



|

**TRABAJO DE GRADO**

**“PROPUESTA DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS,  
CASO ESPECÍFICO EMPRESA HINCAPIÉ SPORTSWEAR”**

**Juan Camilo Rodríguez Lepineux**

**MsC. Javier Darío Fernández Ledesma  
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MEDELLÍN, ANTIOQUIA  
2015**

**PROPUESTA DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS,  
CASO ESPECÍFICO EMPRESA HINCAPIÉ SPORTSWEAR.**

**JUAN CAMILO RODRÍGUEZ LEPINEUX**

**Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial**

**Director**

**JAVIER DARIO FERNÁNDEZ LEDESMA**

**Magíster en ingeniería**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MEDELLÍN, ANTIOQUIA**

**2015**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma**

**Nombre:**

**Jurado**

---

**Firma**

**Nombre:**

**Jurado**

---

**Firma**

**Nombre:**

**Jurado**

**Medellín, \_\_\_\_\_ de 2015**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....</b>	<b>11</b>
4.1. ORIGEN DE LA IDEA .....	11
<b>5. CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
5.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR TEXTIL .....	13
5.2 SIMULACIÓN.....	16
5.2.1 Conceptos de Simulación en Promodel. ....	17
5.2.2 Distribución en Planta. ....	18
<b>6. CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....</b>	<b>20</b>
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	21
6.1.1 Recorrido y Movimiento. ....	21
6.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA CAMISETA DEPORTIVA .....	23
6.2.1 Sublimación. ....	24
6.2.2 Confección.....	26
6.2.3 Corte. ....	28
6.2.4 Revisión y Etiquetado. ....	30
6.2.5 Terminación y Empaque. ....	33
<b>7. CAPÍTULO 3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>36</b>
7.1 <i>BUILD LOCATIONS</i> (CONSTRUIR LOCALIZACIONES) .....	36

7.2 <i>BUILD ENTITIES</i> (CONSTRUIR ENTIDADES) .....	37
7.3 <i>BUILD ARRIVALS</i> (CONSTRUIR LLEGADAS DE ENTIDADES AL SISTEMA) .....	37
7.4 <i>BUILD PROCESSING</i> (CONSTRUIR PROGRAMACIÓN DE LA SIMULACIÓN).....	38
7.4.1 Supuestos del Modelo.....	39
7.4.2 <i>Simulation Options</i> (Opciones de la Simulación). .....	40
<b>8. CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.</b>	<b>41</b>
<b>9. CAPÍTULO 5. OPTIMIZACIÓN DEL MODELO.....</b>	<b>44</b>
9.1 DEFINICIONES.....	44
9.2 VARIABLES Y PARÁMETROS.....	45
9.3 DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN .....	46
9.4 RESULTADOS DEL MODELO .....	48
9.4.1 Análisis Paramétrico del Modelo.....	49
9.5 PROPUESTA DE MODELO PROBABILÍSTICO CON REVISIÓN CONTINÚA .....	50
<b>10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>57</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>
<b>12. ANEXOS.....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estadística descriptiva del proceso de sublimación. ....	25
Tabla 2. Tipo de distribución para el proceso de sublimación. ....	26
Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste de sublimación. ....	26
Tabla 4. Estadística descriptiva para el proceso de confección.....	27
Tabla 5. Tipo de distribución para el proceso de confección. ....	28
Tabla 6. Pruebas de bondad de ajuste de confección. ....	28
Tabla 7. Estadística descriptiva proceso de corte.....	29
Tabla 8. Tipo de distribución para proceso de corte. ....	30
Tabla 9. Pruebas de bondad de ajuste de corte. ....	30
Tabla 10. Estadística descriptiva del proceso de revisión y etiquetado. ....	31
Tabla 11. Tipo de distribución para el proceso de revisión y etiquetado.....	32
Tabla 12. Pruebas de bondad de ajuste de revisión y etiquetado.....	32
Tabla 13. Estadística descriptiva del proceso de terminación y empaque. ....	33
Tabla 14. Tipo de distribución para el proceso de terminación y empaque. .	34
Tabla 15. Pruebas de bondad de ajuste de terminación y empaque. ....	34
Tabla 16. Programación del modelo de simulación. ....	39
Tabla 17. Resultados obtenidos de las locaciones. ....	41
Tabla 18. Construcción de datos del problema.....	47
Tabla 19. Solución inicial tabla Simplex.....	47
Tabla 20. Solución Final tabla Simplex. ....	47
Tabla 21. Solución óptima. ....	48
Tabla 22. Solución paramétrica perturbando la restricción 2. ....	49
Tabla 23. Demanda de camiseta Jersey.....	51
Tabla 24. Cálculos estadísticos. ....	52
Tabla 25. Parámetros del modelo.....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano general de la planta. ....	21
Figura 2. Diagrama de recorrido. ....	23
Figura 3. Gráfica de densidad del proceso de sublimación. ....	25
Figura 4. Gráfica de densidad del proceso de confección. ....	27
Figura 5. Gráfica de densidad para el proceso de corte. ....	29
Figura 6. Gráfica de densidad proceso Revisión y etiquetado .....	31
Figura 7. Gráfica de densidad para el proceso de terminación y empaque. .	33
Figura 8. Construcción de locaciones en Promodel. ....	37
Figura 9. Construcción de llegadas en Promodel. ....	38
Figura 10. <i>Layout</i> del modelo de simulación. ....	40
Figura 11. Porcentaje de utilización de locaciones. ....	42
Figura 12. Probabilidad de que se agoten las existencias. ....	54
Figura 13. Modelo de inventario probabilístico con faltantes. ....	54

## 1. RESUMEN

En el presente trabajo se muestra la implementación de la simulación mediante la ayuda del *software* académico Promodel, como base para la visualización del proceso de confección de una prenda de vestir para la empresa Hincapié Sportswear, dedicada a la confección de ropa deportiva.

Fue necesario realizar un estudio de tiempos para cada área del proceso de recorrido de la prenda, además de identificar, mediante diagramas de flujos de recorrido, las principales tareas para confeccionar una camisa.

Por medio de la aplicación de programación lineal y de la administración de inventarios, se hallaron variables y parámetros que permiten considerar los que están involucrados en la cotidianidad de la empresa, buscando con ello aproximarse más a las condiciones reales.

En este trabajo se propone la cantidad óptima de rollos de tela que la empresa debe tener en almacén de materia prima, según su capacidad de producción y su demanda, con el fin de optimizar la cantidad de espacio, permitiendo reducir los costos de almacenaje.

## 2. INTRODUCCIÓN

En un mundo cambiante, representado por la globalización, el ambiente industrial se caracteriza por la alta competitividad y por la toma de decisiones en tiempos reducidos, debido a la continua variabilidad de la demanda. Esto hace que hoy en día los clientes sean cada vez más exigentes, solicitando productos de mayor calidad y con tiempos de entrega pequeños.

Uno de los sectores en el cual se presenta mayor competitividad en el departamento de Antioquia es el de las confecciones. Es por esto que la empresa Hincapié Sportswear, siendo una mediana empresa joven, que aún se está organizando y con una visión clara de lo que desea para su futuro, se ha visto en la necesidad de mejorar su proceso productivo a través de ciertos procedimientos formales pertenecientes al campo de la ingeniería industrial, ya que esto le permitirá llevar a cabo un mejor control en su proceso y mayor precisión en la programación y planificación, disminuyendo el desperdicio y aumentando las entregas oportunas, permitiéndole así una mayor exactitud y, con ello, una capacidad máxima de producción.

El objetivo de este proyecto es presentar un sistema de optimización, basado en la simulación, para la empresa Hincapié Sportswear, con el fin de mejorar el abastecimiento continuo de su materia prima de acuerdo a su capacidad de producción. Para la implementación de este proyecto se han tenido en cuenta los sistemas de producción, la distribución en diseño de plantas y el software de simulación. Para llevar a cabo dicha simulación de la manera más realista posible, fue necesario hacer un estudio de tiempos en cada una de las áreas, siguiendo el recorrido del material al pasar de materia prima hasta su proceso final. De este modo se pudo realizar un modelo que permita ayudar a la empresa a la toma de decisiones, logrando concluir que es eficiente, para luego proceder con la implementación de acuerdo a los resultados.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un modelo de optimización de inventarios para Hincapié Sportswear, que permita dar solución al problema de inventario de materia prima que posee la empresa.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las causas que originan problemas de inventario de materia prima y almacenamiento en la empresa Hincapié Sportswear.
- Definir e identificar las variables necesarias para la construcción del modelo de optimización.
- Construir el modelo de simulación discreta y validar el modelo.
- Identificar los cuellos de botella que retrasan los procesos de producción.
- Proponer mejoras en el almacenamiento e inventario de acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación.

## **4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Hincapié Sportswear fue creada para satisfacer la necesidad de productos de calidad sobre pedido o por encargo, específicamente en prendas personalizadas de ciclismo para equipos, clubes grandes y pequeños, carreras y paseos, así como para empresas y organizaciones de caridad. La empresa cuenta con más de 30 años de experiencia en la fabricación de ropa deportiva. Se encuentra localizada en la ciudad de Medellín, en el barrio Prado Centro y es liderada por George Hincapié y sus tíos Jorge Hincapié y Marie Hincapié (Hincapie Sportswear, 2011).

Además de la fabricación de ropa a medida para equipos de ciclismo, la empresa cuenta con una amplia línea de ropa al por menor, que se encuentra disponible en tiendas de ciclismo y directamente en Hincapie.com, a través del uso de técnicas y telas de construcción con tecnologías innovadoras. Hincapié Sportswear tiene reputación de hacer algunas de las mejores prendas de ciclismo en el mundo (Hincapie Sportswear, 2011).

### **4.1. ORIGEN DE LA IDEA**

La idea surge al momento de contactar a una empresa del sector confección, en especial de ropa deportiva, a lo cual se adaptaba Hincapié Sportswear, que adicionalmente busca mejorar sus problemas de inventario y de almacenamiento. El principal problema de la empresa es que los pedidos no llegan completos o algunas de sus materias primas se dañan debido a la mala manipulación de los operarios. La compañía no desea manejar altos niveles de inventario debido a su alto costo y a que esto ocasiona retrasos en su producción y entrega a sus clientes.

Teniendo en cuenta el interés del investigador por el área de la logística y la producción, y al tratarse de un problema relacionado con dicha área, Hincapié Sportswear representa una oportunidad para ofrecer una visión desde la ingeniería, por lo cual se tomó la decisión de realizar este proyecto en dicha compañía.

## **5. CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR TEXTIL**

La confección en Colombia tuvo su origen hacia el año 1907 en la ciudad de Medellín, cuando se construyeron dos grandes fábricas: Coltejer y la Compañía Antioqueña de Hilados y Tejidos, que hoy en día hace parte de Fabricato. Desde ahí “la industria se convirtió en una de las más importantes en el país, tanto por ser pionera del proceso industrializador, como por representar una gran fuente generadora de valor, de empleo y de divisas” (Muñoz, Segura y Tabima, 2011). Así mismo, es uno de los sectores donde no solo existen grandes, medianas y pequeñas empresas, sino que también están las famiempresas, que sirven como maquiladoras para comercializadoras de gran tamaño.

Actualmente, Colombia se está considerando como una economía naciente; puesto que en la última década se ha destacado por ser un país seductor para inversionistas extranjeros. En el continente americano es reconocido por poseer una de las industrias de confección de textiles más avanzadas, con alrededor de 100 años de experiencia, que lo han constituido como un país de alta calidad en el sector, según lo expone la Embajada de Colombia en Tokio (s.f.).

La industria del sector textil-confección siempre ha contribuido de manera significativa al país en relación con el Producto Interno Bruto (PIB), las exportaciones y la constante generación de empleo. Según Salazar, Colombia “participa con el 10% del PIB industrial y aporta otro tanto al valor agregado industrial del país, y es el cuarto exportador de la industria colombiana. Sus ventas al exterior representan el 4.1% de las exportaciones industriales” (2012).

Actualmente, el propósito del sector textil-confección es ser cada vez más eficiente, tener diversidad de productos e implementar estrategias logísticas, con el fin de ser más competitivos en el mercado global; sin embargo, en la realidad existen debilidades que son difíciles de controlar y que perjudican al sector.

Aspectos como la maquinaria obsoleta que disminuye la productividad, el exceso de inventarios, los costes de materias primas y la fuerte competencia del mercado internacional y nacional, en especial con los baratos productos chinos, hacen necesario que el sector emprenda esfuerzos, en tecnología, diseño y calidad, para aumentar su competitividad (Arango, Perez, & Rojas, sf).

De este modo, en el sector textil-confección se presentan problemáticas que requieren una gestión logística, para que así las empresas desarrollen mejores procesos en función del cliente, consiguiendo especialmente que el producto llegue a tiempo. Con esto se pretende “buscar una ventaja competitiva capaz de ser sostenida y defendida, [lo que] se ha convertido en la segunda preocupación de cualquier gerente alerta a las realidades del mercado” (Christopher, 1994). De aquí se deriva una logística integral que permitirá a cualquier empresa ser competitiva y productiva, para lograr con ello una ventaja sostenible.

En consecuencia, en la cadena logística, en especial en el sector textil-confección, a los inventarios de materias primas se les hace un seguimiento estratégicamente, puesto que se trata de un proceso logístico interno en la empresa que permitirá una mejor respuesta a sus necesidades y las de sus clientes, a la vez que garantiza un buen servicio.

El proceso de abastecimiento, el cual es uno de los primeros eslabones de la cadena de suministros para cualquier empresa, se convierte en un principio clave para el funcionamiento y flujo óptimo de los recursos, ya que un control y optimización en este proceso garantiza continuidad en los demás eslabones de la cadena de suministro.

Para conseguir que el flujo de productos y/o servicios llegue a los clientes cuándo, cuánto, dónde y cómo quieren, al menor coste integral, tenemos y debemos arrancar desde nuestros proveedores. Por lo tanto, el flujo logístico integral parte del proceso abastecimiento, pasa por el proceso de producción y termina en el proceso de distribución física (Escobar, 2007).

Por otra parte, no basta solo con realizar una optimización y una gestión en la adquisición de materias primas, pues también se debe tener una buena relación

con los proveedores (proceso colaborativo), ya que así, en el proceso de compras, se pueden determinar beneficios económicos importantes. Por esta razón “los proveedores pueden ejercer poder de negociación sobre los que participan en un sector industrial amenazando con elevar los precios o reducir la calidad de los productos o servicios” (Porter, 1998).

Para brindar un adecuado manejo en el proceso de abastecimiento, las grandes empresas textiles emplean diferentes métodos de optimización, planeación y simulación de sus inventarios y almacenamiento, puesto que estos son de grandes volúmenes, con el fin de encontrar un equilibrio ideal para que en el proceso de producción no se presenten faltantes ni excesos de existencias de inventario. Todo esto se realiza para prestar y garantizar un buen servicio de producción y comercialización, y obtener así una disminución en los costes logísticos.

La optimización y la buena gerencia en el almacenamiento hacen que éste se comporte como una gran máquina que ejecuta órdenes de un sistema de información. Es por esto que tener un mayor número de pedidos gestionados por unidad de tiempo, con una elevada exactitud en la preparación de las órdenes, se convierte en un principio fundamental en la gestión de espacios, donde se constituyen elementos esenciales para prestar y garantizar un buen servicio al cliente y, al mismo tiempo, mejorar la fabricación de un producto en sí. (Saldarriaga, s.f.).

Adicionalmente, el sector textil-confección, en los últimos años, ha tenido que reevaluarse y fortalecerse, mejorando y optimizando desde el principio la cadena de abastecimiento, dado que si no consigue mejorar, debido a la gran competencia que existe a nivel global, podría verse fuertemente debilitado.

Teniendo en cuenta lo anterior, es de notar que si la cadena de suministro se convierte en un sistema dinámico (es decir, lo que aparentemente no cambia en el tiempo, generalmente cambia en el tiempo), lo cual lo hace ideal especialmente para modelar y optimizar en las diferentes formas de dinámica de sistemas (Ramírez, 2010), esto permite ayudar a los gerentes a mejorar su comprensión y a tomar decisiones más acertadas acerca de los procesos industriales.

En los últimos años, la llegada de nuevos y mejores desarrollos en el área de la computación ha traído grandes innovaciones, las cuales han sido importantes en la toma de decisiones y en el diseño de procesos y productos. Una de las metodologías de mayor impacto es la simulación (García, García y Cárdenas, 2006). De esta manera, es importante realizar un uso oportuno y eficiente de las herramientas tecnológicas que ofrece el mercado. En el caso de esta investigación, se utilizó el software Promodel para simular el comportamiento del proceso de producción de la empresa Hincapié Sportswear, para así identificar alternativas para mejorar el proceso.

A continuación se presentan algunos conceptos importantes sobre los cuales se basó este proyecto investigativo.

## 5.2 SIMULACIÓN

La simulación es una representación de una situación real, que se lleva a cabo mediante modelos que son abstracciones de la realidad. El conocimiento adquirido en la simulación se aplica en el mundo real; así, mientras mayor sea el grado de aproximación de la simulación de la realidad, mayor será su utilidad (Blanco y Fajardo, 2003).

*Para qué sirve.* La simulación sirve para realizar ensayos productivos o logísticos, los cuales serían costosos y riesgosos a la hora de ensayar en la realidad, según lo afirman Riviero y Piedrahita (2003), mientras que para Dunna et al. (2006) la simulación sirve para mejorar procesos, ya que es una buena herramienta para conocer el impacto de los cambios en los procesos sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad, lo que ayuda a mejorar el conocimiento del proceso actual al permitir que la persona analista del proceso vea cómo se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.

*Proceso.* Un proceso es una secuencia de pasos que describen una actividad desde su inicio hasta la finalización (Bereson y Levine, 1996).

*Tipos de variables.* La simulación puede realizarse con variables discretas y con variables continuas. Según Dunna et al. (2006), se diferencian según el tipo

de ecuaciones matemáticas que componen los modelos. A continuación se expone la diferencia entre ambos tipos de variables.

*Simulación de eventos continuos.* Las relaciones entre las variables relevantes de la situación real se definen por medio de ecuaciones diferenciales, dado que estas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo, como por ejemplo el costo promedio de operación de un sistema.

*Simulación de eventos discretos.* Conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado. Un ejemplo de esto es el número de unidades que deberá empacarse en un contenedor. El comportamiento a analizar puede representarse por medio de ecuaciones evaluadas en un punto determinado.

### **5.2.1 Conceptos de Simulación en Promodel.**

Para poder realizar un estudio de simulación es necesario entender los conceptos básicos que componen un modelo. De esta manera, siguiendo a Dunna et al. (2006), a continuación se enuncian algunos conceptos importantes para abordar una simulación.

*Sistema.* Un sistema es un conjunto de piezas y procedimientos que interactúan con el propósito de obtener un objetivo común.

*Entidad.* Es la representación de los flujos de entrada a un sistema. Es decir, es el responsable de que el estado de un sistema cambie. Un ejemplo de esto son los clientes que llegan a un banco.

*Estado del sistema.* Es la condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento determinado, es decir, es lo que está pasando en el sistema en el momento.

*Evento.* Es un cambio en el estado actual del sistema.

*Localizaciones.* Son todos aquellos lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo. Ejemplo de ello son las máquinas, las estaciones de inspección, las bandas transportadoras, etc.

*Recursos.* Son aquellos dispositivos necesarios para llevar a cabo una operación, como por ejemplo un montacargas, camiones, personas, etc.

*Atributo.* Es un tipo de característica de una entidad. Por ejemplo, puede ser color, el tamaño, el peso de un motor, entre otros.

*Variable.* Es una condición cuyo valor se crea y modifica por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas.

*Reloj de la simulación.* Es el contador de tiempo de la simulación y su función consiste en responder preguntas tales como cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación y cuánto tiempo en total se quiere que dure esta última.

### **5.2.2 Distribución en Planta.**

Lograr que una compañía alcance de manera eficiente los objetivos que se ha planteado inicialmente, va de la mano con una buena distribución y ordenamiento físico de los elementos y factores industriales que participan en el proceso productivo de la misma. En la distribución del área y en la ubicación de los distintos departamentos está la clave para lograr el éxito.

Según Vergel, “la distribución en planta es un concepto que relaciona la disposición de las máquinas, departamentos, estaciones de trabajo, el almacenamiento y los espacios comunes de una instalación productiva existente o propuesta” (2009). Es por ello que una distribución en planta tiene como fin fundamental organizar todos los elementos de manera que se pueda asegurar la fluidez de los esquemas de trabajo, materiales, personas e información a través de los sistemas productivos. Las decisiones que se toman para elaborar las distribuciones en planta pueden afectar significativamente la eficiencia de cómo los operarios desempeñan sus labores, la velocidad a la que se pueden elaborar los productos, los desperdicios de insumos, la dificultad de automatizar el sistema

y la capacidad de respuesta del sistema productivo ante los cambios en el diseño de los productos.

Es por esto que como fin último, en un esquema habitual, la distribución en planta o *layout*, según Muther (1992), parte de considerar el número de actividades que se realizan en el proceso productivo, el área requerida para obtener el correcto funcionamiento y desarrollo de dichas actividades, y las interrelaciones existentes entre ellas, las cuales pueden ser los flujos de materiales, necesidades de proximidad o alejamiento, etc. Dado lo anterior, en toda distribución de planta se deben tener en cuenta los siguientes parámetros al momento de diseñar o rediseñar una planta, con el objetivo de minimizar costos:

- Proyecto de una planta completamente nueva.
- Expansión o traslado de una ya existente.
- Reordenación de una distribución ya existente.
- Ajustes menores en distribuciones ya existentes.

Todos estos factores tienen incidencia en los resultados finales, razón por la cual deben ser considerados a la hora de realizar la simulación. Mientras más variables se tengan en cuenta y más realistas sean ellas, más precisos y cercanos a un escenario real serán los resultados.

## 6. CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

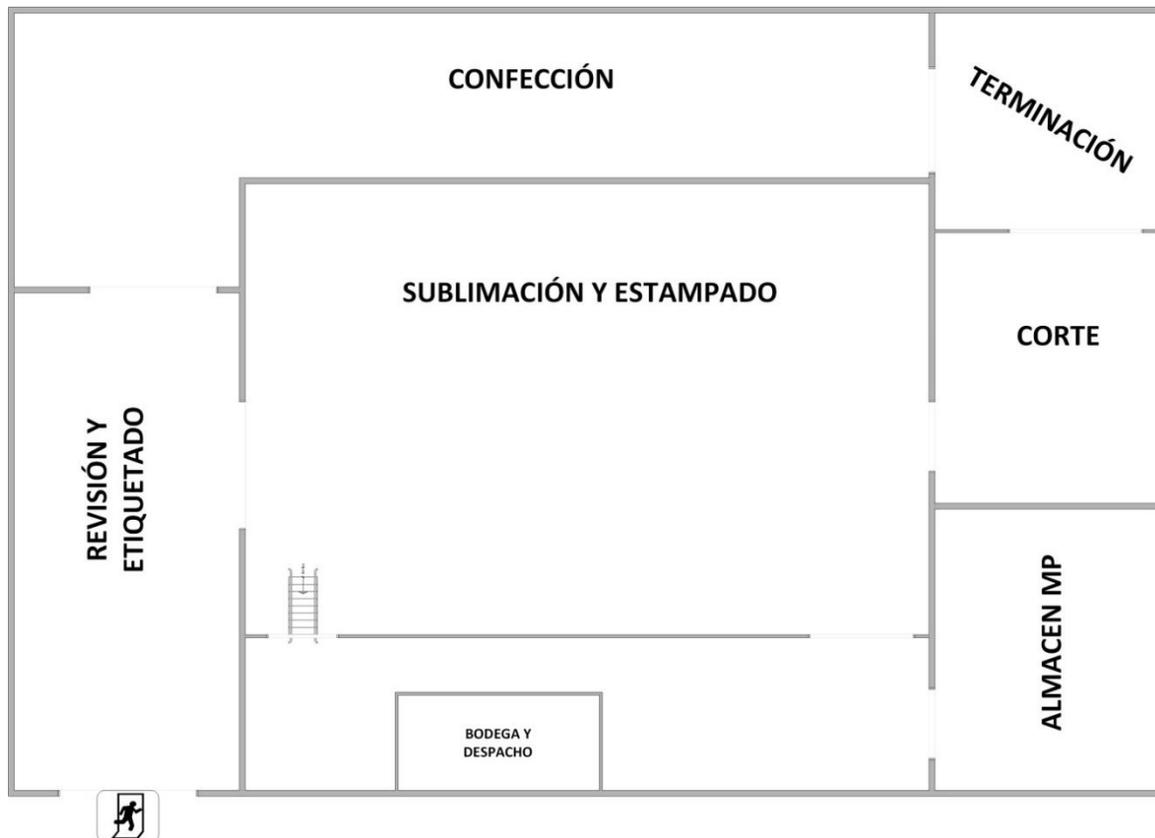
La empresa Hincapié Sportswear cuenta con varias áreas: diseño, almacén de materia prima, área de corte, área de sublimación y estampado, área de revisión, área de confección, área de terminación y empaque y, por último, área de despacho.

En este trabajo se analiza el proceso completo de una de las prendas deportivas que se confecciona en la empresa, para la cual se escogió un *jersey*, el producto más representativo de la empresa y el que cuenta con mayor demanda.

Para la elaboración de la simulación se tuvo como supuesto que la tela es el principal producto que representa la materia prima y el flujo de movimiento de los materiales, ello debido a la limitación del *software* por tener licencia institucional.

A continuación se presenta el plano de la empresa, con el fin de que puedan ubicarse allí las diferentes áreas encargadas de cada etapa del proceso.

Figura 1. Plano general de la planta.



Fuente: elaboración propia.

## 6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

### 6.1.1 Recorrido y Movimiento.

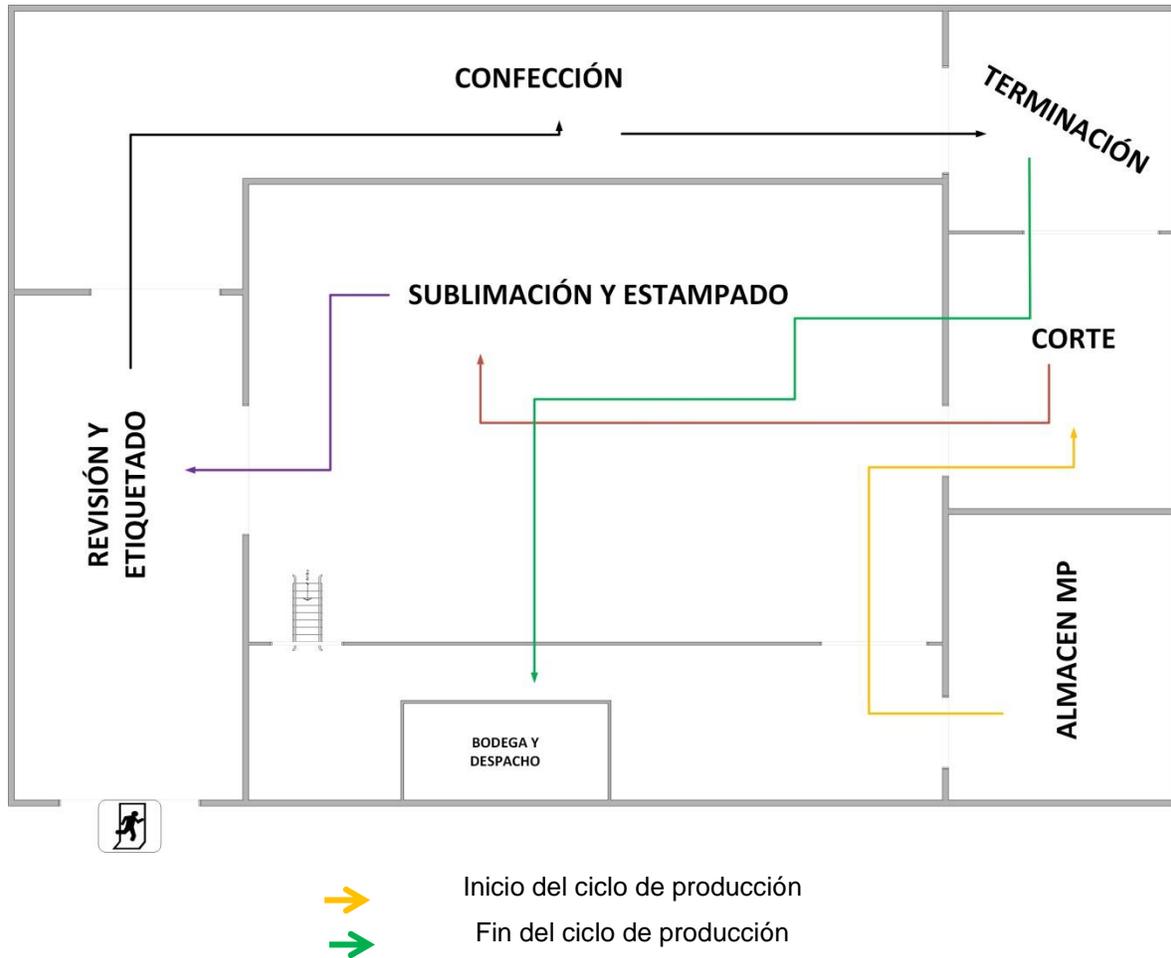
Para iniciar el proceso de confección de una prenda deportiva en la empresa Hincapié Sportswear, se comienza en el almacén de materias primas, el cual contiene los insumos necesarios para su producción. En este lugar, con anterioridad y a medida que la producción lo requiera, se despachan los insumos tales como hilos y telas.

Después se presenta el proceso de corte. Este proceso por pieza dura en promedio 1.04 minutos. Luego se procede con la clasificación de los cortes y se empacan en bolsas para almacenar y despachar cuando el proceso lo requiera. Posteriormente se llevan al área de sublimación y estampado, en donde se

preparan los moldes de estampación, los cuales en promedio tienen un tiempo de 17 segundos, y posteriormente se envían a las planchas de sublimación, proceso que en promedio dura 1.39 minutos. Después de este proceso se lleva al área de revisión, lo cual tiene un tiempo medio de 48 segundos para toda la prenda. En esta área, luego de la inspección, se guarda y se envía al área de confección que, en promedio de elaboración total de la prenda, sin incluir tiempos muertos o perdidos por manipulación de las operarias, cuenta con 19.13 minutos. Cuando la prenda se encuentra lista pasa por el proceso de terminación, en donde se pulen los imperfectos y luego se procede a empacar; este proceso cuenta con un tiempo promedio de 5.31 minutos. Finalmente, se envía el producto a bodega y se despacha a los respectivos clientes.

A continuación, en la Figura 2, se presenta un diagrama de flujo del proceso de producción.

Figura 2. Diagrama de recorrido.



Fuente: elaboración propia.

## 6.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA CAMISETA DEPORTIVA

Esta etapa de construcción del modelo inicia con la conceptualización del mismo, a través de la recolección de los datos y su análisis estadístico, seguido por el montaje, el cual es finalmente simulado y analizado.

*Toma de datos.* La toma de datos requirió de acuerdos con la empresa para visitar la planta de producción, con el fin de hallar los días y horas donde se encontrara planeada la producción de los productos. Se observó el proceso completo de fabricación del producto especificado (*jersey*) y, con la ayuda de un

cronómetro, se midieron los 30 tiempos para cada uno de los siete (7) procesos identificados. Dichas mediciones se realizaron en diferentes días y horarios para asegurar la variabilidad en los datos.

Para la toma de datos del proceso de confección se tomaron 30 tiempos por cada operación de la elaboración de la prenda, la cual constaba en total de 26 operaciones para terminar la prenda.

*Análisis estadístico.* Con el fin de analizar los datos tomados previamente, se recurre a un análisis estadístico para cada uno de los siete (7) procesos identificados a lo largo del trabajo, con el fin de identificar el tipo de distribución que siguen los datos en cada etapa y observar el comportamiento de los mismos en el proceso.

Para este análisis se usó el *software* Promodel a través de su herramienta Stat-fit y se tuvieron en cuenta, principalmente, la tabla de estadística descriptiva, la tabla de tipo de distribución, la gráfica de densidad y la tabla de resultados de las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling. Se maneja un nivel de significancia constante de 0.05 y las unidades de datos tomadas se trabajaron en minutos.

### **6.2.1 Sublimación.**

A continuación, en la Tabla 1 se encuentran las estadísticas descriptivas correspondientes a la sublimación. En esta se tienen en cuenta datos como el número total de la muestra, el mínimo y máximo valor de los datos, la media y la mediana, la moda y la desviación estándar.

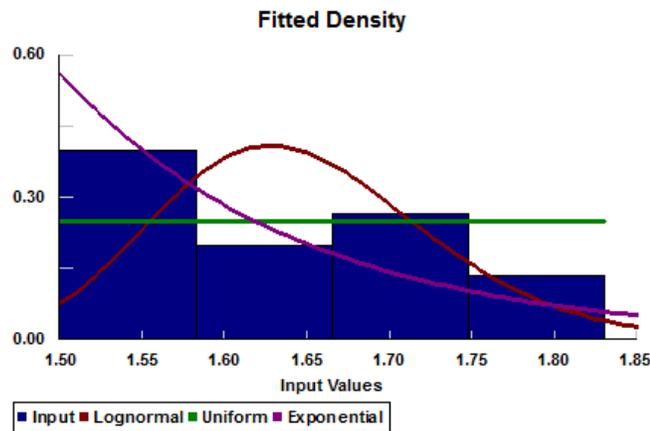
**Tabla 1. Estadística descriptiva del proceso de sublimación.**

<b>Estadística Descriptiva</b>	
Número de datos	30
Mínimo	1.5
Máximo	1.83
Media	1.64
Mediana	1.65
Moda	1.57
Desviación estándar	8.327e-2

Fuente: Stat-fit.

La Figura 3, que se muestra a continuación, corresponde a la gráfica de densidad del proceso sublimación.

**Figura 3. Gráfica de densidad del proceso de sublimación.**



Fuente: Stat-fit.

En la gráfica anterior se pueden observar los tipos de distribución a los cuales se ajustan más los datos; dichas distribuciones son: lognormal, exponencial y uniforme.

Así mismo, en la Tabla 2 se muestra a continuación la decisión a elegir para cada una de estas distribuciones.

Tabla 2. Tipo de distribución para el proceso de sublimación.

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal(1.09, -0.591, 0.147)	83.1	do not reject
Uniform(1.5, 1.83)	18.5	do not reject
Exponential(1.5, 0.146)	0.205	reject

Fuente: Stat-fit.

Finalmente, la Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling para el proceso de sublimación.

Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste de sublimación.

<b>Lognormal</b>			<b>Uniform</b>		
minimum	=	1.08684	minimum	=	1.5
mu	=	-0.591478	maximum	=	1.83
sigma	=	0.146884	<b>Kolmogorov-Smirnov</b>		
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>			data points		30
data points		30	ks stat		0.176
ks stat		0.184	alpha		5.e-002
alpha		5.e-002	ks stat(30,5.e-002)		0.242
ks stat(30,5.e-002)		0.242	p-value		0.278
p-value		0.231	result		DO NOT REJECT
result		DO NOT RE.	<b>Anderson-Darling</b>		
<b>Anderson-Darling</b>			data points		28
data points		30	ad stat		1.86
ad stat		0.663	alpha		5.e-002
alpha		5.e-002	ad stat(5.e-002)		2.49
ad stat(5.e-002)		2.49	p-value		0.109
p-value		0.591	result		DO NOT REJECT
result		DO NOT RE.			

Fuente: Stat-fit

De la gráfica y los datos anteriores se puede concluir que la distribución que más se adapta a los datos, teniendo en cuenta los valores p, es una distribución lognormal para las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

## 6.2.2 Confección.

A continuación, en la Tabla 4 se encuentran las estadísticas descriptivas correspondientes al proceso de confección. En esta se tienen en cuenta datos como el número total de la muestra, el mínimo y máximo valor de los datos, la media y la mediana, la moda y la desviación estándar.

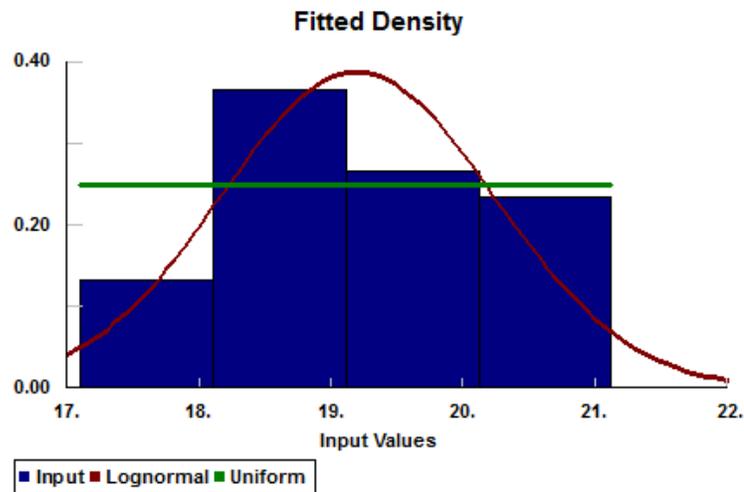
**Tabla 4. Estadística descriptiva para el proceso de confección.**

<b>Estadística Descriptiva</b>	
Número de datos	30
Mínimo	17.1
Máximo	21.12
Media	19.2
Mediana	19.11
Moda	18.98
Desviación estándar	1.0390

Fuente: Stat-fit.

La Figura 4, que se muestra a continuación, corresponde a la gráfica de densidad del proceso de confección.

**Figura 4. Gráfica de densidad del proceso de confección.**



Fuente: Stat-fit.

En la gráfica anterior se pueden observar los tipos de distribución a los cuales se ajustan más los datos. Dichas distribuciones son lognormal y uniforme.

En la Tabla 5 se encuentra la decisión a elegir para cada una de estas distribuciones.

**Tabla 5. Tipo de distribución para el proceso de confección.**

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[-450, 6.15, 2.18e-003]	100	do not reject
Uniform[17.1, 21.1]	17.1	do not reject

Fuente: Stat-fit.

Finalmente, la Tabla 6 muestra los resultados de las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

**Tabla 6. Pruebas de bondad de ajuste de confección.**

<b>Lognormal</b>		<b>Uniform</b>	
minimum =	-450.381	minimum =	17.1
mu =	6.15184	maximum =	21.12
sigma =	2.2002e-003	<b>Kolmogorov-Smirnov</b>	
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>		data points	30
data points	30	ks stat	0.147
ks stat	8.96e-002	alpha	5.e-002
alpha	5.e-002	ks stat[30,5.e-002]	0.242
ks stat[30,5.e-002]	0.242	p-value	0.492
p-value	0.952	result	DO NOT REJECT
result	DO NOT REJECT	<b>Anderson-Darling</b>	
<b>Anderson-Darling</b>		data points	28
data points	30	ad stat	1.02
ad stat	0.268	alpha	5.e-002
alpha	5.e-002	ad stat[5.e-002]	2.49
ad stat[5.e-002]	2.49	p-value	0.347
p-value	0.96	result	DO NOT REJECT
result	DO NOT REJECT		

Fuente: Stat-fit

De la gráfica y los datos anteriores se puede concluir que la distribución que más se adapta a los datos, teniendo en cuenta los valores p, es a una distribución lognormal, para las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

### 6.2.3 Corte.

A continuación, en la Tabla 7, se encuentran las estadísticas descriptivas correspondientes al proceso de corte. En esta se tienen en cuenta datos como el número total de la muestra, el mínimo y máximo valor de los datos, la media y la mediana, la moda y la desviación estándar.

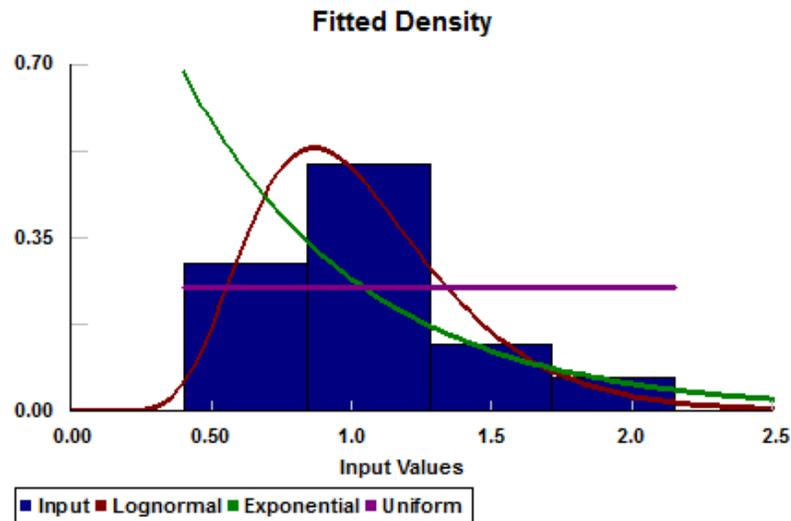
**Tabla 7. Estadística descriptiva proceso de corte.**

<b>Estadística Descriptiva</b>	
Número de datos	30
Mínimo	0.4
Máximo	2.15
Media	1.039
Mediana	1.0
Moda	1.08
Desviación estándar	0.3848

Fuente: Stat-fit

La Figura 5, que se muestra a continuación, corresponde a la gráfica de densidad del proceso de corte.

**Figura 5. Gráfica de densidad para el proceso de corte.**



Fuente: Stat-fit

En la gráfica anterior se pueden observar los tipos de distribución a los cuales se ajustan más los datos; dichas distribuciones son: lognormal, exponencial y uniforme. Por su parte, la Tabla 8 presenta la decisión a elegir para cada una de estas distribuciones.

Tabla 8. Tipo de distribución para proceso de corte.

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[-4.46e-002, 2.26e-002, 0.34]	100	do not reject
Exponential(0.4, 0.639)	0.126	do not reject
Uniform(0.4, 2.15)	5.12e-004	reject

Fuente: Stat-fit.

Finalmente, la Tabla 9 muestra los resultados de las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

Tabla 9. Pruebas de bondad de ajuste de corte.

<b>Exponential</b>			<b>Lognormal</b>		
minimum =	0.4		minimum =	-4.46008e-002	
beta =	0.639		mu =	2.25539e-002	
Kolmogorov-Smirnov			sigma =	0.339681	
data points	30		Kolmogorov-Smirnov		
ks stat	0.235		data points	30	
alpha	5.e-002		ks stat	8.17e-002	
ks stat(30,5.e-002)	0.242		alpha	5.e-002	
p-value	6.03e-002		ks stat(30,5.e-002)	0.242	
result	DO NOT REJECT		p-value	0.978	
Anderson-Darling			result	DO NOT REJECT	
data points	29		Anderson-Darling		
ad stat	3.25		data points	30	
alpha	5.e-002		ad stat	0.161	
ad stat(5.e-002)	2.49		alpha	5.e-002	
p-value	2.04e-002		ad stat(5.e-002)	2.49	
result	REJECT		p-value	0.998	
			result	DO NOT REJECT	

Fuente: Stat-fit

De la gráfica y los datos anteriores se puede concluir que la distribución que más se adapta a los datos, teniendo en cuenta los valores p, es una distribución lognormal, para las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

## 6.2.4 Revisión y Etiquetado.

A continuación, en la Tabla 10, se encuentran las estadísticas descriptivas correspondientes al proceso de revisión y etiquetado. En esta se tienen en cuenta

datos como el número total de la muestra, el mínimo y máximo valor de los datos, la media y la mediana, la moda y la desviación estándar.

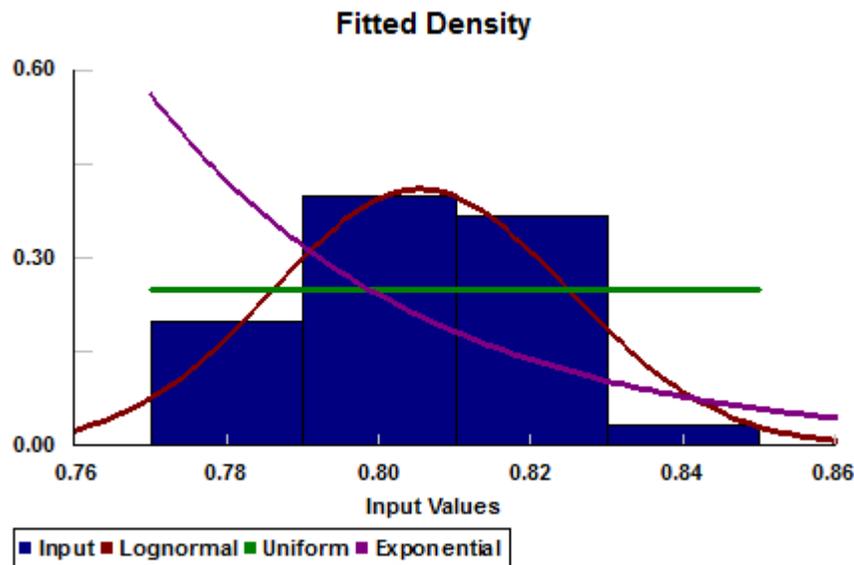
**Tabla 10. Estadística descriptiva del proceso de revisión y etiquetado.**

<b>Estadística Descriptiva</b>	
Número de datos	30
Mínimo	0.77
Máximo	0.85
Media	0.8056
Mediana	0.8
Moda	0.8
Desviación estándar	1.9771e-2

Fuente: Stat-fit.

La Figura 6, que se muestra a continuación, corresponde a la gráfica de densidad del proceso de revisión y etiquetado.

**Figura 6. Gráfica de densidad proceso Revisión y etiquetado**



Fuente: Stat-fit.

En la gráfica anterior se pueden observar los tipos de distribución a los cuales se ajustan más los datos; dichas distribuciones son: lognormal, exponencial

y uniforme; así como se muestra a continuación, en la Tabla 11, donde se encuentra la decisión a elegir para cada una de estas distribuciones.

**Tabla 11. Tipo de distribución para el proceso de revisión y etiquetado.**

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[-0.972, 0.575, 1.09e-002]	100	do not reject
Uniform[0.77, 0.85]	12.	do not reject
Exponential[0.77, 3.57e-002]	5.05e-003	reject

Fuente: Stat-fit

Finalmente, la Tabla 12 muestra los resultados de las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

**Tabla 12. Pruebas de bondad de ajuste de revisión y etiquetado.**

<b>Lognormal</b>			<b>Uniform</b>		
minimum	=	-0.972392	minimum	=	0.77
mu	=	0.575462	maximum	=	0.85
sigma	=	1.09329e-002	<b>Kolmogorov-Smirnov</b>		
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>			data points		30
data points		30	ks stat		0.225
ks stat		0.213	alpha		5.e-002
alpha		5.e-002	ks stat(30,5.e-002)		0.242
ks stat(30,5.e-002)		0.242	p-value		8.14e-002
p-value		0.114	result		DO NOT REJECT
result		DO NOT REJECT	<b>Anderson-Darling</b>		
<b>Anderson-Darling</b>			data points		27
data points		30	ad stat		2.56
ad stat		1.18	alpha		5.e-002
alpha		5.e-002	ad stat(5.e-002)		2.49
ad stat(5.e-002)		2.49	p-value		4.6e-002
p-value		0.274	result		REJECT
result		DO NOT REJECT			

Fuente: Stat-fit.

De la gráfica y datos anteriores se puede concluir que la distribución que más se adapta a los datos, teniendo en cuenta los valores p, es una distribución lognormal, para las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling, debido a que la distribución lognormal no fue rechazada por ninguna de las dos pruebas de bondad de ajuste.

## 6.2.5 Terminación y Empaque.

A continuación, en la Tabla 13, se encuentran las estadísticas descriptivas correspondientes al proceso de terminación y empaque. Aquí se tienen en cuenta datos como el número total de la muestra, el mínimo y máximo valor de los datos, la media y la mediana, la moda y desviación estándar.

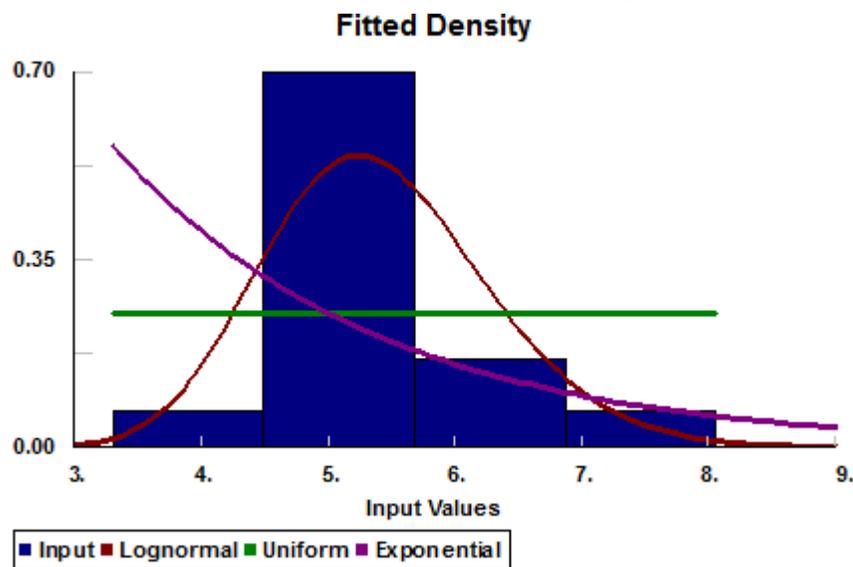
Tabla 13. Estadística descriptiva del proceso de terminación y empaque.

Estadística Descriptiva	
Número de datos	30
Mínimo	0.77
Máximo	0.85
Media	0.8056
Mediana	0.8
Moda	0.8
Desviación estándar	1.9771e-2

Fuente: Stat-fit.

La Figura 7, que se muestra a continuación, corresponde a la gráfica de densidad del proceso de terminación y empaque.

Figura 7. Gráfica de densidad para el proceso de terminación y empaque.



Fuente: Stat-fit.

En la gráfica anterior se pueden observar los tipos de distribución a los cuales se ajustan más los datos; dichas distribuciones son: lognormal, exponencial y uniforme. Por su parte, la Tabla 14 presenta la decisión a elegir para cada una de estas distribuciones.

**Tabla 14. Tipo de distribución para el proceso de terminación y empaque.**

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[-1.71, 1.95, 0.124]	100	do not reject
Uniform(3.3, 8.05)	1.05e-002	reject
Exponential(3.3, 2.11)	3.22e-005	reject

Fuente: Stat-fit.

Finalmente, la Tabla 15 muestra los resultados de las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling.

**Tabla 15. Pruebas de bondad de ajuste de terminación y empaque.**

<b>Lognormal</b>		
minimum	=	-1.70612
mu	=	1.95437
sigma	=	0.124159
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>		
data points		30
ks stat		0.183
alpha		5.e-002
ks stat(30,5.e-002)		0.242
p-value		0.236
result		DO NOT REJECT
<b>Anderson-Darling</b>		
data points		30
ad stat		1.06
alpha		5.e-002
ad stat(5.e-002)		2.49
p-value		0.326
result		DO NOT REJECT

Fuente: Stat-fit.

De la gráfica y los datos anteriores se puede concluir que la distribución que más se adaptó a los datos, teniendo en cuenta los valores p, es una distribución

lognormal, para las pruebas de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov y Anderson-Darling, debido a que la distribución lognormal, además, fue la única distribución que no fue rechazada por el análisis de las pruebas de bondad y ajuste.

## 7. CAPÍTULO 3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

En el presente trabajo se empleó la versión educativa del programa de simulación Promodel. Con la ayuda de este *software* se inició el montaje del modelo de simulación para el proceso productivo de una prenda deportiva, como se muestra a continuación:

El primer paso para la programación en Promodel consiste en la creación de las localizaciones, es decir, aquellas representaciones de todos aquellos lugares físicos donde las piezas serán trabajadas o esperarán un turno para ser procesadas (García, García y Cárdenas, 2006). Para crear y definir dichas localizaciones se da clic en el comando *Locations* del menú *Build*, el cual incluye comandos como: *Locations* (localizaciones o sitios de trabajo), *Entities* (entidades o materia prima del producto a procesar), *Path Networks* (rutas de movimiento de las entidades o recursos), *Resources* (recursos), *Processing* (programación de la simulación), *Arrivals* (llegadas de entidades al sistema) y *Attributes* (atributos).

### 7.1 BUILD LOCATIONS (CONSTRUIR LOCALIZACIONES)

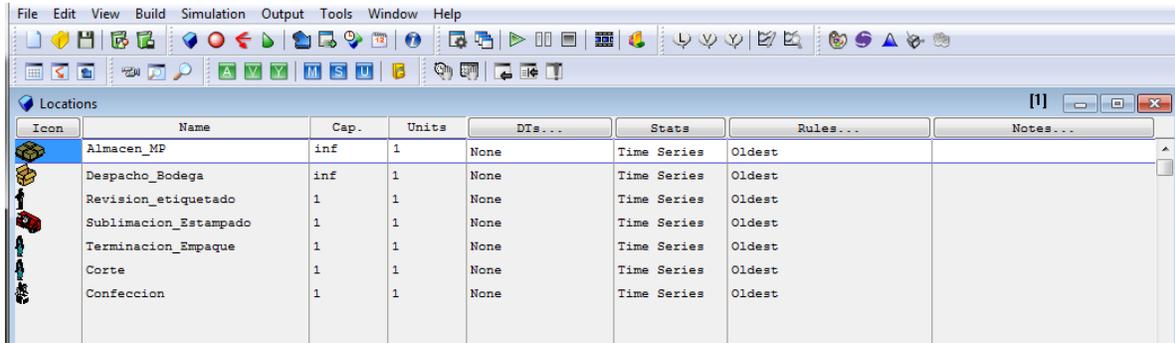
Las localizaciones del proceso productivo de una prenda deportiva hacen referencia a:

- Una (1) zona de almacén de materia prima.
- Una (1) zona de corte de tela.
- Una (1) zona de estampado y sublimación.
- Una (1) zona de revisión y etiquetado.
- Una (1) zona de confección.
- Una (1) zona de terminación.
- Una (1) zona de bodega y despacho.

Por cuestiones de análisis y por limitaciones del programa para el modelo de simulación, los subprocessos que contiene la zona de confección, junto con la zona de sublimación y etiquetado, se unieron en una misma localización.

En la Figura 8 se muestran las localizaciones y sus características en Promodel.

**Figura 8. Construcción de locaciones en Promodel.**



Icon	Name	Cap.	Units	Dis...	Stats	Rules...	Notes...
	Almacen_MP	inf	1	None	Time Series	Oldest	
	Despacho_Bodega	inf	1	None	Time Series	Oldest	
	Revision_etiquetado	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Sublimacion_Estampado	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Terminacion_Empaque	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Corte	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Confeccion	1	1	None	Time Series	Oldest	

Fuente: *software* Promodel.

## **7.2 BUILD ENTITIES (CONSTRUIR ENTIDADES)**

Para el modelo de simulación del proceso de producción de confección de una prenda deportiva, las entidades hacen referencia a la materia prima. Es de aclarar que se tomarán solo como materia prima los rollos de tela que llegan al almacén correspondiente, puesto que las limitaciones del *software* Promodel no podría procesar todas las entidades que se requieren para su proceso, debido a que se trata de una versión educativa.

## **7.3 BUILD ARRIVALS (CONSTRUIR LLEGADAS DE ENTIDADES AL SISTEMA)**

Para construir las llegadas de las entidades al sistema, se tienen en cuenta la entidad que llega al sistema, la localización a donde llega la entidad y el número de entidades que llegan a la vez.

La entidad del modelo simulado corresponde a los rollos de tela. La información que aporta la empresa Hincapié Sportswear es de un promedio de 1.000 rollos de tela por mes. El dato anterior depende directamente del volumen de producción, ya que este tiene en cuenta las unidades que permanecen en *stock*, debido a que la empresa no puede quedar con inventarios en ceros de rollos de tela.

En la Figura 9 puede observarse la construcción de las llegadas al sistema en Promodel.

**Figura 9. Construcción de llegadas en Promodel.**

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Materia_prima	Almacen_MP	1000	0	1	12000		No

Fuente: *software* Promodel.

## **7.4 BUILD PROCESSING (CONSTRUIR PROGRAMACIÓN DE LA SIMULACIÓN)**

Una vez definidas las localizaciones, y las entidades, se procede a realizar la programación de la simulación, la cual sigue el orden que se ha ido mencionando durante la realización del presente trabajo de grado; es decir, inicia con la llegada de la materia prima (rollos de tela) y finaliza con el despacho.

Acá se tiene en cuenta el análisis estadístico realizado en el capítulo 2, donde se determinaron los tipos de distribución que sigue cada uno de los subprocessos; asimismo, en este paso se establece el tipo de entidad que entra a cada localización, el tipo de operación que se realiza, la salida de dicha operación y el destino al cual debe ser dirigido.

A continuación, en la Tabla 16, se presenta la programación de la simulación realizada en Promodel.

**Tabla 16. Programación del modelo de simulación.**

Process			Routing			
Entity	Locations	Operation	Blk	Output	Destination	Rule
Materia_Prima	Almacen_M P		1	Materia_Prima	Corte	FIRST 1
Materia_Prima	Corte	WAIT 1+L(0.2255,0.339 )	1	Materia_Prima	Sublimacion_ Estampado	FIRST 1
Materia_Prima	Sublimacio n_Stampa do	WAIT L(0.5914,0.1468)	1	Materia_Prima	Revisión_Eti quetado	FIRST 1
Materia_Prima	Revisión_Et iquetado	WAIT L(0.5754,0.0109)	1	Materia_Prima	Confección	FIRST 1
Materia_Prima	Confección	WAIT L(6.1518,0.00217 )	1	Materia_Prima	Terminación _Empaque	FIRST 1
Materia_Prima	Terminacio n_Empaqu e	WAIT L(1.9543,0.1241)	1	Materia_Prima	Despacho_B odega	FIRST 1
Materia_Prima	Despacho_ Bodega	WAIT 600	1	Materia_Prima	EXIT	FIRST 1

Fuente: *software* Promodel.

#### 7.4.1 Supuestos del Modelo.

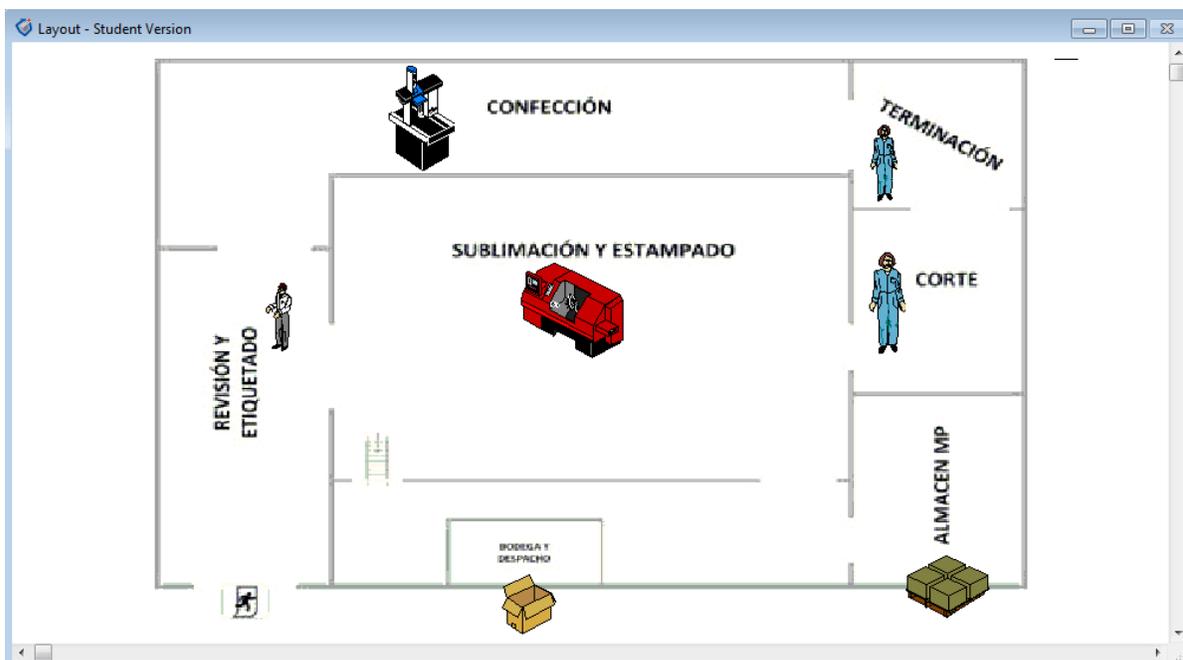
Los supuestos de los que se partió para implementar el modelo de simulación, de acuerdo a las condiciones actuales de producción en la empresa Hincapié Sportswear, son los siguientes:

- Se consideró una semana de trabajo equivalente a 50 horas, trabajando solo 5 días a la semana.
- Se consideró una hora como 60 minutos de trabajo.
- Se consideró que la materia prima solo son rollos de tela.
- Se tomó como la medida más común de un rollo de tela el equivalente a 1.50 metros de ancho por 90 metros de largo (135m<sup>2</sup>).
- Cada camiseta deportiva se gasta en promedio 1.42m<sup>2</sup>, sin contar los desperdicios generados por los trazos del molde (es decir, se producen unas 95 camisetas por rollo).
- El modelo terminó una vez transcurridas 200 horas de simulación, equivalente a un mes de trabajo.

- Todo el análisis estadístico se realizó con el paquete Stat-Fit del *software* Promodel. Por tal razón se sigue su estructura, cálculos y suposiciones.
- Debido a que el *software* Promodel cuenta con limitaciones en su versión estudiantil, en cuanto al posible número de objetos a simular, fue necesario reconsiderar generalidades en algunos puntos del proceso.

A continuación, en la Figura 10, se muestra la distribución del modelo simulado.

**Figura 10. Layout del modelo de simulación.**



Fuente: *software* Promodel.

#### **7.4.2 Simulation Options (Opciones de la Simulación).**

Finalmente, se corre el modelo durante 200 horas, las cuales equivalen a cuatro semanas de trabajo de la planta, y se realizan 30 réplicas.

## 8. CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

Para el análisis de los resultados, se debe tener en cuenta que el modelo inicia sin existencias; es decir, inicia desde cero y con las condiciones iniciales implicadas en los supuestos presentados en el capítulo anterior. Asimismo, la simulación está en función del tiempo de operación y no de las cantidades producidas.

De esta manera, una vez corridas las 200 horas de simulación equivalentes a un mes de trabajo, el *software* Promodel arroja diferentes resultados, entre los cuales se encuentran los siguientes:

*Locaciones.* Los resultados obtenidos para las locaciones del modelo se muestran a continuación en la Tabla 17.

**Tabla 17. Resultados obtenidos de las locaciones.**

Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Almacen MP	200,00	100,00	200,00	144,29	2,40	99,00	99,00	2,40
Despacho Bodega	200,00	999999,00	100,00	600,00	5,00	98,00	0,00	0,00
Revisión etiquetado	200,00	1,00	100,00	6,09	0,05	1,00	0,00	5,08
Sublimación Estampado	200,00	1,00	100,00	6,03	0,05	1,00	0,00	5,03
Terminación Empaque	200,00	1,00	100,00	1,95	0,02	1,00	0,00	1,63
Corte	200,00	1,00	101,00	5,93	0,05	1,00	1,00	4,99
Confeccion	200,00	1,00	100,00	6,15	0,05	1,00	0,00	5,13

Fuente: *software* Promodel.

*Scheduled Time.* Este ítem corresponde al tiempo de programación de la simulación, el cual es expresado en horas. Como anteriormente se mencionó, el tiempo de ejecución de la simulación fue de 200 horas.

*Total Entries.* Según la Tabla 17, se puede ver que a la primera locación, que corresponde al almacén de materia prima, llegan en total 200 entidades, es decir 200 rollos de tela; cada rollo de tela, por su parte, tiene en promedio 1.5 metros de ancho por 90 metros de largo. Bajo condiciones normales, la confección de una (1)

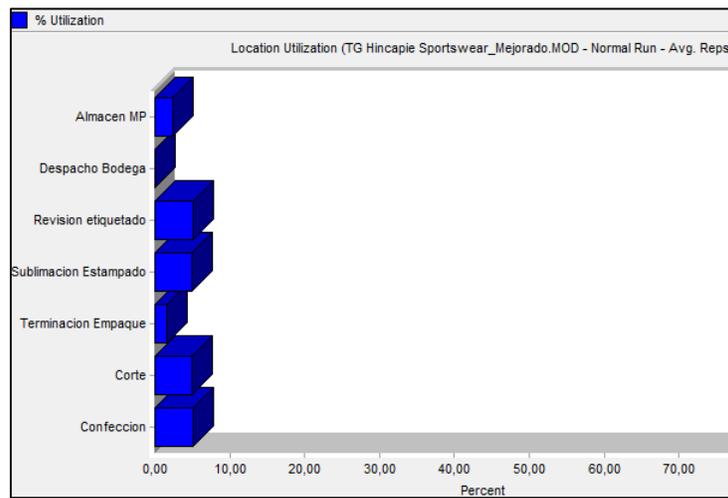
camiseta deportiva simulada se gasta 1.42 m<sup>2</sup>, lo cual quiere decir que en promedio por cada rollo de tela se pueden fabricar 95 camisetas deportivas.

Como se puede ver en la locación del área de corte, esta es capaz de procesar 101 entidades, lo que quiere decir, según la conversión anterior, que la zona de corte es capaz de procesar 9.595 unidades al mes (equivalente a 200 horas).

*Average Time per Entry.* Este es un indicador que corresponde al tiempo promedio de entradas a cada locación y está dado en minutos. Aquí se pueden ver las locaciones con mayor tiempo de procesamiento de entidades, teniendo en cuenta la capacidad y la cantidad que entran a cada locación; es decir, para la producción de una camiseta deportiva, dichas locaciones corresponden a las zonas de revisión y etiquetado, sublimación y estampado y confección, con un tiempo promedio de 6.09, 6.03 y 6.15 minutos, respectivamente. Del mismo modo, puede verse que la locación que procesa más rápido la entidades es la zona de terminación y empaque, con un tiempo promedio de 1.95 minutos.

*Porcentaje de Utilización.* Una de las gráficas que ofrece el paquete de *software* Promodel es el porcentaje de utilización de las locaciones, la cual se refiere a la capacidad de producción que se está utilizando en realidad. A continuación, en la Figura 11, se muestra dicho porcentaje.

**Figura 11. Porcentaje de utilización de locaciones.**



Fuente: *software* Promodel.

Se puede ver en la anterior figura que los recursos más usados son el área de revisión y etiquetado, sublimación y estampado, corte y confección.

Estos resultados indican que las áreas de almacén de materia prima, despacho en bodega y terminación y empaque, no están siendo utilizadas eficientemente. Teniendo en cuenta los objetivos planteados para este trabajo de grado, el interés especial se encuentra en el almacén de materia prima, ya que allí se concentra el problema que se pretende estudiar.

## 9. CAPÍTULO 5. OPTIMIZACIÓN DEL MODELO

La optimización, también denominada programación matemática, sirve para buscar el resultado que logre mayores ganancias, mayor producción, o la que logre menor costo o desperdicio (Mocholí y Sala, 1993). Por tal motivo, estos problemas implican utilizar de manera adecuada los recursos, los cuales pueden ser: dinero, tiempo, maquinaria, personal, existencias, etc.

Para formular un problema de optimización basado en programación lineal, se deben seguir ciertos lineamientos generales después de tener claro el objetivo que se dese obtener, ya sea la maximización o minimización del modelo; por ende, todo programa lineal debe constar de cuatro partes:

- i. La función objetivo.
- ii. Variables de decisión.
- iii. Parámetros.
- iv. Conjunto de restricciones.

### 9.1 DEFINICIONES

*Programación lineal.* Es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, utilizando la función objetivo (Heillier y Lieberman, 2002).

*Función objetivo.* Es la expresión matemática lineal que representa el objetivo del problema, es decir, la expresión que se desea maximizar o minimizar.

*Restricciones.* Son en donde, en la mayor parte de las situaciones, son solo posible ciertos valores. Las limitantes de estos valores son las que se conocen como restricciones (Ospina, Rodas y Botero, 2008).

## 9.2 VARIABLES Y PARÁMETROS

A continuación se presentan las variables, los parámetros y las restricciones con base en los cuales se construyó el modelo de optimización, el cual apunta a encontrar la cantidad óptima de rollos de tela que la empresa Hincapié Sportswear deberá tener de acuerdo a su cantidad de producción.

*Variables.* Para el problema de optimización de la empresa Hincapié Sportswear, se necesita determinar la cantidad óptima de unidades a tener en inventario de acuerdo a su capacidad de producción. Así, las variables del modelo se definen como siguen:

$X_1$  = Cantidad de rollos a fabricar.

$X_2$  = Cantidad de rollos a pedir.

*Restricciones.* Las restricciones que limitan el problema a formular son las siguientes:

- Espacio (número máximo de rollos de tela capaces de almacenar en almacén de materia prima: 650).
- Tiempo (horas laborales totales por mes: 200 horas).

*Función Objetivo.* Para formar la función objetivo, la empresa desea conocer la cantidad óptima de unidades de rollos de tela almacenar, si  $Z$  representa la cantidad mensual almacenar, el objetivo de la empresa se representa de la siguiente forma:

$$\text{Max } Z: \sum a_i x_i,$$

Donde, para el problema a optimizar (materia prima) se transcribe de la siguiente forma:

$$\text{Maximizar } Z = 100X_1 + 200X_2$$

En la fórmula anterior, los coeficientes representan la cantidad de la capacidad de procesar los rollos de tela, como se pudo ver en el capítulo 4 en la Tabla 17.

Según los datos del problema la anterior, función está sujeta a ciertas restricciones, las cuales son:

$$1) \quad 48X_1 + 26X_2 \leq 650$$

$$2) \quad 50X_1 + 384X_2 \leq 200$$

*Restricción número 1.* Es una restricción de mano de obra. El coeficiente de la primera variable hace referencia a los rollos de tela requeridos para la confección de 950 unidades de las prendas de vestir semanalmente (5 días). Esta conversión se puede ver en el Capítulo 3, en la sección de los supuestos. El coeficiente de la segunda variable hace referencia al número de rollos que son requeridos o pedidos en la empresa para mantener en *stock* en su bodega de materia prima.

*Restricción número 2.* Es una restricción de tiempo disponible, o sea, el tiempo que dispone semanalmente la empresa para cumplir sus despachos y su proceso de confección. El primer coeficiente de la primera variable hace referencia al tiempo requerido para el proceso de confección en la semana (5 días). El coeficiente de la segunda variable hace referencia al tiempo que se demoran en llegar los 26 rollos de tela después que la empresa genera el pedido.

### **9.3 DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN**

Mediante la ayuda del *software* WinQSB, se procede a ingresar los datos anteriores con el fin de dar solución al sistema, como sigue a continuación, en la Tabla 18.

Tabla 18. Construcción de datos del problema.

Variable -->	X1	X2	Direction	R. H. S.
Maximize	100	200		
R. Mano de	48	26	<=	650
R. Tiempo	50	384	<=	200
LowerBound	0	0		
UpperBound	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous		

Fuente: *software* WinQSB.

Después de ingresar los datos, se procede a resolver el problema paso por paso mediante el método Simplex, como se muestra a continuación en la Tabla 19.

Tabla 2. Solución inicial tabla Simplex.

Basis	C(j)	X1	X2	Slack_R. Mano de Obra	Slack_R. Tiempo disponible	R. H. S.	Ratio
Slack_R. Mano de Obra	0	48,0000	26,0000	1,0000	0	650,0000	25,0000
Slack_R. Tiempo disponible	0	50,0000	384,0000	0	1,0000	200,0000	0,5208
	C(j)-Z(j)	100,0000	200,0000	0	0	0	

Fuente: *software* WinQSB.

En esta primera interacción de la tabla Simplex se presenta el *ratio* en la última columna; es decir, la relación o proporción que el software establece para elegir la variable que deja de ser básica. Se puede observar que la última fila corresponde a la ecuación de la función objetivo.

Luego de realizar varias iteraciones, el software da como resultado final del Simplex, incluyendo un análisis de sensibilidad de los recursos y variables, la solución que expone la Tabla 20.

Tabla 3. Solución Final tabla Simplex.

Basis	C(j)	X1	X2	Slack_R. Mano de Obra	Slack_R. Tiempo disponible	R. H. S.	Ratio
Slack_R. Mano de Obra	0	0,0000	-342,6400	1,0000	-0,9600	458,0000	
X1	100,0000	1,0000	7,6800	0	0,0200	4,0000	
	C(j)-Z(j)	0	-568,0000	0	-2,0000	400,0000	

Fuente: *software* WinQSB.

Para una mayor comprensión del problema se presenta la Tabla 21, que contiene la solución óptima final del sistema.

**Tabla 4. Solución óptima.**

11:10:14		Wednesday	February	04	2015			
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	4,0000	100,0000	400,0000	0	basic	26,0417	M
2	X2	0	200,0000	0	-568,0000	at bound	-M	768,0000
	Objective	Function	(Max.) =	400,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	R. Mano de Obra	192,0000	<=	650,0000	458,0000	0	192,0000	M
2	R. Tiempo disponible	200,0000	<=	200,0000	0	2,0000	0	677,0834

Fuente: *software* WinQSB.

## 9.4 RESULTADOS DEL MODELO

De la Tabla 20 se puede observar que la solución óptima es 4, lo cual quiere decir que este es el número óptimo de rollos de tela a fabricar a diario; es decir, haciendo las conversiones que se encuentran en el Capítulo 3, en la sección de los supuestos, la empresa debe fabricar como mínimo unas 380 camisetas diarias y mantener en *stock* en el almacén de materia prima unos 400 rollos de tela, debido a la cantidad en la que la empresa Hincapié Sportswear realiza sus pedidos de los rollos de tela y en el tiempo que estos se demoran en llegar.

Lo anterior es coherente con la realidad de la empresa, puesto que la capacidad de producción actual es de 900 unidades diarias del total de sus referencias. Es claro que Hincapié Sportswear también fabrica otros productos deportivos, de los cuales se debe tener en el almacén de materia prima la cantidad suficiente de rollos de tela para fabricarlos; en este caso para los otros productos que no representan el mayor flujo y demanda de todas sus ventas, la empresa tendría una capacidad de almacenar 250 rollos de tela para la producción de dichos artículos deportivos.

### 9.4.1 Análisis Paramétrico del Modelo.

Mediante esta propuesta se pretende dar como opción un análisis paramétrico del modelo, es decir, se indica cómo cambia la función objetivo cuando el vector de costes o restricciones (R.H.S) se perturba paramétricamente, es decir, como sigue a continuación:

$$Z = C + \mu C' \quad \text{ó} \quad \text{RHS} = b + \mu b'$$

Dado lo anterior, el informe de resultados final tiene el formato que se encuentra consignado en la Tabla 22.

**Tabla 5. Solución paramétrica perturbando la restricción 2.**

Range	From RHS of R. Tiempo disponible	To RHS of R. Tiempo disponible	From OBJ Value	To OBJ Value	Slope	Leaving Variable	Entering Variable
1	200,0000	677,0834	400,0000	1.354,1670	2,0000	Slack_C1	X2
2	677,0834	9.600,0000	1.354,1670	5.000,0000	0,4086	X1	Slack_C2
3	9.600,0000	M	5.000,0000	5.000,0000	0		
4	200,0000	0	400,0000	0,0000	2,0000	X1	
5	0	-Infinity	Infeasible				

Fuente: *software* WinQSB.

La anterior tabla muestra los intervalos entre los que se mueve el coeficiente de la restricción sin modificar las variables de la solución. Es claro ver que la solución sí varía, es decir, si el coeficiente está entre 200 (*from RHS. of R. tiempo disponible*) y 677, que serían las horas totales laborales al mes, respectivamente; entonces, se tiene que la función objetivo varía entre 400 y 1.354, correspondiente a las unidades que se deben mantener en el inventario de materia prima para poder cumplir con dichas horas trabajadas. En el momento en el que el coeficiente de la restricción supere el valor de las 677 horas, sale la variable  $X_1$  (cantidad de rollos a fabricar) y entra la variable  $X_2$ . Es claro, por otra parte, que no imposible trabajar más de 480 horas mensuales, debido a que el personal no puede trabajar 24 horas diarias, y la única forma en que pudiese cumplirse esto es que la

empresa Hincapié Sportswear tomara la opción de trabajar 3 turnos de 8 horas o dos turnos de 12 horas, lo que posiblemente representaría un incremento en los costos de mano de obra directa.

Dado lo anterior, queda demostrado que la solución óptima de acuerdo a la capacidad de producción y a la capacidad de tiempo de trabajo laborado de la empresa, se logra cuando es capaz de producir 380 camisetas diarias, según los datos arrojados mediante la programación lineal, para lo cual debe mantener en *stock*, en el almacén de materia prima, 400 unidades de rollo de tela para poder cumplir con su capacidad de producción. En la sección siguiente se desarrollará un modelo mediante la aplicación de la administración de inventarios para realizar las diferencias entre ambos modelos.

## **9.5 PROPUESTA DE MODELO PROBABILÍSTICO CON REVISIÓN CONTINÚA**

Anteriormente se presentó la optimización del modelo aplicando programación lineal según resultados obtenidos en la simulación que se encuentra en el capítulo 4. En esta sección se presentará un modelo que está diseñado para analizar sistemas de inventarios donde existe una gran incertidumbre sobre las demandas futuras, esto debido a que en el sector textil-confección en gran mayoría es difícil predecir con exactitud la demanda, sin embargo este modelo permite estimar la distribución de la demanda y elegir un inventario de seguridad si se presenta una demanda por encima del promedio de entrega.

A continuación se presentan los supuestos del modelo

1. Cada aplicación se refiere a un solo producto.
2. El nivel de inventario está bajo revisión continua, por lo que su valor actual se conoce.
3. Debe usarse una política de punto de reorden ( $R$ ,  $Q$ ), por lo cual las únicas decisiones que deben tomarse son las selecciones de  $R$  y  $Q$ .

4. Existe un tiempo de entrega entre la colocación de una orden y la recepción de la cantidad ordenada. Este tiempo de entrega puede ser fijo o variable.
5. La demanda para retirar unidades del inventario y venderlas (o usarlas de otro modo) durante este tiempo de entrega es incierta. Sin embargo, se conoce (o se puede estimar) la distribución de probabilidad de la demanda.
6. Si ocurren faltantes antes de recibir la orden, el exceso de demanda queda pendiente, de manera que estos faltantes se satisfacen cuando llega la orden.
7. Se incurre en costo de preparación (denotado por  $K$ ) cada vez que se coloca una orden.
8. Excepto por este costo fijo, el costo de la orden es proporcional a la cantidad  $Q$ .
9. Se incurre en un costo de mantener (denotado por  $h$ ) por cada unidad en inventario por unidad de tiempo.
10. Cuando ocurren faltantes, se incurre en cierto costo por faltantes (denotado por  $p$ ) por cada unidad que falta por unidad de tiempo hasta que se satisface la demanda pendiente.

Para empezar a dar inicio con el modelo, a continuación se presenta la demanda en unidades de los últimos 6 meses y la fórmula de la cantidad de la orden  $Q$ .

**Tabla 6. Demanda de camiseta Jersey.**

<b>Demanda</b>	
<b>Julio</b>	6250
<b>Agosto</b>	8340
<b>Septiembre</b>	7520
<b>Octubre</b>	7360
<b>Noviembre</b>	6860
<b>Diciembre</b>	8640

$$Q = \sqrt{\frac{2dK}{h}} \sqrt{\frac{p+h}{p}}$$

En la anterior fórmula, se refiere al modelo EOQ con faltantes planeado, en donde  $d$  representa la demanda promedio por unidad de tiempo,  $K$  representa el costo de preparación,  $h$  representa el costo de mantener y  $p$  representa el costo por faltantes.

Esta  $Q$  será solamente una aproximación de la cantidad óptima que se desea ordenar. El Primer paso a seguir es calcular la demanda promedio y su desviación estándar, para lo cual se utiliza la ayuda de herramientas de Excel y se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 7. Cálculos estadísticos.**

<b>Media (<math>\bar{x}</math>)</b>	<b>Varianza(<math>\delta^2</math>)</b>	<b>Desviación estándar(<math>\delta</math>)</b>
7495	489674	699.767

En la tabla anterior se muestra la demanda promedio y la desviación estándar, en donde esta muestra que tan alejados se encuentran los datos. Adicionalmente para este producto se definen algunos parámetros necesarios para llevar a cabo el cálculo de la cantidad de la orden a pedir.

**Tabla 8. Parámetros del modelo.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Demanda promedio (Ud.)	7495
Costo de ordenar	\$93.500
Costo de mantener	\$30.000
Costo promedio de rollo de tela (el metro)	\$6.000

Para el caso actual, se decide ajustar la tasa de producción diaria a las órdenes que se reciban, la cual como ya se ha explicado en capítulos anteriores, existe un tiempo de entrega de 16 días para un lote de 26 rollos. En consecuencia, se puede decir que la demanda actual de camisetas es una variable aleatoria  $D$

que tiene distribución normal con media de 7495 y desviación estándar de 699.767.

Adicionalmente, para minimizar el riesgo de interrumpir la línea de producción, se decide que el inventario de seguridad de rollos de tela deber ser lo suficiente para evitar un 95% de faltantes durante el periodo de entrega. A continuación se resume las variables necesarias para determinar la cantidad de la orden de pedido:

*d*: Demanda promedio por unidad de tiempo

*K*: Costo de preparar u ordenar

*h*: Costo de mantener

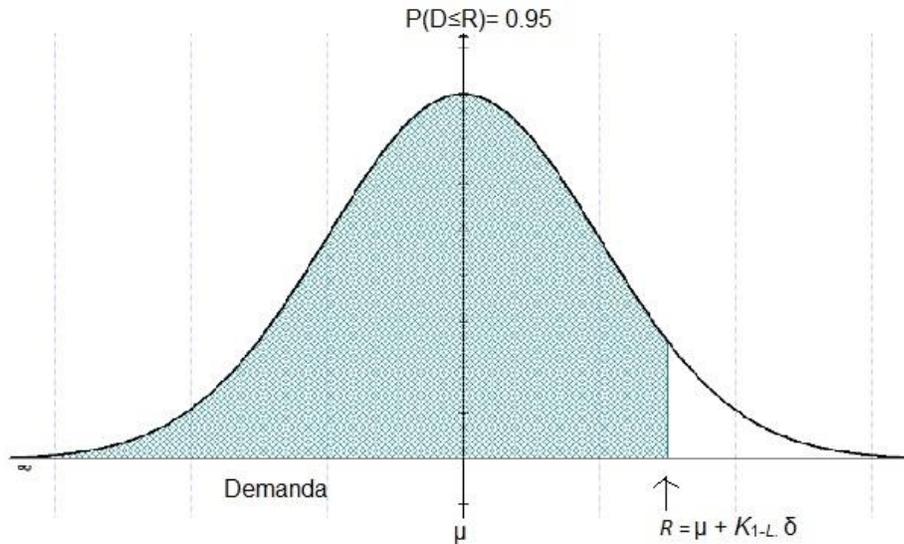
*p*: Costo de faltantes

*L*: Probabilidad deseada de que no ocurra faltantes en el lapso de colocar una orden y recibirla.

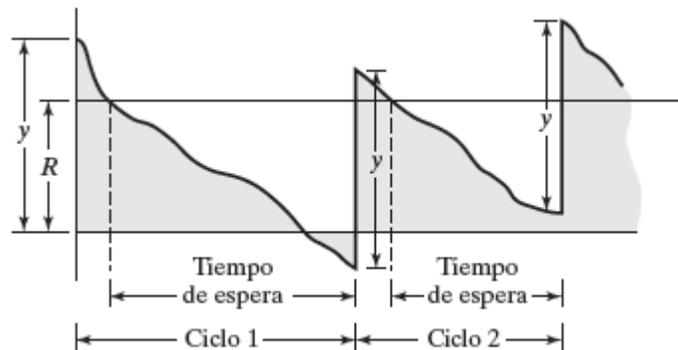
Para obtener el punto de reorden se debe elegir el valor de *L* deseado, el cual para este modelo se utilizara un 95% para garantizar que no hayan faltantes durante el periodo de entrega, como sabemos que la demanda proviene de una distribución normal con media 7495 y desviación estándar 699.767, se puede usar la tabla de distribución normal para determinar el punto de reorden *R*, lo cual para determinar este es suficiente con encontrar el valor de  $K_{1-L}$  en la tabla de la distribución normal y luego sustituirlo en la siguiente fórmula para calcular *R*.

$$R = \mu + K_{1-L}\sigma.$$

**Figura 12. Probabilidad de que se agoten las existencias.**



**Figura 13. Modelo de inventario probabilístico con faltantes.**



Dado lo anterior reemplazando los valores en la fórmula del punto de reorden se obtiene que:

$$R = 7495 + 1.645(699.767)$$

$$R = 8646 \text{ unidades.}$$

Lo anterior expresa que la empresa debe realizar el pedido de ordenar, cuando este tenga 8646 unidades en su inventario, realizando la conversión de que de un rollo de tela se fabrican 95 unidades, quiere decir que siempre que el

nivel de inventario llegue al punto reorden, es decir cuando la empresa tenga 91 rollos de tela se debe realizar el pedido para reabastecerla.

Luego de haber calculado el punto de reorden, debe ser calculado un inventario de seguridad para proporcionar la seguridad si se presenta una demanda por encima del promedio durante el tiempo de entrega del inventario, dicho inventario de seguridad se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Inventario de seguridad} = R - \mu$$

O simplemente se puede sacar por medio de la figura 12 el cual se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Inventario de seguridad} = K_{1-L}(\delta)$$

Luego de la anterior definición se concluye que el inventario de seguridad recomendado debe ser de:

$$\text{Inventario de seguridad} = 1.645(699.747) = 1151 \text{ unidades.}$$

La empresa debe tener un inventario de seguridad de 1151 unidades, lo que quiere decir que debe poseer un inventario de seguridad de 12 rollos en caso de que se presente una demanda por encima del promedio.

Para dar solución a cantidad óptima a pedir se procede de la siguiente forma:

$$Q = \sqrt{\frac{2dK}{h}} \sqrt{\frac{p+h}{p}}$$

Como el costo de faltantes  $p$  no es conocido por la empresa, debido a que en la realidad es complicado calcular el costo de faltantes, la teoría afirma que se puede considerar ciertas estrategias como el costo inventario de seguridad. Ahora se procede de la siguiente manera para calcular la cantidad óptima a pedir.

$$Q = \sqrt{\frac{2(7495)(93.500)}{30.000}} \sqrt{\frac{900000 + 30.000}{900.000}}$$

Q= 220 unidades de rollos de tela

Se puede observar que la cantidad óptima a pedir u ordenar los rollos de tela es de 220 unidades, esta se debe realizar cuando esta llegue a su punto de reorden de 91 unidades de rollos de tela, adicionalmente la empresa debe contar con un inventario de seguridad de 12 rollos de tela en el caso de presentarse una demanda por encima del promedio durante los tiempos de entrega.

Es de notar la diferencia que se muestra en los dos modelos propuestos, debido a que en el primer modelo implementando programación lineal, este se basó en los resultados obtenidos mediante el proceso de simulación, el cual no se basó en la estimación de la demanda si no por los tiempos de las operaciones tomadas en cada área, al contrario del segundo modelo, pues este no se basó en la capacidad de producción si no en las ventas o demanda de la prenda durante los últimos 6 meses, en conclusión se puede decir que el modelo número dos es el más acertado, debido a que este es el que representa la realidad de la empresa debido a que su capacidad de administrar sus inventarios va depender de sus ventas puesto que no es necesario fabricar o confeccionar más de lo que no se puede vender debido a que posiblemente llevaría a un costo de mantener inventario de producto terminado el cual no posee la empresa en estos momentos.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Por medio de la implementación de la programación lineal, se definió y se caracterizó la variable 'tiempo' como la variable fundamental en el desarrollo del modelo. Así, se logró determinar el tiempo total de una prenda vestir desde el inicio de su proceso, que comienza en almacén de materia prima, hasta el final de su proceso en el almacén de despacho y bodegaje. Este estudio permitirá a la empresa tomar una decisión para el costeo de su prenda de acuerdo a los minutos que toma todo el proceso de confección.

Documentar la producción mediante herramientas tales como flujogramas de todo el proceso productivo, es vital para poder llegar a una estandarización de los productos, con el fin de aumentar la eficiencia y las destrezas para que se realicen las mismas labores sin error alguno.

Realizada la simulación se obtuvieron resultados, de los cuales se puede concluir que, de acuerdo a la Figura 11, las áreas de almacén de materia prima, despacho en bodega y terminación y empaque, no están siendo utilizadas eficientemente, lo que contrasta con el interés de la empresa, para el cual solo es prioridad el almacén de materia prima; este está siendo utilizado incorrectamente debido a que la capacidad de producción es mayor que lo que puede almacenar, por lo cual la empresa.

Obtener un *software* empresarial que integre las diferentes áreas de la empresa ayuda a que la información llegue de manera oportuna, más confiable y rápidamente, permitiendo realizar controles más estrictos a nivel de inventario, insumos, control de costos, entre otros factores.

Se recomienda a la empresa realizar un estudio de métodos y tiempos para los demás productos de su portafolio para conocer con certeza la capacidad de elaboración para cada producto, con el fin de poder realizar las entregas oportunas y tomar decisiones de cuánto debe incrementar mantener o disminuir en área su almacén de materia prima, estableciendo así cuántas unidades de rollos de tela almacenar por cada producto. Lo anterior podría estar seguido por un

estudio de rediseño de planta que permita identificar errores en la distribución, debido a que, de no tenerlo, pueda pasar que en la realidad los procesos queden sobredimensionados, generando costos de producción.

Se puede concluir que una de las posibles causas que origina el problema de inventario de materia prima es la fluctuación de la demanda y su altos números de unidades de rojos de tela que se almacenan en este, debido a que este es capaz de mantener un inventario de menor cantidad porque su capacidad de producción y demanda lo permiten, adicionalmente existen otros materiales en su inventario de materia prima como son los hilos para el proceso de confección, los cuales son difíciles de calcular su consumo debido a que en este proceso en muchas ocasiones se tiene que desbaratar la prenda por algún defecto en su confección y los operarios no avisan con antelación cuando estos se han acabado.

Se evidencio que la empresa es manejada empíricamente y sin mucho conocimiento en el tema de almacenamiento, por lo cual el personal a cargo no posee mayor información sobre sus volúmenes, y rotación de sus productos, por tal razón la recomendación que se hace para la mejora de almacenamiento es de forma cualitativa, de este modo se recomienda utilizar un tipo de almacenaje aleatorio con una implementación de algún sistema de identificación automatizado (AIS), pues este permite clasificar, codificar y normalizar los materiales que se encuentran en el almacén, permitiendo al encargado del almacenamiento una fácil identificación, ubicación y despacho de los productos, este sistema incluye beneficios como mantener una lista de lugares vacíos, mantiene registros precisos del inventario existente y ubicación, reduce los tiempos de colocación, y permite asignar ciertos artículos como los de alto uso en un área particular del almacén para minimizar los recorridos, permitiendo así una disminución del costo por mano de obra.

Para la anterior recomendación, para poderla llevar a cabo con totalidad se recomienda contratar una empresa especializada conocida en logística como logística tercerizada *Third Party Logistics* o 3PL, la cual permitirá asesorar a la empresa para la codificación de sus productos y utilizar un *Software* adecuado

según las necesidades de la empresa, de esta manera permitirá que la empresa se concentre en sus actividades claves.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Arango, D.; Perez, G.; & Rojas, M. (s.f.). *Modelo empírico de gestión para la cadena de suministro en el sector textil-confección de Medellín*. Recuperado el 25 de Marzo de 2013, de <http://simon.uis.edu.co>: [http://simon.uis.edu.co/encuentrosds2009/pag\\_memoria/articulos/Aplicaciones%20Industriales/71.pdf](http://simon.uis.edu.co/encuentrosds2009/pag_memoria/articulos/Aplicaciones%20Industriales/71.pdf)
- Bereson, M.; & Levine, D. (1996). *Estadística Básica en administración, Conceptos y aplicaciones*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Blanco, L.; & Fajardo, I. (2003). *Simulación con Promodel. Casos de producción y logística*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Christopher, M. (1994). Logística y abastecimiento. Cómo reducir costes, stocks y mejorar los servicios. En *Logística y abastecimiento. Cómo reducir costes, stocks y mejorar los servicios* (p.13). Barcelona: Ediciones Folio S.A.
- Embajada de Colombia en Tokio (s.f.). Sitio web institucional. Recuperado el 6 de Mayo de 2014, de <http://japon.embajada.gov.co/>
- Escobar, J. (2007). El primer escalón de la logística: el abastecimiento. *Zona Logística*, Versión Digital.
- García, E.; García, H.; & Cárdenas, L. (2006). *Simulación y Análisis de Sistemas con Promodel*. México: Pearson Educación.
- Heillier, F.; & Lieberman, G. (2002). *Investigación de operaciones*. México: McGraw-Hill.
- Hincapié Sportswear (2011). *Hincapié Sportswear*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2013, de <http://www.hincapie.com/>
- Mocholí, M.; & Sala, R. (1993). *Programación lineal - Metodologías y Problemas*. Albacete: Tébar.
- Muñoz, Y.; Segura, S.; & Tabima, D. (2011). *Diagnóstico de la cadena de abastecimiento*. Recuperado el 25 de Marzo de 2013, de

- <http://biblioteca.ucp.edu.co:8080/jspui/bitstream/10785/1015/4/DIAGNOSTICO%20DE%20LA%20CADENA%20DE%20ABASTECIMIENTO.pdf>
- Muther, R. (1992). *Distribución en planta* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill.
- Ospina, L.; Rodas, P.; & Botero; M. (2008). Modelo de programación para integrar producción, inventario y ventas en empresas industriales. *Scientia Et Technica*, 101-104.
- Porter, M. (1998). Estrategia competitiva. En M. E. Porter - Moix, *Estrategia competitiva, técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*. México: Editorial Continental.
- Ramírez, S. (2010). *Modelización de una cadena de abastecimiento (supply chain) para el sector textil-confección en el entorno colombiano*. Recuperado el 18 de Marzo de 2013, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2001/1/71656936.20101.pdf>
- Salazar, R. (2012). *Guía de buenas prácticas para el sector textil*. Fundes.
- Saldarriaga, D. (s.f.). Diseño, Optimización y Gerencia de Centros de Distribución... Almacenar Menos, Distribuir Más. *Zona Logística*, 11.
- Vergel, J. (08 de Septiembre de 2009). Propuesta y análisis del diseño y distribución de planta de Alfering Limitada sede II. Trabajo de grado, ingeniería industrial, Universidad del Magdalena. Obtenido de <http://dspace.universia.net/bitstream/2024/392/1/DISTRIPLANTA-FINAL-ALFERING.pdf>

## 12. ANEXOS

### 1. Tabla de tiempos de los procesos de confección de cada área de producción para la elaboración de una camiseta deportiva (en minutos).

Tiempos	Sublimación	Confección	Preparación del molde	Corte	Revisión y etiquetado	Terminación	Total
t1	1.57	17.61	0.28	1.23	0.82	4.81	26.32
t2	1.58	17.1	0.28	1	0.78	5.65	26.39
t3	1.73	17.75	0.28	2.15	0.85	5.46	28.22
t4	1.65	17.38	0.28	1	0.80	4.66	25.77
t5	1.7	18.36	0.28	1.08	0.82	7.61	29.85
t6	1.58	18.8	0.28	1.45	0.80	5.58	28.49
t7	1.72	18.9	0.28	1.75	0.82	5.7	29.17
t8	1.65	20.46	0.28	1.03	0.80	5.65	29.87
t9	1.75	20.46	0.28	1.56	0.80	5.33	30.18
t10	1.57	20.01	0.28	1.68	0.78	5.46	29.79
t11	1.58	20.4	0.28	1.06	0.83	5.5	29.66
t12	1.62	19.26	0.30	1.3	0.77	5.98	29.23
t13	1.66	20.3	0.30	1.16	0.83	6.68	30.93
t14	1.72	19.2	0.28	1.13	0.80	5.63	28.76
t15	1.7	19.02	0.28	1.16	0.82	6.16	29.14
t16	1.53	20.88	0.28	1.12	0.80	3.85	28.46
t17	1.5	18.48	0.28	0.68	0.80	4.81	26.55
t18	1.75	18.76	0.28	0.86	0.80	5.18	27.63
t19	1.62	18.78	0.27	0.86	0.83	8.05	30.41
t20	1.52	19.6	0.32	0.75	0.80	5.16	28.15
t21	1.58	21.12	0.32	0.67	0.80	5.01	29.50
t22	1.58	18.15	0.28	0.75	0.77	5.23	26.76
t23	1.68	18.86	0.28	0.8	0.83	5.18	27.64
t24	1.72	19.58	0.28	0.87	0.82	5.16	28.43
t25	1.58	18.38	0.28	0.4	0.78	4.93	26.36
t26	1.83	18.9	0.28	0.62	0.82	5.1	27.55
t27	1.77	19.26	0.28	0.6	0.80	5.7	28.41
t28	16.5	19.82	0.28	0.93	0.78	4.73	43.05
t29	1.58	20	0.28	0.65	0.82	5	28.69
t30	1.72	20.08	0.28	0.87	0.80	3.3	27.05
						<b>Promedio</b>	<b>28.88</b>