



CIATEC

**“Análisis y control dinámico del sistema de producción textil de  
tejido de punto”**

# Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

Maestro en Ciencia y  
Tecnología

en la Especialidad de  
Ingeniería Industrial y de  
Manufactura

PRESENTA

**JOSÉ JOVANI CARDIEL ORTEGA**

DIRECTOR DE TESIS

**Dr. Roberto Baeza Serrato**



EN  
CIENCIA Y TECNOLOGIA

León, Guanajuato, México, Octubre 2014

**ÍNDICE**

**ÍNDICE DE FIGURAS..... ii**

**ÍNDICE DE TABLAS..... iii**

**Introducción.....1**

**CAPÍTULO I.....1**

1.1 Planteamiento del problema..... 3

1.2 Justificación..... 5

    1.2.1 Enfoque ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.3 Objetivo general..... 7

1.4 Objetivos específicos..... 7

1.5 Hipótesis general ..... 7

**CAPÍTULO II.....8**

2 Marco teórico ..... 8

**CAPÍTULO III.....12**

3 Estado del arte..... 12

**CAPÍTULO IV .....14**

4 Metodología de investigación ..... 14

**CAPÍTULO V.....19**

5 Resultados ..... 19

5.1 Articulación del problema de producción..... 19

    5.1.1 Elaboración del mapa mental ..... 19

    5.1.2 Determinación de las variables..... 20

    5.1.3 Modos de referencia ..... 20

    5.1.4 Diagrama de subsistemas ..... 21

5.2 Formulación de la hipótesis dinámica..... 22

5.3 Formulación del modelo dinámico ..... 23

    5.3.1 Elaboración del diagrama de Forrester..... 23

    5.3.2 Desarrollo de ecuaciones del modelo ..... 24

5.4 Simulación del modelo dinámico..... 28

5.4.1 Análisis de sensibilidad.....	28
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>43</b>
6 Conclusiones.....	43
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>45</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Estructura general de la tesis .....	2
Figura 2. Flujo del proceso de producción textil .....	3
Figura 3. Flujo del proceso de producción textil con retroalimentación .....	4
Figura 4. Modelo con redes neuronales.....	6
Figura 5. Modelo con de dinámica de sistemas .....	6
Figura 6. Actividades del pensamiento de sistemas .....	8
Figura 7. Procesos de dinámica de sistemas .....	9
Figura 8. Proceso de retroalimentación .....	9
Figura 9. Bucles de retroalimentación .....	10
Figura 10. Patrones de comportamiento .....	11
Figura 11. Diagrama general con retroalimentación de dinámica de sistema .....	14
Figura 12. Metodología de investigación .....	15
Figura 13. Mapa mental del sistema de producción.....	19
Figura 14. Modos de referencia .....	21
Figura 15. Diagrama de subsistemas.....	21
Figura 16. Diagrama causal .....	22
Figura 17. Modelo dinámico del sistema de producción textil .....	23
Figura 18. Subsistema del modelo (tejido).....	24
Figura 19. Formulación matemática .....	25
Figura 20. Escenarios del modelo.....	29
Figura 21. Escenario 1 - Tejido e hilván.....	31
Figura 22. Escenario 1 - Plancha, corte y supermercado .....	31
Figura 23. Escenario 1 - Amortiguador y confección .....	32
Figura 24. Escenario 1 - Terminado y empaquetado .....	32
Figura 25. Escenario 2 - Tejido e hilván.....	33
Figura 26. Escenario 2 - Plancha, corte y supermercado .....	34
Figura 27. Escenario 2 - Amortiguador y confección .....	34
Figura 28. Escenario 2 - Terminado y empaquetado .....	35
Figura 29. Escenario 3 - Tejido e hilván.....	36
Figura 30. Escenario 3 - Plancha, corte y supermercado .....	36
Figura 31. Escenario 3 - Amortiguador y confección .....	37
Figura 32. Escenario 3 - Terminado y empaquetado .....	37

Figura 33. Modelos producidos.....	38
Figura 34. Orden de producción.....	38
Figura 35. Maquilador de tejido.....	39
Figura 36. Recibo-nomina .....	40
Figura 37. Seguimiento de modelos.....	41
Figura 38. Comparativo de los departamentos de tejido e hilván.....	41
Figura 39. Comparativo de los departamentos de terminado y empaquetado .....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de variables.....	20
Tabla 2. Ecuaciones del modelo (Variables de estado).....	25
Tabla 3. Ecuaciones del modelo (Variables de flujo).....	26
Tabla 4. Ecuaciones del modelo (Variables auxiliares) .....	28
Tabla 5. Parámetros del escenario 1 .....	30
Tabla 6. Parámetros del escenario 2 .....	33
Tabla 7. Parámetros del escenario 3 .....	35

## DEDICATORIAS

### *Para mi esposa e hijo*

Tere y Bruno, el logro de una meta mas no pudo ser posible sin la entrega, dedicación apoyo y cariño de ustedes, agradezco a dios por tenerlos a mi lado.

### *Para mi madre y hermanos*

Por el apoyo incondicional y cariño de mi madre Rosa y mi hermano Miguel.

## AGRADECIMIENTOS

### *A mi asesor*

Deseo expresarle mi admiración y gratitud al Dr. Roberto Baeza Serrato por trasmitirme sus conocimientos y ser un gran guía en mi formación y por ser una parte importante para lograr la realización de mi posgrado.

### *A la institución*

Agradezco al centro de investigación (CIATEC), especialmente a Emma Acevedo Moreno y Antonio Quijas Cervantes por la oportunidad que me brindaron, de igual manera al consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) por el apoyo recibido durante mis estudios de posgrado.

### *A mis profesores*

Agradezco de manera especial al M.C José Luis Laguna y al Dr. Javier Yáñez Mendiola por sus conocimientos y enseñanzas.

*La inteligencia de la naturaleza funciona con toda facilidad...  
con despreocupación, con armonía y con amor.  
Y cuando aprovechamos las fuerzas de la armonía, la alegría y el amor,  
creamos éxito y buena fortuna con gran facilidad.*



## Introducción

Las empresas de manufactura en la actualidad, necesitan de una herramienta que permita respaldar ampliamente las decisiones tomadas en sus procesos. El objetivo de la Dinámica de sistemas es examinar la interacción que existe entre varias funciones (procesos físicos, flujos de información, políticas de gestión, etc.) dentro de un sistema, con el fin de facilitar la comprensión del mismo y mejorar la interacción de los componentes de dicho sistema (Campuzano et al., 2010).

En esta investigación es aplicada la herramienta de dinámica de sistemas para entender el comportamiento de este proceso y lograr condiciones de operación adecuadas. Mediante el modelado de un sistema de producción, se logra entender el proceso de fabricación y las variables que intervienen en el, además de la simulación y prueba de posibles escenarios de desarrollo (Vergara et al., 2009). Es importante analizar la cantidad de producto en proceso que avanza en cada área, el efecto que tienen en la estructura del sistema y en el comportamiento a través del tiempo.

La presente investigación, incorpora en el análisis del sistema el aspecto cuantitativo y al intervenir un flujo de recursos e información también el aspecto cualitativo, lo anterior permite tener un conocimiento profundo del sistema real de producción y robustece la explicación del problema en estudio. (Mirchi et al., 2012) señalan que los analistas no deberían limitarse a los datos numéricos, que es una pequeña fracción de ajuste de conocimientos para el análisis estadístico. Modelos cualitativos o sistemas de conceptualización de la conducta problemática son útiles para describir el problema, sus causas posibles y las soluciones. La dinámica de sistemas depende en gran medida en datos cuantitativos y cualitativos para caracterizar los circuitos de retroalimentación en los sistemas complejos (Forrester, 1975; Reyes et al., 2003).

Los sistemas de producción se caracterizan por su complejidad estructural y dinámica (Scholz et al., 2006).

Al inicio de la presente tesis se expone el planteamiento del problema, la justificación, el estado del arte y las bases teóricas que fundamentan la aplicación, así como la metodología de investigación que se siguió para la elaboración del modelo dinámico del sistema de producción textil.

De igual manera son expuestos los objetivos, la hipótesis y en la parte final son presentados los resultados obtenidos. En la Figura 1 se presenta la estructura general de la tesis.

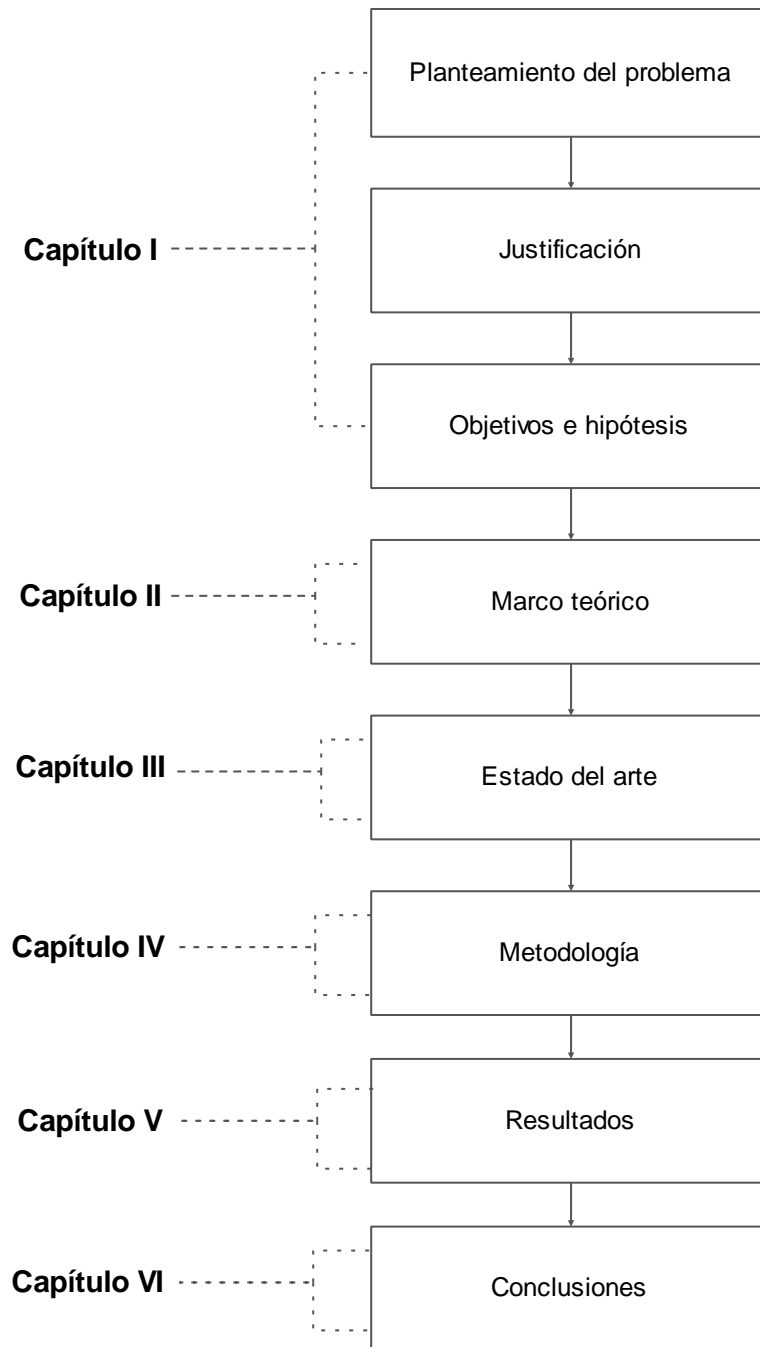


Figura 1. Estructura general de la tesis

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO DE REFERENCIA**



### 1.1 Planteamiento del problema

En el sistema de producción textil en la actualidad surge la necesidad de un análisis para mejorar las políticas de operación y la toma de decisiones. En el proceso de tejido de punto, el flujo de producción está conformado por ocho áreas por las que son transformadas las prendas de vestir. En la Figura 2 se muestra el sistema de producción y el flujo del proceso:

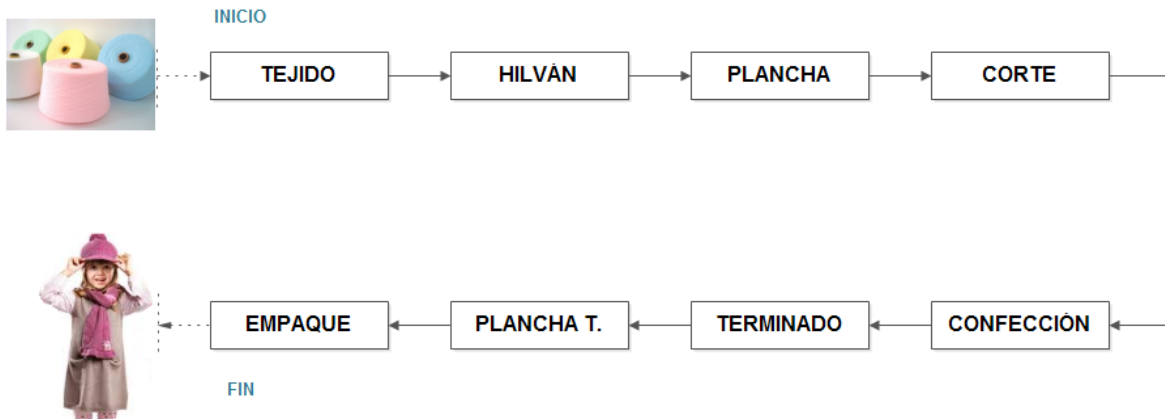


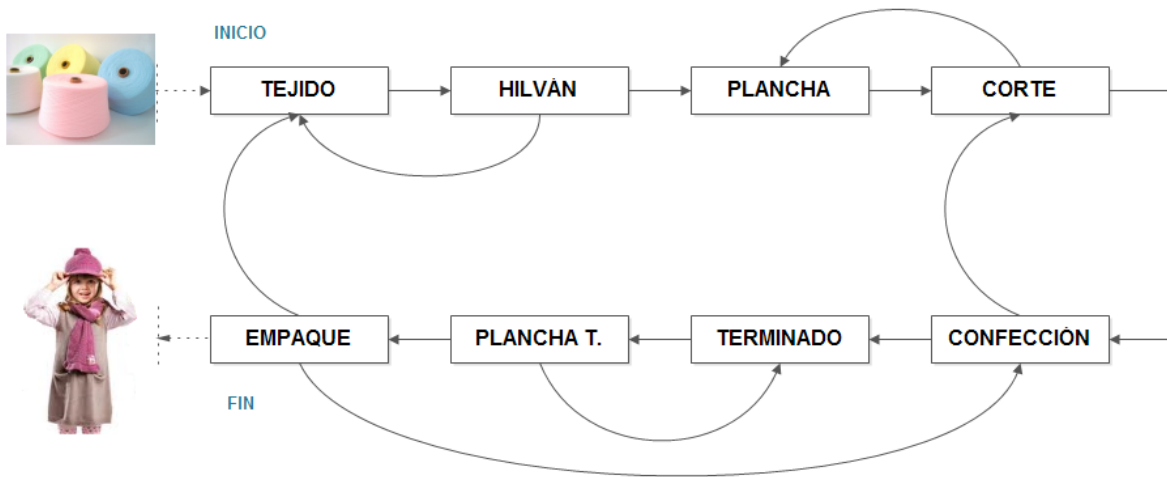
Figura 2. Flujo del proceso de producción textil

El área inicial es tejido donde la materia prima (hilo-fibras) es convertida en lienzos elaborados en máquinas rectilíneas principalmente, enseguida todos los lienzos que integrarán la prenda se agrupan en lotes de transferencia de veinte piezas. Posteriormente en el área de hilván, donde se unen los lienzos en par, cosiéndolos manualmente por los extremos para desenrollarlos y facilitar el planchado.

Continuando con el flujo, en planchas industriales los lienzos hilvanados se exponen al vapor, y posteriormente son procesados en el área de corte, a partir de los moldes de los modelos son cortados los componentes para su armado, en el área de confección el armado de los componentes se realiza en máquinas de coser industriales. Una vez armada la prenda en el departamento de terminado son detalladas y a continuación regresa a la plancha para exponer al vapor la prenda, finalmente las prendas son empaquetadas para la entrega final al cliente.

Normalmente se concibe el proceso con un flujo lineal del producto y como lo menciona *Sterman (2000)* gran parte del arte de la dinámica de sistemas es descubrir y representar los procesos de retroalimentación, que, junto con las estructuras de inventarios y flujos, los retrasos y la no linealidad, determinan la dinámica de un sistema, la Figura 3 muestra el planteamiento anterior en el sistema de producción textil. Se podría pensar que hay una inmensa gama de procesos de retroalimentación diferentes y otras estructuras para ser dominados antes de que uno pueda entender la dinámica de sistemas complejos. De hecho, las conductas más complejas por lo general surgen de las interacciones (retroalimentación)

entre los componentes del sistema, no de la complejidad de la dinámica de los mismos componentes.



**Figura 3.** Flujo del proceso de producción textil con retroalimentación

El modelo del sistema de producción textil se analizó de manera operativa y la validación de los resultados del modelo dinámico se llevó a cabo en el área de tejido de punto de la empresa Modas Infantiles TABITAS S.A DE C.V. Empresa del giro textil del sur de Guanajuato dedicada a la fabricación de ropa infantil.

## 1.2 Justificación

Los sistemas industriales, y concretamente los subsistemas de manufactura, se caracterizan por ser sistemas complejos en donde las decisiones requeridas día a día para correr un sistema de operaciones de manufactura, involucra la necesidad de entender y dirigir el comportamiento dinámico asociado con él. Sin un entendimiento del comportamiento dinámico, es difícil diseñar sistemas de control apropiados para decidir cuándo es necesario intervenir y qué políticas se deben dar (Peña, 2003). Es por ello que en el momento en que se presenta un problema complejo metodologías como la dinámica de sistemas ayudan al entendimiento del comportamiento y a la creación de políticas de operación.

Existen herramientas y metodologías de la ingeniería industrial que aportan una mejora en los sistemas de producción textil tales como: Manufactura sincrónica que incluye teoría de restricciones (TOC), el concepto se centra en la forma de administrar la restricción del sistema, el recurso cuello de botella o restricción de la capacidad de recursos (RCR), el objetivo de la solución es obtener un proceso robusto y fiable que permitirá que el sistema produzca más, con un menor número de inventarios, menos defectos, y que mejore los tiempos de entrega (Kasemset et al., 2010). Muchas empresas se centran en la mejora continua de los procesos, así como los objetivos a corto plazo de estas empresas implican la aplicación de manufactura esbelta para eliminar los residuos y aumentar el rendimiento. (Green et al., 2010).

La manufactura de respuesta rápida (MRR) implacablemente persigue la reducción del tiempo de espera en todos los aspectos de sus operaciones, en dos contextos: el exterior (según la percepción de sus clientes) e internamente (en términos de sus implicaciones para las políticas organizacionales) (Suri, 1998). Con la manufactura celular se logra la reducción en el tiempo de preparación, de tiempo de producción, de existencias de trabajos en curso de fabricación y de los costos de manejo de materiales, no sólo la agrupación de máquinas y piezas puede conducir a una mejor eficiencia; la asignación de los trabajadores también tiene un papel clave (Mahdavi et al., 2011).

Está claro que estas herramientas son importantes para la mejora en los sistemas de producción, pero surge la necesidad de utilizar una herramienta que ayude en la toma de decisiones y en el entendimiento del comportamiento de dicho sistema. Dinámica de sistemas brinda esa posibilidad. En el proceso de fabricación de prendas de vestir intervienen flujos de material, personal e información que interactúan entre si, por ello el estudio del sistema de producción textil con un enfoque dinámico tiene relevancia al incorporar el análisis cualitativo y cuantitativo, se analizarán los procesos de retroalimentación y las interacciones de los elementos del sistema a través del tiempo, teniendo una representación matemática, simulando, analizando sus comportamientos y poder establecer políticas de operación.

### 1.2.1 Enfoque

En la actualidad existen varias herramientas y metodologías que son muy útiles para optimizar o realizar mejoras en los procesos productivos de las industrias. La estructura general en un proceso se compone de variables de entrada o independientes, se aplica la metodología de interés y finalmente se obtienen las variables de salida o dependientes.

Al utilizar la metodología de redes neuronales existe un elemento procesador el cual tiene varias variables de entrada. La suma de las entradas es modificada por una función de transferencia y el valor de la salida de esta función de transferencia se pasa directamente a la salida del elemento procesador. Con un modelo matemático es posible explicar la relación que existe entre las variables de entrada y de salida. Ver Figura 4. Pero en el caso anterior se puede denominar al proceso como una caja negra, pues no interesa que sucede con las variables y con el comportamiento del proceso, sin embargo con dinámica de sistemas es vital entender el comportamiento, la relación entre las variables y obtener un aprendizaje del proceso. Ver Figura 5.

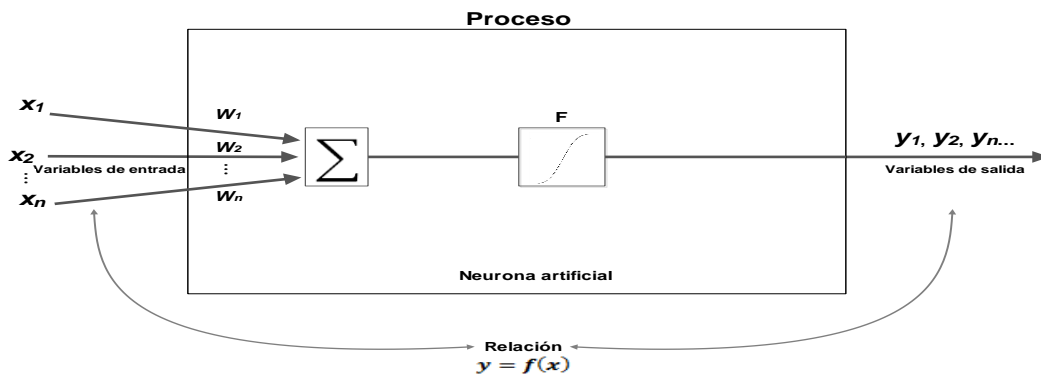


Figura 4. Modelo con redes neuronales

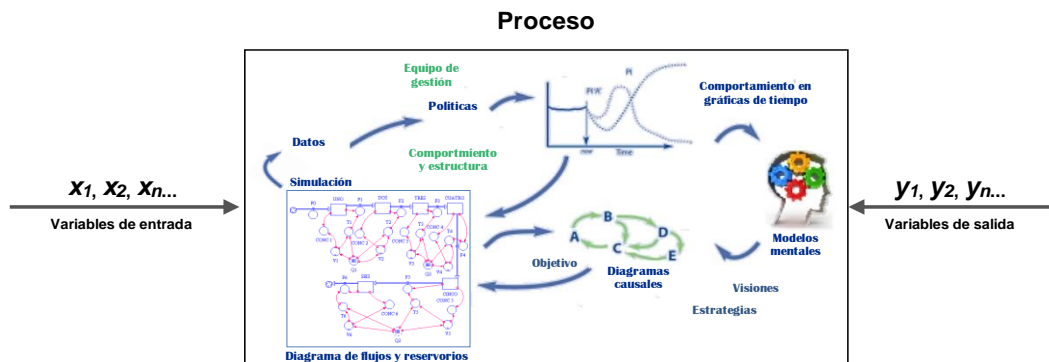


Figura 5. Modelo con de dinámica de sistemas

### **1.3 Objetivo general**

Desarrollar un modelo dinámico que de cómo resultado un entendimiento del comportamiento y un aprendizaje de la interacción entre variables de información, recursos y personal, para una adecuada toma de decisiones en el sistema de producción textil de tejido de punto empleando dinámica de sistemas.

### **1.4 Objetivos específicos**

- Analizar el sistema actual de producción textil para determinar los flujos de información y material.
- Establecer todos los posibles elementos del modelo mental para lograr una adecuada selección de lo que se incluirán en el modelo.
- Determinar las variables de nivel, flujo, y auxiliares que intervendrán en el sistema, para estudiar el efecto que tienen sobre el sistema.
- Formular la hipótesis dinámica para explicar el comportamiento del problema y la retroalimentación entre las variables del sistema de producción.
- Establecer el diagrama de Forrester para representar los reservorios y flujos del sistema.
- Simular el modelo dinámico para un estudio en los comportamientos del sistema de producción textil de tejido de punto.
- Estudiar los diferentes escenarios para determinar los niveles adecuados de producción, flujo de personal, material e información de cada área del proceso.
- Establecer las políticas de operación para lograr una adecuada toma de decisiones.

### **1.5 Hipótesis general**

El modelo dinámico del sistema de producción textil permitirá determinar el comportamiento, la capacidad y los niveles de producción adecuados que ayuden al correcto funcionamiento del proceso.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2 Marco teórico

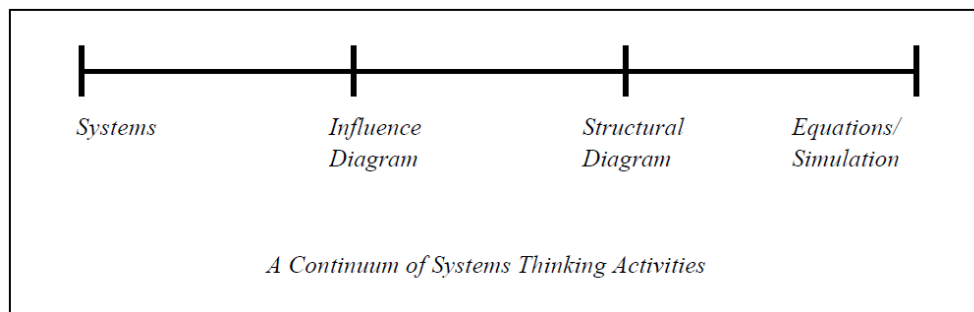
A continuación será expuesta la teoría principal de dinámica de sistemas y los modos de comportamiento, cuan la cual se fundamenta la metodología de esta tesis.

Con el término dinámica nos referimos a las distintas variables que podemos asociar a sus partes que sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas. Su comportamiento vendrá dado por el conjunto de las trayectorias de todas las variables, que suministra algo así como una narración de lo acaecido al sistema (Aracil, 1995).

La dinámica de sistemas como herramienta fundamental para la toma de decisiones y el estudio de sistemas complejos fue creada por Jay Forrester en la década de los cincuenta, e implementada en diversas disciplinas.

Es un método para mejorar el aprendizaje en sistemas complejos. Pero aprender acerca de los sistemas dinámicos complejos se requiere algo más que herramientas técnicas para crear modelos matemáticos y es fundamentalmente interdisciplinaria. Dado que tienen que ver con el comportamiento de sistemas complejos, se basa en la teoría de la dinámica no lineal y control de información desarrollado en matemáticas, física e ingeniería (Sterman, 2000).

El pensamiento de sistemas, en la práctica, es un proceso permanente de actividades que van desde lo conceptual a lo técnico, lo anterior se ilustra en la Figura 6.



**Figura 6.** Actividades del pensamiento de sistemas

Los procesos de pensamiento, comunicación y aprendizaje constituyen un sistema interdependiente, o al menos tienen el potencial para operar como tal. Las unidades no funcionan con mucha sinergia dentro del actual sistema de educación formal. El primer paso hacia la realización de las sinergias potenciales es visualizar claramente cómo funciona cada proceso en relación con el otro. Ver Figura 7.



Figura 7. Procesos de dinámica de sistemas

El proceso de pensamiento consta de dos actividades: la construcción de modelos mentales, y la simulación de ellos con el fin de extraer conclusiones y tomar decisiones. Un modelo mental es una "abstracción selectiva" de la realidad que se crea en nuestra cabeza. Simulamos estos modelos con el fin de "darle sentido" a lo que estamos experimentando, y también para ayudarnos a llegar a decisiones que informen nuestras acciones.

El proceso de comunicación está indisolublemente ligada al pensamiento, los resultados del proceso de pensamiento proporcionan la materia prima para el proceso de comunicación: el modelo mental, los resultados de las simulaciones asociadas, y las conclusiones que se han extraído de la simulación. En el proceso de aprendizaje es de dos tipos, uno llamado auto-reflexivo y otro inspirado en otras personas (Richmond, 2005).

Otro concepto inherente a la dinámica de sistemas es el proceso de retroalimentación, surge al interactuar los elementos de un sistema, de modo que con ello se logra un aprendizaje del mismo. Ver Figura 8.

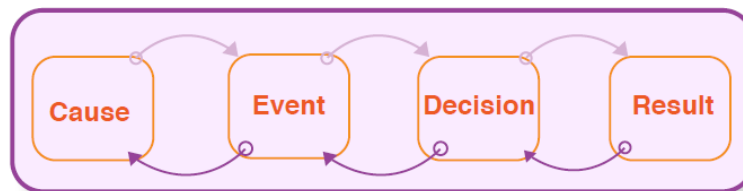


Figura 8. Proceso de retroalimentación

Sterman (2000) lo plantea de la siguiente manera: Gran parte del arte de la dinámica de sistemas es descubrir y representar los procesos de retroalimentación, que, junto con las estructuras de inventarios y flujos, los retrasos y la no linealidad, determinan la dinámica del sistema. Se podría pensar que hay una inmensa gama de procesos de retroalimentación diferentes y otras estructuras para ser dominados antes de que uno pueda entender la dinámica de sistemas complejos.



De hecho, las conductas más complejas por lo general surgen de las interacciones (retroalimentación) entre los componentes del sistema, no de la complejidad de la dinámica de los mismos componentes. Todos surgen de la interacción de sólo dos tipos de bucles de retroalimentación, bucle positivo (auto-refuerzo) y negativo (balanceo) (Sterman, 2000). En la Figura 9 se ilustran los dos tipos de bucles.

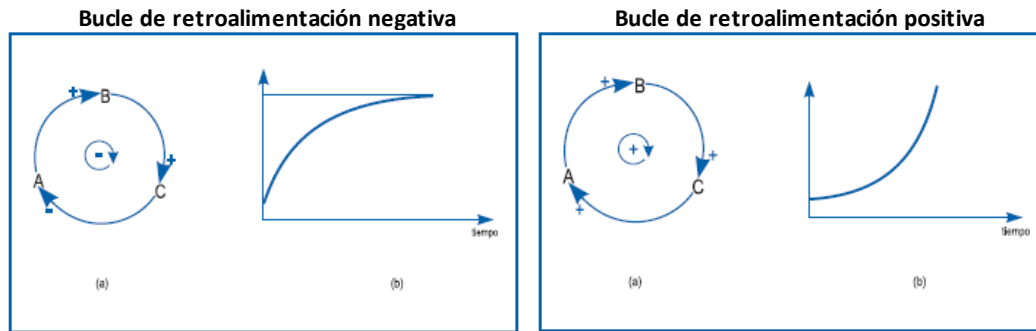


Figura 9. Bucles de retroalimentación

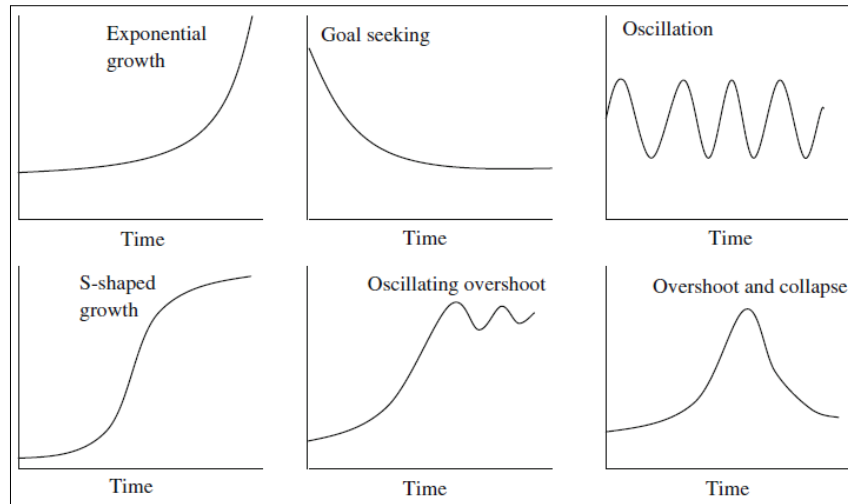
Una vez comprendidos los conceptos anteriores es posible llegar a los proceso de modelado y simulación, en cuanto a este último, Jay Forrester menciona que se usan simulaciones para tomar el conocimiento que ahora tenemos acerca de detalles del mundo que nos rodea, y nos muestra porque nuestros sistemas sociales y físicos se comportan como lo hacen.

Para aprender de forma dinámica en los sistemas complejos los participantes deben tener confianza en que el modelo es una representación adecuada del problema que les importa. Deben creer que imita las partes pertinentes de la vida real muy bien, que las lecciones que surgen del mundo virtual se aplican a la real. Para desarrollar esa confianza en el mundo virtual debe ser una caja abierta cuyos supuestos se pueden inspeccionar, criticar y cambiar. En estas circunstancias, la simulación se convierte en la única manera confiable para poner a prueba hipótesis y evaluar los probables efectos de las políticas. La formalización de modelos cualitativos y prueba de ellos a través de la simulación a menudo conduce a cambios radicales en la manera de entender la realidad. La simulación acelera y refuerza la retroalimentación del aprendizaje (Sterman, 2000).

Uno de los objetivos de esta investigación es entender, analizar e identificar el comportamiento que se generará en el sistema de producción textil, por ello es necesario conocer los diversos modos de comportamiento, y se exponen a continuación.

Las graficas de la Figura 10 representan los seis tipos básicos de comportamiento: crecimiento exponencial, búsqueda de meta, oscilación, crecimiento en forma de S, oscilación y sobredisparo, sobredisparo y colapso Mirchi et al., (2010).

El comportamiento de un sistema surge de su estructura. Esa estructura se compone de los bucles de retroalimentación, las existencias y flujos y no linealidades creadas por la interacción de la estructura física del sistema, con los procesos de toma de decisiones de los agentes que actúan dentro de ella. La mayoría de la dinámica son las instancias de un número bastante reducido de los distintos patrones de comportamiento (Sterman, 2000).



**Figura 10.** Patrones de comportamiento

- El crecimiento exponencial se debe al bucle de reforzamiento positivo, por ejemplo entre mayor sea el ahorro mayores los beneficios e irá aumentando el capital.
- Búsqueda de meta se compone de dos polaridades positivas que refuerzan y generan el crecimiento y una polaridad negativa que busca el equilibrio. Al crecer el objetivo es llegar a la meta o estabilizarse.
- Oscilación, este modo de comportamiento es parecido al anterior pero con la presencia de demoras. El estado del sistema se compara con su objetivo y las acciones correctivas están destinadas a evitar cualquier discrepancia.
- Crecimiento en forma de S, este comportamiento primero crece pero después gradualmente se retarda hasta alcanzar el equilibrio. Compuesto por dos bucles uno de balanceo y otro de reforzamiento en donde influye una variable que es la capacidad de carga.
- Oscilación y sobredisparo, al igual que el comportamiento cuenta con dos bucles, únicamente que en el negativo hay presencia de demoras lo que provoca que exista oscilación alrededor de la capacidad de carga.
- Sobredisparo y colapso, se compone de dos bucles de balanceo y uno de reforzamiento, existe un crecimiento, que llega a su máximo y posteriormente decrece.

# **CAPÍTULO III**

## **ESTADO DEL ARTE**

### 3 Estado del arte

En el presente capítulo se expone el estado del arte, resultado de una búsqueda continua de artículos de dinámica de sistemas con un enfoque y aplicación en procesos industriales.

Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados. Durante sus más de 30 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias (Aracil, 1995). Otros autores como Godinho et al., (2010) señalan que se han dado aplicaciones en diversas materias apoyando la toma de decisiones, por ejemplo en ecología y medio ambiente, salud, políticas públicas, energía, economía y sociedad, así mismo en algunos procesos industriales; sin embargo, existe una falta de aplicaciones en sistemas de fabricación, pese a la evidencia de que esta técnica es adecuada para el modelado industrial.

Gonçalves et al., (2005) propusieron un modelo dinámico que representa el proceso de fabricación de una cadena de suministro (fabricación, montaje y distribución), investigaron sobre la retroalimentación entre rendimiento de la cadena y la variabilidad de la demanda en un modelo basado en el sistema de producción híbrido Empujar-Jalar. Tesfamariam (2005) presentó en su tesis doctoral un modelo dinámico, en el cual considera cuatro diseños de configuración de un sistema de manufactura en cuanto al flujo de producción, la capacidad en cuanto a tiempo, la disponibilidad, la calidad y la flexibilidad del volumen. Parra et al., (2006) elaboraron un modelo de simulación para analizar, mejorar y comprender el proceso de plastificado de una barra metálica para carpetas, identificando las limitaciones del sistema, la cantidad de producto terminado, el tiempo ocioso del recurso humano y el tiempo de consumo innecesario de los recursos.

Scholz et al., (2006) presentaron tres modelos parciales de una planta de producción, red de producción y cadena de suministro lo que demuestra la capacidad de describir los entornos correspondientes siempre que el énfasis no está en los productos individuales y la agregación está permitida. Poles et al., (2009) desarrollaron un modelo de proceso de remanufactura, la incertidumbre en la cantidad, calidad y las devoluciones afectan negativamente a las actividades de fabricación, tales como la planificación de la producción y control de inventarios. Vergara (2009) analizó el proceso de fabricación de bloques para la construcción, en su estudio detalla y simula el proceso para recrear escenarios y evaluar alternativas de mayor impacto para el mismo.

En su publicación Godinho et al., (2010) utilizaron un modelo de dinámica de sistemas sobre la base de las relaciones de la planta para examinar el efecto de diferentes programas de mejora continua en la relación entre los tamaños de lote y tiempos de ciclo. Chen et al., (2010) señalaron que los principales componentes necesarios para el funcionamiento del sistema (tales como mano de obra, capital, maquinaria, material y de información) son

considerados como de flujo. Ramírez et al., (2010) desarrollaron un modelo de la cadena de abastecimiento de una empresa de confección de prendas para deportes acuáticos, incorporando factores como la demanda de prendas, el número de operarios que se requieren en la planta propia, el inventario, la tienda, y factores exógenos, entre otros.

Micán et al., (2010) presentaron un análisis dinámico de la rotación del personal, donde modelan este sistema y estudian los efectos que pueden llegar a tener una inestable rotación de recursos humanos sobre la capacidad de producción de una organización y al mismo tiempo en el nivel de ventas perdidas. Campuzano et al., (2010) señalaron que en la actualidad existen diferentes estructuras de gestión de cadena de suministro basadas en la colaboración entre los integrantes de la misma y analizan las ventajas y desventajas de la utilización de cada una de ellas. Mikati (2010) utiliza la simulación de dinámica de sistemas para investigar los tiempos de entrega en un entorno de fabricación en el que las unidades de procesamiento ocasionan un cuello de botella y como el control de calidad influye en ello, el modelo de fabricación se examina para diferentes condiciones de operación y en donde el factor que determina la tasa de producción es la relación que existe entre el tamaño de lote y el tiempo de entrega. Ramírez y Peña, (2011) desarrollaron un modelo de cadena de suministro de cuatro, y mencionan que los comportamientos dinámicos y complejos pueden ser correctamente modelados adoptando un acercamiento a la dinámica de sistemas, particularmente bajo una perspectiva de caos.

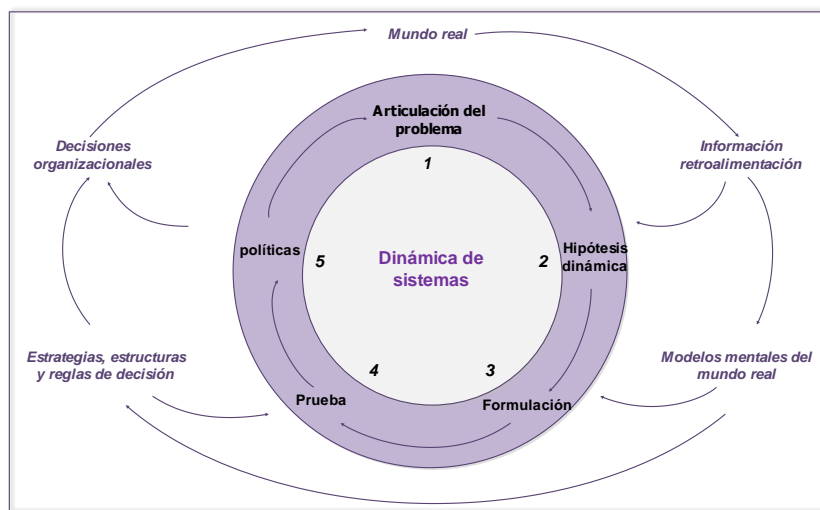
Baeza et al., (2012) presentaron un enfoque de control de procesos novedoso en sistema de producción textil y propone un sistema integral de control dinámico (SICD) validado por dinámica de sistemas, Por medio del aprendizaje del comportamiento de los ajustes realizados, diseñaron políticas de operación en los cuales validan el cumplimiento de las especificaciones de calidad requeridas. Fang et al., (2012) aplicaron el pensamiento de dinámica de sistemas para proponer un nuevo sistema de pedidos y llevar a cabo una simulación sistemática. A través de la simulación del sistema, se adquirió el costo conjunto mínimo óptimo de la cadena de suministro.

**CAPÍTULO**  
**IV**  
**METODOLOGÍA**  
**DE**  
**INVESTIGACIÓN**

## 4 Metodología de investigación

En este capítulo se expone la metodología de investigación que se llevó a cabo para desarrollar el modelo dinámico del sistema de producción textil.

Con la formulación del modelo dinámico se logra analizar, aprender y entender el comportamiento del sistema de producción, con ello se encontrarán las trayectorias que se generan y se podrá dar una respuesta a la hipótesis planteada. La herramienta de dinámica de sistemas es utilizada en este trabajo para lograr dicho objetivo, en la Figura 11 se muestra el procedimiento de esta herramienta.



**Figura 11.** Diagrama general con retroalimentación de dinámica de sistema

El proceso de modelado consiste en el conjunto de operaciones mediante el cual, tras el oportuno estudio y análisis, se construye el modelo del aspecto de la realidad que nos resulta problemático. Consiste, en esencia, en analizar toda la información de la que se dispone con relación al proceso, depurarla hasta reducirla a sus aspectos esenciales, y reelaborarla de modo que pueda ser transcrita al lenguaje sistémico (Aracil, 1995).

En la Figura 12 se presenta el diagrama de la metodología de investigación y posteriormente se exponen los pasos para aplicarla.

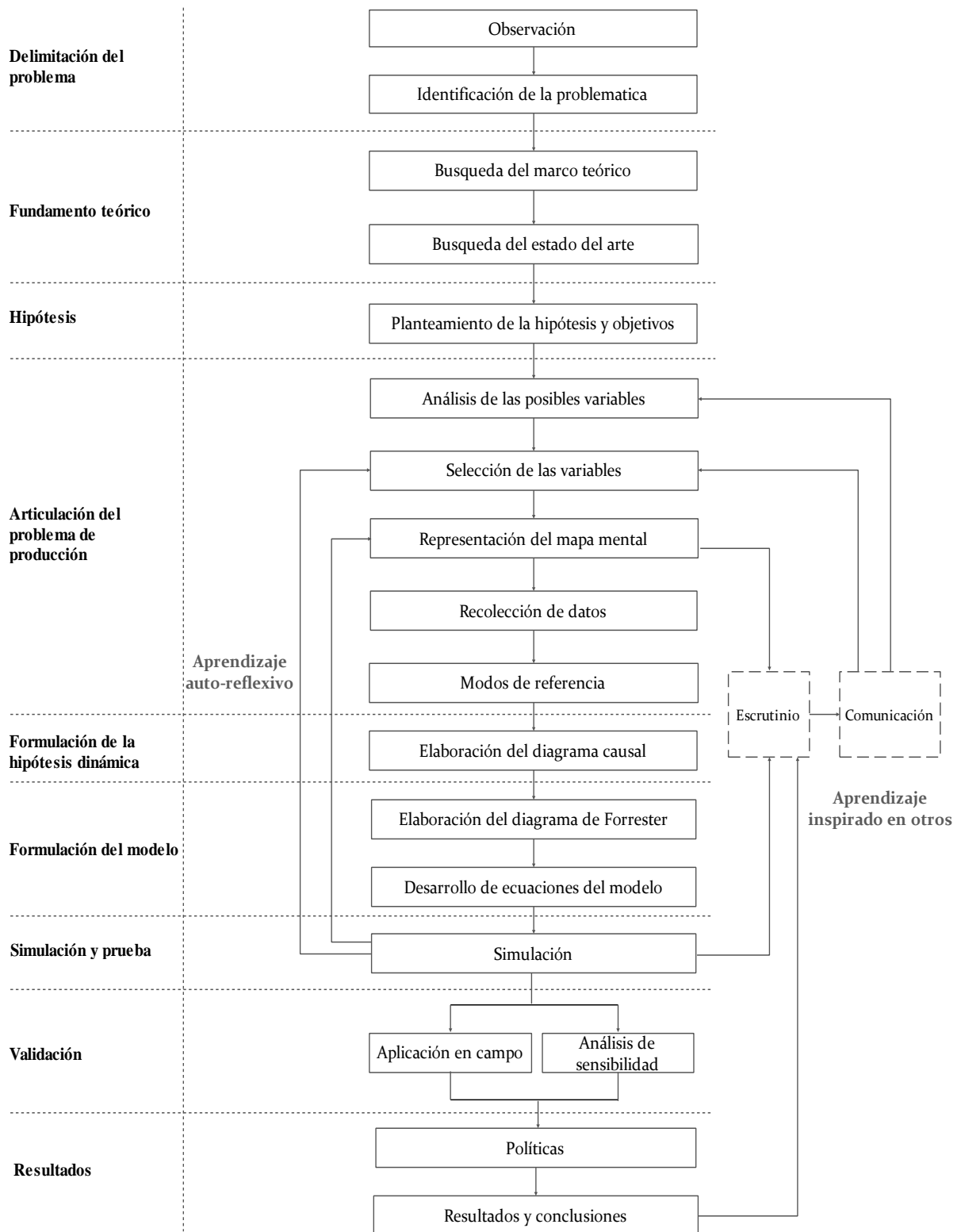


Figura 12. Metodología de investigación



### 1.- Delimitación del problema

El primer paso de la metodología propuesta es delimitar el problema, el cual inicia con la *observación* del proceso de producción, con ello se logra *identificar una problemática* específica para darle solución a través de la herramienta de dinámica de sistemas.

### 2.- Fundamento teórico

Una vez delimitado el problema y seleccionando la herramienta a utilizar se *desarrolla la teoría* que fundamenta este trabajo de investigación, de la misma manera se realiza una búsqueda exhaustiva y continua para conocer los trabajos e *investigaciones más recientes* y actuales que se han creado y que se relacionan con la problemática planteada.

### 3.- Hipótesis

El tercer paso consiste en formular la hipótesis de investigación.

### 4.- Articulación del problema de producción

Este paso se compone de varias actividades que a continuación se exponen.

- a) Análisis de las posibles variables: la delimitación del problema y el conocimiento del modelador sobre el proceso de producción son clave para poder llevar un análisis adecuado de las variables que influyen en la problemática del sistema, incluyendo variables cualitativas y cuantitativas.
- b) Selección de las variables: en esta etapa se lleva a cabo una selección de las variables relevantes que se incluirán en el modelo mental.
- c) Representación del modelo mental: a partir del análisis previo y la selección de las variables se construye el modelo mental, mecanismo del pensamiento que intenta explicar el mundo real (problemática del sistema de producción).
- d) Recolección de datos: como una herramienta necesaria se realiza la recopilación de información.
- e) Modos de referencia: con los datos obtenidos en la fase previa se desarrollan los gráficos de tiempo que ayudan a determinar el comportamiento pasado y que pueden mostrar cómo surgió el problema y como podría evolucionar en el futuro.

### 5.- Formulación de la hipótesis dinámica

Una vez asumida la adecuación del lenguaje sistémico elemental para estudiar el problema, se formula la hipótesis dinámica la cual proporciona una explicación de la dinámica que

caracteriza este problema en términos de la retroalimentación y relación entre los elementos definiendo la estructura del sistema, el resultado de esto es el diagrama causal.

Es una hipótesis, ya que es siempre provisional, sujeta a revisión o abandono a medida en que se logra un aprendizaje en el proceso de modelado y del mundo real.

#### 6.- Formulación del modelo dinámico de producción textil de tejido de punto

- a) *Elaboración del diagrama de Forrester:* Se representan los reservorios y flujos del sistema de producción textil, en este diagrama las variables auxiliares se representan mediante círculos. El diagrama que se obtiene a partir de un diagrama de influencias, clasificando sus nodos en variables de nivel, flujo o auxiliares y asociando a esos nodos los iconos correspondientes recibe la denominación de diagrama de Forrester o diagrama de flujos-niveles. Dicho diagrama se elabora en distintos paquetes computacionales a fin de realizar la simulación del modelo.
- b) *Desarrollo de ecuaciones:* Una vez realizado el último diagrama, se asocian las ecuaciones del modelo que describen las variaciones de los parámetros con respecto al tiempo de las magnitudes estudiadas, a partir de tales ecuaciones tenemos un objeto matemático muy elaborado, que es un sistema dinámico, el cual puede ser programado en un software computacional. Para ello se recurre a lenguajes o entornos informáticos de simulación adecuados.

#### 7.- Desarrollo y prueba del modelo de simulación del proceso

En el séptimo paso se realiza la simulación la cual involucra el diseño de modelo del sistema de producción, llevando a cabo experimentos y pruebas parte de las cuales, por supuesto, son comparar el comportamiento simulado del modelo para el comportamiento real del sistema. Sin duda las pruebas en condiciones extremas sentarán las bases para mejorar la comprensión del lo que sucede en el sistema de producción textil de tejido de punto, así mismo se conocerá el comportamiento que se genera a raíz de cada prueba.

#### 8.- Validación

En este paso es de gran importancia se respalda el modelo a través de la validación y esto es posible realizarlo por medio de un análisis de sensibilidad o validar en campo (en la práctica).

- a) Análisis de sensibilidad: El propósito es analizar "que pasa si" recreando una amplia gama de escenarios. Al modificar los valores en las variables del sistema y es posible determinar cómo se comporta el sistema.
- b) Validación en campo: A partir de los escenarios recreados se desarrolla un análisis para evaluar el mejor caso, el que se acerque más a la realidad y al objetivo y hasta entonces se realiza la implementación en la planta.

#### 9.- Diseño de políticas

Los pasos anteriores ayudan a obtener un aprendizaje completo del sistema de producción, es por eso que una vez que se ha desarrollado confianza en la estructura y el comportamiento del modelo, el paso final es diseñar y evaluar las políticas de mejora.

El diseño de políticas es mucho más que cambiar los valores de los parámetros. El diseño de políticas incluye la creación de estrategias totalmente nuevas, estructuras y reglas de decisión que permitan no tomar decisiones empíricamente, sino con una base en donde el conocimiento del sistema es amplio.

En la metodología expuesta se presentan dos tipos de aprendizaje, uno de ellos es el *auto-reflexivo*, el modelador genera un aprendizaje propio en la que puede realizar un nuevo análisis y selección de las variables del modelo según las trayectorias generadas en la etapa de la simulación. El segundo es el aprendizaje *inspirado en otros*, donde la representación del mapa mental, la simulación y los resultados se ponen al escrutinio de personas relacionadas al sistema de producción para poder enriquecer el modelo o en su caso realizar modificaciones en las variables.

# **CAPÍTULO V**

## **RESULTADOS**

## 5 Resultados

### 5.1 Articulación del problema de producción

#### 5.1.1 Elaboración del mapa mental

En la articulación del problema se logró desarrollar el mapa mental del sistema de producción textil, en el análisis se consideró la situación actual y la forma en que se trabaja en planta, el movimiento de material y de recursos humanos a través del proceso. En cuanto al personal se identificaron elementos cualitativos como la experiencia, actitud y el cansancio de los operadores, y en cuanto al material elementos cuantitativos como las tasas de producción por área, los turnos, las demoras, horas laboradas, tasa de defectos, y la capacidad. Al incluir estos dos tipos de elementos es posible profundizar ampliamente en la problemática existente.

También el análisis de las áreas del proceso; tejido, hilván, plancha, corte, confección, terminado y empaque permitió identificar los procesos de retroalimentación así como los flujos y acumulaciones de material. Del mismo modo se analizó la forma en que la gerencia actualmente toma las decisiones y de qué manera influye en cada área del proceso.

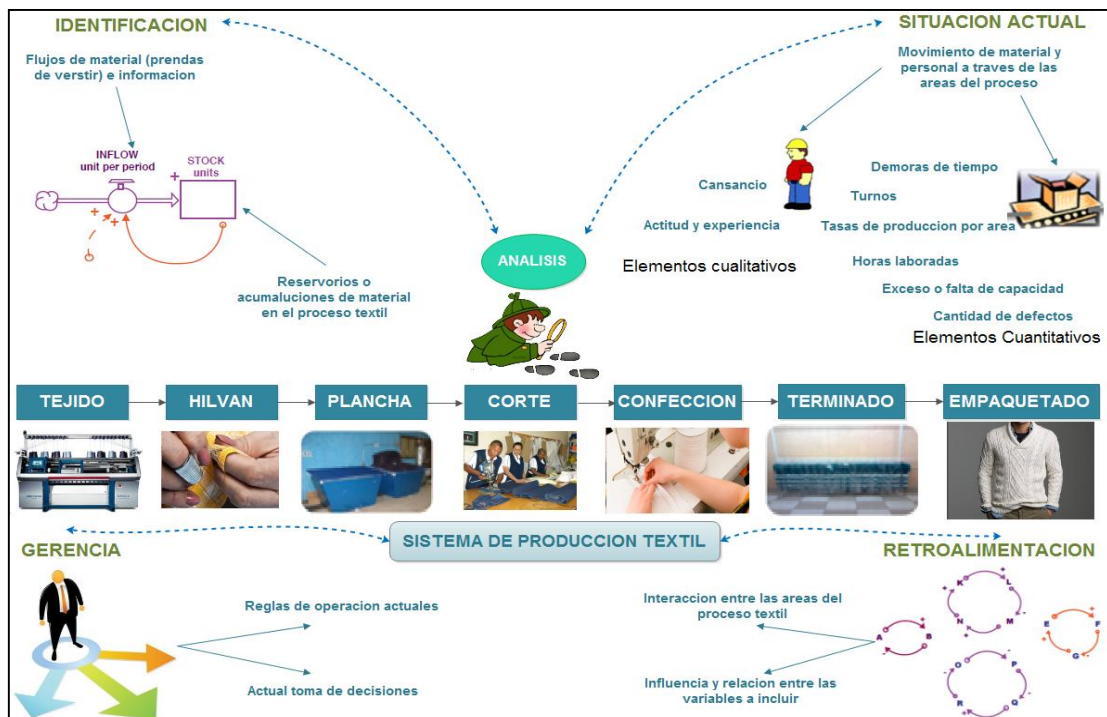


Figura 13. Mapa mental del sistema de producción

### 5.1.2 Determinación de las variables

En Tabla 1 se enlistan el tipo de variables consideradas para el modelo dinámico del sistema producción textil. Las variables de estado son los reservorios o las áreas donde se acumula el material (prendas de vestir) a través del proceso, las variables de flujo son precisamente las que determinan la tasa de entrada y salida de material de los reservorios y la variación a lo largo del tiempo, por último las variables auxiliares representan los pasos intermedios para la determinación de las variables de flujo a partir de las variables de nivel. Para el modelo se incluyeron 9 variables de estado, 10 variables de flujo y 25 variables auxiliares.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
Tejido	Variable de estado	Lienzos planchados	Variable auxiliar
Hilván	Variable de estado	Prendas para plancha	Variable auxiliar
Plancha	Variable de estado	Experiencia	Variable auxiliar
Corte	Variable de estado	Actitud	Variable auxiliar
Supermercado	Variable de estado	Horas Trabajadas	Variable auxiliar
Amortiguador	Variable de estado	Cansancio	Variable auxiliar
Confección	Variable de estado	Eficiencia	Variable auxiliar
Terminado	Variable de estado	Productividad	Variable auxiliar
Empaquetado	Variable de estado	Número de paros	Variable auxiliar
Tasa de tejido	Variable de flujo	Estado Deseado	Variable auxiliar
Tasa de hilván	Variable de flujo	Tasa de defectos	Variable auxiliar
Tasa de plancha lienzo	Variable de flujo	Acción correctiva	Variable auxiliar
Tasa de plancha terminado	Variable de flujo	Prendas remalladas	Variable auxiliar
Tasa de corte	Variable de flujo	Producto terminado	Variable auxiliar
Tasa de supermercado	Variable de flujo	Horas extra	Variable auxiliar
Tasa de amortiguador	Variable de flujo	Encargado	Variable auxiliar
Tasa de confección	Variable de flujo	Prendas cortadas	Variable auxiliar
Tasa de terminado	Variable de flujo	Conjunto de maquilas	Variable auxiliar
Tasa de empaquetado	Variable de flujo	Lienzo para plancha	Variable auxiliar
Maquila de hilván	Variable auxiliar	Surtidor 1	Variable auxiliar
Prendas para conf.	Variable auxiliar	Surtidor 2	Variable auxiliar
Lienzos para plancha	Variable auxiliar	Prendas para terminado	Variable auxiliar

Tabla 1. Tipo de variables

### 5.1.3 Modos de referencia

Los modos de referencia, literalmente, son un conjunto de gráficos y otros datos descriptivos que muestran el desarrollo del problema con el tiempo. Se recolectaron los datos de la cantidad de prendas producidas de 21 semanas del año 2012 en las principales áreas del proceso de producción textil. La información acerca del comportamiento pasado del sistema es mostrado en la gráfica de modos de referencia de la Figura 14.

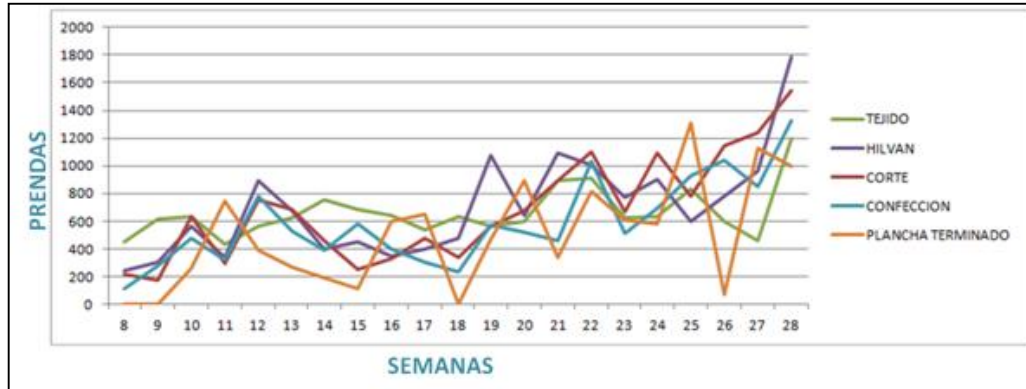


Figura 14. Modos de referencia

### 5.1.4 Diagrama de subsistemas

Un diagrama de subsistema muestra la arquitectura general de un modelo. Cada subsistema principal se muestra junto con los flujos de material, dinero, bienes, información, y así sucesivamente el acoplamiento de los subsistemas entre sí. En el diagrama se visualiza conforme a las actividades que se realizan internamente en la empresa y su relación con las maquiladoras que son actividades que se realizan fuera de la empresa. En cada subsistema del sistema general de producción se incluye tiempo, material y cualidades de los recursos humanos lo anterior se muestra en el diagrama de la Figura 15.

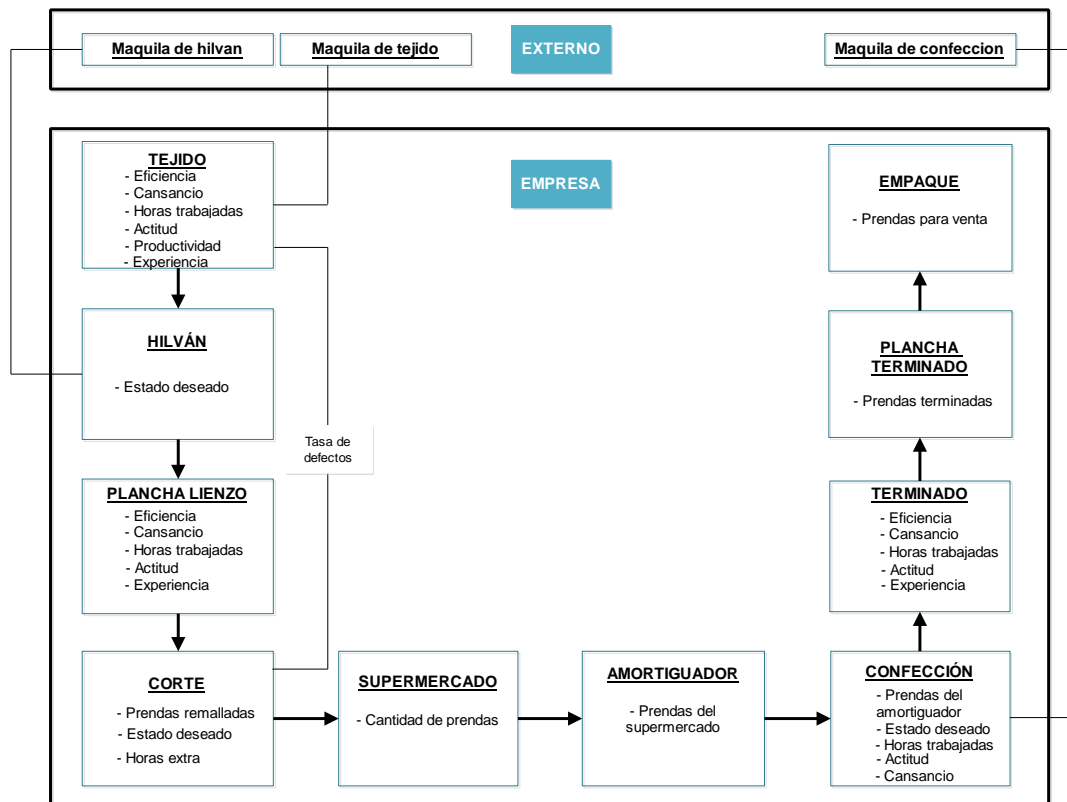


Figura 15. Diagrama de subsistemas

## 5.2 Formulación de la hipótesis dinámica

### 5.2.1 Elaboración del diagrama causal

El diagrama causal del sistema de producción textil conduce a la hipótesis dinámica que se muestra en la Figura 16, representa la relación y retroalimentación entre las variables consideradas en el modelo, así como la estructura y las causas del problema. Con este diagrama es posible ver la interacción entre las áreas del proceso. Es posible observar que el sistema de producción no debe ser visto únicamente de manera lineal, pues se encuentra en un entorno dinámico y de la misma manera las variables indican la influencia que tienen sobre las demás.

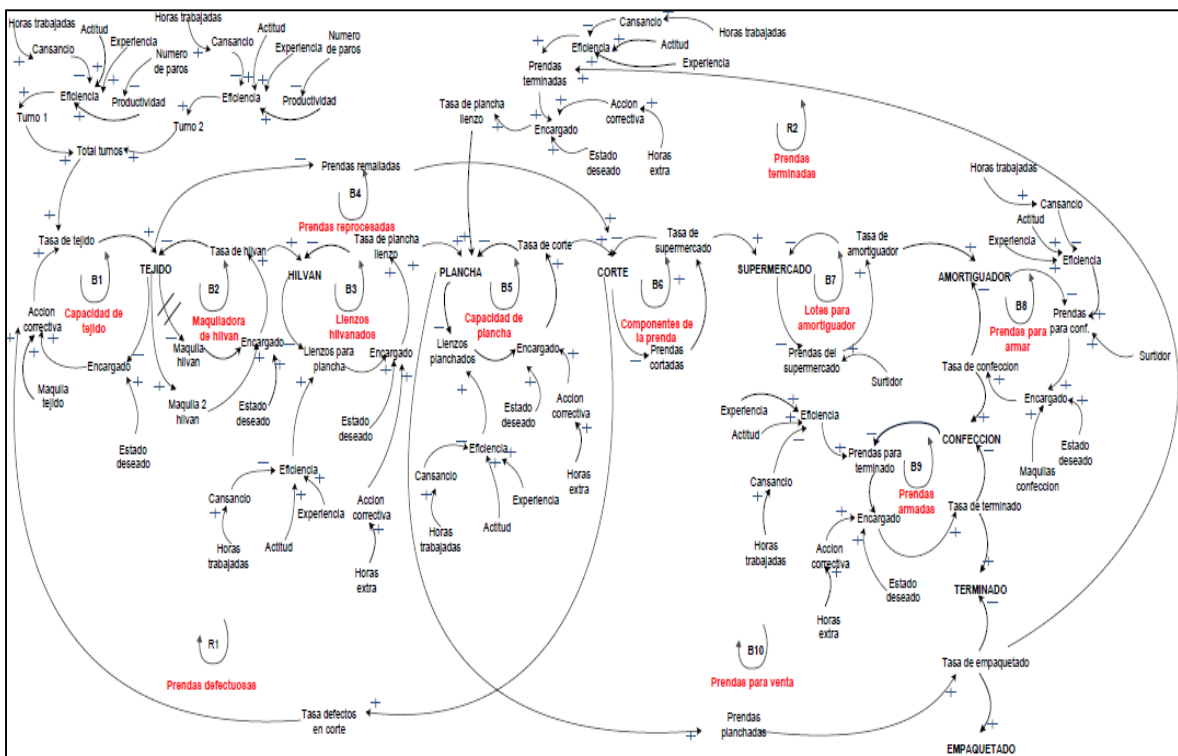


Figura 16. Diagrama causal

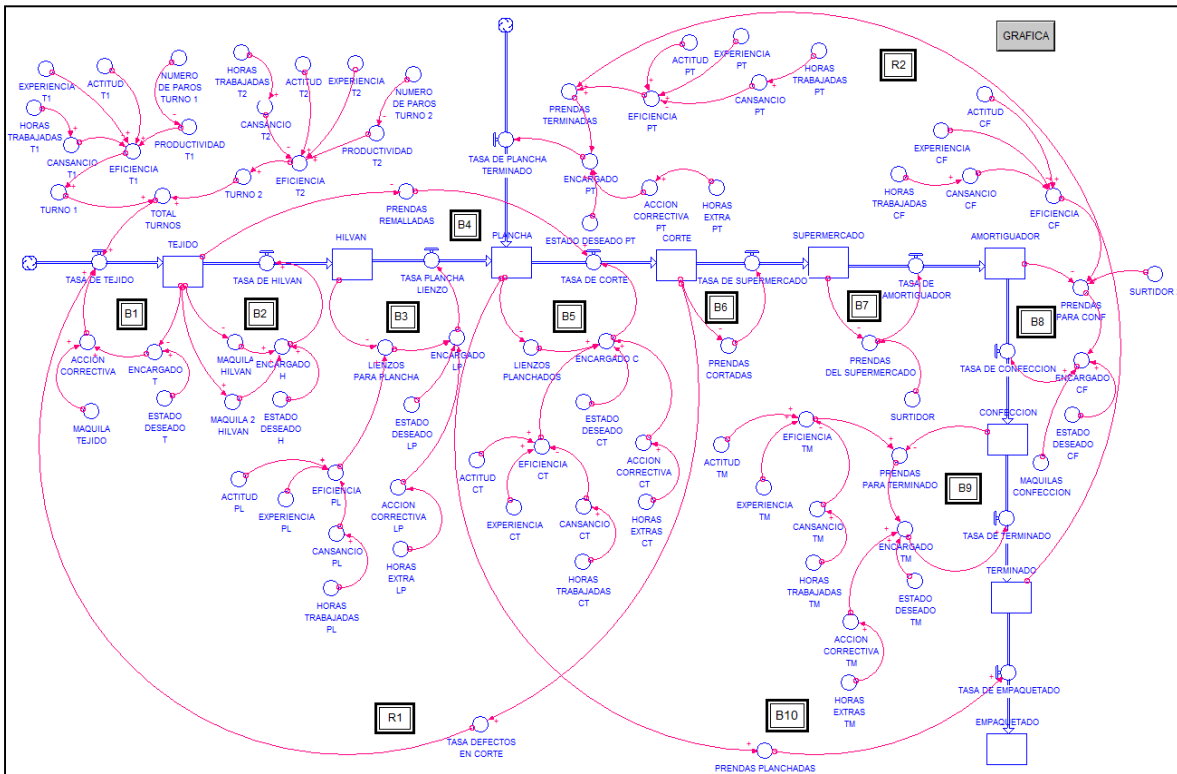
En el diagrama están representados los once bucles de retroalimentación negativa, o de balanceo y los cuatro bucles de retroalimentación positiva o reforzamiento. Todos los bucles están caracterizados por un nombre.

En el caso de los bucles de reforzamiento se indica que la variable efecto se relaciona positivamente con la causa, pues al aumentar una variable también aumenta la otra. En el caso de los bucles de balanceo son los que tienden a anular las perturbaciones exteriores, tiene la notable propiedad de que si, por una acción exterior, se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación.



### 5.3 Formulación del modelo dinámico

#### 5.3.1 Elaboración del diagrama de Forrester



**Figura 17.** Modelo dinámico del sistema de producción textil

Posterior al desarrollo de la hipótesis dinámica, se realizó el diagrama de Forrester o de reservorios y flujos, el cual se muestra en la Figura 17 donde se expone el modelo dinámico de producción textil. En el modelo los reservorios (iconos rectangulares) son todas las áreas del proceso así como el supermercado y el amortiguador de tiempo con los que se cuentan en planta. Las variables auxiliares son los elementos que influyen en la actualidad en el sistema y están representadas por los iconos circulares.

Las tasas de material que entran y salen de los reservorios se identifican por el icono de las flechas lineales con una válvula. En cada reservorio se decidió manejar un bucle de balanceo en el cual se establece una meta deseada de producción, se compara con el estado actual del reservorio y se procede a realizar una acción correctiva para lograr el objetivo.

El bucle de reforzamiento “R4” se caracteriza porque existe retroalimentación entre las áreas de tejido y corte debido a la tasa de prendas defectuosas. El bucle “R2” es de reforzamiento, en la etapa final del proceso la prenda de vestir regresa al departamento de plancha, por lo cual se suma a la acumulación ya existente. Por último los bucles “R1” y “R3” también son bucles de reforzamiento en ellos hay un crecimiento cada vez que se realiza una acción. En la Figura

18 se muestra el primer subsistema del modelo que pertenece al departamento de tejido, en el cual se origina el primer bucle de balanceo.

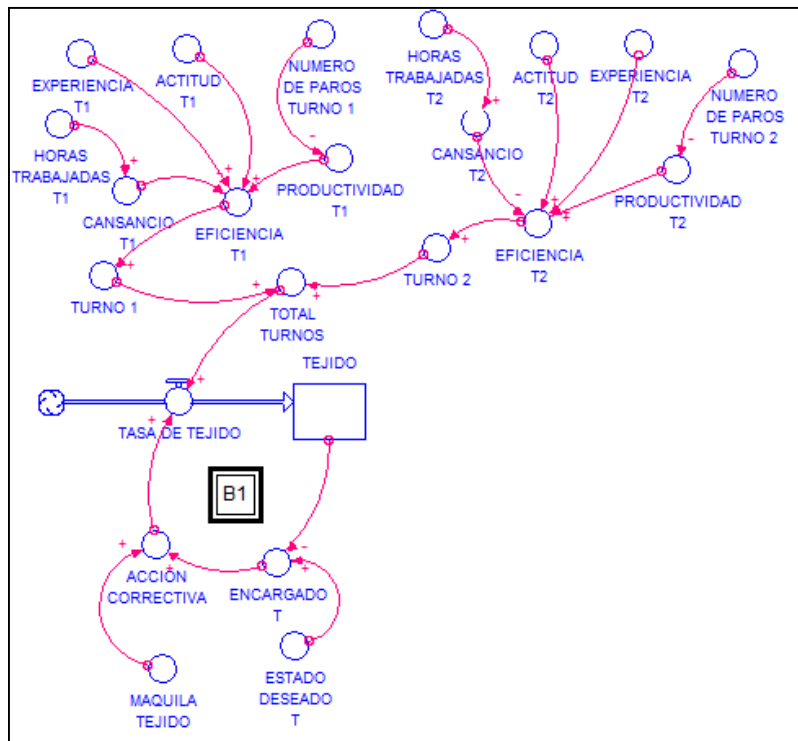


Figura 18. Subsistema del modelo (tejido)

### 5.3.2 Desarrollo de ecuaciones del modelo

Las variables de estado o reservorios y los flujos, están basados en la metáfora hidráulica del flujo de agua que entra y sale del reservorio. La representación matemática de cada reservorio es a través de ecuaciones integrales. Ver ecuación (1). Las variables de estado acumulan o integran sus flujos. El flujo neto dentro de la variable de estado es la tasa de cambio de la variable de estado (Sterman, 2000). Ver ecuación (2).

En el caso del modelo del sistema de producción textil, los reservorios son las nueve áreas que integran el proceso, los flujos son las tasas de producción de cada reservorio, Las tasas de cambio de las variables de flujo dictan el ritmo en la acumulación de las variables de estado. Las variables auxiliares representan valores constantes o funciones establecidas.

$$\delta(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_e(s) - \varphi_s(s)] ds + \delta(t_0) \quad (1)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \delta &= \text{Reservorio} \\ \varphi_e &= \text{Flujo de entrada} \\ \varphi_s &= \text{Flujo de salida} \end{aligned}$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \varphi_e(t) - \varphi_s(t) \quad (2)$$

En la Figura 19 se muestra la expresión matemática con los símbolos del diagrama de flujos y niveles.

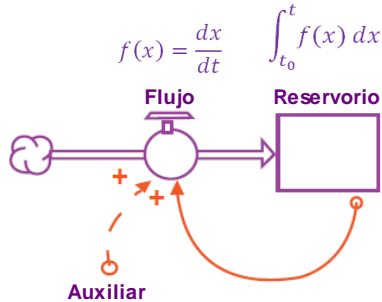


Figura 19. Formulación matemática

A continuación se expone el modelo matemático general del sistema de producción, en el cual la representación matemática de las variables de estado se muestra en la Tabla 2, donde dichas variables se representan mediante letras mayúsculas.

VARIABLES DE ESTADO	SÍMBOLO	ECUACIÓN
Tejido	$T$	$T(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_{te} - \varphi_h] dt + T(t_0)$
Hilván	$H$	$H(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_h - \varphi_{pl}] dt + H(t_0)$
Plancha	$P$	$P(t) = \int_{t_0}^t [(\varphi_{pl} + \varphi_{pt}) - \varphi_{ct}] dt + P(t_0)$
Corte	$CT$	$CT(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_{ct} - \varphi_s] dt + CT(t_0)$
Supermercado	$S$	$S(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_s - \varphi_a] dt + S(t_0)$
Amortiguador	$A$	$A(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_a - \varphi_{cf}] dt + A(t_0)$
Confección	$CF$	$CF(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_{ct} - \varphi_{tm}] dt + CF(t_0)$
Terminado	$TM$	$TM(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_{tm} - \varphi_e] dt + TM(t_0)$
Empaque	$E$	$E(t) = \int_{t_0}^t [\varphi_e] dt + E(t_0)$

Tabla 2. Ecuaciones del modelo (Variables de estado)

En la Tabla 3 se muestran la representación matemática de las diez variables de flujo que integran el modelo.

VARIABLES DE FLUJO	SÍMBOLO	ECUACIÓN
Tasa de tejido	$\varphi_{te}$	$\varphi_{te} = ac_3 + tt + td$
Tasa de hilván	$\varphi_h$	$\varphi_h = en_5$
Tasa de plancha lienzo	$\varphi_{pl}$	$\varphi_{pl} = en_3$
Tasa de plancha terminado	$\varphi_{pt}$	$\varphi_{pt} = en_4$
Tasa de corte	$\varphi_{ct}$	$\varphi_{ct} = en_7 + p_6$
Tasa de supermercado	$\varphi_s$	$\varphi_s = (p_1)(0.8)$
Tasa de amortiguador	$\varphi_a$	$\varphi_a = p_2$
Tasa de confección	$\varphi_{cf}$	$\varphi_{cf} = en_1$
Tasa de terminado	$\varphi_{tm}$	$\varphi_{tm} = en_6$
Tasa de empaque	$\varphi_e$	$\varphi_e = p_5$

Tabla 3. Ecuaciones del modelo (Variables de flujo)

En la Tabla 4 se presentan las ecuaciones o valores que toman las variables auxiliares del modelo.

VARIABLES AUXILIARES	SÍMBOLO	ECUACIÓN / VALOR
<b>Acción correctiva</b>	Plancha-lienzo	$ac_1$ $ac_3 = (he_2)(70)$
	Plancha terminado	$ac_2$ $ac_2 = (he_4)(50)$
	Tejido	$ac_3$ $ac_3 = \begin{cases} 0 & \text{si } en_2 < 50 \\ m_1 & \text{si } en_2 \geq 50 \end{cases}$
	Corte	$ac_4$ $ac_4 = (he_1)(0.30)$
	Terminado	$ac_5$ $ac_5 = (he_2)(0.25)$
<b>Actitud</b>	Confección	$at_1$ $at_1 = (0.98)$
	Corte	$at_2$ $at_2 = (0.98)$
	Plancha lienzo	$at_3$ $at_3 = (0.95)$
	Plancha terminado	$at_4$ $at_4 = (0.9)$
	Tejido turno 1	$at_5$ $at_5 = (0.95)$
	Tejido turno 2	$at_6$ $at_6 = (0.98)$
	Terminado	$at_7$ $at_7 = (0.98)$
<b>Cansancio</b>	Confección	$ca_1$ $ca_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_1 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_1 < 10 \end{cases}$
	Corte	$ca_2$ $ca_2 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_2 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_2 < 10 \end{cases}$
	Plancha lienzo	$ca_3$ $ca_3 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_3 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_3 < 10 \end{cases}$
	Plancha terminado	$ca_4$ $ca_4 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_4 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_4 < 10 \end{cases}$
	Tejido turno 1	$ca_5$ $ca_5 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_5 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_5 < 10 \end{cases}$
	Tejido turno 2	$ca_6$ $ca_6 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_6 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_6 < 10 \end{cases}$
	Terminado	$ca_7$ $ca_7 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } ht_7 \geq 10 \\ 1 & \text{si } ht_7 < 10 \end{cases}$

<b>Eficiencia</b>	Confección	$ef_1$	$ef_1 = (at_1)(ca_1)(ex_1)$
	Corte	$ef_2$	$ef_2 = (at_2)(ca_2)(ex_2)$
	Plancha lienzo	$ef_3$	$ef_3 = (at_3)(ca_3)(ex_3)$
	Plancha terminado	$ef_4$	$ef_4 = (at_4)(ca_4)(ex_4)$
	Tejido turno 1	$ef_5$	$ef_5 = (at_5)(ca_5)(ex_5)(pt_1)$
	Tejido turno 2	$ef_6$	$ef_6 = (at_6)(ca_6)(ex_6)(pt_2)$
	Terminado	$ef_7$	$ef_7 = (at_7)(ca_7)(ex_7)$
<b>Encargado</b>	Confección	$en_1$	$en_1 = \begin{cases} (lp_3 + m_2) & \text{si } lp_3 \geq ed_7 \\ lp_3 & \text{si } lp_3 < ed_7 \end{cases}$
	Tejido	$en_2$	$en_2 = ed_1 - T$
	Plancha lienzo	$en_3$	$en_3 = \begin{cases} (lp + ac_1) & \text{si } lp \geq ed_3 \\ lp & \text{si } lp < ed_3 \end{cases}$
	Plancha terminado	$en_4$	$en_4 = \begin{cases} (lp_7 + ac_2) & \text{si } p_7 \geq ed_4 \\ lp_7 & \text{si } p_7 < ed_4 \end{cases}$
	Hilván	$en_5$	$en_5 = \begin{cases} (m_3 + m_4) & \text{si } m_3 \geq ed_5 \\ m_3 & \text{si } m_3 < ed_5 \end{cases}$
	Terminado	$en_6$	$en_6 = \begin{cases} (p_4 + ac_5) & \text{si } p_4 \geq ed_6 \\ p_4 & \text{si } p_4 < ed_6 \end{cases}$
	Corte	$en_7$	$en_7 = \begin{cases} (lp_1 + ac_4)(ef_2) & \text{si } lp_1 \geq ed_2 \\ (lp_1)(ef_2) & \text{si } lp_1 < ed_2 \end{cases}$
<b>Estado deseado</b>	Tejido	$ed_1$	$ed_1 = (180)$
	Corte	$ed_2$	$ed_2 = (180)$
	Plancha lienzo	$ed_3$	$ed_3 = (180)$
	Plancha terminado	$ed_4$	$ed_4 = (180)$
	Hilván	$ed_5$	$ed_5 = (180)$
	Terminado	$ed_6$	$ed_6 = (180)$
	Confección	$ed_7$	$ed_7 = (180)$
<b>Experiencia</b>	confección	$ex_1$	$ex_1 = (0.99)$
	Corte	$ex_2$	$ex_2 = (0.98)$
	Plancha lienzo	$ex_3$	$ex_3 = (0.95)$
	Plancha terminado	$ex_4$	$ex_4 = (0.91)$
	Turno 1	$ex_5$	$ex_5 = (0.93)$
	Turno 2	$ex_6$	$ex_6 = (0.95)$
	Terminado	$ex_7$	$ex_7 = (0.90)$
<b>Horas extra</b>	Corte	$he_1$	$he_1 = (2)$
	Terminado	$he_2$	$he_2 = (2)$
	Plancha lienzo	$he_3$	$he_3 = (1)$
	Plancha terminado	$he_4$	$he_4 = (1)$
<b>Horas trabajadas</b>	confección	$ht_1$	$ht_1 = (12)$
	Corte	$ht_2$	$ht_2 = (10)$
	Plancha lienzo	$ht_3$	$ht_3 = (7)$
	Plancha terminado	$ht_4$	$ht_4 = (7)$
	Turno 1	$ht_5$	$ht_5 = (12)$
	Turno 2	$ht_6$	$ht_6 = (12)$
	Terminado	$ht_7$	$ht_7 = (10)$
<b>Lienzos para plancha</b>		$lp$	$lp = (H)(ef_3)$
<b>Lienzos planchados</b>		$lp_1$	$lp_1 = (P)(0.6)$

<b>Maquila</b>	Tejido	$m_1$	$m_1 = (50)$
	Confección	$m_2$	$m_2 = (70)$
	Hilván	$m_3$	$m_3 = d\{(T)(0.7)\}(0.5)$ Donde: $d = demora$
	Hilván 2	$m_4$	$m_4 = (T)(0.3)$
<b>Numero de paros</b>	Turno 1	$np_1$	$np_1 = (22)$
	Turno 2	$np_2$	$np_2 = (27)$
<b>Prendas</b>	Cortadas	$p_1$	$p_1 = \mathbf{CT}$
	Del supermercado	$p_2$	$p_2 = (\mathbf{S})(s_1)$
	Para confección	$p_3$	$p_3 = [(\mathbf{A})(ef_1)] s_2$
	Para terminado	$p_4$	$p_4 = (\mathbf{CF})(ef_7)$
	Planchadas	$p_5$	$p_5 = (\mathbf{P})(0.4)$
	Remalladas	$p_6$	$p_6 = (\mathbf{T})(0.4)$
	Terminadas	$p_7$	$p_7 = [(\mathbf{T})(0.6)] ef_4$
<b>Productividad</b>	Turno 1	$pt_1$	$pt_1 = \begin{cases} 0.90 & \text{si } np_1 \geq 20 \\ 1 & \text{si } np_1 < 10 \end{cases}$
	Turno 2	$pt_2$	$pt_2 = \begin{cases} 0.90 & \text{si } np_2 \geq 20 \\ 1 & \text{si } np_2 < 10 \end{cases}$
<b>Surtidor</b>	Supermercado	$s_1$	$s_1 = [N(\mu, \sigma)]$ Donde: $\mu = 0.9, \sigma = 0.1$
	Confección	$s_2$	$s_2 = [N(\mu, \sigma)]$ Donde: $\mu = 0.9, \sigma = 0.1$
<b>Tasa de defectos</b>	Corte	$td$	$td = (\mathbf{CT})(0.4)$
<b>Total turnos</b>	Tejido	$tt$	$tt = t_1 + t_2$
<b>Turnos</b>	Turno 1	$t_1$	$t_1 = [N(\mu, \sigma)][ef_5]$ Donde: $\mu = 90, \sigma = 15$
	Turno 2	$t_2$	$t_2 = [N(\mu, \sigma)][ef_6]$ Donde: $\mu = 90, \sigma = 15$

Tabla 4. Ecuaciones del modelo (Variables auxiliares)

## 5.4 Simulación del modelo dinámico

### 5.4.1 Análisis de sensibilidad

A través del análisis de sensibilidad se realizó la validación del modelo dinámico creando tres escenarios para estudiar la respuesta del modelo ante ellos y poder establecer estrategias de operación adecuadas en el sistema de producción textil.

La Figura 20 muestra el esquema de los escenarios que se decidió manejar. En el caso del sistema de producción la demanda está caracterizada por la temporada primavera-verano (demanda baja) que comprende los meses de enero a junio y la temporada otoño-invierno (demanda alta) que comprende de julio a diciembre.

Para poder llevar a cabo la simulación del modelo dinámico se presenta el desarrollo de los escenarios considerando el sistema de producción con baja demanda ya que es la temporada en la que fue posible realizar la validación en campo.

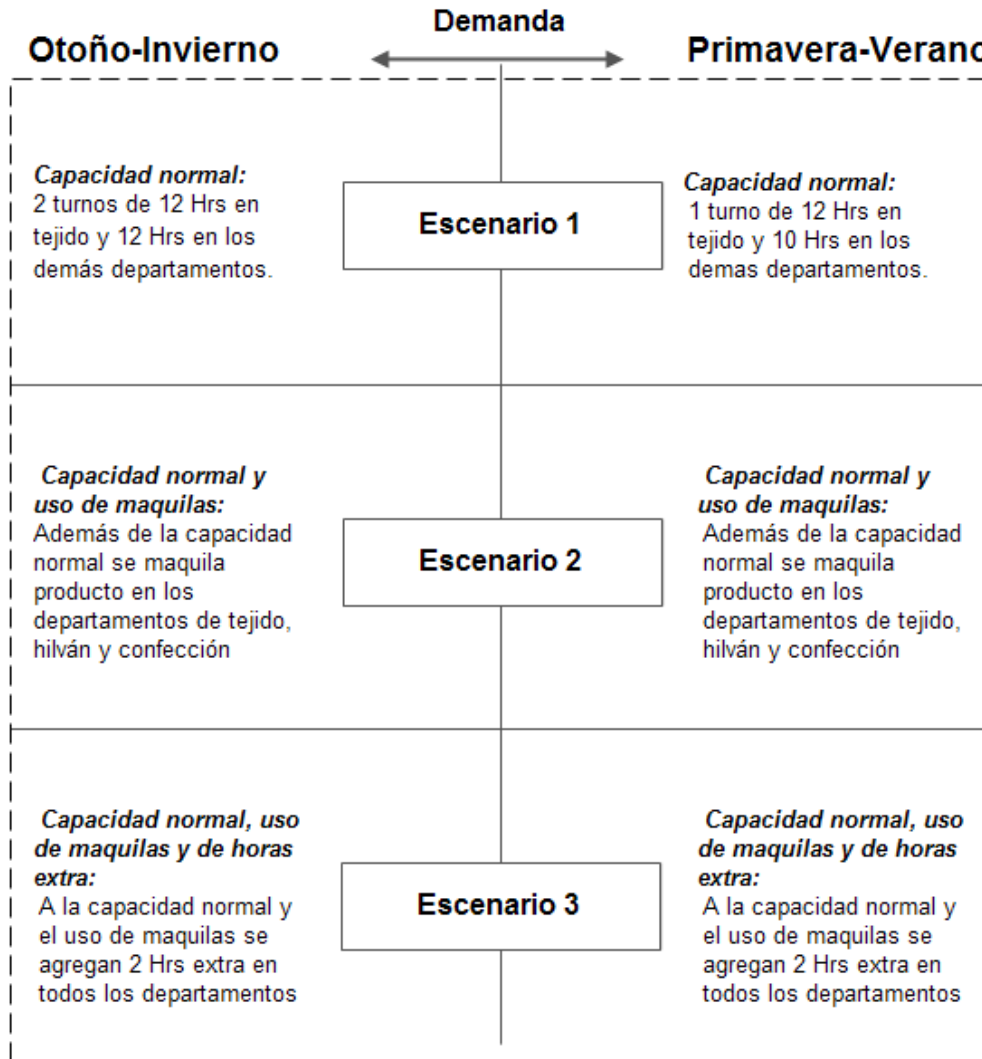


Figura 20. Escenarios del modelo

A continuación se plantean los tres escenarios posibles en los que se modificaron los valores de los parámetros del modelo para analizar y entender de qué manera se comportan las áreas del proceso de producción textil ante dichos cambios, dichos escenarios se simularon en el Software Stella v9.1.3. El análisis de sensibilidad permite en la fase de planeación, establecer cual escenario es el que produce efectos considerables para lograr la meta deseada de producción y mejores condiciones de operación.

### Escenario 1 (Capacidad normal)

En este escenario se considera solo la capacidad normal donde se utilizan los recursos disponibles de la planta, los parámetros a los que se realizaron cambios en la simulación del primer escenario se enlistan en la Tabla 5.

Parámetros	Valores	Unidades
Duración del turno de tejido	10	Horas
Duración del turno de plancha	10	Horas
Duración del turno de corte	10	Horas
Duración del turno de confección	10	Horas
Duración del turno de terminado	10	Horas
Tiempo extra	0	Horas
Maquila tejido	0	Prendas
Maquila 2 de hilván	0	Prendas
Maquila de confección	0	Prendas
Eficiencia	83	Porcentaje
Experiencia	98	Porcentaje
Actitud	97	Porcentaje
Productividad	90	Porcentaje
Número de paros en maquinas	19	-

Tabla 5. Parámetros del escenario 1

Como se puede observar en la tabla anterior, las áreas de tejido, plancha, corte, confección y terminado laboran solo con un turno de 10 horas. Durante la duración del turno se presentan 19 paros en las maquinas de tejido. Estos dos aspectos influyen en la eficiencia y productividad de esta área. Como el objetivo de este escenario es utilizar solo los recursos disponibles en planta no se utilizan maquilas ni tiempo extra.

Al realizar las corridas correspondientes de la simulación, en la Figura 21 se observa el comportamiento de las áreas de tejido e hilván. El modelo propuesto incluye en cada departamento una meta o estado deseado de producción de 180 prendas cada día (línea 2), debido a que hilván (línea 3) tiene una demora de tiempo por ser un maquilador externo quien realiza esta actividad comienza a contar con producción a partir del segundo día. En los dos departamentos no es posible alcanzar la meta deseada con las horas laboradas en tejido y los valores manejados de los parámetros de eficiencia y productividad.



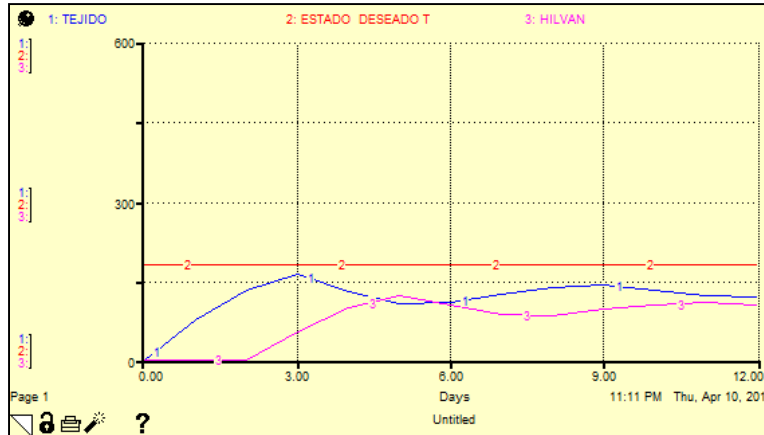


Figura 21. Escenario 1 - Tejido e hilván

En la Figura 22 los departamentos de plancha (línea 1) y corte (línea 2) tienen un comportamiento similar, únicamente plancha tienen niveles más altos debido a las dos actividades que realizan en esta área, el planchado de los lienzos y de prenda terminada. El área de supermercado (línea 3) es donde se encuentra todo lo necesario para el armado de la prenda y del cual se abastece el amortiguador e inicia con un inventario de 300 piezas como se observa en la gráfica. Es hasta el quinto día que el comportamiento de estas áreas supera la meta deseada.

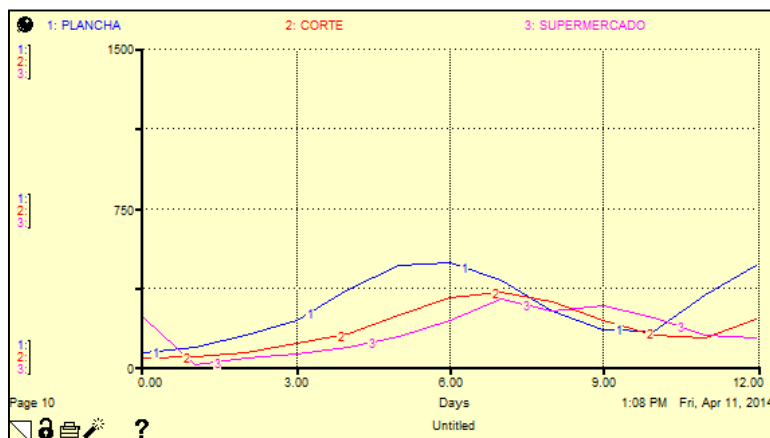


Figura 22. Escenario 1 - Plancha, corte y supermercado

En la Figura 23 se presenta el amortiguador (línea 1) área muy importante en el proceso de producción, es una protección de tiempo e inicia con un inventario de 160 prendas. Confección (línea 2) es abastecida por el amortiguador y por ello el comportamiento es similar. De la misma manera que las demás áreas la meta deseada no se logra del día tres al día ocho, lo cual representa que en esos días no se tiene suficiente protección para evitar eventualidades no contempladas y que afectan al buen funcionamiento del área de confección.

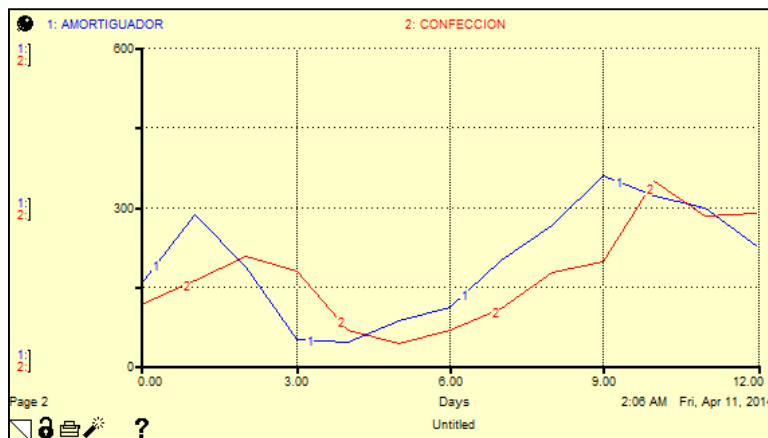


Figura 23. Escenario 1 - Amortiguador y confección

En la Figura 24 se pueden observar los últimos departamentos del sistema de producción textil, el área de terminado (línea 1) tiene un comportamiento oscilatorio, asciende hasta los primeros cuatro días y después llega a niveles de producción muy bajos en el octavo día. En el caso del área de empaquetado (línea 2) se comporta de manera exponencial debido a que es la última etapa del proceso y se almacenan las prendas que durante los doce días se produjeron en la planta para su posterior envío al cliente.

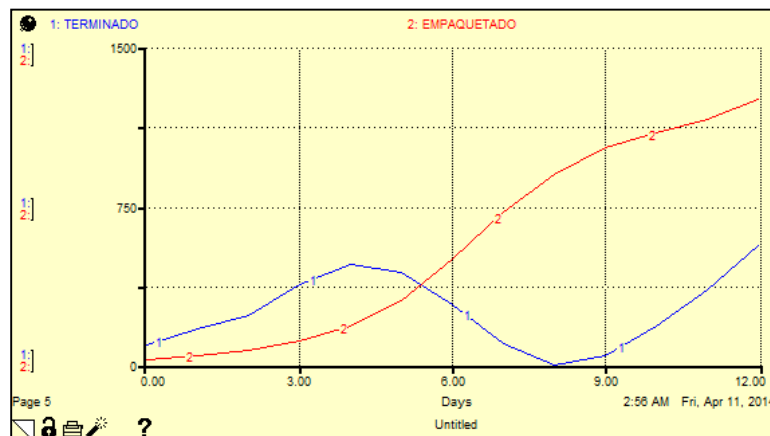


Figura 24. Escenario 1 - Terminado y empaquetado

Con los parámetros utilizados en este escenario se logra contar al finalizar los doce días de la simulación con una producción de 1,313 prendas. Situación que se puede observar en la Figura 24.

### Escenario 2 (Capacidad normal y uso de maquilas)

En este escenario además de la capacidad actual de la planta se utilizan maquiladoras. En el caso de tejido y confección son áreas que desde el concepto de manufactura sincrónica se consideran recursos restrictivos de capacidad, por ello para esta simulación se agregan los parámetros de maquila de tejido y de confección, de igual manera se agrega una segunda

maquiladora al departamento de hilván. Con los parámetros de la Tabla 6 se quiere determinar cómo se comporta el sistema ante dichos cambios.

Parámetros	Valores	Unidades
Duración del turno de tejido	10	Horas
Duración del turno de plancha	10	Horas
Duración del turno de corte	10	Horas
Duración del turno de confección	10	Horas
Duración del turno de terminado	10	Horas
Tiempo extra	0	Horas
Maquila tejido	50	Prendas
Maquila 2 de hilván	30	Porcentaje
Maquila de confección	70	Prendas
Eficiencia	83	Porcentaje
Experiencia	98	Porcentaje
Actitud	97	Porcentaje
Productividad	90	Porcentaje
Número de paros en maquinas	19	-

Tabla 6. Parámetros del escenario 2

En la Figura 25 se puede observar que el área de hilván (línea 2) y tejido (línea 1) tienen un comportamiento oscilatorio pero en este escenario se encuentran más cerca del estado deseado (línea 2), sin embargo a pesar del uso de maquila el área de tejido únicamente logra la meta en tres ocasiones.

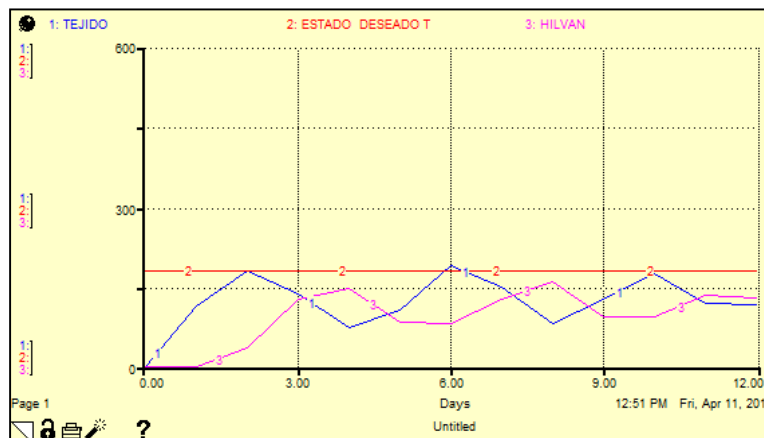


Figura 25. Escenario 2 - Tejido e hilván

En la Figura 26 los departamentos de plancha (línea 1), corte (línea 2) y el área de supermercado (línea 3) alcanzan niveles mayores a los del escenario 1, a partir del cuarto día comienzan a superar la meta deseada de producción y es en el séptimo día que la producción se encuentra a la par en los dos departamentos.



Figura 26. Escenario 2 - Plancha, corte y supermercado

La Figura 27 muestra el área de amortiguador (línea 1) y confección (línea 2), con el uso de las maquilas se puede observar que los niveles son mayores a los del escenario anterior, sin embargo en el día tres el amortiguador llega a un nivel en el que no protege adecuadamente.

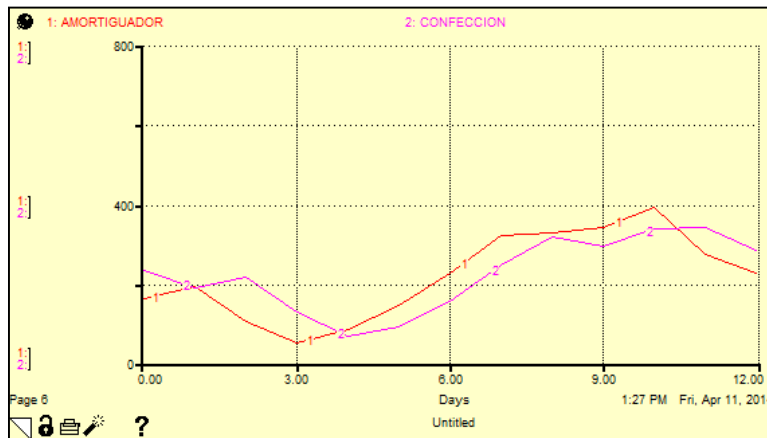


Figura 27. Escenario 2 - Amortiguador y confección

Las últimas áreas del proceso se muestran en la Figura 28, el comportamiento de terminado (línea 1) sigue mostrando una oscilación y en los días siete y ocho niveles bajos de producción, sin embargo el comportamiento exponencial de empaquetado (línea 2) nos indica que el uso de las maquiladoras ayudo al sistema de producción textil a contar con 1,522 prendas listas para envío al cliente al finalizar doce días.

El aumento respecto al escenario anterior fue de 200 prendas aproximadamente con los parámetros con los que se simulo en esta ocasión.

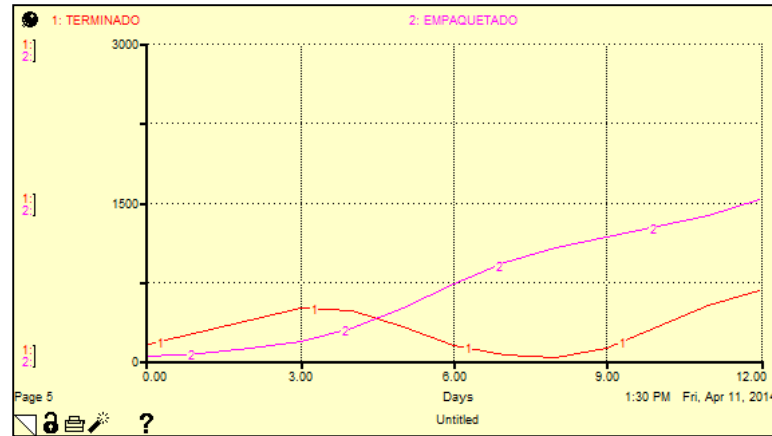


Figura 28. Escenario 2 - Terminado y empaquetado

### Escenario 3 (Capacidad normal, uso de maquilas y de horas extra)

En este último escenario el objetivo de la simulación es realizar las corridas con la capacidad con la que cuenta la planta, hacer uso de las maquilas y agregar horas extras en la mayoría de los departamentos. Los parámetros que se manejaron en este escenario se presentan en la Tabla 7.

Parámetros	Valores	Unidades
Duración del turno de tejido	10	Horas
Duración del turno de plancha	10	Horas
Duración del turno de corte	10	Horas
Duración del turno de confección	10	Horas
Duración del turno de terminado	10	Horas
Tiempo extra tejido	2	Horas
Tiempo extra plancha	2	Horas
Tiempo extra corte	2	Horas
Tiempo extra confección	2	Horas
Tiempo extra terminado	2	Horas
Maquila tejido	50	Prendas
Maquila 2 de hilván	30	Porcentaje
Maquila de confección	70	Prendas
Eficiencia	83	Porcentaje
Experiencia	93	Porcentaje
Actitud	95	Porcentaje
Productividad	90	Porcentaje
Número de paros en maquinas	22	-

Tabla 7. Parámetros del escenario 3

En la Figura 29 es posible observar que el uso de horas extras en el departamento de tejido (línea 1) es favorable, el comportamiento es oscilatorio pero en esta corrida se mantiene por arriba o cerca del estado deseado, mientras que en hilván (línea 3) el comportamiento es similar a tejido pero con niveles por debajo del estado deseado.

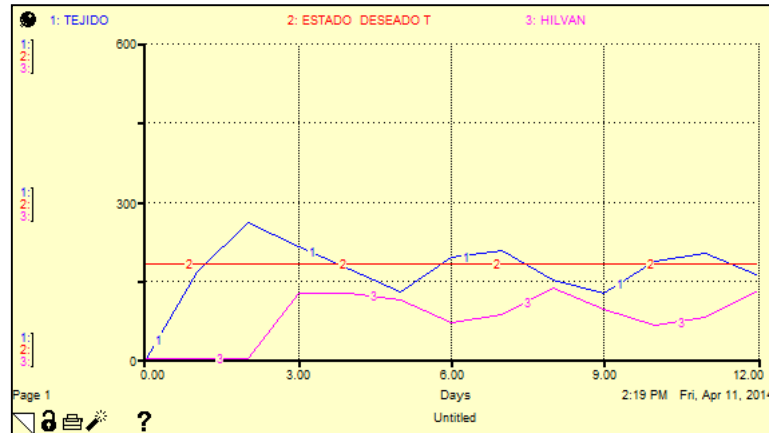


Figura 29. Escenario 3 - Tejido e hilván

En la Figura 29 es posible observar que el resultado de la simulación agregando horas extras en los departamentos de plancha (línea 1) y corte (línea 2) da resultados favorables, ya que se superan durante los doce días el estado deseado y permiten que el área de supermercado (línea 3) cuente con inventario suficiente para abastecer el amortiguador.

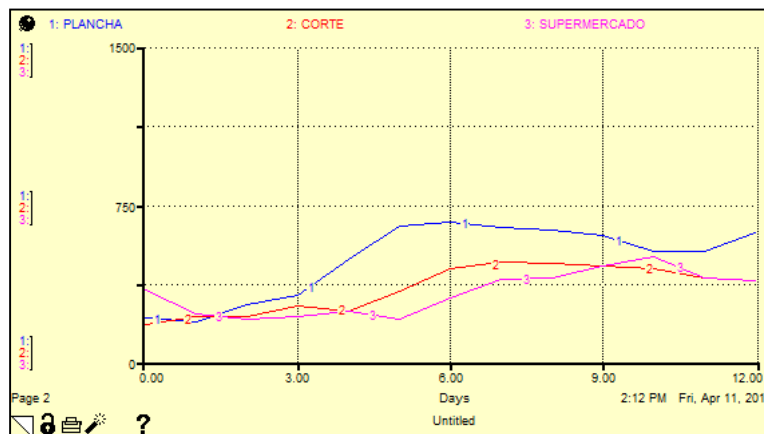


Figura 30. Escenario 3 - Plancha, corte y supermercado

En la Figura 31 los niveles del amortiguador (línea 1) y del departamento de confección (línea 2) son mayores a los escenarios anteriores y superan el estado deseado, de la misma manera en esta corrida con los parámetros simulados el amortiguador es capaz de proteger los doce días al departamento de confección.

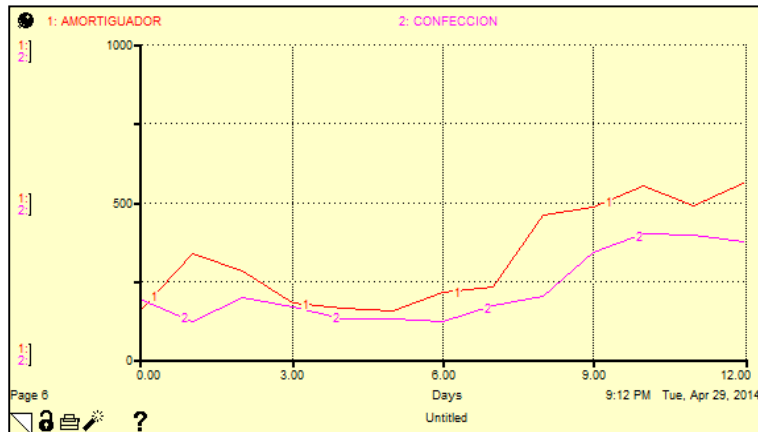


Figura 31. Escenario 3 - Amortiguador y confección

Por último en la Figura 32 es posible observar que el departamento de terminado (línea 1) en las condiciones mencionadas no presenta niveles bajos de producción y también supera la meta deseada. Así mismo el departamento de empaquetado (línea 2) logra al finalizar los doce días contar con 2,030 prendas empaquetadas para el envío al cliente.

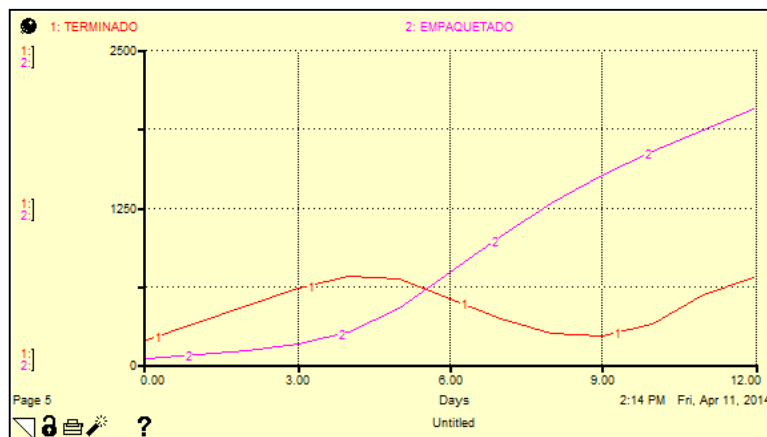


Figura 32. Escenario 3 - Terminado y empaquetado

#### 4.2 Validación en campo

El análisis de sensibilidad anterior condujo a confirmar que el modelo refleja adecuadamente al sistema real de producción y tienen relevancia en la presente investigación el validar el modelo con una aplicación en planta.


Partiendo del análisis de sensibilidad presentado se eligió el escenario 3, donde se utiliza toda la capacidad y las maquiladoras con las que se cuenta, la decisión de seleccionar el último escenario se debe a la demanda de producción que se generó en el lapso que comprende del 12

al 29 de abril del presente año. Los modelos producidos con los que se validó se presentan en la Figura 33.



Figura 33. Modelos producidos

La orden generada para los modelos anteriores se presenta en la Figura 34.



**ORDEN DE PRODUCCION:** A345

**MODAS INFANTILES TABITAS S.A DE C.V.**  
Domicilio Fiscal: Antonio Moreno Oviedo #436 col. El Refugio.  
Ciudad y Estado: Lagos de Moreno, Jalisco  
Codigo Postal: 47470  
RFC: MIT900508VAS      Tel. 4747422279

**FECHA:** 11 de Abril de 2014

**MODELO:** TAB-OI310

**PEDIDO:** 800

Descripción: Sueter para niña, tejido liso con jacquard, colores vivos, cuatro botones

CANTIDAD	VARIANTES	TALLAS	PRECIO UNITARIO	COSTO
300	FIUSHA	1-4 años	\$ 112.00	\$ 33,600.00
300	ROSA	1-4 años	\$ 112.00	\$ 33,600.00
200	ROJO	1-4 años	\$ 112.00	\$ 22,400.00
<b>SUBTOTAL=</b>				<b>\$ 89,600.00</b>

**MODELO:** TAB-OI314

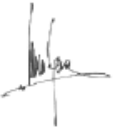
**PEDIDO:** 800

Descripción: Sueter para niño, tejido liso cy trenzado

CANTIDAD	VARIANTES	TALLAS	PRECIO UNITARIO	COSTO
350	MARINO	6-24 meses	\$ 71.50	\$ 25,025.00
350	AZUL	6-24 meses	\$ 71.50	\$ 25,025.00
100	KAKI	6-24 meses	\$ 71.50	\$ 7,150.00
<b>SUBTOTAL=</b>				<b>\$ 57,200.00</b>


  

**TOTAL = \$ 146,800.00**


---

Erika Hernandez M.  
Jefa PCP



---

José Jovani Cardiel Ortega  
Jefe de produccion-Uriangato

Figura 34. Orden de producción



En la validación se manejaron los parámetros de la Tabla 7 que pertenecen al escenario 3, en el cual indica que se hace uso de maquiladores externos en los departamentos de hilván, confección y tejido, de este último departamento se presenta en la Figura 34 la evidencia de la colaboración para realizar el tejido de los componentes para el modelo TAB-OI314, fabricando 50 piezas durante diez días.




**MODAS INFANTILES TABITAS S.A. DE C.V. TALLER URIANGATO**

2a Privada de Insurgentes Olivares #18, Uriangato, Gto.  
Tel: (445) 458 27 81

**NEGOCIACION DE MODELOS PARA MAQUILA-TEJIDO**

FECHA: 11 DE ABRIL DE 2014. URIANGATO, GTO

**IMAGEN**



**MODELO:** TAB-OI314

**CODIGO:** 23442

**GALGA:** 5

**TALLAS:** 6-24 MESES

**PEDIDO TOTAL:** 350 (tejido)


**DESCRIPCION:** Sueter para niño tejido liso y trenzado, marca tabitas baby

CODIGO	PEDIDO	MATERIAL	COLORES	TALLAS			
				6	12	18	24
23442	350	ACRILAN 2/30 60 kilos marca Colomer	MARINO				
				88	88	88	86


DATOS DEL MAQUILADOR	
EMPRESA:	Tejidos GIOVANNA
NOMBRE:	Jose Noe Zavala
DIRECCION:	Pasejo Garibay #6, Morelion, Gto.
TELEFONO:	45-8-34-70

DATOS DEL COMPRADOR	
EMPRESA:	Modas infantiles Tabitas S.A de C.V.
NOMBRE:	Jose Jovani Cardiel Ortega
DIRECCION:	2da. Privada de Insurgentes Olivares #18
TELEFONO:	45-8-27-81

En base a las especificaciones que contiene el presente documento se firma de conformidad que el modelo TAB-OI314 se entregara en el domicilio del comprador en un lapso de 10 días a partir de la fecha indicada entregando 50 piezas completas por día.




\_\_\_\_\_  
Jose Noe Zavala



\_\_\_\_\_  
Ing. Jose Jovani Cardiel Ortega

Figura 35. Maquilador de tejido

De la misma manera en la Tabla 7 se indica que se hace uso de dos horas extra en los departamentos de plancha, corte, confección, terminado, empaquetado y tejido. Del último departamento se muestra la evidencia en la cual el operador de tejido laboró un turno de 12 horas en la semana que comprende de 14 al 19 de abril de 2014.




**MODAS INFANTILES TABITAS S.A DE C.V**  
2da. Privada de Insurgentes Olivares #18, Uriangato, Gto.

**RECIBO DE NOMINA**


Empleado: Ruben Santoyo Arreguin Puesto: Tejedor  
SEMANA: 7-12 ABRIL DE 2014 FECHA: 14-04-14

DIA	HORAS	JORNADA	COSTO	SUBTOTAL
7	10.05	B	27	\$ 271.35
8	10.10	B	27	\$ 272.70
9	9.55	B	27	\$ 257.85
10	10.10	B	27	\$ 272.70
11	10.00	B	27	\$ 270.00
12	10.21	B	27	\$ 275.67
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>60.01</b>	<b>-</b>	<b>\$ 1,620.27</b>


---


Ing. Maria Teresa Ramirez Ceballos


---

Ruben Santoyo Arreguin

---




**MODAS INFANTILES TABITAS S.A DE C.V**  
2da. Privada de Insurgentes Olivares #18, Uriangato, Gto.

**RECIBO DE NOMINA**


Empleado: Ruben Santoyo Arreguin Puesto: Tejedor  
SEMANA: 14-19 ABRIL DE 2014 FECHA: 21-04-14

DIA	HORAS	JORNADA	COSTO	SUBTOTAL
14	12.00	C	30	\$ 360.00
15	12.01	C	30	\$ 360.30
16	12.03	C	30	\$ 360.90
17	12.02	C	30	\$ 360.60
18	12.00	C	30	\$ 360.00
19	12.05	C	30	\$ 361.50
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>72.11</b>	<b>-</b>	<b>\$ 2,163.30</b>


---

Ing. Maria Teresa Ramirez Ceballos


---

Ruben Santoyo Arreguin

Figura 36. Recibo-nomina

Una vez realizada la planeación estratégica a partir del análisis de sensibilidad se le dio seguimiento a los modelos durante el lapso de los doce días manejando los parámetros del escenario 3. Lo anterior se puede observar en la Figura 37.



Figura 37. Seguimiento de modelos

Al finalizar los doce días las 1,600 prendas requeridas por el cliente se logran producir en tiempo y forma y de la misma manera se producen 200 prendas mas de otro modelo que se tenía en el area de amortiguador.

El comparativo entre el sistema real y el simulado en lo que respecta a los departamentos de tejido e hilván se presenta en la Figura 38. Es posible observar que el comportamiento oscilatorio se presenta también en el sistema real.

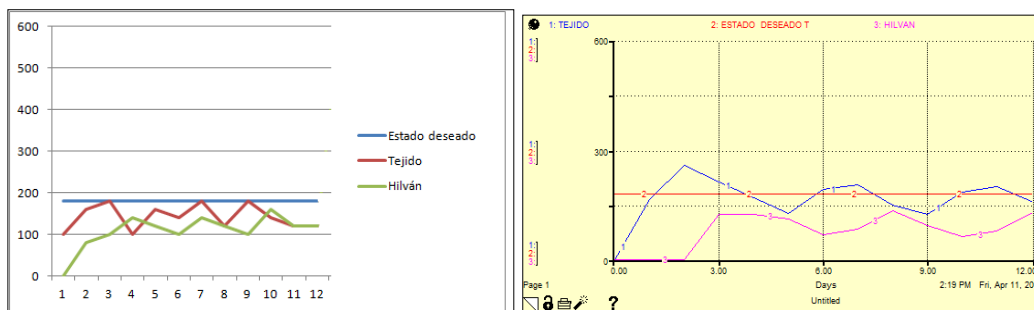


Figura 38. Comparativo de los departamentos de tejido e hilván

Para la última etapa del proceso, el comparativo entre el sistema real y el simulado se presenta en la Figura 39. Como se observa el departamento de terminado presenta también un comportamiento oscilatorio y el departamento de empaquetado es exponencial contando con una cantidad de 1,800 prendas listas para envío al cliente al finalizar doce días.

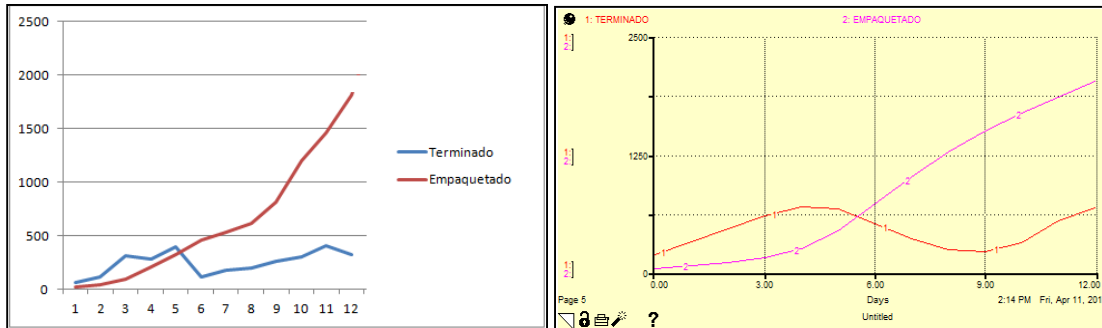


Figura 39. Comparativo de los departamentos de terminado y empaquetado

# **CAPÍTULO VI**

## **CONCLUSIONES**

### 6 Conclusiones

En el presente trabajo de investigación y mediante la metodología propuesta, se logró analizar el sistema productivo y los elementos de material, recursos humanos e información que lo componen. Se desarrolló el modelo del sistema de producción textil de tejido de punto con un enfoque holístico empleando dinámica de sistemas, el cual consta de diez bucles de balanceo, donde se controlan los niveles de producción deseados y dos bucles de reforzamiento, donde se tiene una holgura determinada para acumular material.

Un aspecto importante es la consideración de variables cuantitativas y cualitativas en el modelo dinámico que robustecen la explicación del problema. La simulación del modelo dinámico permitió identificar el comportamiento del proceso, de igual forma con la aplicación en campo y un análisis de sensibilidad se validó el modelo. Se crearon tres escenarios en el análisis de sensibilidad, eligiendo el mejor, considerando la demanda y las necesidades de producción, este análisis permite realizar una planeación estratégica. El mejor escenario se utilizó para validar en campo en una empresa textil del sur de Guanajuato. Con la validación se comprueba que el modelo refleja adecuadamente el comportamiento del sistema real y permite obtener un aprendizaje para poder establecer políticas y realizar acciones que den un mayor rendimiento al sistema de producción textil de tejido de punto.

El modelo dinámico propuesto ayuda en gran medida a poder tomar mejores decisiones por parte de la gerencia de la empresa.

## Glosario

**Estado:** Información concerniente a un sistema a partir de la cual se puede predecir su futura evolución. En los modelos de dinámica de sistemas el estado viene representado por el conjunto de variables de nivel.

**Variables de nivel:** son normalmente las variables más importantes y representan esas magnitudes cuya evolución es especialmente significativa. Asociada a cada variable de nivel se encuentran una o varias variables de flujo

**Variables de flujo:** que determinan su variación a lo largo del tiempo.

**Variables auxiliares:** son el resto de las variables que aparecen en el diagrama, y representan pasos intermedios para la determinación de las variables de flujo a partir de las variables de nivel.

**Modelo mental:** Representación informal de un cierto aspecto de la realidad, pero que recoge la experiencia que poseen los especialistas en el problema correspondiente. En dinámica de sistemas suele emplearse como punto de partida del proceso de modelado.

**Retroalimentación negativa:** Bucle de realimentación formado por una cadena circular cerrada de influencias, un número impar de las cuales es negativa. Un sistema dotado de realimentación negativa tiende a mantener invariantes los valores de sus variables, y a restituirlos cuando han sido modificados por efecto de una perturbación exterior.

**Retroalimentación positiva:** Bucle de realimentación formado por una cadena circular de influencias todas ellas positivas, o si las hay negativas su número es par, de modo que se compensen entre ellas. Su comportamiento está caracterizado por el crecimiento sin límites de toda perturbación.

**Trayectoria:** Representación gráfica del comportamiento de una variable.

## Referencias bibliográficas

- Aracil J. “*Dinámica de Sistemas*”. Madrid, España: Alianza Editorial, 1995.
- Baeza R, Yáñez J, Vázquez A. (2012). "Sistema Integral de Control Dinámico: un enfoque híbrido para el cumplimiento de las especificaciones de calidad". *DYNA Ingeniería e Industria*. Vol. 87-2 p. 234-240.
- Campuzano F, Martínez E, Ros L. (2010). “Cadenas de suministro tradicionales y colaborativas. Análisis de su influencia en la gestión de la variabilidad de la demanda”. *DYNA*. Vol. 85 N°1 p. 33-40.
- Chen M, Hsiao C, Lai G, Chang P. “A system dynamics model of development and business strategy in Taiwan life insurance industry”. *Chao Yang University of Technology, Taiwan*.
- Fang C, Ping C. (2012). “An Inventory Model for Deteriorating Items in a Supply Chain with System Dynamics Analysis”. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 40 (2012) p. 41–51.
- Godinho M, Uzsoy M. (2010). “The effect of shop floor continuous improvement programs on the lot size–cycle time relationship in a multi-product single-machine environment” *Int. J Adv Manuf. Technol*.
- Gonçalves P, Hines J, Sterman J. (2005). “The impact of endogenous demand on push-pull production systems”. *System Dynamics Review* Vol. 21, No. 3, p. 187–216.
- Green J, Lee J, Kozman T. (2010). “Managing lean manufacturing in material handling operations”. *International Journal of Production Research* Vol. 48, No. 10, 15 May 2010, 2975–2993.
- Kasemset C, Kachitvichyanukul V. (2010). “Bi-level multi-objective mathematical model for job-shop scheduling: the application of Theory of Constraints”. *International Journal of Production Research* Vol. 48, No. 20, p. 6137–6154.
- Mahdavi I et al. (2011). “Multi-objective cell formation and production planning in dynamic virtual cellular manufacturing systems”. *International Journal of Production Research*. Vol. 49, No. 21, p. 6517–6537.
- Micán C, Ovalle O, Osorio J, Ospina R, Quintero A. (2011). “Impacto de la rotación de personal en las entregas a los clientes: un enfoque sistémico”. *Memorias del 8º Congreso Latinoamericano y Encuentro Colombiano de dinámica de sistemas*. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana p. 202-207. Medellín, Colombia.



- Mikati N. (2010). “Dependence of lead time on batch size studied by a system dynamics model”. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, No. 18, p. 5223-5532.
- Mirchi A, Madani K, Watkins D, Ahmad S. (2012). “Synthesis of System Dynamics Tools for Holistic Conceptualization of Water Resources Problems”. *Springer Science Business Media B.V. Water Resour Manage*.
- Parra C, Pérez J, Torres F. (2006). “Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas”. *Ingeniería & Desarrollo*. N° 20 p. 151-171.
- Peña G. (2003). “Dinámica de Sistemas y análisis cualitativo Matemático, en modelos de gestión de la Producción”. [PhD Tesis], Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Poles R, Cheong F. (2009). “A system dynamics model for reducing uncertainty in remanufacturing systems”. *Pacific Asia Conference on Information Systems*.
- Richmond B. *An Introduction to Systems Thinkign. Chapter 1*. Isee Systems. 2005.
- Richmond B. *Systems Thinkign Four Key Questions*. High Performance Systems, Inc. 1991.
- Ramírez S, et al. (2010). “Impacto en las decisiones de la cadena de suministros de una empresa de confección de prendas deportivas acuáticas con la utilización de Dinámica de Sistemas”. *Ingeniería Industrial*. Año 9 N° 1: p. 67–85.
- Scholz R et al. (2006). “Inventory Control in Shop Floors, Production Networks and Supply Chains Using System Dynamics”. *Proceedings of the 12th ASIM Conference on Simulation in Production and Logistics*, SCS Publishing House. p. 273-282.
- Suri R. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead.*, USA. Edit. Productivity, Inc. 1998.
- Sterman J. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA, USA: McGraw-Hill. 2000.
- Tesfamariam D. (2005). “Configuration Design of a High Performance and Responsive Manufacturing System”. [PhD Tesis], *Industrial Engineering and Management*, Stockholm, Sweden.
- Vergara J. (2009). “Análisis de sistemas de manufactura mediante dinámica de sistemas: fabricación de bloques para construcción”. *Memorias del 7° Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*. Editorial Universidad Industrial de Santander p. 219-232. Medellín, Colombia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Villaseñor A, Galindo E., *Conceptos Y Reglas De Lean Manufacturing*. 2a Edición. México: Ed. Limusa. 2007.
- Villaseñor R. *System dynamics for industrial engineers and scientific managers*. Mexico Editorial digital, Tecnológico de Monterrey. 2012.