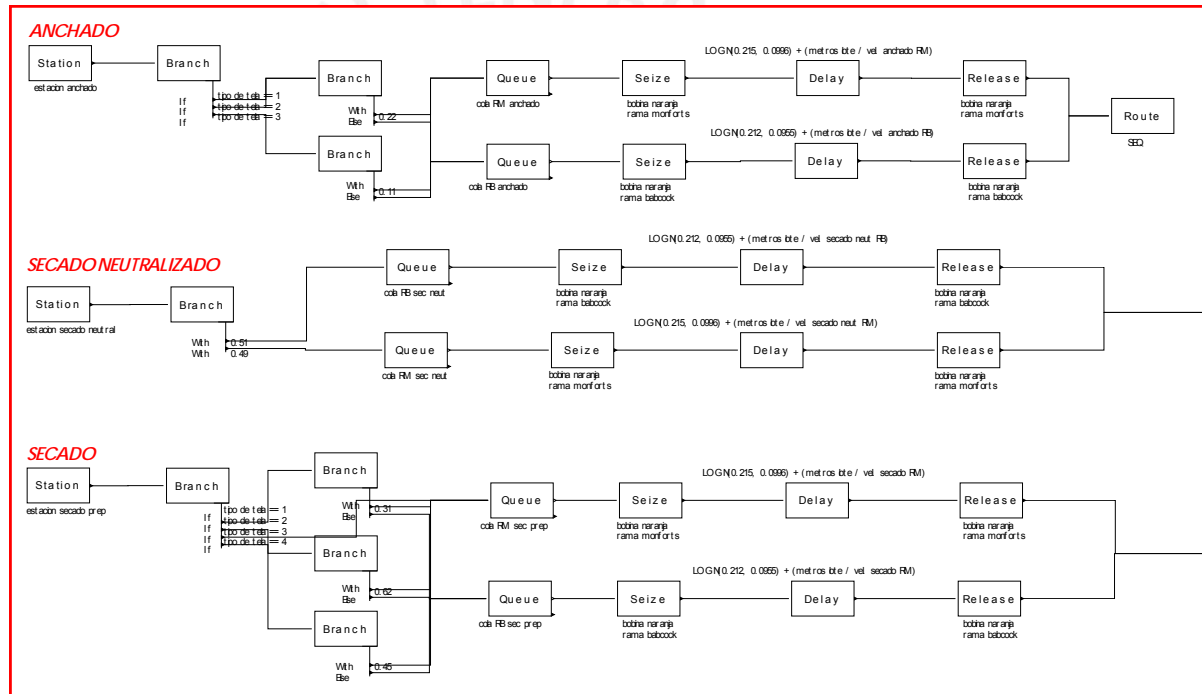


Figura 3.4 Bloques de preparado - procesos secos
Elaboración propia

Al final de los procesos de secado neutralizado y secado preparado se ha añadido un bloque *Branch* posterior a los bloques *Release* que identifica y separa las telas según su tipo para luego mediante proporciones, tabla 3.19, enviar a cepillar las telas que lo requieran, o en su defecto, que continúen con su secuencia normal. En el caso de las telas que serán teñidas, tipo de tela 3, adicionalmente se les asigna mediante el bloque *Assign* un atributo llamado 'reproceso' el cual toma inicialmente el valor de cero. En la figura 3.5 se detallan los bloques que describen esta situación.

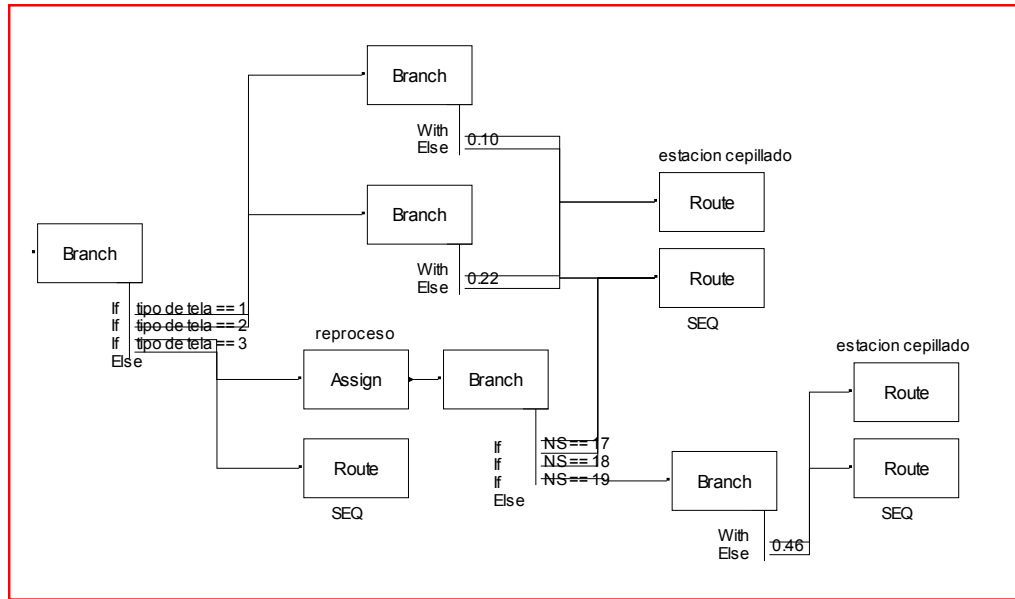


Figura 3.5 Bloques de proporción cepillado
Elaboración propia

Las estaciones de reposo, al igual que los procesos iniciales, están representadas por una cadena de bloques básica necesaria para su simulación, estas se muestran en la figura 3.6. En algunos de los bloques *Delay* se ha empleado el uso de variables para simplificar la estructura de los bloques.

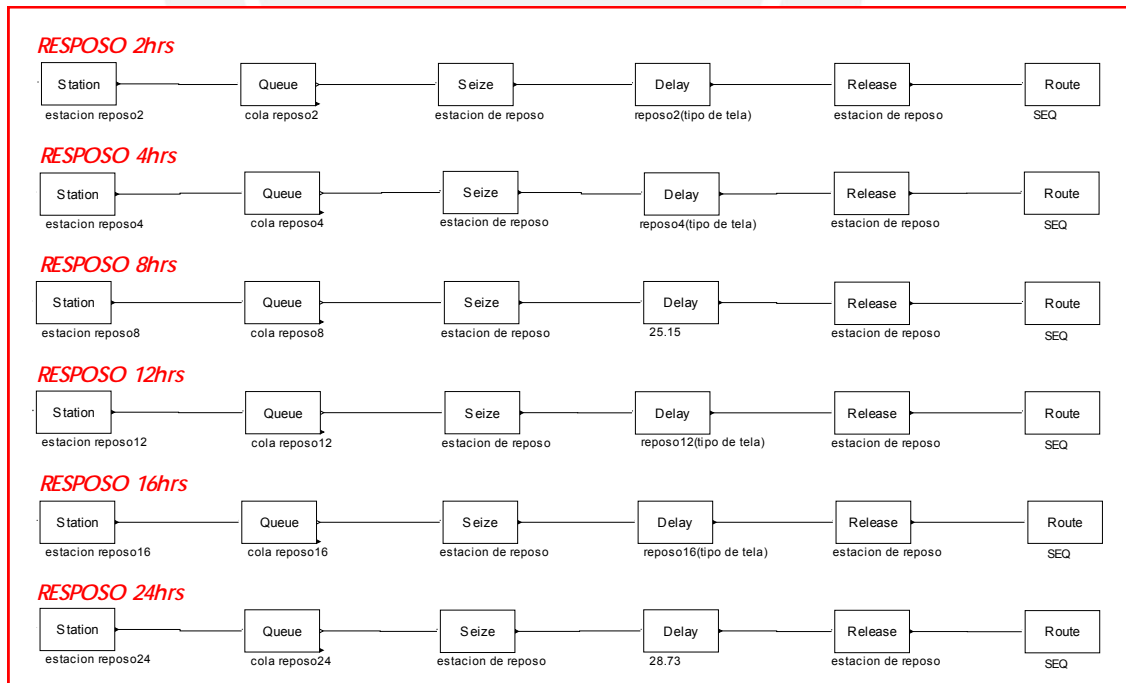


Figura 3.6 Bloques de la zona de reposo
Elaboración propia

Los procesos referentes al semiproceso de estampado se muestran en la figura 3.7.

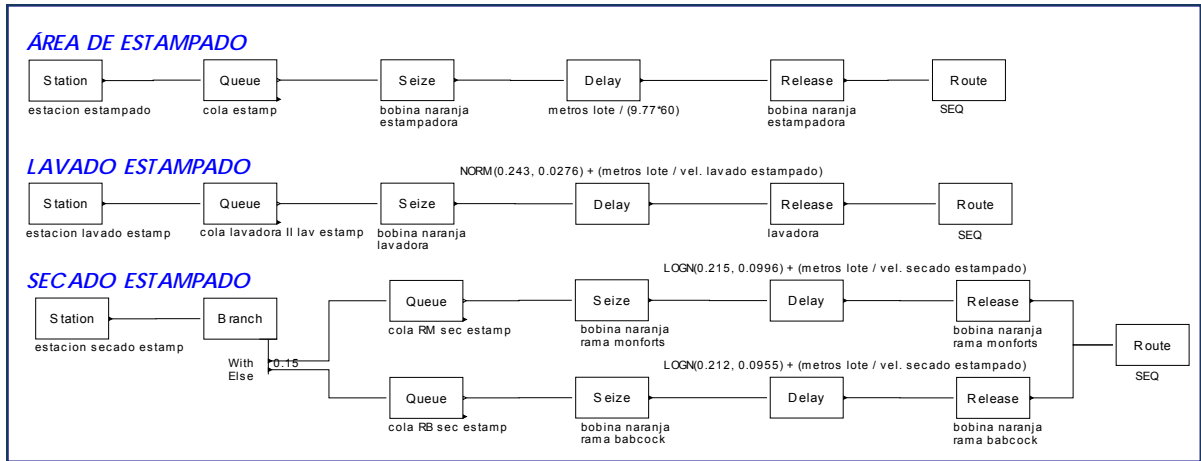


Figura 3.7 Bloques de semiproceso - estampado
Elaboración propia

Cabe mencionar que la primera línea de bloques hace referencia al área de Estampado propiamente donde se realiza el estampado de la tela antes de pasar al área de Tintorería propiamente.

Los procesos de lavado y secado se realizan en el área de tintorería y están representados como los procesos de preparación anteriormente detallados. La operación de secado estampado requiere de un bloque *Branch* que separe en proporciones las telas que se procesarán la máquina Rama Monforts, o en su defecto, en la Rama Babcock.

Los bloques que representan el semiproceso de teñido se muestran en la figura 3.8. Es importante mencionar que todos los procesos llevan la misma serie de procesos básica ya descrita en las anteriores etapas, sin embargo, se ha diferenciado luego de finalizado el proceso de teñido frío a aquellas entidades que deben reprocesarse para la correcta continuación de su secuencia.

Para los procesos de lavado teñido, se han dividido en dos cadenas de procesos debido a que se debe liberar la bobina de color verde después de primer lavado, para luego, requerir una bobina naranja en caso se requieran más lavados según la ruta.

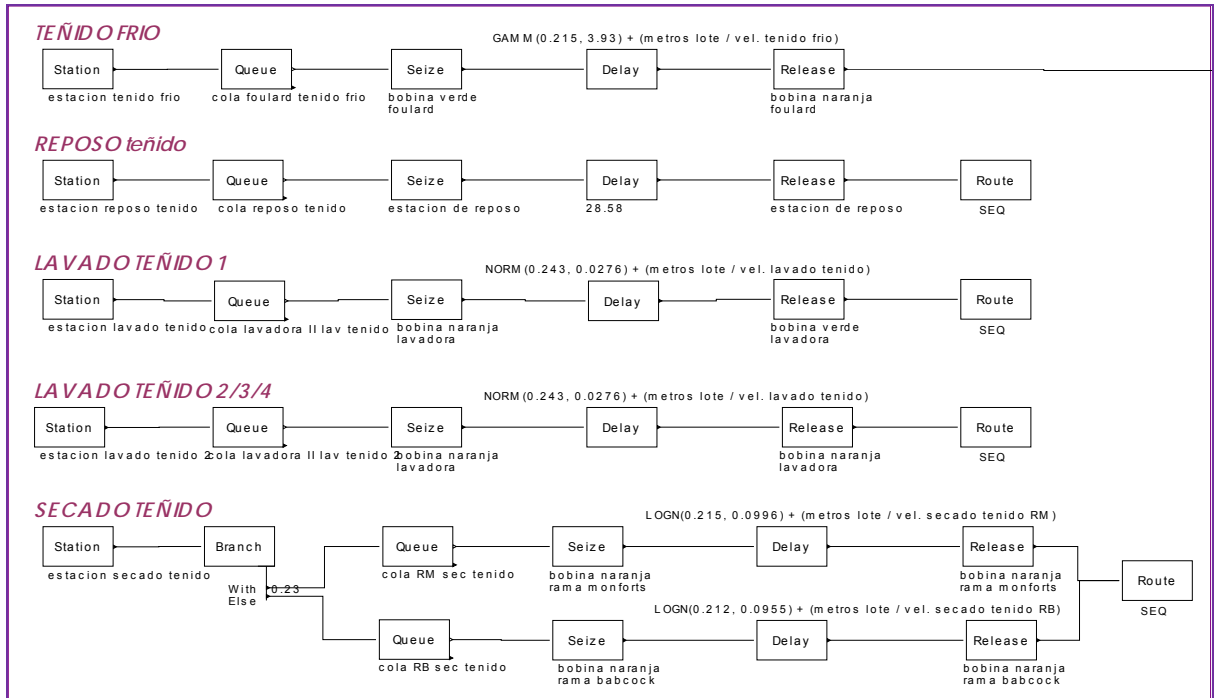


Figura 3.8 Bloques de semiproceso - teñido
Elaboración propia

Como se detallará más adelante, luego del revisado de las telas teñidas, se establecerá un porcentaje de éstas que serán reprocesadas debido a que el color obtenido no es el adecuado dirigiendo las telas de regreso al proceso y estación de teñido frío.

Para que esto sea posible es necesario que luego de culminado el re-teñido en la máquina Foulard (bloque *Release*) las entidades continúen con su secuencia original, para lograrlo, es necesario primero discriminar aquellas entidades que han sido reprocesadas mediante el bloque *Branch*, para luego mediante el bloque *Assign* asignarles el paso a seguir correspondiente para cada entidad modificando el atributo *Entity.JobStep*. Observar detalle en la figura 3.9.

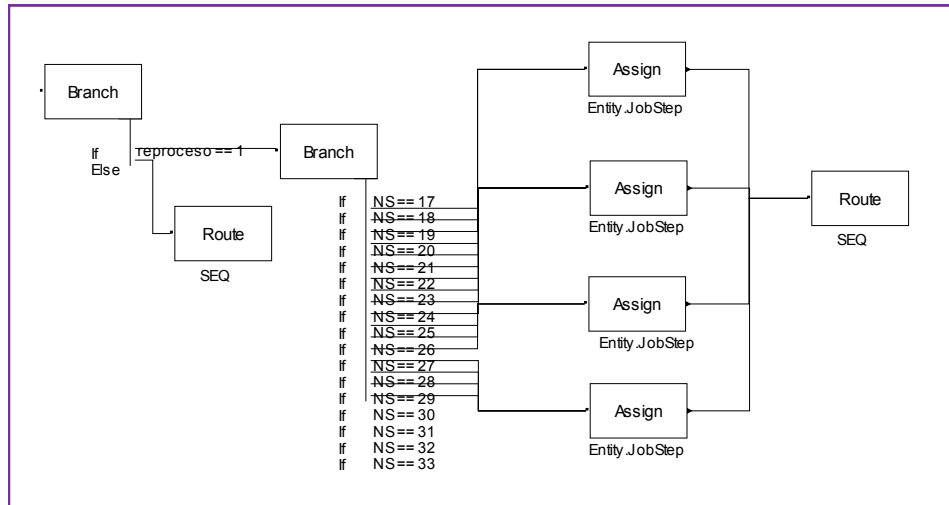


Figura 3.9 Bloques de semiproceso – reasignación del paso para reteñido
Elaboración propia

Y finalmente, los procesos de la etapa de acabado se muestran en la figura 3.10.

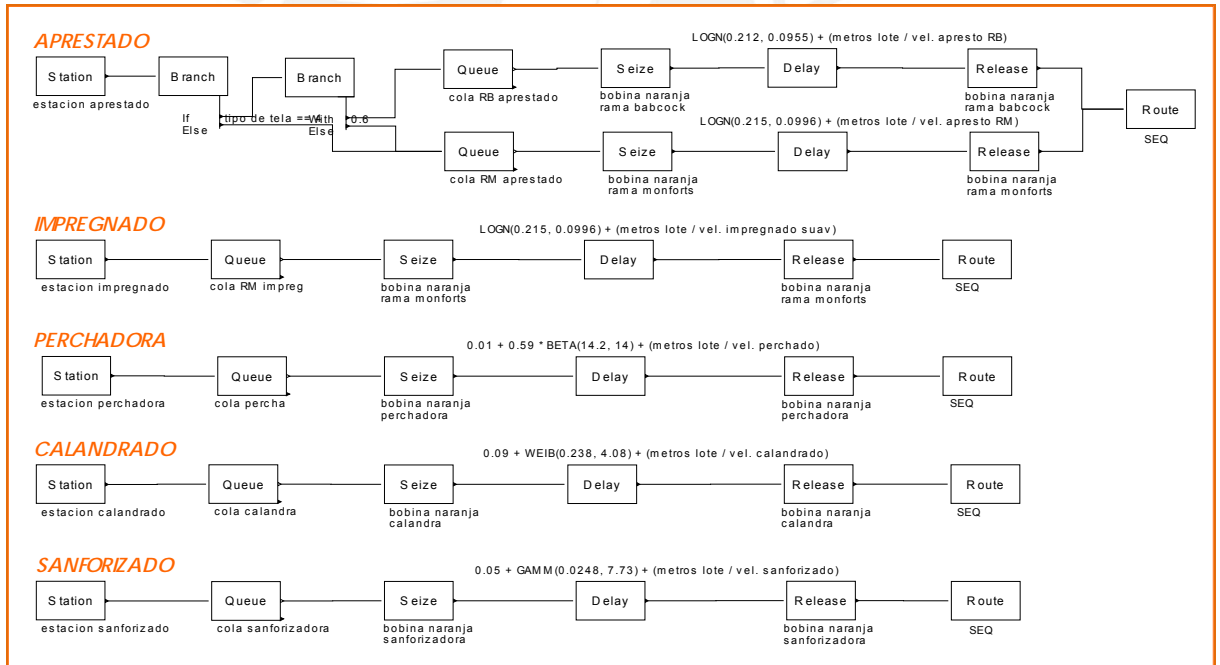


Figura 3.10 Bloques de acabado
Elaboración propia

Al igual que la mayoría de las operaciones ya descritas, los procesos correspondientes a la etapa de acabado siguen la misma serie de bloques anteriormente detallada para las diferentes etapas.

Las áreas de revisión de telas en sus diferentes etapas también han sido representadas en bloques como se muestra en la figura 3.11.

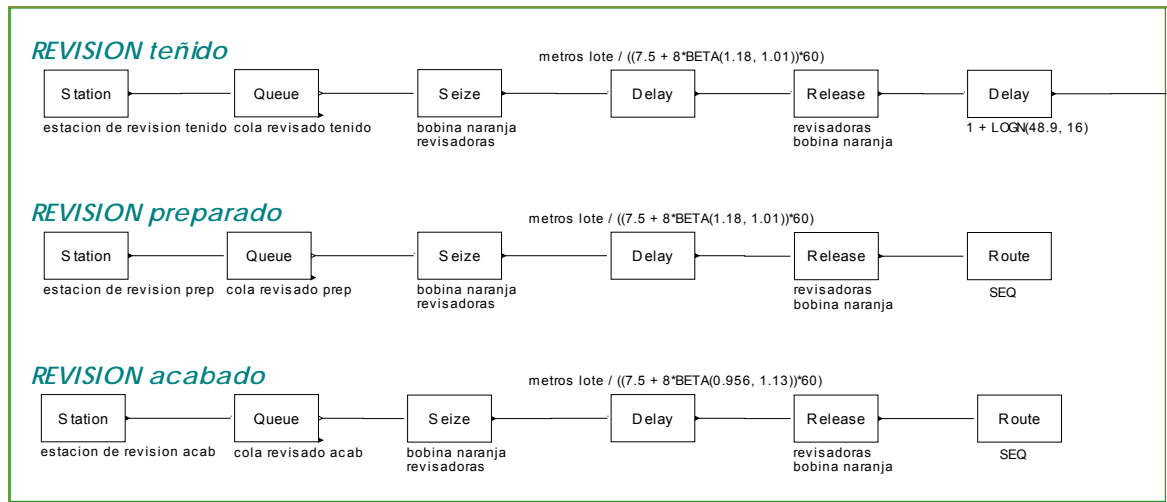


Figura 3.11 Bloques de revisión
Elaboración propia

Como se indicó al describir la etapa de teñido, todas las telas teñidas son revisadas. En esta revisión se toma una muestra de la tela teñida para evaluación de color, de rechazarse el color obtenido, es necesario que la tela sea reprocesada. Al finalizar la etapa de preparado, a todas las telas que serán teñidas se les asigna un atributo llamado 'reproceso' que inicialmente toma el valor de cero, figura 3.5, luego de que las telas son revisadas, mediante un bloque *Branch* son separadas de acuerdo al valor de dicho atributo para diferenciar a aquellas entidades que serán reprocesadas y enviadas nuevamente a la estación de teñido frío luego de su respectiva generación de receta de re-teñido en el bloque *Delay*. Los bloques que describen esta situación se muestran en la figura 3.12.

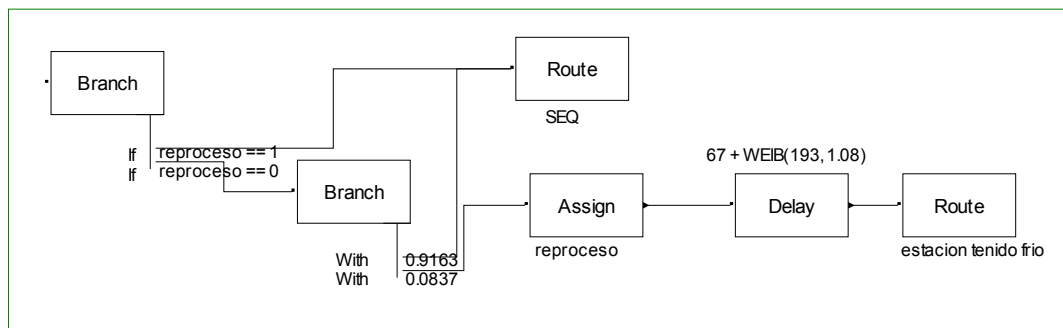


Figura 3.12 Bloques de asignación de reteñido
Elaboración propia

Finalmente, los bloques que describen el proceso de Doblado y enrollado de tela se muestran en la figura 3.13. Es al final de esta cadena de bloques que las entidades dejan el sistema mediante el bloque *Dispose* luego de liberar la bobina final que la transporta.

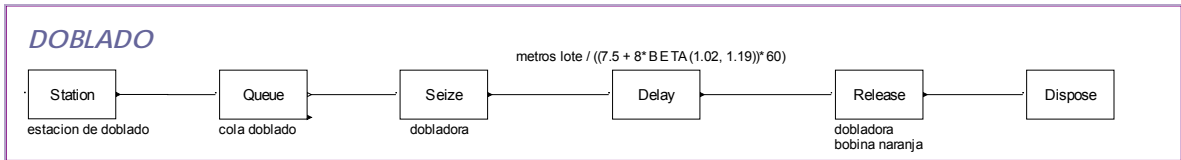


Figura 3.13 Bloques de doblado
Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente, existe un tiempo de generación de recetas entre etapas, particularmente, luego de la etapa de preparación. Este tiempo contempla coordinaciones propias entre áreas. Por ejemplo, las telas estampadas requieren de una coordinación con el área de Estampado y usualmente, dichas telas se preparan con anticipación de acuerdo al mix de producción para luego de cierto tiempo recién pasar al semiproceso de estampado propiamente, dada la premura estas telas son despojadas de las bobinas que las contienen y recién requieren de una bobina nueva cuando son procesadas. Esta situación es representada por la cadena de bloques de la figura 3.14.

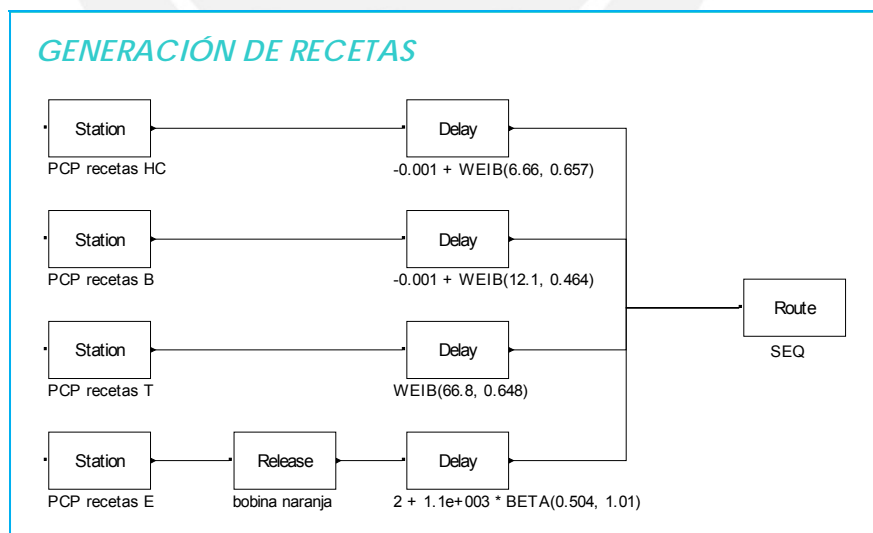


Figura 3.14 Bloques generación de recetas
Elaboración propia

3.4 Verificación y validación de resultados

Para que sea posible validar el modelo, es decir, comprobar que la lógica interna al mismo refleje el comportamiento real del sistema, es necesario agregar al modelo descrito en el punto 3.3 ciertos bloques y elementos que permitan capturar estadísticas con las cuales se obtenga información generada en la simulación para luego contrastarla con la información real.

Una forma de validar el modelo es analizando las utilidades de máquina, para ello, se han elegido las máquinas más importantes en el área y se ha colocado en el elemento DSTATS un estadístico llamado RESUTIL que almacenará el porcentaje de utilización de las principales máquinas a lo largo de la corrida.

Otro estadístico necesario para validar el modelo es el tiempo en cola para las diferentes operaciones, por ejemplo, de la máquina de mayor utilización, la máquina Lavadora II. Al igual que las utilidades de máquina, para hallar el valor promedio de tiempo en cola, se definirá en el elemento DSTATS las funciones TAVG que almacenarán la información promedio en cola para las operaciones definidas.

En la figura 3.15 se muestran las funciones descritas en el elemento DSTATS.

DStats
RESUTIL(lavadora)
RESUTIL(rama monforts)
RESUTIL(sanforizadora)
RESUTIL(mercerizadora)
TAVG(cola lavadora II lav smbl.WaitingTime)
TAVG(cola gaseadora.WaitingTime)
TAVG(cola mercerizadora.WaitingTime)
TAVG(cola blanqueadora blnq quimico.WaitingTime)
TAVG(cola lavadora II lav tenido.WaitingTime)
TAVG(cola lavadora II lav desenc.WaitingTime)

Figura 3.15 Elemento DSTATS
Elaboración propia

Un estadístico referencial son los tiempos totales en el sistema, para ello, luego del proceso revisión de tela acabada, se colocó un bloque *Tally* que almacenará para cada tipo de tela los tiempos totales de proceso desde su ingreso al área hasta su salida. El estadístico será almacenado empleando el elemento *Tallies*.

Otros estadísticos que apoyarán en el análisis del modelo son algunos contadores tanto al ingreso de la máquina Gaseadora como a la salida de la máquina Sanforizadora. Dichos contadores podrán brindar una idea del metraje diario que ingresa al área, y del metraje que sale de la misma. Para ello, es necesario colocar un bloque *Count* que se incremente acorde a la función 'metros lote' por cada entidad que ingrese o salga según la máquina seleccionada.

Dichos datos son muy importantes en la realidad dado que dan una idea del metraje que ingresa a la máquina Gaseadora que es la que regula el flujo a lo largo de todos los procesos en el área, así como en la salida de la máquina Sanforizadora la cual mide el nivel de producción del área como producto terminado.

Estos indicadores, tiempo en el sistema y metrajes de producción, serán referenciales en el modelo y no serán parte de la validación del mismo.

3.4.1 Análisis de resultados

Dada la estructura del modelo y del sistema que se analiza, se concluye que el modelo corresponde a un sistema no terminal dado que no tiene un final definido pues la producción no se detiene y se trabaja las 24 horas del día.

En los sistemas no terminales es necesario hallar el periodo de calentamiento del sistema. Se le conoce como periodo de calentamiento al intervalo de tiempo que tarda un sistema en estabilizarse, durante este tiempo las colas se van incrementando hasta alcanzar su valor promedio real.

Es necesario eliminar los datos incluidos en este periodo dado que durante dicho tiempo el sistema recién está recibiendo entidades. Una vez eliminado este primer periodo se evalúan los estadísticos deseados.

Empleando la aplicación *Output Analyzer* del software, se extraen los estadísticos y se grafica su comportamiento para una corrida de 4032 horas.

En la figura 3.16 se observa la gráfica *plot* de los estadísticos de los promedios de tiempo en cola para diversas operaciones.

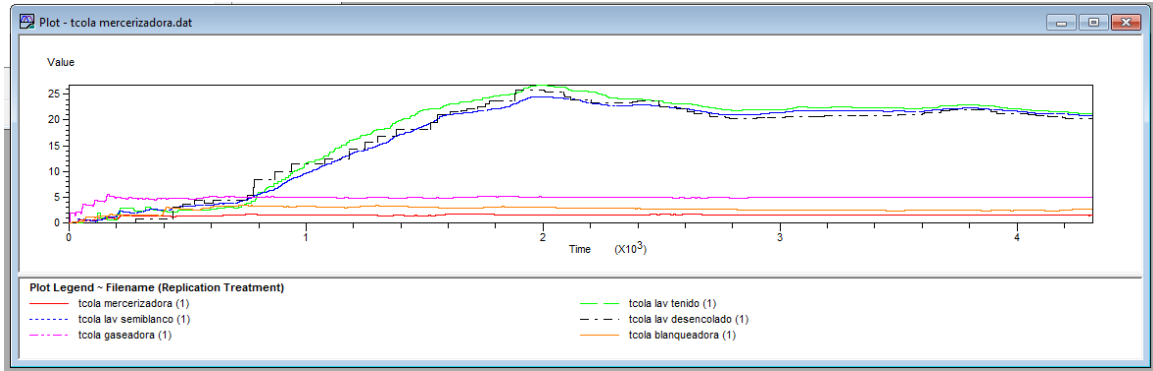


Figura 3.16 Gráfica Plot de los tiempos de cola
Elaboración propia

Como se puede observar, para las primeras horas el sistema se va llenando, razón por la cual las colas van incrementando su valor hasta estabilizarse. Los tiempos más amplios corresponden a las colas de las operaciones en la máquina Lavadora, estos indicadores serán los evaluados para fines de validar el sistema.

Suavizando la gráfica se define como periodo de calentamiento las primeras 2500 horas. Para poder analizar los estadísticos, y obtener intervalos de confianza, es necesario, como se ha mencionado anteriormente, eliminar esta data; esto se logra mediante la opción *Batch/Truncate*.

Para todos los indicadores a evaluar, se truncan las primeras 2500 horas y se agrupa inicialmente en batches de 10 horas para proceder a hallar la correlación de los datos. Con este procedimiento se busca hallar un nuevo tamaño de batch a agrupar donde se obtenga una correlación muy pequeña entre batches pues se busca analizar datos independientes. Es importante mencionar que este nuevo agrupamiento debe también asegurar un mínimo de 10 observaciones finales para poder hallar un intervalo de confianza válido.

En la tabla 3.27 se detallan los valores de batches agrupados (A1 y A2) y el valor del ancho del intervalo hallado para cada indicador calculado de acuerdo al procedimiento anteriormente descrito. Para cada indicador, se ha calculado la longitud de corrida requerida.

Tabla 3.28 Análisis de indicadores

Indicador	horas calentamiento	A1 (horas)	A2 (observ.)	half-width	N'	Longitud Corrida
TAVG tcola lavado semiblanco	2500	10	18	0.286	6	3580
TAVG tcola lavado desencilado	2500	10	18	0.400	8	3940
TAVG tcola lavado teñido	2500	10	18	0.315	7	3760
RESUTIL Lavadora	2500	10	7	0.036	19	3830
RESUTIL Rama Monforts	2500	10	12	0.045	14	4180
RESUTIL Mercerizadora	2500	10	3	0.041	50	4000
RESUTIL Sanforizadora	2500	10	17	0.026	6	3520

Elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado, se determina como longitud de corrida final el mayor valor obtenido para todos los indicadores presentados, LR = 4180 horas.

3.4.2 Resultados de la validación

El valor promedio de cada uno de los indicadores en la realidad y los intervalos hallados mediante la simulación considerando el análisis realizado en el punto anterior se muestra en la tabla 3.29.

Tabla 3.29 Intervalos de confianza

Indicador	límite inferior	límite superior	Promedio real
TAVG tcola lavado semiblanco (horas)	21.414	21.986	21.500
TAVG tcola lavado desencilado (horas)	20.700	21.500	21.000
TAVG tcola lavado teñido (horas)	21.985	22.615	22.500
RESUTIL Lavadora (utilización)	0.881	0.953	0.890
RESUTIL Rama Monforts (utilización)	0.655	0.745	0.660
RESUTIL Mercerizadora (utilización)	0.596	0.678	0.620
RESUTIL Sanforizadora (utilización)	0.468	0.520	0.500

Elaboración propia

Como se puede observar la totalidad de los indicadores se encuentran dentro de sus respectivos IC, por lo que es factible concluir que el modelo es semejante a la realidad.

CAPÍTULO 4: PROPUESTAS DE MEJORA

Una vez validado el modelo se desea proponer mejoras al sistema mediante la variación de ciertas variables tales como el mix de ingreso o el número de recursos.

Para sustentar mejor cada propuesta se empleará una herramienta del software Arena llamada *Opt Quest*. Esta herramienta permite identificar los valores que tomarían las variables que se desean modificar con el objetivo de optimizar los indicadores deseados.

Cabe resaltar que los indicadores que se evaluarán son los presentados en la validación del sistema, es decir, los tiempos en cola y las utilizaciones de las diversas máquinas. Dado que el sistema se estabiliza con el tiempo, no es necesario retirar el tiempo de calentamiento a las pruebas, solo se requiere un tiempo lo suficientemente largo que asegure la estabilización del modelo.

4.1 Cambios en el mix de producción

Una de las principales propuestas que se plantearán a continuación hace referencia a las diferentes proporciones de ingreso de tela en relación al tipo de ésta, es decir, variando los porcentajes de ingreso por tipo de tela.

Esta propuesta nace del análisis de los tiempos en el sistema para los diferentes tipos de tela. Se sabe que las telas que son del tipo hilo/color demoran menos tiempo en salir del área debido a que sus rutas son más cortas y requieren de menos controles. Hoy en día, en promedio, este tipo de tela representa diariamente el 50% del metraje total de ingreso al área, mientras que las telas para blanco el 13%, las telas para teñir el 29% y los estampados solo el 8%.

Al variar el porcentaje de ingreso de cada tela se busca evaluar la mejora del flujo de las entidades en el modelo, y con ello reducir las colas en las máquinas más saturadas como la Lavadora.

A continuación se presentan los resultados de optimizar el mix de producción con el objetivo de reducir los tiempos en cola de la máquina Lavadora en el *Opt Quest*. En este escenario se ha colocado al cero y uno como límites para cada porcentaje de cada tipo de tela.

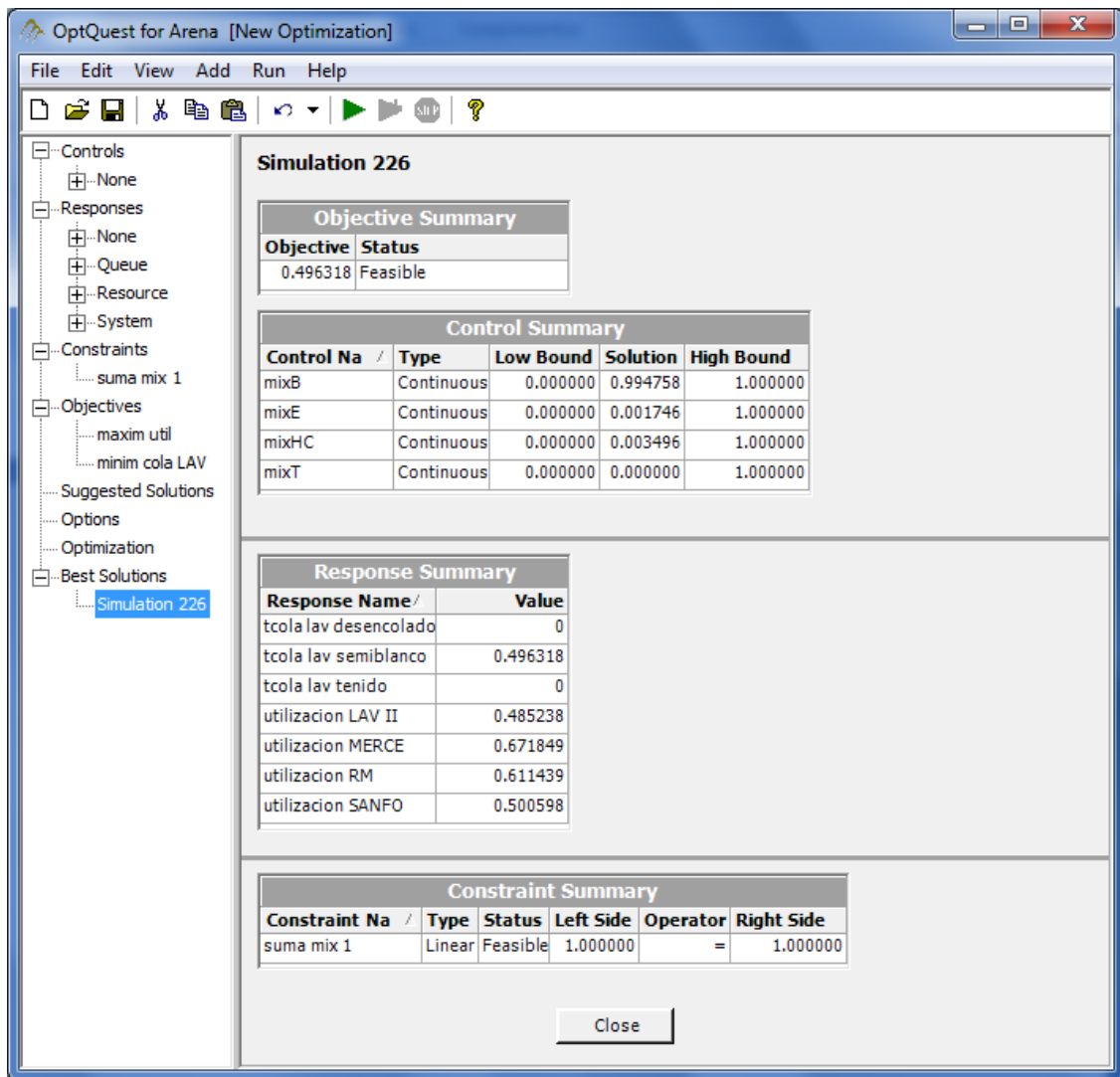


Figura 4.1 Resultados optimización mix de producción 1
Elaboración propia

Como se puede observar el *Opt Quest* indica como mejor mix de ingreso, comparado con el actual, el incrementar el porcentaje de ingreso de telas para blanco al 99%,

reducir el porcentaje de hilo/color al 0.3%, reducir el porcentaje de telas para estampar al 0.17% aproximadamente, y anular el ingreso de telas para teñir.

Esta solución, si bien es óptima dadas las posibilidades, no es viable en la realidad pues existe una capacidad instalada en el área de tejeduría que limita el porcentaje de producción de tejido de los diversos tipos de tela. El porcentaje de telas hilo/color debe estar entre el 40% y 80% debido a las especificaciones de los telares instalados para este tipo de telas, el porcentaje de estampado o telas para teñir no puede ser menor a 5% ni mayor al 45% por las mismas razones, y finalmente, el porcentaje de telas para blanco no puede ser inferior a 10% ni mayor al 50%.

Añadiendo estas condiciones, se busca nuevos resultados de optimización.

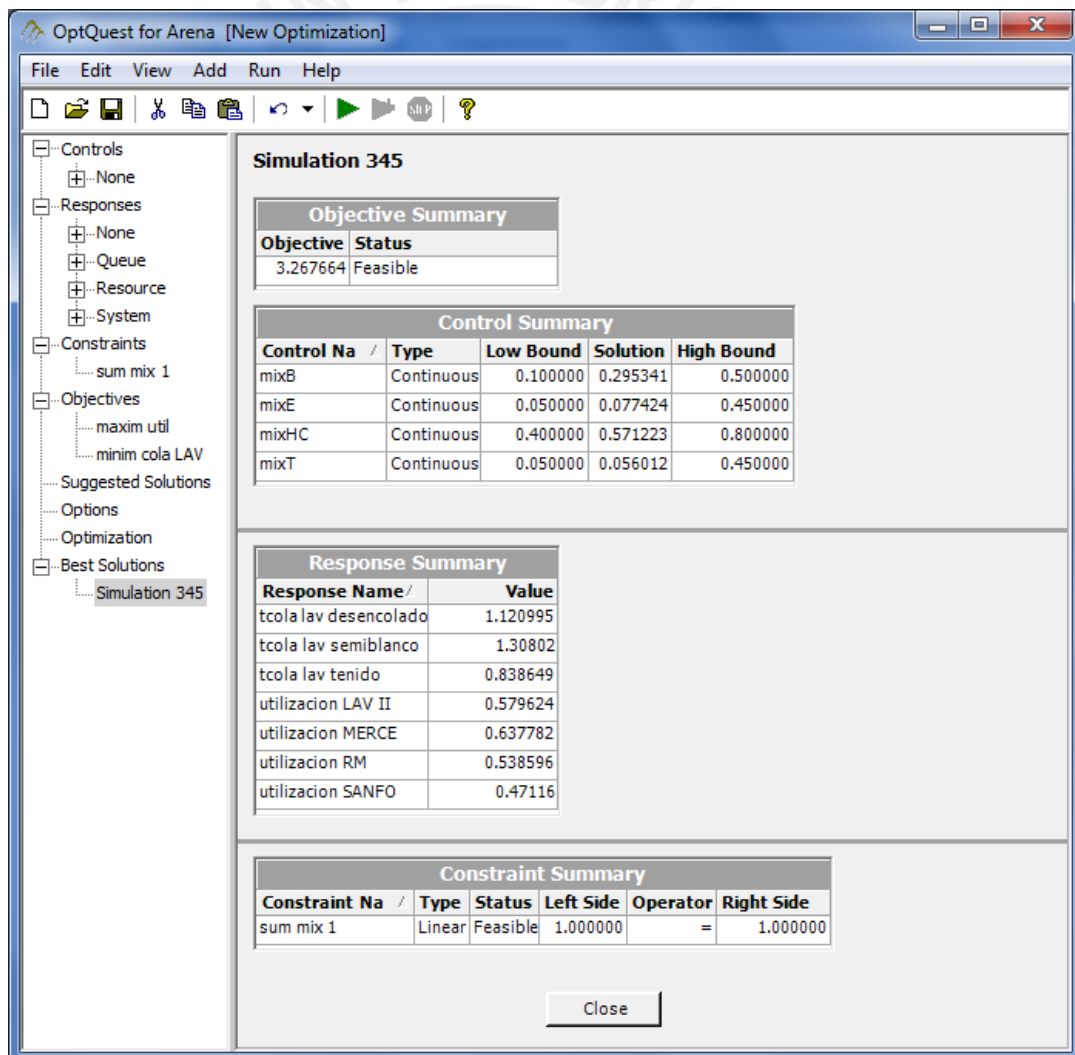


Figura 4.2 Resultados optimización mix de producción 2
Elaboración propia

Como se observa en la figura 4.2, el *Opt Quest* arroja como mejor solución el incremento de la proporción de las telas hilo/color alrededor del 57.1%, el porcentaje de telas blancas a 29.5% y reducir los porcentajes de estampado y teñido a 7.7% y 5.6% respectivamente.

Esta solución es bastante viable en la realidad dados los próximos programas de colección de telas de hilo/color para camisería y pantalones que la empresa busca ofrecer y que elevaría la proporción de producción de dichas telas a un valor que bordea el nivel obtenido mediante la optimización.

4.2 Adquisición de recursos

Otra de las opciones que se plantea es la adquisición de recursos para mejorar la productividad del área. Hoy en día las utilidades de las diversas máquinas bordea en promedio el 60%, solo la máquina Lavadora tiene una utilización alrededor del 90% y es la máquina más saturada debido a la cantidad de procesos que realiza.

Se desea evaluar si es conveniente la adquisición de una nueva máquina Lavadora considerando los niveles actuales de producción, es decir, sin alterar el mix de ingreso y buscando optimizar la utilización de las máquinas del área.

Como se observa en la figura 4.3, adquirir una nueva máquina reduciría considerablemente el tiempo en cola de dicha máquina, sin embargo, no optimizaría el uso de las demás máquinas.

El resultado de la optimización considerando la utilización de las máquinas es mantener la maquinaria existente, es decir, adquirir una nueva máquina Lavadora solo reduciría los tiempos de cola, pero no optimizaría la utilización de las máquinas instaladas.

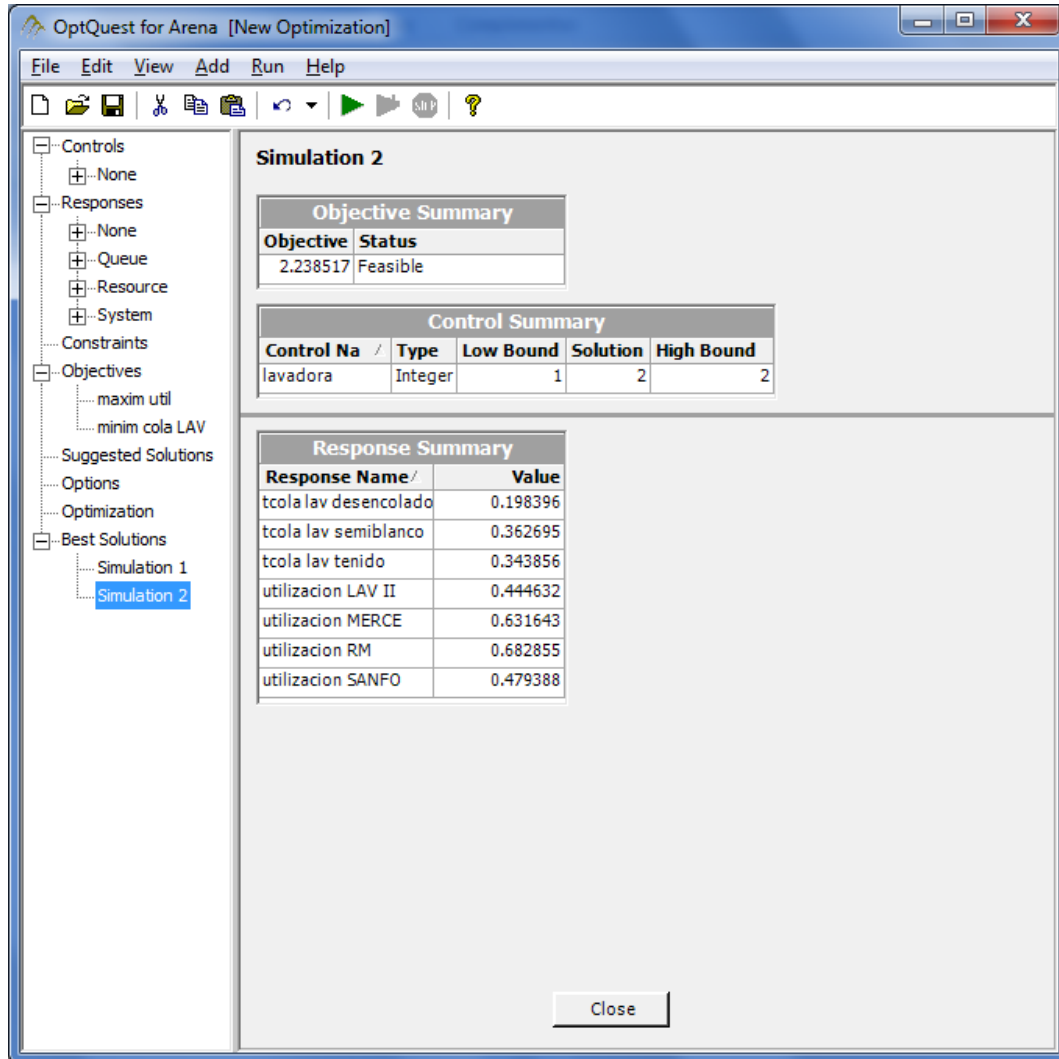


Figura 4.3 Resultados adquisición Lavadora
Elaboración propia

Otro tipo de adquisición de recursos que se podría evaluar es la adquisición de bobinas. Como se ha explicado, las bobinas son el transporte de las telas a lo largo de sus diferentes procesos.

A continuación se presenta los resultados del *Opt Quest* considerando que se desea reducir los tiempos de cola de las diferentes máquinas.

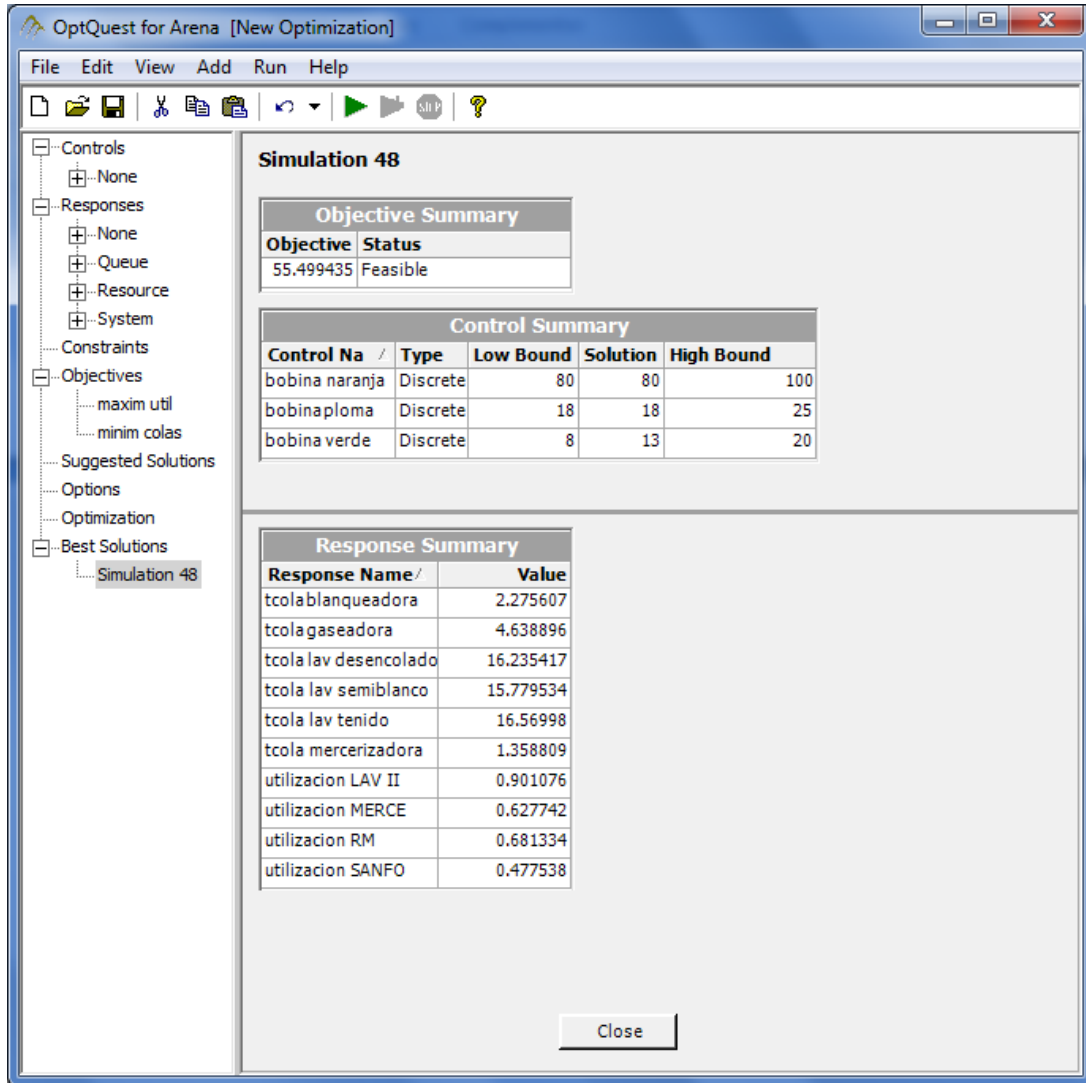


Figura 4.4 Resultados optimización adquisición bobinas
Elaboración propia

Se ha considerado para efectos de la optimización un máximo número de bobinas que se podría incrementar debido a la necesidad de espacio físico disponible para cada tipo.

Como se observa en la figura 4.4 en total se estaría resolviendo incrementar en 5 las bobinas color verde, dichas bobinas son las de menor cantidad en la actualidad y las de mayor utilización.

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN CUANTITATIVA

5.1 Comparación de propuestas

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se analizarán los valores alcanzados de los diversos indicadores para cada alternativa comparándolos unos con otros con respecto a la situación actual.

Al primer escenario con el nuevo mix de producción hallado mediante la optimización se le denominará P1. A la propuesta de incrementar una nueva máquina Lavadora, P2. Y finalmente, al incremento del número de bobinas de color verde, P3.

5.1.1 Tiempos en cola

A continuación en la tabla 5.1 se muestran los resultados de los indicadores de tiempos en cola para los procesos de la máquina Lavadora obtenidas en cada una de las propuestas presentadas.

Tabla 5.1 Resultados de tiempos en cola (horas)

Indicador	Actual	P1	P2	P3
TAVG tcola Lavado semiblanco	21.500	1.308	0.363	15.780
TAVG tcola lavado desencilado	21.000	1.121	0.198	16.235
TAVG tcola lavado teñido	22.500	0.839	0.344	16.570

Elaboración propia

Como se puede observar, en todas las propuestas se logra disminuir el tiempo en cola, siendo la reducción en algunas propuestas mucho más considerable que en otras.

En el caso de la propuesta 1, referente a los cambios en el mix de producción, se logra demostrar que incrementando las telas con menor cantidad de procesos respecto a las telas que llevan un semiproceso adicional, el flujo mejora notablemente, al punto de reducir alrededor de 20 horas de cola en promedio para cada proceso evaluado.

En el caso de la propuesta 2, referente a la adquisición de una nueva máquina Lavadora, se puede observar que las colas para dicha máquina se reducen drásticamente hasta alcanzar valores incluso inferiores a una hora. Esta propuesta, es sin duda, la que mejor impacto refleja al analizar los tiempos en cola respecto a las otras propuestas como era de esperarse.

En el caso de la propuesta 3, incrementar 5 bobinas color verde también refleja un impacto positivo en los tiempos en cola, esto demuestra que al mejorar el flujo de las telas teñidas, también se mejora el flujo del resto de entidades en el área, y por ende, se reducen las colas.

Todas las propuestas presentadas reducen los tiempos en cola, lo que consecuentemente significa, mejores tiempos de entrega.

5.1.2 Utilización de recursos

A continuación en la tabla 5.2 se detallan los resultados obtenidos para cada propuesta con respecto a las utilizaciones de máquina.

Tabla 5.2 Resultados de utilizaciones de máquina

Indicador	Actual	P1	P2	P3
RESUTIL Lavadora	0.890	0.580	0.445	0.901
RESUTIL Rama Monforts	0.660	0.539	0.683	0.681
RESUTIL Mercerizadora	0.620	0.638	0.632	0.628
RESUTIL Sanforizadora	0.500	0.471	0.479	0.478

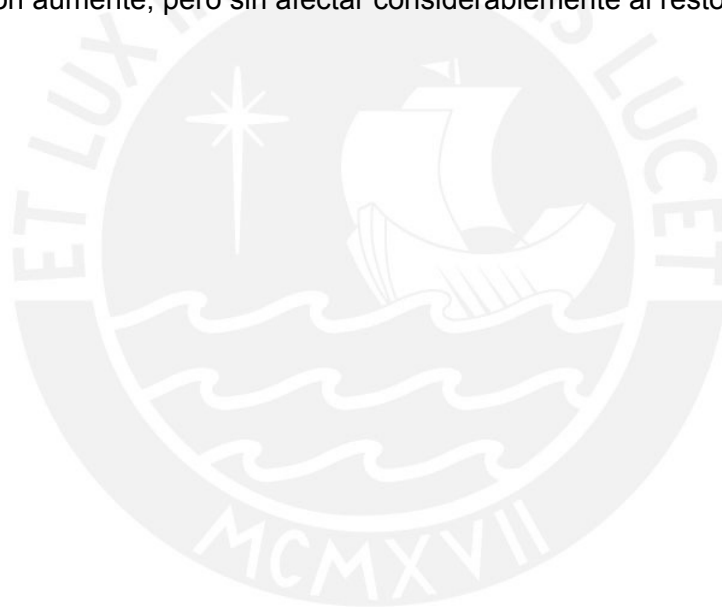
Elaboración propia

Como se observa, no todas las propuestas llevan a mejorar la productividad del área.

En el caso de la propuesta 1, se observa que prácticamente ninguno de los indicadores mejora, todo lo contrario, se reducen. La utilización de la máquina Lavadora cae 30 puntos, la Rama Monforts, cae poco más de 10. Estas reducciones de la utilización de las máquinas más empleadas hoy en día se ven afectadas directamente con la mejora del flujo en el área considerando que las telas hilo/color y blancas ocupan en menor proporción las operaciones de dichas máquinas respecto a las telas teñidas y estampadas que en esta propuesta reducen su participación a nivel producción.

En el caso de la propuesta 2, al igual que la propuesta 1, los efectos en la utilización con relación al día de hoy nos son muy visibles. Solo la utilización de la Lavadora se reduce a la mitad como consecuencia directa del incremento de maquinaria. En esta propuesta se observa que si bien la utilización de la máquina Lavadora se reduce considerablemente, el resto de máquinas mantiene su utilización. Esto quiere decir que el nivel de producción actual no es suficiente para ocupar la capacidad de todas las máquinas en caso de contar con dos máquinas Lavadoras pues es esta la que actualmente restringe los niveles de producción en toda el área.

Finalmente, en la propuesta 3 se observa una ligera mejora de los indicadores con respecto a las propuestas anteriores. Esto evidencia que el aumentar el flujo de telas teñidas tiene un efecto positivo en la carga de la máquina lavadora, lo que genera que su utilización aumente, pero sin afectar considerablemente al resto de máquinas.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se concluye que el modelo de simulación pudo ajustarse a la realidad de la empresa de forma adecuada según los indicadores evaluados, lo que permitió proponer nuevos escenarios de mejora.

En todas las propuestas presentadas se evidencia la mejora de los indicadores evaluados, cada una de ellas con un costo de inversión de por medio.

Evaluadas las alternativas, y teniendo en cuenta como principal indicador los tiempos en cola para los diferentes procesos, se concluye que la mejor propuesta es la segunda, adquirir una nueva máquina Lavadora, sin embargo, esta propuesta requiere de una inversión millonaria, aproximadamente 500,000 USD, y como tal, requiere de una evaluación económica costo/beneficio antes de ser definitiva. Corresponde a la Gerencia General evaluar las mejoras a largo plazo de esta alternativa teniendo en cuenta que en condiciones actuales esto significa una reducción considerable en los tiempos de entrega, tal como se ha demostrado.

La tercera propuesta referente a la adquisición de nuevas bobinas si bien muestra una reducción de los tiempos en cola para los diferentes procesos respecto a la situación actual, esta no es muy grande. Cada bobina nueva cuesta alrededor de 3,500 USD fabricadas en Perú, por lo que para implementar esta propuesta se requiere de una inversión de 17,500 USD. Al igual que la propuesta 2, esta alternativa requiere de una evaluación económica que justifique la inversión o no, considerando que, sin cambiar las condiciones de producción actuales, esta propuesta solo significa una reducción de en promedio cinco horas para los tiempos de entrega.

Se concluye que la propuesta más viable, tanto económicamente, como por el lado comercial, es la propuesta 1, la que refiere a los cambios en la mezcla de producción. Como se ha presentado, esta nueva distribución del mix reduce considerablemente los

tiempos en cola para la máquina de mayor utilización, sin representar mayor inversión respecto a las demás propuestas.

Si se analiza el lado económico de esta propuesta, es importante recalcar que incrementar la producción de las telas del tipo hilo/color y blanco, significa reducir la producción de estampado y teñido, las dos primeras telas tienen un menor costo de producción que las dos últimas y a su vez, su precio de venta, en colecciones, es mayor; el margen estimado promedio para las telas hilo/color es de 3.04 USD por metro de tela, y 2.7 USD el metro de tela blanca, comparado a los 2.5 USD y 1.66 USD por metro de las telas teñidas y estampadas. Esto significa que incrementar la producción de hilo/color y blancos resultaría económicamente beneficioso a la empresa si se continúa con los programas de colecciones de telas para camisería. Se ha estimado un incremento en las ganancias de 50,000 USD mensuales con esta propuesta.

Como ya se ha mencionado, dado que la empresa es reconocida a nivel internacional principalmente por producir telas de camisería de alta calidad, y es precisamente en camisería que se emplean las telas del tipo hilo/color, esta propuesta es la que mejor se alinea con los objetivos principales de la empresa.

Un tema adicional que se debe afinar es la generación y formulación de recetas de teñido, como se observa en el modelo, hoy en día es alto el porcentaje de re-teñidos debido a las disconformidades del color obtenido respecto del color estándar aceptado por el cliente. Este es un punto clave para la empresa y para la optimización de los tiempos de entrega de este tipo de tela, las reformulaciones y evaluaciones prolongadas de color solo incrementan el tiempo de permanencia de tela en el área, considerando además que mejorando este punto se crea una mejor relación con el cliente.

6.2 Recomendaciones

Dados los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda sugerir la simulación de sistemas a otras empresas del rubro textil que deseen evaluar el impacto de diversos cambios en sus respectivas áreas de tintorería para de esa forma evaluar

escenarios que les permitan mejorar sus procesos, tiempos, colas, entre otros indicadores.

Se recomienda utilizar la herramienta empleada en el estudio para simular el área de tejeduría de la empresa, permitiendo este nuevo modelo unirse al modelo desarrollado en el presente estudio y así completar la cadena de producción de una tela, de esa forma se podría analizar el impacto de incremento de capacidad en cada una de las áreas, así como de cada uno de los tipos de tela a producirse en conjunto. Lo que permitiría evaluar directamente los cambios en el mix de producción de acuerdo a lo que el área de tejeduría entrega.

Se recomienda evaluar la compra de nuevos telares que incrementen la capacidad de tejido. Con ello, un nuevo escenario a evaluar sería el incremento de la cantidad de tela que ingresa al área de tintorería y así evaluar el impacto de este incremento de producción en las colas para las diferentes operaciones. Adicional a ello, se sumaría el análisis del nuevo mix de producción que este nuevo escenario generaría. Todo ello podría simularse en el software, de modo que se pueda optimizar la carga de ingreso en las proporciones adecuadas que permitan obtener los menores tiempos de cola.

Otra recomendación sería emplear esta herramienta para proyectos de modernización en el área. Por ejemplo, hoy en día existe maquinaria moderna que realiza las operaciones húmedas de la etapa de preparación de manera continua, es decir, sin requerir de tiempos de reposos intermedios y la empresa desea evaluar las mejoras que se obtendrían de adquirir esta moderna maquinaria, con la simulación de sistemas este proyecto sería rápidamente evaluable.

Se recomienda realizar estudios de tiempos para la generación y formulación de recetas para reteñidos en el laboratorio de tintorería. Este estudio debería realizarse en los diferentes turnos y a todo el personal para identificar puntos de mejora y reducción de tiempos muertos.

Finalmente se recomienda a la empresa evaluar todas las propuestas desarrolladas en el estudio y analizar su contraparte económica para poder tomar una decisión final, siempre en búsqueda de la mejora de la producción, así como de la imagen y prestigio de la compañía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, Jerry

2010 *Discrete-event system simulation*. Upper Saddle River; Montreal: Prentice Hall.

CÓRDOVA, Manuel.

2006 *Estadística Aplicada*. Lima: Moshera.

FÁBREGAS ARIZA, Aldo

2003 *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Barranquilla: Uninorte.

FITZSIMMONS, James A.

2004 *Service management: operations, strategy, and information technology*. Boston, MA: McGraw Hill.

KELTON, W. David

2007 *Simulación con software Arena*. México, D.F.: McGraw Hill Interamericana.

MENDENHALL, William

1997 *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Cuarta edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana.

MEYERS, Fred

2000 *Estudios de tiempos y movimientos para la manufactura ágil*. Segunda edición. México: Pearson Educación.

MONTGOMERY, Douglas C.

- 2001 *Applied statistics and probability for engineers*. Hoboken, NJ: Wiley.
- OIT
- 1996 *Introducción al estudio del trabajo*. Cuarta edición. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- PEDGEN, Claude Dennis
- 1990 *Introduction to simulation using SIMAN*. New York: McGraw Hill.
- PÉREZ LÓPEZ, César
- 1999 *Control estadístico de la calidad: teoría, práctica y aplicaciones informáticas*. México: Alfaomega
- SPIEGEL, Murray R.
- 2009 *Estadística*. México: McGraw Hill.
- TAGUE, Nancy R.
- 1995 *The Quality Toolbox*. Milwaukee, Wis. : American Society for Quality.
- WACKERLY, Dennis D.
- 2010 *Estadística matemática con aplicaciones*. Séptima edición. México DF. : Cengage Learning.
- WALPOLE, Ronald E.
- 1998 *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Sexta edición. México: Prentice Hall.