

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD  
INSTALADA CASO DE ESTUDIO: PRODUCTOS QUÍMICOS DE LIMPIEZA

POR

ING. JESÚS EDUARDO RUVALCABA LUNA

TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN INGENIERIA INDUSTRIAL Y DE  
MANUFACTURA

SALTILLO, COAHUILA.

Diciembre del 2015

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD  
INSTALADA CASO DE ESTUDIO: PRODUCTOS QUÍMICOS DE LIMPIEZA.

Por

**ING. JESÚS EDUARDO RUVALCABA LUNA**

Comité Revisor

**Tutor Académico:** Dr. Rolando Javier Praga Alejo  
PICYT Ingeniería Industrial y de Manufactura

**Revisor No.1:** Dra. Indira Gary Escamilla Salazar  
Profesor Investigador de FIME. UA de NL

**Revisor No.2:** Dra. Vanesa Ávalos Gaytán  
Profesor de Tiempo Completo.  
Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas,  
UAdeC

**Tutor de planta:** Dr. Pedro Pérez Villanueva

Saltillo, Coahuila

Diciembre del 2015

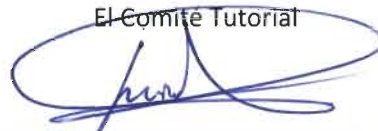
**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales**

**Gerencia de Desarrollo Humano**

**División de Estudios de Posgrado**

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Tesis “METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA CASO DE ESTUDIO: PRODUCTOS QUÍMICOS DE LIMPIEZA.”, realizada por el alumno **JESÚS EDUARDO RUVALCABA LUNA** matrícula **1306IM3101** sea aceptada para su defensa como Maestra en Ciencia y Tecnología en **Ingeniería Industrial y de Manufactura**.

El Comité Tutorial



**Dr. Rolando Javier Praga Alejo**

Director de Tesis



**Dr. Pedro Pérez Villanueva**

Tutor en Planta



**Dr. Elías Gabriel Carrum Siller**

Co-Tutor



**Dr. David Salvador González González**

Asesor



**Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés**

Vo. Bo

Coordinación General de Estudios de Posgrado

**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales**

**Gerencia de Desarrollo Humano**

**División de Estudios de Posgrado**

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado de la alumno Jesús Eduardo Ruvalcaba Luna, una vez leída y revisada la tesis titulada "METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA CASO DE ESTUDIO: PRODUCTOS QUÍMICOS DE LIMPIEZA.", aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestra en Ciencia y Tecnología en Ingeniería Industrial y de Manufactura durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 18 días del mes de diciembre del año 2015.



---

**Dra. Indira Gary Escamilla  
Salazar**

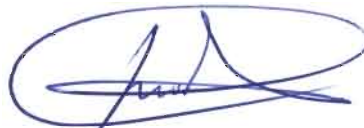
**Presidente**



---

**Dra. Vanesa Ávalos Gaytán**

**Secretario**



---

**Dr. Rolando Javier Praga Alejo**

**Vocal**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios primeramente por brindarme esta oportunidad de crecimiento y el de adquirir conocimiento para llegar hasta el final.

Agradezco a mi madre, María Guadalupe Luna Sepúlveda, por su indispensable apoyo, por su entrega incansable y amor infinito, por no dejarme caer aun cuando las cosas se ponían difíciles, porque gracias a ello he sacado siempre lo mejor de mí, a ella que fue madre y padre para mí, este logro es sólo tuyo ya que eres lo más preciado que en mi vida tengo.

A mi abuelita Angélica Sepúlveda García, por su apoyo y amor, por los consejos que me dio y sus palabras que siempre me han impulsado a salir adelante, te quiero mucho abuelita este trabajo es para ti. A toda mi familia que amo mucho gracias por su apoyo y paciencia en estos años.

Agradezco a mis mejores amigos, Juan Alonso Valdez Muñiz, María Concepción Muñoz Alvarado, Ana Isabel Ortiz Cabrera y Luis Armando Rivera Rico por su paciencia y apoyo para no darme por vencido y siempre ir hacia adelante, gracias los quiero bastante.

Agradezco a mis compañeros, Jesús Alejandro Navarro Acosta, Marco Antonio Fuentes Huerta, David Alejandro Fernández Tavitas y Gerardo Galo Hernández Alba, por su gran apoyo, por las pláticas interminables, los buenos ratos de reuniones, ya que gracias a ello no los considere sólo mis compañeros si no como unos verdaderos amigos, gracias infinitamente por todo.

Agradezco a mis tutores, Rolando Javier Praga Alejo y Elías Gabriel Carrum Siller por transmitirme sus conocimientos, experiencias, por su apoyo en la elaboración de este trabajo, y por los consejos, muchas gracias.

Agradezco a todos aquellos compañeros de posgrado que conocí a lo largo de estos 2 años que hicieron que mi formación académica fuera más agradable y provechosa.

## AUTOBIOGRAFÍA

Jesús Eduardo Ruvalcaba Luna nació el 15 de Junio de 1989 en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Sus padres son María Guadalupe Luna Sepúlveda y José de Jesús Ruvalcaba Preciado.

En Abril del 2013 fue ponente en el XXIII Escuela Nacional de Optimización y Análisis Numérico.

Culminó la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad Autónoma de Coahuila en Agosto del 2013.

Su investigación descrita en el presente trabajo se publicó en las memorias del congreso de investigación de Academia Journals en Ciencias y Sustentabilidad en Mayo del 2015 y participó como ponente en el Quinto congreso internacional WIEM de soldadura, Ingeniería Industrial y manufactura en Noviembre del 2015 con el artículo "Control de la producción y comparación de metodología Job Shop con simulación: un caso práctico".

## RESUMEN

En los sistemas productivos es de gran importancia la determinación de cómo se va a producir en qué cantidades y cuando, debido a que las empresas tienen que estar preparadas ante la demanda que se les presente, por lo tanto la empresa debe tener un plan de producción con el cual contar para disminuir los problemas en la producción, y así no incumplir con los clientes.

La fluctuación de la demanda es un tema muy recurrente en las industrias, debido a que afecta de manera importante en la producción, esta fluctuación comprende muchos más factores como lo son los inventarios. En este documento se realizó la comparación entre la metodología Job Shop y una simulación para determinar cuál era más adecuada para la planeación y control de la producción en una empresa de productos químicos de limpieza donde se requiere dar a conocer si la capacidad actual es la indicada para satisfacer demandas futuras. Mediante Job Shop se realizó la secuenciación de los trabajos de producción para obtener la producción final, así como el tiempo de operaciones final, en adición se aplicó una herramienta dinámica, la simulación, mediante la cual se compararon los resultados obtenidos por Job Shop y así determinar qué tipo de sistema es más adecuado para este caso de estudio. La metodología propuesta proporcionó un adecuado estudio en las líneas de producción dando como resultado que la simulación es adecuada para realizar el control de la producción debido a que contempla factores que el Job Shop no toma en cuenta.

En el capítulo 1 se da una breve introducción acerca de la temática que se maneja en este documento y una breve introducción para el siguiente capítulo, en el capítulo 2 se establece la problemática de manera concreta, además de los objetivos, hipótesis, preguntas de investigación y la justificación de este trabajo, en el capítulo 3 se expone el estado del arte, los diversos artículos que sirvieron de referencia y ayuda para la elaboración del documento, en el capítulo 4 se presenta el marco teórico en el cual se exhiben los temas que fundamentan este trabajo, en donde estos temas presentados en el marco teórico son los indicados para poder resolver el problema de investigación, en el capítulo 5 se muestra la metodología propuesta, y la explicación detallada de cada uno de sus pasos, en el capítulo 6

## **Contenido**

Capítulo 1	
Introducción.....	1
Capítulo 2	
2.1 Definición del problema de investigación .....	3
2.1.1 Problemas específicos.....	3
2.2 Preguntas de investigación.....	4
2.3 Hipótesis.....	4
2.4 Objetivos.....	4
2.4.1 Objetivos generales.....	4
2.4.2 Objetivos específicos .....	4
2.5 Justificación .....	4
Capítulo 3	
Estado del arte .....	6
Capítulo 4	
Marco teórico.....	8
4.1 Secuencia de operaciones y taller flexible (Job Shop) .....	8
4.2 Planeación y control de la producción.....	8
4.2.1 Programa maestro de producción .....	9
4.2.2 Plan agregado de producción .....	10
4.2.3 Funciones del control de producción .....	10
4.3 Inventarios .....	11
4.3.1 Control de inventarios.....	12
4.3.2 Clasificación de inventarios .....	13
4.4 Demanda .....	13
4.4.1 ¿Por qué es necesario pronosticar?.....	14
4.5 Series de tiempo.....	14
4.5.1 Componentes de series de tiempo.....	14
4.5.2 Promedios móviles y métodos de atenuación.....	15
4.5.3 Promedios simples .....	16
4.5.4 Promedios móviles .....	16
4.5.5 Promedio móvil doble.....	17



4.5.6 Método de atenuación exponencial .....	18
4.5.7 Atenuación exponencial doble (Método de Brown).....	19
4.5.8 Atenuación exponencial ajustada a la tendencia (Método de Holt).....	19
4.5.9 Atenuación exponencial ajustada a la tendencia y a la variación estacional: Modelo de Winter .....	21
4.6 Métricas de validación.....	22
Capítulo 5	
Metodología propuesta.....	24
5.1 Descripción de la metodología propuesta.....	24
Capítulo 6	
Experimentación.....	27
6.1 Pronóstico de la demanda .....	33
6.2 Job Shop y simulación del sistema actual.....	39
Capítulo 7	
Conclusiones.....	53
Bibliografía.....	57

## Índice de Tablas

Producción de la línea 1 .....	28
Producción de la línea 2 .....	28
Producción de la línea 3 .....	29
Producción de la línea 4 .....	30
Producción de la línea 5 .....	31
Tiempos de preparación de materia prima .....	32
Tanques de preparación y sus capacidades.....	32
Tanques de almacenamiento y sus capacidades .....	33
Datos históricos de limpiador multiusos año 2012 .....	34
Datos históricos de limpiador multiusos año 2013 .....	35
Resumen de métricas limpiador multiusos .....	38
Resumen de métricas limpiador pino .....	38
Resumen de métricas de shampoo .....	39
Resumen de métricas suavizante .....	39
Comparación de estándares .....	43
Tanques de preparación para producto pino utilizados en simulación .....	44
Tanques de almacenamiento para producto pino utilizados en simulación .....	45
Líneas de producción de pino y estándares de producción .....	45

## Índice de Figuras

Actividades de un sistema de planeación y control de la producción .....	9
Metodología propuesta para el control de la producción .....	24
Materiales, productos y procesos seguidos en línea 1 .....	27
Materiales, productos y procesos seguidos en línea 2 .....	28
Materiales, productos y procesos seguidos en línea 3 .....	29
Materiales, productos y procesos seguidos en línea 4 .....	30
Materiales, productos y procesos seguidos en línea 5 .....	31
Promedio móvil para datos de limpiador multiusos .....	36
Suavización exponencial simple para datos de limpiador multiusos .....	36
Suavización exponencial doble para datos de limpiador multiusos .....	37
Método de Winters aditivo para datos de limpiador multiusos .....	37
Método de Winters multiplicativo para los datos de limpiador multiusos .....	38
Diagrama de Gantt de operaciones acomodo en base orden de llegada .....	40
Tiempo final de operaciones base experiencia (Makespan) .....	41
Comparación estándar de planta y estándar de simulación línea 1 .....	42
Resumen de estándares obtenidos mediante simulación .....	42
Modelo de simulación para pino .....	44
Simulación de producción de pino .....	45
Resultados de simulación de pino y totales .....	46
Conexiones del área de envasado parte I .....	47
Conexiones del área de envasado parte II .....	47
Área de envasado sin conexiones parte I.....	48
Área de envasado sin conexiones parte II .....	48
Área de envasado según Job Shop .....	49
Resultados de área de envasado según Job Shop .....	49
Sistema simulado final de producción .....	50
Resumen de línea 1 .....	51
Total de líquidos línea 1 y línea 2 .....	51
Total de líquidos línea 3, línea 4 y línea 5 .....	61
Modelo 3D área de envasado .....	62

# Capítulo 1

## Introducción

El diseño del proceso establece el modo en el que se desarrollarán las actividades por parte de la empresa en función de qué operaciones realizar para la elaboración de un producto o un conjunto de productos, seleccionando las tecnologías a utilizar y qué cantidad de recursos productivos estarán a la disponibilidad para su uso.

Es de importancia el diseño del proceso ya que al centrarnos en la etapa de diseño del producto, no se relaciona con qué máquinas se estará produciendo, el personal etc., sólo en esta etapa se visualiza cómo será el producto a diseñar.

El procedimiento general que toda empresa debe seguir al establecer el diseño del proceso productivo suele empezar con involucrar todos los departamentos en el establecimiento de los pasos que se deben seguir para la creación del producto, involucrando las máquinas, personal y herramental, para realizar la transformación de la materia prima en un producto que será introducido al mercado.

El haber visualizado en términos generales todo lo necesario para llevar a cabo el producto final, se pasará a la etapa de producción del mismo, en esta etapa se debe ser cuidadoso con los costos implicados, los recursos, la mano de obra, en fin con los recursos con los que se cuenta para un máximo rendimiento de la planta, ya que se tienen que satisfacer tanto a los clientes como a la empresa, para los clientes brindándoles satisfacción de un producto que cumpla con sus necesidades y para la empresa en cuestión de utilización de recursos y minimización de costos.

Para que todo esto llegue a ser cumplido la empresa requiere de un plan de control de la producción, que le ayude a tener un buen manejo de los recursos para beneficio mutuo de cliente-empresa. Para seleccionar algún plan de producción, debe ser conocido el volumen de producción, esto es la estimación de la demanda, la cual comúnmente las empresas la obtienen por un pronóstico de sus datos históricos y así poder tener una idea de cuánto tendrán que producir en ciertos periodos, además, con esta estimación podrán verificar si la empresa cuenta con los recursos necesarios (personal, maquinaria, materia prima, etc.) para cumplirla.

El plan establecido de control de producción deberá ser establecido también conforme a la demanda predicha, en el cual existen dos tipos: tipo "pull" y "push", el primero es la demanda que le exijan a la empresa y el segundo es que la empresa produce independientemente de la demanda exigida, entonces el tipo de proceso productivo que se seleccione deberá cumplir con los planes de la estrategia de operaciones establecida, reducción de inventarios, además de eliminar tiempos muertos de producción que podrían emplearse para que el operario realice alguna otra actividad, todo esto sin descuidar la calidad del producto, otro problema que se presenta en la línea de producción es el trabajo en proceso (WIP por sus siglas en inglés) el cual incluye al conjunto de productos no terminados que ocupan cierto espacio, es decir, están en inventario temporal, lo cual

nos genera costos extra y tiempo, esto generalmente sucede en productos que están compuestos por otros productos terminados y que tardan más tiempo si son traídos por un proveedor externo a la empresa.

La selección del tipo de sistema (pull o push) y tipo de producto a fabricar (dependiente o independiente) decidirá el rumbo al cual la empresa tendrá que acoplar un plan de control de la producción. Además existe más competencia y la introducción de metodologías como justo a tiempo (JIT just in time por sus siglas en inglés) se ha vuelto ya demandante para cumplir con las exigencias del cliente en tiempo y forma, por esta razón las industrias deben basarse en producir de acuerdo a la demanda del cliente (Ferrer, 2013).

Por otra parte, en la producción existen clasificaciones a las cuales se pueden acoplar las industrias, por ejemplo, hay empresas que prefieren trabajar por proyecto, es cuando se obtienen pocos productos en un largo período de fabricación, por lotes es cuando se obtienen productos en una cantidad grande, o continua cuando se obtienen siempre los mismos productos (A. Giudice & M. Pereyra, 2005).

Así, en la empresa siempre se debe tener una buena distribución de las actividades para el tipo de producción al que decidan trabajar como se mencionó anteriormente. si decide trabajar en producción por proyecto, por lote o continua, la distribución asegurará que tengan un seguimiento adecuado y una fluidez en sus operaciones, si no están de manera adecuada para el proceso se tendrá que hacer una redistribución de los recursos para evitar cuellos de botella. Si la reasignación no se ve reflejada en beneficios para la empresa existen más opciones para poder agilizar el proceso, como lo son el tener un control de proceso que nos ayude a maximizar el rendimiento de los recursos disponibles y al mismo tiempo cumplir con la demanda establecida. Al contar con un plan de control de la producción se asegurarán el correcto uso de los recursos, con costos mínimos tanto de producción, como de inventarios y además una buena asignación de recursos para las empresas. Por tal motivo, en este documento se plantean algunos de los beneficios de que la empresa tenga el conocimiento de su demanda y capacidad instalada, para que de esta manera tenga una mejor utilización de sus recursos.

## Capítulo 2

### 2.1 Definición del problema de investigación

En los sistemas productivos es de gran importancia la determinación de cómo se va a producir, en qué cantidades y cuándo, debido a que las empresas tienen que estar preparadas ante la demanda que se les presente, por lo tanto la empresa debe tener un plan de producción con el cual contar para disminuir los problemas en la producción, y así no incumplir con los clientes.

Los problemas que podrían presentarse son:

- Tiempo muerto tanto para el operario como para la máquina
- Se tiene inventario en espera (WIP)
- Tener periodos improductivos por máquinas detenidas
- Costos por desperdicio
- Inventarios (altos o bajos)
- Paro en la producción
- Mal uso o uso ineficiente de los recursos

El proyecto se aplica en una empresa de productos químicos de limpieza, la cual empezó a tener un crecimiento inesperado y que conforme a ese crecimiento se deseaba saber qué capacidad instalada sería la indicada para poder cumplir las demandas futuras, debido a que con este crecimiento quedaba la interrogante de si la empresa tendría que hacer algunos movimientos para cumplir con esas demandas a corto plazo. Por lo tanto era necesario establecer un plan para saber qué producir y de qué manera, esto en conjunto con la capacidad instalada que se tenía.

Debido a este crecimiento, la empresa desea saber si con la capacidad instalada que cuenta actualmente es la adecuada para cumplir con las demandas futuras.

La empresa cuenta con once tanques de preparación (reactores), donde se preparan los diferentes químicos de limpieza, que posteriormente son almacenados en 23 tanques de almacenamiento que abastecen a cinco líneas de producción.

#### 2.1.1 Problemas específicos

- No se cuenta con un método de determinación de la capacidad.
- No se sabe si la oferta vigente será suficiente para cumplir con la producción.
- Se desconoce si la capacidad actual será la adecuada para cumplir con la producción.

Por tal motivo nos cuestionamos lo siguiente:

## **2.2 Preguntas de investigación**

- ¿Qué demanda podría esperar la empresa con este crecimiento?
- ¿Qué método será idóneo para el cálculo de la demanda futura?
- ¿Podrá el taller flexible (Job Shop) realizar la representación adecuada del sistema actual?
- ¿Esa producción de litros será suficiente para cumplir la demanda pronosticada?
- ¿Qué factores no son contemplados en el taller flexible?
- ¿Por qué motivo no contempla dichos factores?
- ¿Qué método podrá tomar en cuenta recursos que Job Shop no pudo?
- ¿La simulación podrá identificar los factores faltantes que el método de taller flexible no pudo contemplar ?

## **2.3 Hipótesis**

H1 – Mediante Job Shop podrá ser adecuada la representación del sistema actual.

H2 – El modelo podrá ser representado de manera matemática, adecuando cada uno de los factores con los que el sistema actual cuenta.

H3 – Mediante el uso de la simulación podrá realizarse una correcta representación del sistema actual de producción, contemplando cada uno de los factores.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo General**

Determinar la capacidad instalada de la empresa.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

- Pronosticar la demanda.
- Verificar estándares de producción.
- Simular el sistema actual.
- Identificar los factores que no son contemplados en el taller flexible.
- Validar la simulación.
- Realizar la simulación con los cambios generados.

## **2.5 Justificación**

La empresa debe tener siempre un control de sus recursos, tanto de los que se reciben y como de los que se entregan finalmente, teniendo en cuenta lo que inicialmente se recibió y que el producto resultante deje en la empresa un costo mínimo de los recursos utilizados. Al tener un desperdicio mínimo de recursos y de inventario dejará una ganancia a la empresa.

El control de la producción establece desde la demanda del cliente, la situación actual de la empresa, capacidad productiva, demanda futura, entre muchas más cosas.

En pocas palabras el control de la producción nos beneficia en utilizar al máximo los recursos pero a su vez minimiza los costos, como lo son: mano de obra, materia prima, tiempos muertos (máquina u hombre), inventario (en proceso, exceso o faltante), etc.

Algunos beneficios que tiene el control de la producción son los siguientes:

- Organización en la producción
- Se controla el consumo de materias primas
- Se controla el tiempo trabajado por operario
- Se verifican las cantidades producidas

En el siguiente capítulo se hará una revisión de la literatura relacionada a los sistemas de producción, donde varios autores describieron problemáticas que se tenían en base a la producción y la manera en como las resolvieron.



## Capítulo 3

### Estado del arte

Piñeros (2013) aplicó la planeación de requerimiento de material (MRP) en una empresa que producía impermeables para el abastecimiento de sus almacenes, el producto elegido fue el impermeable amarillo que era el más adecuado debido a la temporada, este artículo se elaboraba en rollos de 20 metros, se calculó su demanda por semana para abastecimiento. Se obtuvo una planificación de aprovisionamiento mejorando la toma de decisiones, así pudiendo dejar de lado las decisiones sin bases. El MRP facilitó el manejo de inventarios, aseguró la satisfacción del cliente, disminuyó el inventario, redujo las horas extras de trabajo, incrementó la productividad y planificó la cadena de abastecimiento.

González et al., (2012) destacaron el trabajo de varios autores en los cuales era común el tema sobre control de procesos, propusieron una división para los diferentes sistemas en tres categorías: sistemas sencillos, sistemas compuestos y sistemas híbridos, los primeros son los más básicos y generales (Conwip DBR), los segundos eran combinaciones de los sistemas sencillos (Kanban Dual kanban), y los últimos eran combinaciones de los sistemas sencillos con los sistemas compuestos (GPOLCA COBACA BANA). En estos trabajos se usaban los sistemas tipo pull y tokens o tarjetas de control. Presentó una clasificación de 18 sistemas tipo pull, en cada tipo de sistema se estudiaron sus principios básicos, la estrategia de control y los parámetros que afectan su rendimiento. Tiene como propósito facilitar la comprensión de las diferentes propuestas. Como conclusión se estableció que pueden ser implementados fácilmente en los talleres de producción, a pesar de esto menciona que los sistemas basados en tarjetas de control siguen estando abiertos a mejoras ya que algunas veces su aplicación puede volverse muy complicada debido a ciertos factores de los procesos.

Dada la importancia en los modelos de inventarios (Gutiérrez & Vidal, 2008) Realizaron una revisión de los modelos de gestión para el diseño de políticas de inventarios de productos terminados y de materias primas en cadenas de abastecimiento, teniendo en cuenta la variabilidad de la demanda y los tiempos de suministro. La revisión se clasifica en cuatro secciones: (1) modelos de aleatoriedad de la demanda, (2) modelos de aleatoriedad de los tiempos de suministro, (3) modelos de políticas de inventarios y (4) modelos integrados para la gestión de inventarios. Uno de los problemas típicos es la existencia de exceso y faltantes, este problema se le conoce como desbalanceo de los inventarios. Finalmente se hizo la revisión en forma de tablas de cada una de las clasificaciones con las metodologías utilizadas, herramientas y aplicaciones si se llevó a una aplicación o no, los autores afirman que la aleatoriedad de la demanda ha sido ignorada por la industria.

Bhatnagar et al., (1993) discutieron que debe de haber cierta atención en la coordinación de la planeación de la producción cuando hay múltiples plantas e identificaron los aspectos que deben considerarse para determinar las decisiones de producción e inventarios para las diferentes plantas, de modo que se logró un óptimo global. En este contexto los autores clasifican la investigación de los aspectos a tener en cuenta en tres categorías: (1) planeación de la producción y abastecimiento, (2) planeación de producción y distribución y (3) la planeación y distribución de los inventarios.

Crama et al., (2001) investigaron la literatura de metodologías de planeación, con el objetivo de resaltar las diferencias y similitudes entre los aspectos y los modelos que surgen en distintos ambientes productivos y tener un mejor conocimiento de las situaciones que pueden presentarse en los sistemas de manufactura. El aporte que hacen los autores es en las políticas de inventarios, se centraron en la discusión de las dificultades encontradas en la implementación de técnicas de control.

Al-Jawini & Savsar (1995) presentaron el resultado de un modelo de simulación encargado de analizar el sistema de producción. El modelo de simulación fue usado para llevar a cabo diferentes experimentos; en particular se verifican los tiempos de procesamiento y variabilidad de la demanda, la longitud de la línea, los niveles de trabajo en proceso y utilización de estaciones. Los efectos de diferentes factores operativos en las medidas de desempeño se evalúan en base a la suposición de que los tiempos de procesamiento se distribuyen según distribuciones de probabilidad. Al realizar la nueva simulación se comparó con la anterior.

Posteriormente Wang et al., (2011) desarrollaron una metodología de simulación de datos impulsada para modelar automáticamente un sistema de producción y rápidamente modificar el modelo correspondiente a los requisitos dinámicos e información en tiempo real. Esta metodología proporciona un "prototipado rápido", que permite una capacidad de análisis y remodelación rápida para responder a la fluctuación de la demanda. El enfoque fue desarrollado y aplicado a una planta de ensamblaje de automóviles con un sistema de manejo de materiales en línea. Se analizaron los principales módulos de montaje y sistema de manejo de materiales de la planta, el simulador implementado fue el ARENA. La implementación de la simulación dio como resultado una mejor capacidad de respuesta y la flexibilidad de la línea de producción.

En un caso parecido Lin & Chen, (2015) presentaron un enfoque de optimización de simulación para un problema de programación en una planta de montaje de semiconductores. La complejidad del problema se determinó con base en las características de oferta y demanda. La demanda varía con órdenes caracterizadas por diferentes cantidades, tipos de productos y los tiempos de liberación. El objetivo es lograr el tiempo de flujo mínimo factible, la determinación óptima de la línea y el tipo de máquina en cada etapa para cada orden. El enfoque incluye un modelo de simulación para la evaluación del rendimiento, una estrategia de optimización con la aplicación de un algoritmo genético, y una técnica de aceleración a través de una asignación del presupuesto de computación óptima. Por otra parte el análisis de escenarios de los diferentes niveles de la demanda, la mezcla de productos, y mucho dimensionamiento se realiza para revelar la ventaja de la simulación.

Matsumoto & Ikeda (2015) aplicaron series de tiempo para análisis su eficacia en el pronóstico de auto partes de re manufactura, los re-manufacturadores independientes no siempre tienen información precisa sobre la distribución del tiempo de las nuevas ventas de productos, y en este caso, se necesita un enfoque diferente. Sobre la base de estos antecedentes, este estudio examinó la eficacia de series temporales. Se utilizaron 11 años de proyecciones de 400 tipos de alternadores re-manufacturados y entrantes, en donde las series de tiempo dieron como resultado un error promedio del 27.2%. Si los datos no eran estables las series de tiempo disparaban el error muy alto, pero al ser estos datos estables los errores fueron entre 10% y menos de 30%, errores aceptables.

# Capítulo 4

## Marco teórico

### 4.1 Secuenciación de operaciones y taller flexible (Job Shop)

Toda empresa que conoce la cantidad de producción que es demandada para procesar puede desarrollar programas para la manufactura, que permitan a la compañía alcanzar un pleno rendimiento: que la producción se abarate enormemente; que no sea necesario mantener grandes stocks en tiempos excesivos; que el capital se economice, en general que aumente la eficacia.

La planificación es un proceso complejo, en el que hay que tener en cuenta muchos factores y considerar ciertos objetivos. Por esta razón no es posible tenerlos en cuenta a la vez, por eso se consideran diferentes niveles de planificación relacionados entre sí, con distintos niveles de detalle, y plazos de tiempo para llevarlos a cabo.

La secuenciación de operaciones forma parte del nivel de planificación a corto plazo y principalmente, es una rama de la optimización combinatoria que ha desarrollado su propia metodología utilizando herramientas matemáticas y computacionales variadas: donde el objetivo es encontrar una secuencia óptima para la ejecución de unos trabajos y sus respectivas operaciones en las máquinas o recursos disponibles limitados, la optimalidad de la secuencia depende de la función objetivo.

Job Shop es un problema de optimización combinatoria, en el cual se asignan recursos limitados a tareas con la finalidad de resolver uno o varios objetivos del problema en curso.

Cada tarea puede tener diferentes niveles de prioridad o tiempos diferentes de inicio, eso ya depende de cada empresa. Lo que comúnmente las empresas desean reducir es el tiempo de término de operación o también llamado (makespan), ya que al reducir este tiempo se reducen ciertos costos para beneficio de la empresa. El Job Shop puede ser un problema difícil, de hecho es catalogado como un problema NP-Hard, debido a que si se considera trabajos ( $n$ ) y máquinas ( $m$ ) y sabiendo que en estas pueden ser utilizadas para diferentes trabajos, el problema crecería a una razón de  $(n!^m)$  de posibles combinaciones, esto llega a ser complicado de trabajar, y sería aún más complicado si se asignan más máquinas y más trabajos, esto llevaría a que las combinaciones aumentarían en gran manera.

### 4.2 Planeación y control de la producción

La planeación y control de la producción son las funciones de apoyo a la manufactura que abordan los problemas logísticos en la fabricación. Con la planeación de la producción se determina qué productos van a producirse, en qué cantidades y cuándo; para esto deben ser considerados los recursos con los que ya cuenta la empresa para poder realizar un plan adecuado, por esta razón el control de la producción ayuda a determinar esto y así poder ejecutar el plan, y si no es así, realiza la acción necesaria para corregir la deficiencia.

El ámbito de la planeación de la producción incluye el control de inventarios, que se encarga de tener niveles de existencias adecuados de materias primas, trabajo en proceso y artículos terminados.

Los problemas de planeación y control de la producción difieren en los tipos de manufactura, por un lado se tiene:

**Producción en un taller:** en esta clasificación de manufactura se producen muchos tipos y diferentes productos, en cantidades bajas. Con frecuencia los productos son complejos y cada uno debe pasar por varias operaciones.

Y por otra parte se encuentra:

**Producción masiva:** En esta clasificación de manufactura se produce un solo producto en cantidades muy grandes (millones de unidades).

El control de la producción se refiere esencialmente a la cantidad de fabricación de artículos y vigilar que se haga como se planeó, es decir, a la verificación para que se cumpla con lo planeado. El control de la producción tiene que establecer medios para una continua evaluación de ciertos factores: la demanda del cliente, la situación de capital, la capacidad productiva, etc. Esta evaluación deberá tomar en cuenta no solo el estado actual de estos factores sino que deberá también proyectarlo hacia el futuro.

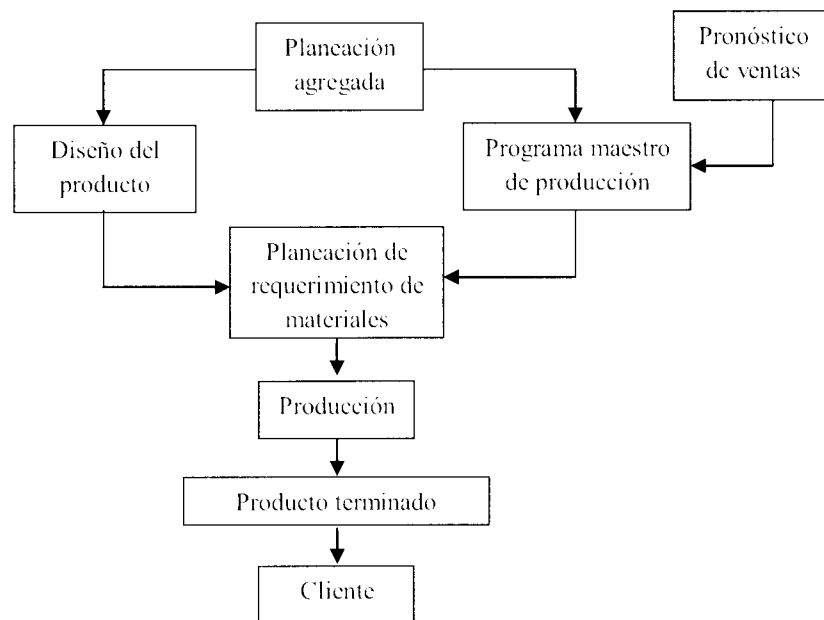


Figura 4.1. Actividades de un sistema de planeación y control de la producción

#### 4.2.1 Programa maestro de producción

Toda compañía debe tener un plan de producción, el cual debe incluir el tipo, la cantidad y el momento en que se fabricarán los productos. El plan de manufactura debe considerar los pedidos

actuales y los pronósticos de ventas, los niveles de inventarios y la capacidad de la planta. Se tienen que crear diversos planes de negocio los cuales se dividen en 3:

- **Planes a largo plazo:** que se refieren a un horizonte de tiempo que está a más de un año de distancia.
- **Planes a mediano plazo:** que se relacionan con los periodos de seis meses a un año en el futuro.
- **Planes a corto plazo:** que consideran horizontes en el futuro cercano, como días o semanas.

La planeación a largo plazo es responsabilidad de los ejecutivos de máximo nivel de la compañía. Esto se refiere a las metas y estrategias de la corporación, las líneas de producción futuras, la planeación financiera para el futuro y la obtención de recursos (de personal, de instalaciones y de equipo) necesarios que tendrá la empresa. En el nivel de mediano plazo están el plan agregado de producción y el programa maestro de producción. En el corto plazo están la planeación de requerimientos de materiales y de la capacidad y la programación detallada de los pedidos.

El plan maestro de producción enlista los productos que se van a fabricar, cuándo deben terminarse y en qué cantidades. Los productos enlistados en el programa maestro por lo general se dividen en tres categorías (1) pedidos de clientes de la compañía, (2) demanda pronosticada y (3) piezas de repuesto.

- **Pedidos de clientes de la compañía:** la petición o solicitud de productos específicos por parte de los clientes obligan a la compañía a cumplir con una fecha de entrega que el departamento de ventas le promete a un cliente.
- **Demanda pronosticada:** consiste en los niveles a producir basados en la demanda pronosticada, en la cual se aplican técnicas de predicción estadística como lo son las series de tiempo, éstas son una técnica que se basa en patrones anteriores de demanda estimados por la empresa.
- **Piezas de repuesto:** es la solicitud de piezas que son componentes individuales y/o piezas para reparación que se van a almacenar en el departamento de servicio de la empresa.

#### **4.2.2 Plan agregado de producción**

Se indican los niveles de resultados de producción para las principales líneas de productos y no para productos específicos. Debe coordinarse con los planes de ventas y mercadotecnia de la compañía y considerar los niveles actuales de inventarios. Por lo tanto la planeación agregada es una actividad de planeación corporativa de alto nivel, aunque los detalles del proceso de planeación se delegan al personal.

#### **4.2.3 Funciones del control de producción.**

- Pronosticar la demanda del producto, indicando la cantidad en función del tiempo.
- Comprobar la demanda real, compararla con la planteada y corregir los planes si fuera necesario.
- Establecer volúmenes económicos de partidas de los artículos que se han de comprar o fabricar.
- Determinar las necesidades de producción y los niveles de existencias en determinados puntos de la dimensión del tiempo.
- Comprobar los niveles de existencias, comparándolas con los que se han previsto y revisar los planes de producción si fuere necesario.

- Elaborar programas detallados de producción y
- Planear la distribución de productos.

La programación de la producción dentro de la fábrica y la conservación de la existencia constituyen el medio central de la producción. El proceso de fabricación está constituido por corriente de entrada de materiales que se utilizan en el producto; y la operación que abarca la conversión de la materia prima (empleado, equipo, tiempo, dinero, dirección, etc.) en producto acabado que constituye el potencial de salida.

### **4.3 Inventarios**

Los inventarios son recursos utilizables que se encuentran almacenados para su uso posterior en un momento determinado, algunos autores los definen simplemente como bienes ociosos almacenados en espera de ser utilizados, también como un activo corriente de vital importancia para el funcionamiento de la empresa (Eppen et al. 2000).

#### *Ventajas y desventajas de los inventarios:*

##### **Ventajas**

- Reducir costos de pedir.  
Al pedir un lote de materias primas de un proveedor, se incurre en un costo para el procesamiento del pedido, el seguimiento de la orden, y para la recepción de la compra. Al producir mayor cantidad de lotes, se mantendrán mayores inventarios, sin embargo se harán menos pedidos durante un período determinado de tiempo y con ello se reducirán los costos anuales por pedir.
- Reducir los costos por material faltante.  
Al no tener material disponible en inventario para continuar con la producción o satisfacer la demanda del cliente, se incurre en costos. Para poder tener una protección se puede mantener un inventario adicional, conocido como inventario de seguridad.
- Reducir costos de adquisición .  
Para productos terminados, los tamaños de lote más grande incrementan los inventarios en proceso, y de productos terminados, sin embargo los costos unitarios promedio pudieran resultar inferiores debido a que los costos por maquinaria y tecnología se distribuyen sobre lotes más grandes.

##### **Desventajas**

- Costo de almacenaje.  
Entre costos en los que se incurren para almacenar y administrar inventarios se encuentran: alquiler de almacén, acondicionamiento, calefacción, iluminación, limpieza, mantenimiento, recepción, manejo de materiales, impuestos, seguros, administración entre otros.
- Costos por reducción en la capacidad.

Los materiales pedidos, conservados y producidos antes que sean necesarios desperdician capacidad de producción.

- Costos por productos defectuosos en lotes grandes.  
Cuando se producen lotes grandes se obtienen inventarios grandes. Cuando un lote grande sale defectuoso se almacenan grandes cantidades de inventario defectuoso. Los lotes de menor tamaño pueden reducir la cantidad de materiales defectuosos.

Finalmente se puede definir el término inventario como la existencia de todo producto o artículo que se utiliza dentro de una organización.

Los inventarios comprenden:

- Las materias primas.
- Productos en proceso.
- Productos terminados.
- Los materiales, repuestos y accesorios para ser consumidos en la producción

Al llegar a manejar un número importante de productos o variedad de un mismo producto, una empresa por regla general necesitará conocer de manera veraz y oportuna las cantidades de materias primas, productos en proceso o productos terminados de las que puede disponer.

#### **4.3.1 Control de inventarios**

Se refiere a obtener un equilibrio entre dos objetivos opuestos: (1) minimizar el costo de mantener un inventario y (2) maximizar el servicio a los clientes.

Los costos de inventario incluyen los costos de inversión, de almacenamiento y de las obsolescencias o daños posibles. Con frecuencia el costo de inversión es el más importante; llamado costo por mantener inventarios. Las compañías pueden minimizar esos costos si mantiene su inventario en cero, sin embargo se atiene a otro problema que podría surgir, el que no esté preparado para los pedidos que hagan los clientes, esto genera costo de faltantes.

Las categorías de mayor interés en la planeación y control de la producción son las materias primas, el inventario en proceso (trabajos en proceso) y los productos terminados.

Conforme a los productos se tiene que tomar en cuenta los artículos que están sujetos a una demanda independiente y los que están sujetos a una demanda dependiente.

- ***Demanda independiente:***  
Significa que el consumo del artículo no se relaciona con la demanda de otros artículos. Los clientes adquieren los productos finales de manera más rápida.
- ***Demanda dependiente:***  
Se refiere a un artículo que se relaciona con la demanda de algún otro, debido a que el artículo es un componente del producto final. Por lo general estos productos son más tardados en su fabricación, por ejemplo los automóviles que dependen de otros componentes para ser un producto final.

### 4.3.2 Clasificación de inventarios

- ***Inventario inicial:***  
Es el que se realiza al dar comienzo las operaciones
- ***Inventario final:***  
Es aquel que realiza el después de efectuadas todas las operaciones mercantiles de dicho pedido.
- ***Inventario de productos terminados:***  
Todas las mercancías que un fabricante ha producido para vender.
- ***Inventarios en tránsito:***  
Existen porque el material debe de moverse de un lugar a otro, mientras el inventario se encuentra en camino, no puede tener una función útil, existe exclusivamente por el tiempo de transporte.
- ***Inventario en línea:***  
Es aquel inventario que aguarda a ser procesado en la línea de producción.
- ***Inventario agregado:***  
Se aplica cuándo al administrar las existencias de un único artículo representa un alto costo, para minimizar el impacto del costo en la administración del inventario, los artículos se agrupan ya sea en familias u otro tipo de clasificación de materiales.
- ***Inventario de seguridad:***  
Son aquellos que existen en un lugar dado de la empresa cómo resultado de incertidumbre en la demanda u oferta de unidades en dicho lugar. Se utilizan para prevenir faltantes debido a fluctuaciones inciertas de la demanda.

### 4.4 Demanda

La demanda es la cantidad de un bien que los compradores quieren y pueden comprar en cada circunstancia posible (Mankiw, 2012). La demanda como el autor la describe es todo bien que la empresa ofrece a los clientes o consumidores y que ellos adquieren en grandes o pequeñas cantidades, esto también depende de a qué mercado la empresa dirige sus productos, sea un mercado global o mercado específico.

Existen determinantes de la demanda, aquí se aprecia que es lo que influye para que el cliente adquiera el producto:

- Precio.
- Precio de los productos relacionados.
- Preferencias o gustos del cliente.
- Expectativas que tiene el cliente del producto.



- Tamaño del mercado.

Existen maneras de calcular la demanda una forma es, si la empresa no tiene datos históricos deben de realizar un estudio de mercado y así obtener su demanda, pero si la empresa cuenta con datos históricos, otra forma conveniente es utilizar las series temporales (series de tiempo).

#### **4.4.1 ¿Por qué es necesario pronosticar?**

La respuesta a esta pregunta es que todas las organizaciones operan en una atmósfera de incertidumbre y que, a pesar de este hecho, se deben tomar decisiones que afectan el futuro de la organización.

Un pronóstico intuitivo no es malo, sino que tiene que complementarse con una técnica de pronóstico para complementar ese sentido común, en conjunto con la capacidad administrativa para la toma de decisiones.

Cuando el pronóstico se realiza con métodos de juicio a menudo es considerablemente más alto que cuando se utilizan métodos cuantitativos. El pronóstico ideal es aquel que mezcla las técnicas de un buen juicio con las técnicas de pronóstico cuantitativas.

#### **4.5 Series de tiempo**

Las series de tiempo son una colección de observaciones hechas secuencialmente a través del tiempo (Chatfield, 2000).

Las aplicaciones que tienen las series de tiempo son diversas, estas incluyen:

- Planeación de la economía
- Pronóstico de ventas.
- Control de inventario.
- Planeación de la capacidad y producción.
- La evaluación de estrategias económicas alternativas.
- Elaboración de presupuestos.
- Gestión de servicios financieros.

Un modelo de series de tiempo proporcionará las previsiones de nuevas observaciones futuras que puedan comprobarse contra lo que es realmente observado.

##### **4.5.1 Componentes de series de tiempo**

La tendencia de una serie de tiempo es el componente de largo plazo que representa el crecimiento o disminución en la serie sobre un período amplio.

El componente cíclico es la fluctuación en forma de onda alrededor de la tendencia, afectada por lo regular por condiciones generales. Los patrones cíclicos tienden a repetirse en los datos aproximadamente cada dos, tres o más años.

El componente estacional se refiere a un patrón de cambio que se repite a sí mismo año tras año.

El componente aleatorio mide la variabilidad de las series de tiempo después de que se retiran los otros componentes. Contabiliza la variabilidad aleatoria de una serie de tiempo ocasionada por factores imprevistos y no recurrentes.

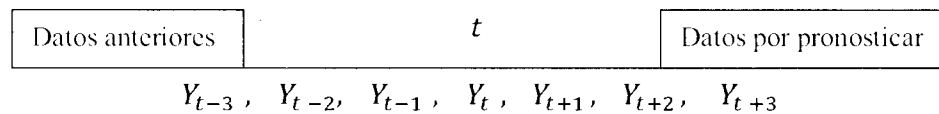
#### 4.5.2 Promedios móviles y métodos de atenuación

Hay tres tipos de técnicas de pronóstico: no formales, de promedios y de atenuación, las cuales se describen a continuación.

Los métodos no formales se emplean para desarrollar modelos sencillos que suponen que los periodos recientes son los mejores pronosticadores del futuro.

Los métodos de promedio se desarrollan con base en un promedio de observaciones ponderadas.

Los métodos de atenuación se basan en promedios de valores anteriores de una serie en una forma decreciente (exponencial).



Dónde:

$Y_t$  = Es la observación más reciente de una variable

$Y_{t+1}$  = Es el pronóstico de un período en el futuro

$Y$  se puede mirar hacia atrás sobre observaciones pasadas de la variable de interés ( $Y_t$ ) o hacia adelante en el futuro. Una vez seleccionada la técnica de pronóstico, ésta se ajusta a los datos conocidos, y se obtienen los valores de pronóstico ( $\hat{Y}_t$ ). Ya que se tienen disponibles los valores de pronóstico, se pueden comparar con las observaciones conocidas y se puede calcular el error del pronóstico.

Una estrategia típica para la evaluación de métodos de pronóstico comprende los siguientes pasos:

- 1.- Se elige un método de pronóstico con base a la tendencia y con respecto al patrón de datos.
- 2.- Se divide el conjunto de datos en dos secciones, una parte de inicialización y una parte de prueba.
- 3.- Se emplea la técnica de pronóstico elegida para desarrollar valores ajustados para la parte de inicialización de los datos.
- 4.- Se utiliza la técnica de pronosticar la parte de prueba y se determina y evalúa el error de pronóstico.

5.- Se toma una decisión. La decisión pudiera ser la de emplear la técnica en su forma actual, modificarla, o desarrollar un pronóstico mediante otra técnica y comparar los resultados.

#### 4.5.3 Promedios simples

Los datos históricos se pueden atenuar en muchas formas. El objetivo consiste en usar datos anteriores para desarrollar un modelo de pronóstico para períodos futuros. Al igual que en los métodos no formales, se toma una decisión para utilizar los primeros  $t$  puntos de datos como la parte de prueba. La ecuación que se usa a continuación se utiliza para promediar (calcular la media) de inicialización de los datos y para pronosticar el siguiente período.

$$\hat{Y}_{t+1} = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{n} \quad (4.1)$$

Por último, se determinan los errores de pronóstico y se toma una decisión con respecto a lo adecuado de la técnica de pronóstico.

"Un promedio simple se obtiene encontrando la media de todos los valores pertinentes y usando después esta media para pronosticar el siguiente período".

#### 4.5.4 Promedios móviles

El método de promedio simple usa, para pronosticar, la media de todos los datos. Pero, ¿Qué sucede si el analista está más interesado en las observaciones recientes? se puede especificar como conjunto un número de puntos de datos y calcular la media para las observaciones más recientes. Para describir este enfoque, se emplea el término promedio móvil. Al estar disponible cada nueva observación, se puede calcular una nueva media eliminando el valor más antiguo e incluyendo el más reciente.

Entonces, se usa este promedio móvil para pronosticar el siguiente período. La siguiente ecuación establece el modelo simple de promedio móvil

$$M_t = \hat{Y}_{t+1} = \frac{(Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-n+1})}{n}, \quad (4.2)$$

dónde:

$M_t$  = promedio móvil en el período  $t$

$\hat{Y}_{t+1}$  = valor de pronóstico para el siguiente período

$Y_t$  = valor real de términos en el promedio móvil

Nótese que se asignan ponderaciones iguales a cada observación. Al hacerse disponible cada nuevo punto de datos se incluye en el promedio y se descarta el más antiguo.

Nótese que la técnica de promedio móvil se refiere sólo a los últimos  $n$  períodos de datos conocidos. el modelo de promedio móvil funciona mejor con datos estacionarios. No maneja muy bien la tendencia o la estacionalidad aunque lo hace mejor que el método de promedio simple.

Es frecuente que se utilicen los promedios móviles con datos trimestrales o mensuales para auxiliar el análisis de los componentes en una serie de tiempo. Entre mayor sea el orden de promedio móvil, mayor será el efecto de atenuación. Empleado como un pronóstico, un promedio móvil grande presta poca atención a las fluctuaciones en la serie de datos.

"Un promedio móvil se obtiene encontrando la media de un conjunto específico de valores y empleándolo después para pronosticar el siguiente período".

#### 4.5.5 Promedio móvil doble

Una forma de pronosticar series de tiempo que tienen una tendencia lineal, consiste en utilizar la técnica del promedio móvil doble. El método calcula un conjunto de promedios móviles y después se calcula un segundo conjunto como promedio móvil del primero.

La técnica de promedio móvil doble se resume mediante las siguientes ecuaciones.

Primero, se utiliza la ecuación siguiente para calcular el promedio móvil

$$Y_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-n+1}}{n}, \quad (4.3)$$

Dado que  $M_t = \hat{Y}_{t+1}$ . Entonces se usa la siguiente ecuación para calcular el segundo promedio móvil

$$M'_t = \frac{M_t + M_{t-1} + M_{t-2} + \dots + M_{t-n+1}}{n}, \quad (4.4)$$

La siguiente ecuación se usa para calcular la diferencia entre ambos promedios móviles

$$a_t = 2M_t - M'_t, \quad (4.5)$$

La ecuación (4.6) es un factor de ajuste adicional, similar a la medición de una pendiente que cambia a través de la serie

$$b_t = \frac{2}{n-1} (M_t - M'_t), \quad (4.6)$$

Por último, se utiliza la ecuación (4.7) para realizar el pronóstico de períodos  $m$  en el futuro

$$\hat{Y}_{t+p} = a_t + b_t p, \quad (4.7)$$

Dónde:

$n$  = Número de períodos en el promedio móvil.

$Y_t$  = Valor real de la serie en el período  $t$ .

$p$  = Número de periodos a pronosticar hacia el futuro.

#### 4.5.6 Método de atenuación exponencial

La atenuación exponencial es un método utilizado para revisar constantemente una estimación a la luz de experiencias más recientes. El método está basado en el promedio (atenuación) de valores anteriores de una serie, haciendo esto de forma decreciente (exponencial). Las observaciones se ponderan, asignando mayor peso a las más recientes.

Las ponderaciones empleadas se designan como  $\alpha$  para la observación más reciente,  $\alpha(1-\alpha)$  para la siguiente más reciente,  $\alpha(1-\alpha)^2$  para la segunda ponderación y así sucesivamente.

En forma atenuada, se podría pensar en un nuevo pronóstico (para el periodo  $t+1$ ), como el promedio ponderado de la nueva observación (en el periodo  $t$ ) y el promedio anterior (para el periodo  $t$ ). Se asigna la ponderación  $\alpha$  al nuevo valor observado y  $1-\alpha$  al pronóstico anterior, suponiendo que  $0 < \alpha < 1$ . De esta forma,

$$\text{nuevo pronóstico} = \alpha * (\text{nueva observación}) + (1-\alpha) * (\text{pronóstico anterior})$$

De manera más formal, la ecuación de atenuación exponencial es

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_t, \quad (4.8)$$

dónde:

$\hat{Y}_{t+1}$  - nuevo valor atenuado o valor de pronóstico para el siguiente período.

$\alpha$  - constante de atenuación ( $0 < \alpha < 1$ ).

$Y_t$  - nueva observación o valor real de la serie en el periodo  $t$ .

$\hat{Y}_t$  - valor atenuado anterior o experiencia promedio de la serie atenuada al periodo  $t-1$ .

La atenuación exponencial es el pronóstico anterior ( $\hat{Y}_t$ ) más  $\alpha$  veces el error ( $Y_t - \hat{Y}_t$ ), en el pronóstico anterior.

"La atenuación exponencial es un procedimiento para revisar constantemente un pronóstico a la luz de la experiencia más reciente"

La constante de atenuación  $\alpha$  sirve como el factor para ponderar. El valor real de  $\alpha$  determina el grado hasta el cual la observación más reciente puede influir en el valor del pronóstico. Cuando  $\alpha$  es cercana a 1, el nuevo pronóstico incluirá un ajuste sustancial de cualquier error ocurrido en el pronóstico anterior. Inversamente, cuando  $\alpha$  está cercana a 0, el pronóstico es similar al anterior.

#### 4.5.7 Atenuación exponencial doble (Método de Brown)

También conocida como método de Brown, se usa para pronosticar series de tiempo que tienen una tendencia lineal.

Debido a que los valores de las series no son pronósticos en sí mismos, las ecuaciones de actualización son más comprensibles si se adopta la siguiente notación:

$A_t$  = valor atenuado exponencialmente de  $Y_t$  en el período  $t$ .

$A'_t$  = valor doblemente atenuado exponencialmente de  $Y_t$  en el período  $t$ .

El valor simple atenuado exponencialmente se calcula ahora mediante la ecuación:

$$A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)A_{t-1} \quad (4.9)$$

La siguiente ecuación se usa para calcular el valor doblemente atenuado exponencialmente.

$$A'_t = \alpha A_t + (1-\alpha)A'_{t-1} \quad (4.10)$$

La ecuación (4.11) se emplea para calcular la diferencia entre los valores atenuados exponencialmente

$$a_t = 2A_t - A'_t. \quad (4.11)$$

Así la ecuación (4.12) es un factor adicional de ajuste, similar a la medición de una pendiente que puede cambiar durante la serie

$$b_t = \frac{a}{1-a} (A_t - A'_t). \quad (4.12)$$

Por último la siguiente ecuación (4.13) se usa para formular el pronóstico de  $p$  períodos en el futuro

$$\hat{Y}_{t+p} = a_t + b_t p. \quad (4.13)$$

#### 4.5.8 Atenuación exponencial ajustada a la tendencia (Método de Holt)

Otra técnica que se usa con frecuencia para manejar una tendencia lineal se denomina método de dos parámetros de Holt. La técnica de Holt atenúa en forma directa la tendencia y la pendiente empleando diferentes constantes de atenuación para cada una de ellas. En el enfoque de Brown, sólo se usaba una constante de atenuación y los valores estimados de la tendencia serán muy sensibles a variaciones aleatorias. La técnica de Holt proporcionará mayor flexibilidad al seleccionar las proporciones a las que se rastrearán la tendencia y la pendiente.

Las tres ecuaciones que se utilizan en esta técnica son:

1.- La serie exponencialmente atenuada

$$A_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}). \quad (4.14)$$

2.- La estimación de la tendencia

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}. \quad (4.15)$$

3.- El pronóstico de  $p$  periodos en el futuro.

$$\hat{Y}_{t+p} = A_t + pT_t. \quad (4.16)$$

Donde:

$A_t$  - nuevo valor atenuado.

$\alpha$  = constante de atenuación de los datos ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ).

$Y_t$  - nueva observación o valor real de la serie, en el periodo  $t$ .

$\beta$  = constante de atenuación de la estimación de la tendencia ( $0 \leq \beta \leq 1$ ).

$T_t$  - estimación de la tendencia.

$p$  - periodos a pronosticar en el futuro.

$\hat{Y}_{t+p}$  = pronóstico de  $p$  periodos en el futuro.

La primera ecuación, es muy similar a la ecuación original de atenuación exponencial simple, con excepción de que se incorpora un nuevo término ( $T_t$ ) para la tendencia.

La estimación de la tendencia se calcula tomando la diferencia entre los valores sucesivos de atenuación exponencial ( $A_t - A_{t-1}$ ).

Para atenuar la estimación de la tendencia se utiliza una segunda constante de atenuación  $\beta$ . La segunda ecuación (4.15) muestra que la estimación de la tendencia ( $A_t - A_{t-1}$ ) se multiplica por  $\beta$  y se suma después a la anterior estimación de la tendencia ( $T_t$ ), multiplicada por  $(1 - \beta)$ . Esta ecuación se parece a la primera (4.14) excepto que la atenuación se realiza para la tendencia en vez de para los datos reales.

El resultado de la ecuación (4.15) es una tendencia atenuada que excluye cualquier aleatoriedad.

La tercera ecuación (4.16) muestra el pronóstico de  $p$  periodos a futuro. Se multiplica la estimación de la tendencia ( $T_t$ ) por el número de periodos en el pronóstico ( $p$ ) y el producto se suma después al nivel actual de los datos  $A_t$ , para eliminar aleatoriedad.

#### 4.5.9 Atenuación exponencial ajustada a la tendencia y a la variación estacional: Modelo de Winter

El modelo de atenuación exponencial lineal y estacional de tres parámetros de Winter, es una extensión del modelo de Holt. Utiliza una ecuación adicional para determinar la estacionalidad. Esta estimación está dada por un índice estacional y se calcula con la ecuación  $(S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L})$ , la cual muestra que la estimación del índice estacional  $(\frac{Y_t}{A_t})$  se multiplica por  $\gamma$ , se suma después a la estimación anterior  $(S_{t-L})$ , multiplicada por  $(1 - \gamma)$ . La razón  $Y_t$  se divide entre  $A_t$  para expresar el valor en forma de índice en vez de hacerlo en términos absolutos, de modo que pueda promediarse con el índice estacional atenuado al período  $t - L$ .

Las cuatro ecuaciones que emplea el modelo de Winter son:

1.- La serie exponencial atenuada.

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}). \quad (4.17)$$

2.- La estimación de la tendencia

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}. \quad (4.18)$$

3.- La estimación de la estacionalidad

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}. \quad (4.19)$$

4.- El pronóstico de  $p$  periodos en el futuro

$$\hat{Y}_{t+p} = (A_t - pT_t)S_{t-L+p}, \quad (4.20)$$

donde:

$A_t$ = nuevo valor atenuado.

$\alpha$ = constante de atenuación ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ).

$Y_t$ = nueva observación o valor real de la serie en el período  $t$ .

$\beta$ = constante de atenuación de la estimación de la tendencia ( $0 \leq \beta \leq 1$ ).

$T_t$ = estimación de la tendencia.

$\gamma$ = constante de atenuación de la estimación de la estacionalidad ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ).

$S_t$ = estimación de la estacionalidad.

$p$ = periodos a estimar a futuro.



$L$ = longitud de la estacionalidad.

$\hat{Y}_{t+p}$ = pronóstico de  $p$  periodos a futuro.

La ecuación  $A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$  actualiza la serie atenuada. Una pequeña diferencia en esta ecuación la distingue de la correspondiente  $A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$  en el modelo de Holt. En la primera ecuación  $Y_t$  se divide entre  $S_{t-L}$ , la cual ajusta  $Y_t$  a la estacionalidad, eliminando así los efectos estacionales que pudieran existir en el dato original  $Y_t$ .

Después de atenuar la estimación de la estacionalidad y la estimación de la tendencia en las ecuaciones  $T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$  y  $S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma)S_{t-L}$ , se obtuvo un pronóstico con la ecuación  $\hat{Y}_{t+p} = (A_t - pT_t)S_{t-L+p}$ . Esta es casi la misma que la forma correspondiente,  $\hat{Y}_{t+p} = A_t + pT_t$ , que se emplea para obtener el pronóstico en el modelo de Holt. La diferencia estriba en que esta estimación para un período futuro  $t + p$ , se multiplica por  $S_{t-L}$ . Este índice estacional es el último disponible, de ahí que se utilice para ajustar el pronóstico a la estacionalidad.

Para poder elegir que método de pronóstico es el correcto se debe comparar el error de cada una y elegir el método con el menor error, para esto se utilizan las siguientes métricas:

#### 4.6 Métricas de validación

Una métrica para evaluar o validar modelos es mediante los residuales los cuales son la diferencia entre un valor real y su valor pronosticado

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t, \quad (4.21)$$

donde:

$e_t$  = error del pronóstico en el período  $t$

$Y_t$  = valor real en el período  $t$

$\hat{Y}_t$  = valor del pronóstico en el período  $t$

Un método para evaluar una técnica de pronóstico consiste en obtener la suma de los errores absolutos. La Desviación Absoluta de la Media (MAD por sus siglas en inglés) mide la precisión de un pronóstico mediante el promedio de la magnitud de los errores de pronóstico (valores absolutos de cada error). El MAD resulta de gran utilidad cuando el analista desea medir el error de pronóstico en las mismas unidades de la serie original.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (4.22)$$

Otro medio para evaluar una técnica de pronóstico es el Error Medio Cuadrado (MSD por sus siglas en inglés). Cada error o residual se eleva al cuadrado; luego, estos valores se suman y se dividen

entre el número de observaciones. Este enfoque penaliza los errores mayores de pronóstico ya que eleva cada uno al cuadrado. Esto es importante pues en ocasiones pudiera ser preferible una técnica que produzca errores moderados a otra que por lo regular tenga errores pequeños, pero que ocasionalmente arroje algunos en extremo grandes.

$$MSD = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n} \quad (4.23)$$

En ocasiones, resulta más útil calcular los errores de pronóstico en términos de porcentaje y no en cantidades. El porcentaje de error medio absoluto (MAPE por sus siglas en inglés) se calcula encontrando el error absoluto en cada período, dividiendo este entre el valor real observado para ese período y después promediando estos errores absolutos de porcentaje. Este enfoque es útil cuando el tamaño o magnitud de la variable de pronóstico es importante en la evaluación de la precisión del pronóstico.

El MAPE proporciona una indicación de que tan grandes son los errores de pronóstico comparados con los valores reales de la serie. También se puede utilizar el MAPE para comparar la precisión de la misma u otra técnica sobre dos series completamente diferentes.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}}{n} \quad (4.24)$$

Si el resultado es un porcentaje negativo grande, el método de pronóstico está sobrestimado de manera consistente. Si el resultado es un porcentaje positivo grande, el método de pronóstico está subestimando en forma consistente.

Una parte de la decisión para utilizar una técnica de pronóstico en particular es la determinación de si la técnica producirá errores de predicción que se juzguen como suficientemente pequeños.

## Capítulo 5

### Metodología propuesta

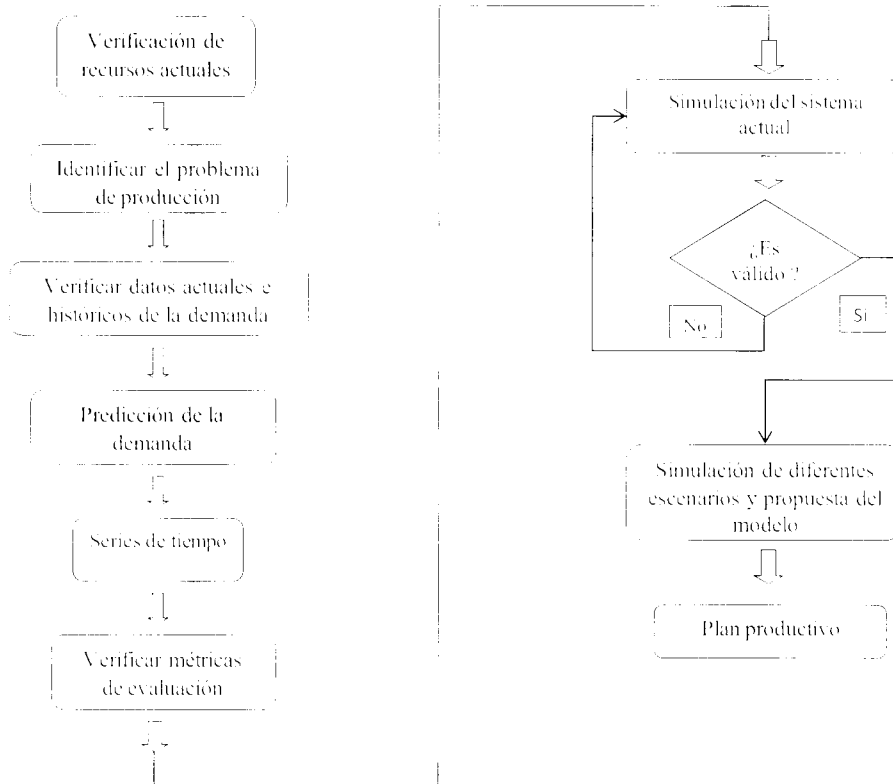


Figura 5.1 Metodología propuesta para el control de la producción

#### 5.1 Descripción de la metodología propuesta

La metodología se desglosa en los siguientes pasos:

1.- Se verifica con qué recursos y sistemas cuenta actualmente la empresa (máquinas, herramientas, personal, líneas de producción, materia prima, niveles de producción, tipos de inventarios etc.), esto para determinar qué recursos intervienen directamente o indirectamente en el proceso productivo, para que sean tomados en cuenta como posibles factores que estén provocando el problema de producción y así incluirlos en el plan de la producción.

Verificación de recursos actuales

2.- Se revisan diferentes elementos como el diagrama del proceso: primeramente se tiene que tener en claro el proceso en general: requisiciones de producción: se debe de verificar los pedidos que se han tenido y si la empresa cumplió con ellos o los motivos ocurridos para que no se cumpliera, cargas de trabajo totales y por máquina: debe ser revisada la carga de trabajo total para saber si no

está cargado más a una sección de máquinas o si está bien equilibrado de igual manera por máquina, en este caso para saber si algunas máquinas están trabajando a su máxima capacidad o si hay algunas máquinas que están detenidas. Se debe verificar de manera general la ruta que sigue el proceso, desde el ingreso de materia prima hasta la salida de la misma, esto con el fin de poder detectar el problema que se esté presentando, el cual está afectando la producción, así al ser detectado pedir al equipo de trabajo ayuda para poder idear un plan correctivo, teniendo un objetivo general para la empresa: la resolución del problema de producción.

Identificar el problema de producción

3.- Para poder hacer un estudio más profundo sobre el comportamiento que han tenido las ventas así como los pedidos de los diversos productos se recaudo y verificó la información de la demanda actual e histórica de la empresa, verificando cada demanda de cada producto individualmente y así poder verificar los meses en que esta tiene más aumento o disminución, al verificar tal demanda se podrá tomar una acción preventiva en el nuevo plan de producción y evitar que la empresa no tenga los recursos para tener la producción lista.

Verificar datos actuales e históricos de la demanda

4.- Para poder realizar un control de la producción se necesita saber de qué manera produce la empresa y en qué cantidades, por esa razón se recopila la demanda histórica de producción. Al haber obtenido los datos históricos se debe obtener el pronóstico para la siguiente producción ya sea por semana, mes o año, la metodología propone la determinación de la demanda mediante series de tiempo, la cual tiene las siguientes técnicas: promedio simple, promedio doble, suavización simple, suavización exponencial y método de Winter, para hacer uso de las series de tiempo es necesario que los datos históricos obtenidos sigan los siguientes tipos de comportamiento, estacionalidad, tendencia o ciclicidad, además se utilizan en específico las tres métricas de evaluación explicadas en el capítulo 4, sección 4.6, al verificar las métricas se debe escoger la técnica a la que mejor se ajuste la serie de datos con un error mínimo de pronóstico, entre más cercano a cero es mejor el pronóstico, de 0 a 10 es un pronóstico bueno, de 20 a 30 es considerado normal ya que un error más grande es considerado no aceptable, (el error es medido en porcentaje).

Series de tiempo

5.- Para poder validar la técnica que se haya escogido ya sea modelos probabilísticos o series de tiempo se deben verificar las métricas de evaluación con las que cuentan cada una de las técnicas, en caso de las series de tiempo se validan con los errores de pronóstico antes mencionados en el capítulo 4 sección 4.6, los cuales entre menor error tengan mejor será el pronóstico, en caso de los modelos probabilísticos, el mejor será aquel que se ajuste a los datos históricos obtenidos, este ajuste se realizará mediante una prueba de bondad y ajuste, en la cual se usará una confianza del 95%, mediante éste método serán probadas todas las distribuciones de probabilidad, así, la que se ajuste más a los datos históricos será la que podrá predecir mejor la demanda.

Verificar métricas de evaluación

6.- Para poder realizar adecuadamente la simulación del sistema actual, se utilizan los datos recaudados anteriormente, habiendo identificado de manera adecuada los factores que intervienen directamente en el proceso productivo, para así proceder a la simulación del sistema actual, verificando que los datos que se obtengan de la simulación concuerden con las demandas obtenidas anteriormente. Posteriormente será puesta a prueba en diferentes escenarios. Entonces así se puede identificar las soluciones a cualquier escenario posible.

Simulación del sistema actual

7.- Se verifica el error que pueda tener esta simulación, en dado caso que arroje datos muy diferentes a los reales, el modelo de simulación no será válido, debido a la diferencia grande de lo que debe ser el sistema actual; por lo tanto el proceso tendrá que estar sujeto a cambios, hasta que se encuentre el modelo adecuado de simulación, que represente en su totalidad el sistema actual de producción. De esta manera el modelo de simulación quedará validado y dispuesto a representar los diferentes escenarios de prueba.

Simulación de diferentes escenarios y propuesta del modelo

10.- Se crea el plan de producción con los resultados obtenidos en los pasos anteriores, la demanda obtenida, las recomendaciones y comportamiento de la simulación al sistema actual y los diferentes escenarios, además el resultado obtenido, los objetivos, las metas, el material necesario para la producción, requerimientos, etc. Todo esto, será aplicado al nuevo plan de la producción, mediante esta información recaudada la empresa podrá cumplir con los requerimientos de los clientes, debido a que estará preparada ante cualquier adversidad. Además la empresa podrá identificar fuerzas y debilidades que tenga, y así trabajar con los recursos necesarios y maximizar su sistema de producción.

Plan productivo

## Capítulo 6

### Experimentación

Como se mencionó anteriormente el objeto de estudio está integrado por cinco líneas de producción y once reactores que abastecen a veintitrés tanques de almacenamiento que a su vez llegan a cada línea dependiendo del tipo de producto que se requiera. Estas líneas cuentan con máquinas que se encargan de llenar las botellas del líquido correspondiente, posteriormente se pasan a colocarles la tapa y la etiqueta, después se llevan a empaque y embalaje para su envío. El objetivo de esta investigación es verificar si con los recursos actuales con los que cuenta la empresa serán suficientes para cumplir con futuras demandas para así poder desarrollar un plan de producción, estableciendo políticas del uso de los recursos para su máximo aprovechamiento.

A continuación se presenta la información de lo que cada línea elabora, esta información fue recaudada de las líneas de producción, tanques de preparación, tanques de almacenamiento y datos históricos.

En la figura 6.1 se muestran todos los elementos, maquinas y materiales que son requeridos para la elaboración, transporte y almacenamiento de los productos de línea 1. En la tabla 6.1 se presentan los productos que la línea 1 procesa, además de las botellas que por hora se obtienen (BPH), las botellas por minuto (BPM), los litros consumidos y las cajas por hora obtenidas.

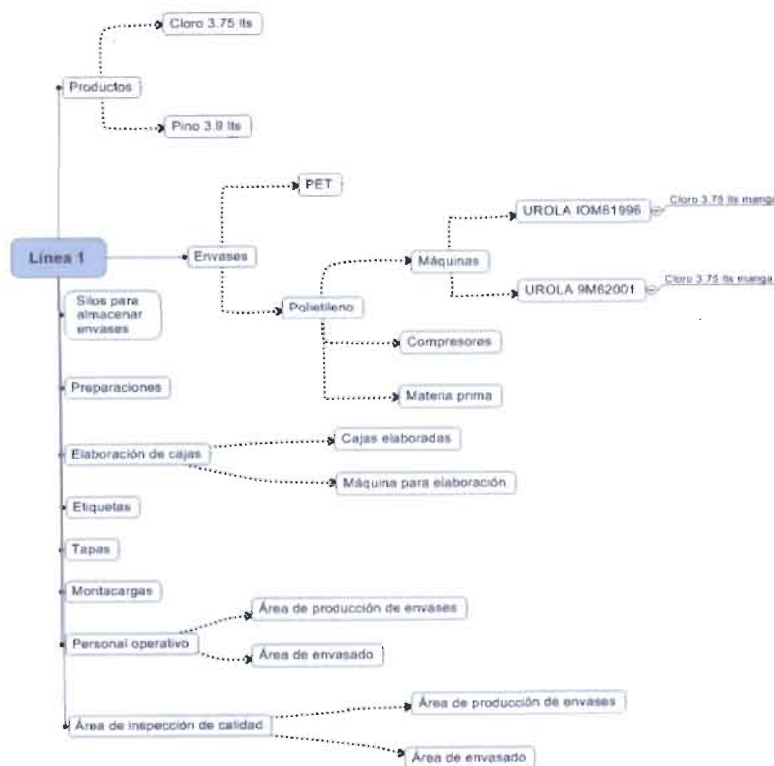


Figura 6.1 Materiales, productos y procesos seguidos en línea 1.

Tabla 6.1 Producción de la línea 1.

Línea 1				
Producto	Velocidad (min)	Velocidad (hora)	85% de eficiencia (cajas x hora)	Litros consumidos (hora)
Pino 3.9 lt	21 BPM	1,260 BPH	182	4,914 LPH
Multiusos 3.9 lts	27 BPM	1,620 BPH	236	6,318 LPH

En la figura 6.2 se muestran todos los elementos, maquinas y materiales que son requeridos para la elaboración, transporte y almacenamiento de los productos de línea 2. En la tabla 6.2 se presentan los productos que la línea 2 procesa, además de las botellas que por hora se obtienen (BPH), las botellas por minuto (BPM), los litros consumidos y las cajas por hora obtenidas.

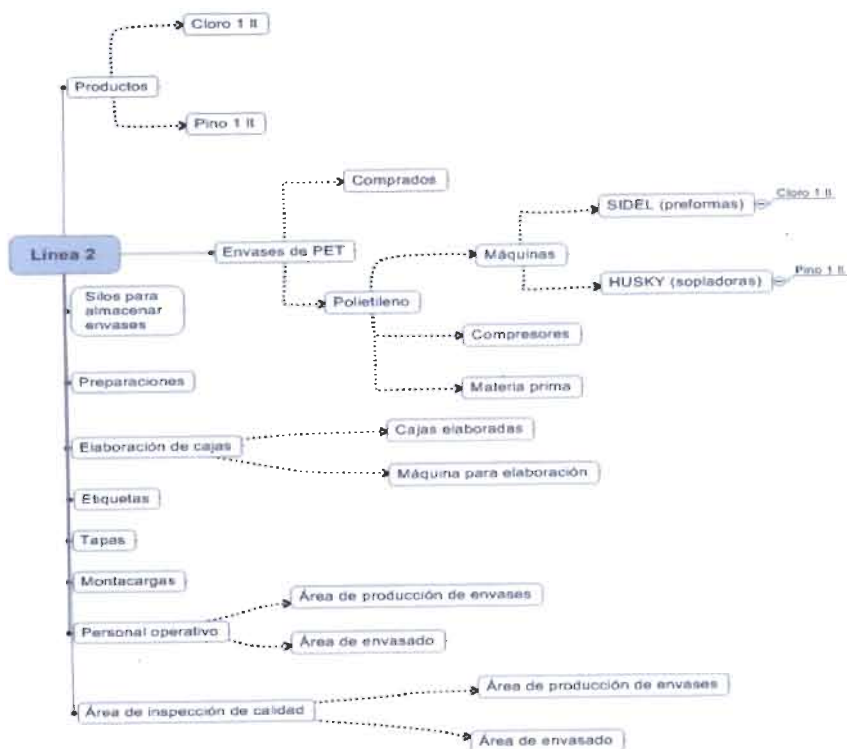


Figura 6.2 Materiales, productos y procesos seguidos en línea 2.

Tabla 6.2 Producción de la línea 2.

Línea 2				
Producto	Velocidad (min)	Velocidad (hora)	85% de eficiencia (cajas x hora)	Litros consumidos (hora)
Multiusos 1 lt	121 BPM	7,260BPH	414	7,260LPH
Pino 1 lt	124 BPM	7,440BPH	422	7,440 LPH

En la figura 6.3 se muestran todos los elementos, maquinas y materiales que son requeridos para la elaboración, transporte y almacenamiento de los productos de línea 3. En la tabla 6.3 se presentan los productos que la línea 3 procesa, además de las botellas que por hora se obtienen (BPH), las botellas por minuto (BPM), los litros consumidos y las cajas por hora obtenidas.

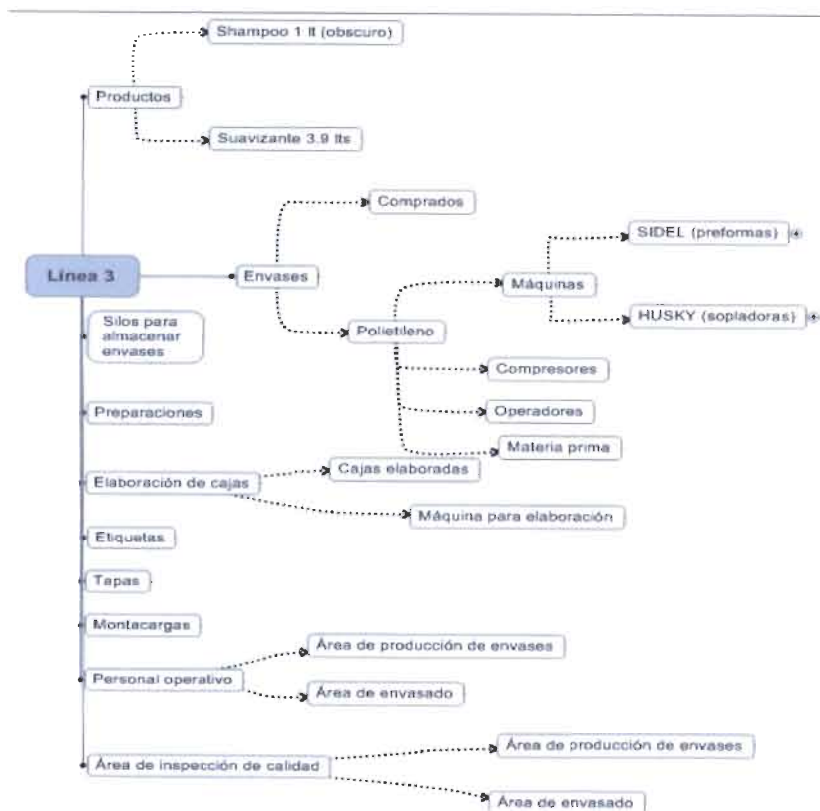


Figura 6.3 Materiales, productos y procesos seguidos en la línea 3

Tabla 6.3 Producción de la línea 3.

Línea 3				
Producto	Velocidad (min)	Velocidad (hora)	85% de eficiencia (cajas x hora)	Litros consumidos (hora)
Shampoo 1 lt	50 BPM	3,000 BPH	170	3,000 LPH
Suavizante 2 lts	40 BPM	2,400 BPH	159	4,800 LPH

En la figura 6.4 se muestran todos los elementos, maquinas y materiales que son requeridos para la elaboración, transporte y almacenamiento de los productos de línea 4. En la tabla 6.4 se presentan los productos que la línea 4 procesa, además de las botellas que por hora se obtienen (BPH), las botellas por minuto (BPM), los litros consumidos y las cajas por hora obtenidas.



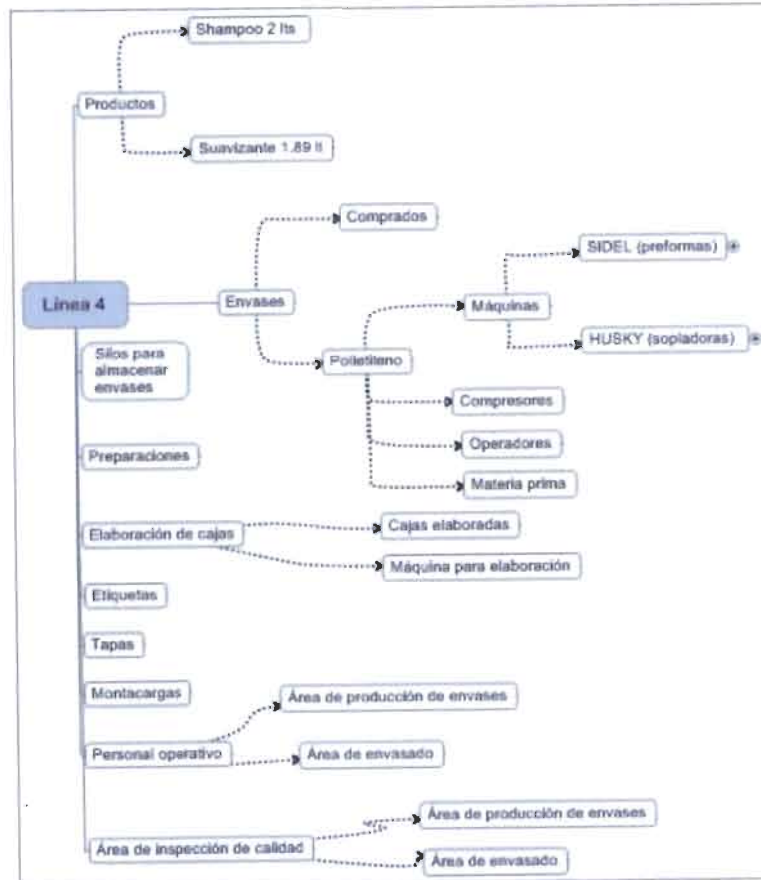


Figura 6.4 Materiales, productos y procesos seguidos en la línea 4

Tabla 6.4 Producción de la línea 4.

Línea 4				
Producto	Velocidad (min)	Velocidad (hora)	85% de eficiencia (cajas x hora)	Litros consumidos (hora)
Shampoo 2 lts	30 BPM	1,800 BPH	131	3,600 LPH
Suavizante 1.89 lts	24 BPM	1,440 BPH	157	2,722 LPH

En la figura 6.5 se muestran todos los elementos, maquinas y materiales que son requeridos para la elaboración, transporte y almacenamiento de los productos de línea 5. En la tabla 6.5 se presentan los productos que la línea 5 procesa, además de las botellas que por hora se obtienen (BPH), las botellas por minuto (BPM), los litros consumidos y las cajas por hora obtenidas.

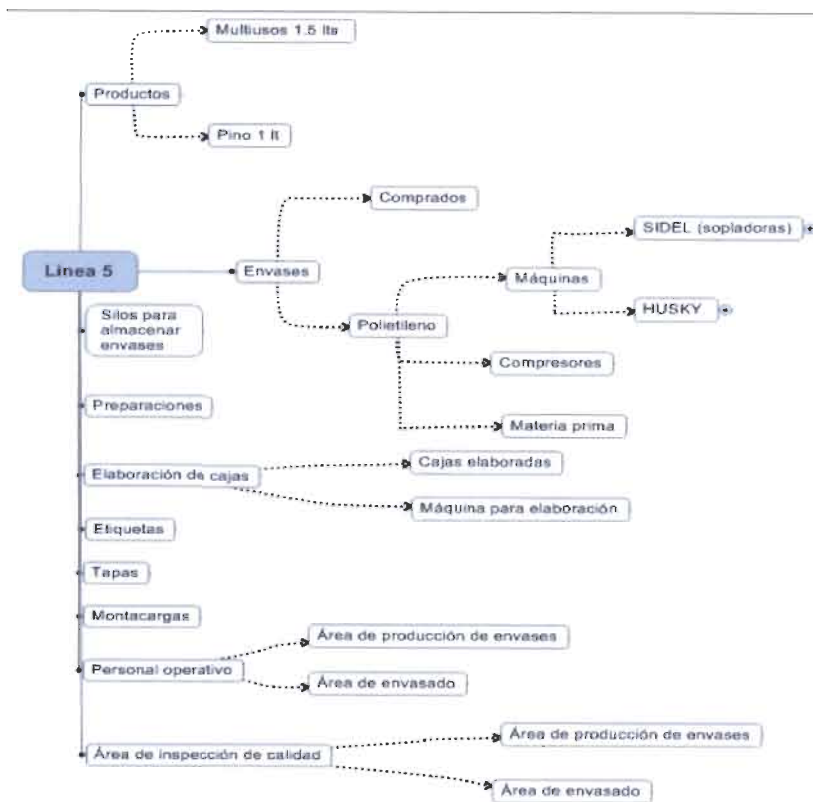


Figura 6.5 Materiales, productos y procesos seguidos en la línea 5

Tabla 6.5 Producción de la línea 5.

Línea 5				
Producto	Velocidad (min)	Velocidad (hora)	85% de eficiencia (cajas x hora)	Litros consumidos (hora)
Multiusos 2 lts	41 BPM	2,460 BPH	176	4,920 LPH
Pino 2 lts	40 BPM	2,400 BPH	169	4,800 LPH
Suavizante 1.89 lts	24 BPM	1440 BPH	157	2,722 LPH

Los pasos que se siguen desde que llegan las botellas, así como su actividad de llenado, de forma general a continuación se presenta el proceso:

- El montacargas deja el pallet con envases en bolsas a un costado de la línea.
- Un operador baja una bolsa con los envases y la coloca a un costado de la línea.
- Los operadores correspondientes toman la bolsa con los envases, abren la bolsa, esperan a que la banda se mueva y colocan la bolsa sobre la banda transportadora, para después quitar la bolsa y dejar solo los envases en la banda.
- Se acomodan los envases en la banda con el propósito de que la boca de los envases vaya hacia arriba.
- Se llenan los envases con el producto (proceso automatizado).

Las líneas son automatizadas, trabajan a cierta velocidad para evitar derrames (85% de eficiencia). En la tabla 6.6 se presentan los tiempos de preparación para cada uno de los diferentes tanques y productos.

Tabla 6.6 Tiempos de preparación de materia prima.

Preparación	Tamaño preparación	Temporada de calor				Temporada de frío			
		Llenado de agua	Mezclado de materiales	Trasvase de producción	Tiempo total de preparación	Llenado de agua	Mezclado de materiales	Trasvase de producción	Tiempo total de preparación
		Lts	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas
Limpiador de pino	20,000	0.67	2.33	0.50	3.50	0.67	2.83	0.50	4.00
General	3,600	----	----	----	----	----	----	----	----
Limpiador de pino	5,000	0.67	2.33	0.50	0.87	0.67	2.83	0.50	1.00
Multiusos	5,000	0.13	0.99	0.13	1.25	0.13	0.99	0.13	1.25
General	1,000	----	----	----	----	----	----	----	----
Suavizante y Shampoo	5,000	0.50	2.00	0.50	3.75	0.25	2.75	0.50	4.06
Suavizante	4,000	0.50	2.00	0.50	3.00	0.25	2.75	0.50	3.50
General	900	----	----	----	----	----	----	----	----
Suavizante	10,000	0.50	2.00	0.50	7.50	0.25	2.75	0.50	8.75
General	200	----	----	----	----	----	----	----	----
Shampoo	4,000	0.50	2.00	0.50	3.00	0.25	2.25	0.50	3.00

En la tabla 6.7 se muestran más claramente las capacidades de los tanques de preparación o también llamados reactores.

Tabla 6.7 Tanques de preparación y sus capacidades.

Tanques de preparación	Capacidades
General	200 lts
Shampoo y suavizante	5,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Suavizante	4,000 lts
General	1,000 lts
Multiusos	5,000 lts
General	900 lts
Pino	5,000 lts
Pino	20,000 lts
General	3,600 lts
Shampoo	4,000 lts

En la tabla 6.8 se presentan los veintitrés tanques de almacenamiento junto con sus capacidades y cada producto que pueden almacenar.

Tabla 6.8 Tanques de almacenamiento y sus capacidades.

<b>Tanques de almacenamiento</b>	<b>Capacidades</b>
Multiusos	10,000 lts
Multiusos	10,000 lts
Multiusos	10,000 lts
Multiusos	10,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Shampoo	5,000 lts
Multiusos	10,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Limpiador de pino	20,000 lts
Limpiador de pino	20,000 lts
Suavizante	10,000 lts
Suavizante	10,000 lts
General	900 lts
General	250 lts
General	5,000 lts
General	10,000 lts
General	10,000 lts
General	10,000 lts
General	10,000 lts
General	10,000 lts

### 6.1 Pronóstico de la demanda

Los datos históricos de la demanda que la empresa tenía fueron recaudados y son utilizados para el pronóstico de la demanda, los datos fueron acomodados en familias de productos, con el fin de un mejor análisis, y realizar el pronóstico de la demanda.

En las tablas 6.9 y 6.10 se presentan los datos históricos para el limpiador multiusos para los años 2012 y 2013, en las cuales se presentan los litros por semana demandados durante los 2 años.

Tabla 6.9 Datos históricos de limpiador multiusos año 2012.

Semana	Litros	Semana	Litros
Semana 1	66.223	Semana 29	110.468
Semana 2	106.423	Semana 30	174.448
Semana 3	44.280	Semana 31	84.013
Semana 4	79.759	Semana 32	64.363
Semana 5	115.385	Semana 33	59.696
Semana 6	962	Semana 34	129.528
Semana 7	76.404	Semana 35	120.544
Semana 8	37.078	Semana 36	89.555
Semana 9	61.262	Semana 37	155.663
Semana 10	112.414	Semana 38	130.440
Semana 11	23.260	Semana 39	127.995
Semana 12	47.334	Semana 40	102.109
Semana 13	164.361	Semana 41	64.786
Semana 14	22.373	Semana 42	84.414
Semana 15	111.298	Semana 43	62.702
Semana 16	137.454	Semana 44	67.898
Semana 17	87.242	Semana 45	116.533
Semana 18	123.618	Semana 46	50.431
Semana 19	28.685	Semana 47	46.635
Semana 20	60.322	Semana 48	72.530
Semana 21	88.588	Semana 49	82.184
Semana 22	73.487	Semana 50	111.283
Semana 23	100.275	Semana 51	75.266
Semana 24	69.492	Semana 52	55.208
Semana 25	22.307		
Semana 26	100.021		
Semana 27	138.687		
Semana 28	161.423		

Tabla 6.10 Datos históricos de limpiador multiusos año 2013.

Semana	Litros	Semana	Litros
Semana 53	66.926	Semana 72	58.859
Semana 54	131.101	Semana 73	76.048
Semana 55	67.659	Semana 74	134.603
Semana 56	83.690	Semana 75	120.327
Semana 57	115.453	Semana 76	42.559
Semana 58	63.741	Semana 77	185.268
Semana 59	118.883	Semana 78	44.612
Semana 60	100.348	Semana 79	85.370
Semana 61	60.807	Semana 80	34.369
Semana 62	84.310	Semana 81	45.014
Semana 63	42.430	Semana 82	121.899
Semana 64	101.815	Semana 83	62.588
Semana 65	68.520	Semana 84	133.086
Semana 66	112.309	Semana 85	60.451
Semana 67	74.495	Semana 86	68.759
Semana 68	81.038	Semana 87	118.285
Semana 69	56.494	Semana 88	86.558
Semana 70	121.085	Semana 89	37.742
Semana 71	82.896		

En las figuras 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 y 6.10 se muestran las gráficas de la aplicación de series de tiempo para los datos del limpiador multiusos. además se presentan las métricas de evaluación, utilizadas para evaluar las series de tiempo. estas métricas fueron mencionadas en la página 22, en la sección 4.6 (Métricas de validación). las cuales exponen que tan alto o que tan bajo es el error de pronóstico, el mejor ajuste de los datos será la que tenga el menor error posible de pronóstico.

En la figura 6.6 se expone la gráfica de promedio móvil para los datos de limpiador multiusos. en la cual se seleccionó una longitud de 35 datos. La longitud seleccionada dio como resultado de un MAPE de 40%, este error seguirá siendo comparado con los que se obtengan en las demás técnicas. El pronóstico que se obtuvo fue de 84,353 litros para la siguiente semana, con un intervalo inferior de 17,193 litros y un intervalo superior es de 151,514 litros.

- Limpiador Multiusos

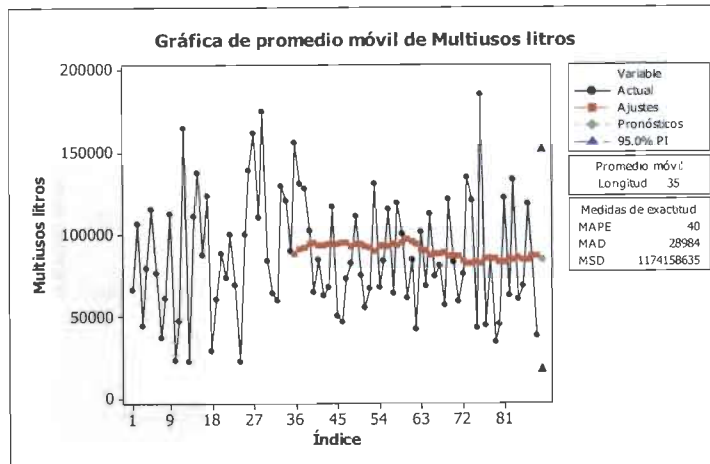


Figura 6.6 Promedio móvil para datos de limpiador multiuso.

En la figura 6.7 se muestra el método de suavización exponencial simple para los datos de limpiador multiusos, cuyo pronóstico obtenido fue de 81,978 litros, donde la constante de suavización  $\alpha = 0.1$  fue utilizada, obteniendo un MAPE del 47%, este valor no es menor que el MAPE del promedio móvil, así que la técnica de suavización exponencial simple es descartada.

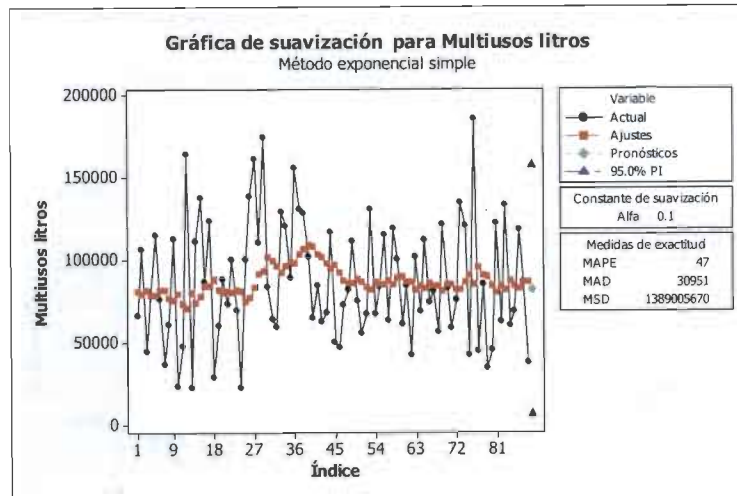


Figura 6.7 Suavización exponencial simple para datos de limpiador multiusos.

En la figura 6.8 se muestra el método de suavización exponencial doble para los datos de limpiador multiusos, con el cual se obtuvo un pronóstico de 76,870 litros, donde se utilizó una constante de suavización  $\alpha = 0.3$ , y una constante de tendencia  $\gamma = 0.5$  obteniendo así un error MAPE del 54%, el error de pronóstico en este caso aún es más grande que en la suavización exponencial simple

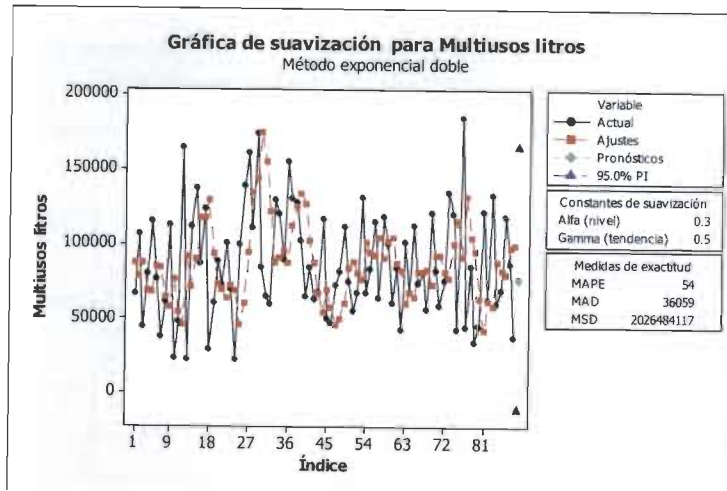


Figura 6.8 Suavización exponencial doble para datos de limpiador multiusos.

En la figura 6.9 se muestra el método de Winters aditivo para los datos del limpiador multiusos, en el cual las variables de suavización fueron:  $\alpha = 0.1$ ,  $\gamma = 0.2$  y  $\delta = 0.2$ , estos valores de suavización se obtuvieron experimentando con diferentes valores ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), de los cuales los presentados en esta figura fueron los más adecuados para que el error de pronóstico disminuyera, al compararlo con las técnicas anteriores es menor el error de MAPE, que es de un 28%, y el pronóstico obtenido fue de 161,870 litros.

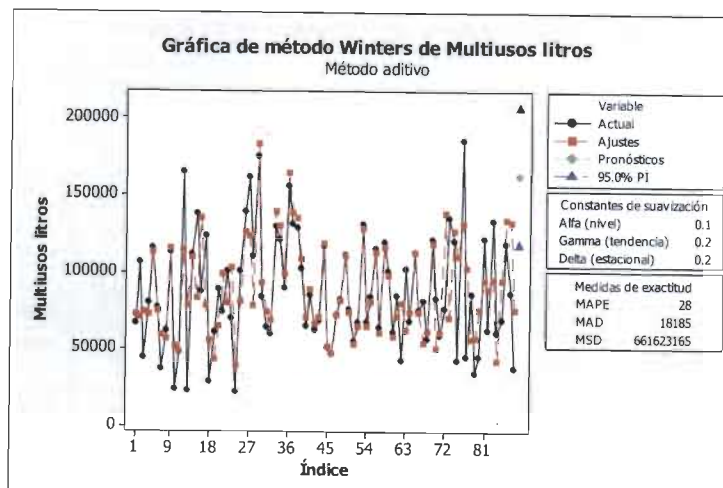


Figura 6.9 Método de Winters aditivo para datos de limpiador multiusos.

En la figura 6.10 se muestra el método de Winters multiplicativo para los datos del limpiador multiusos, en el cual las variables de suavización fueron:  $\alpha = 0.2$ ,  $\gamma = 0.2$  y  $\delta = 0.2$  estos valores de suavización fueron los seleccionados para que el error de pronóstico disminuyera, pero no se logró del todo disminuirlo lo suficiente, ya que este error es de 29%, una unidad mayor que la técnica anterior. Así que el método de Winters aditivo es el indicado para obtener el pronóstico del limpiador multiusos.



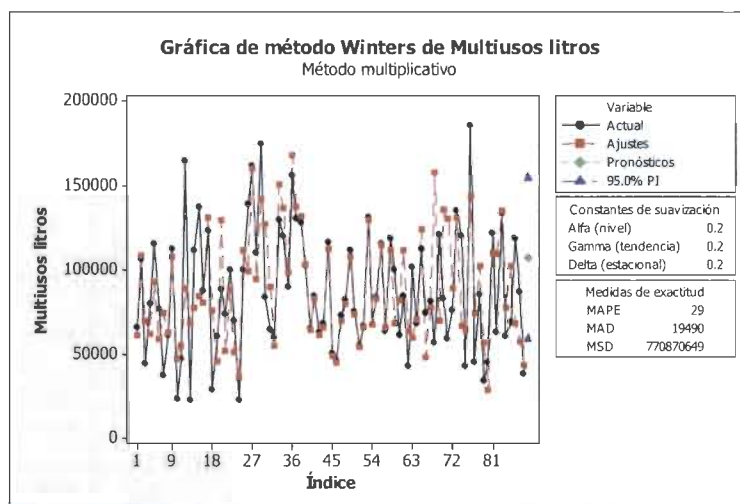


Figura 6.10 Método de Winters multiplicativo para los datos de limpiador multiusos.

A continuación se presentan en resumen las técnicas de series de tiempo aplicadas en los productos restantes en las tablas 6.11, 6.12, 6.13 y 6.14, en ellas se muestran cada una de las técnicas utilizadas, las métricas de evaluación y el pronóstico con sus respectivos intervalos. (Ruvalcaba et al, 2015).

Tabla 6.11 Resumen de métricas limpiador multiusos.

Limpiador Multiusos						
Serie de tiempo	Métricas			Intervalos		
	MAPE	MAD	MSD	LS	Pronóstico	LI
Promedio móvil	40%	28,984	1,174,158,635	151,514	84,353	17,193
Suavización exponencial simple	47%	31,967	1,522,135,932	157,629	81,978	5,969
Suavización exponencial doble	182%	38,469	2,240,709,807	165,215	76,870	-11,474
Método de Winters aditivo	79%	25,344	918,650,458	206,423	161,870	117,317
Método de Winters multiplicativo	78%	31,180	1,489,339,083	154,504	106,754	59,004

Tabla 6.12 Resumen de métricas limpiador de pino.

Limpiador Pino						
Serie de tiempo	Métricas			Intervalos		
	MAPE	MAD	MSD	LS	Pronóstico	LI
Promedio móvil	39%	43,141	2,885,575,959	259,750	154,466	49,181
Suavización exponencial simple	39%	42,666	2,809,991,644	256,473	151,952	47,411
Suavización exponencial doble	40%	44,537	3,041,575,101	265,067	155,952	46,837
Método de Winters aditivo	27%	33,538	1,989,961,835	82,847	680	-81,484
Método de Winters multiplicativo	23%	31,388	1,771,662,099	176,041	99,141	22,241

Tabla 6.13 Resumen de métricas Shampoo.

Serie de tiempo	Shampoo					
	Métricas			Intervalos		
	MAPE	MAD	MSD	LS	Pronóstico	LI
Promedio móvil	125%	11,137	182,878,197	45,536	19,031	7,474
Suavización exponencial simple	115%	10,484	165,115,969	48,165	22,479	-3206
Suavización exponencial doble	134%	13,032	263,862,339	42,060	10,132	-21,797
Método de Winters aditivo	31%	3,257	42,940,815	35,179	27,200	19,222
Método de Winters multiplicativo	28%	4,745	49,811,282	37,911	26,286	14,660

Tabla 6.14 Resumen de métricas Suavizante.

Serie de tiempo	Suavizante					
	Métricas			Intervalos		
	MAPE	MAD	MSD	LS	Pronóstico	LI
Promedio móvil	43%	41,295	3,898,722,589	277,507	155,128	32,748
Suavización exponencial simple	44%	36,585	3,066,665,110	241,646	152,014	62,382
Suavización exponencial doble	46%	34,834	2,090,120,128	109,128	23,786	-61,555
Método de Winters aditivo	47%	31,866	1,963,418,367	246,612	168,541	90,471
Método de Winters multiplicativo	26%	21,928	1,042,873,032	157,738	104,014	50,290

## 6.2 Job Shop y simulación del sistema actual

Después de haber obtenido los pronósticos utilizando los datos históricos de la demanda, se realizó el diagrama Job Shop de operaciones, en éste se realizó el acomodo de los trabajos primeramente en orden de llegada a las máquinas, en este caso los tanques de preparación, lo anterior se hizo para obtener el tiempo de operación final (Makespan). En las figuras 6.11 y 6.12 presentan el acomodo en orden de llegada de operación y el tiempo total de producción.

En la figura 6.11 se muestra el diagrama Job Shop para el acomodo de trabajos en orden de llegada, donde el inciso a) tiempos y capacidades, se observa el tiempo de preparación de cada liquido en los tanques, en el inciso b) diagrama de Job Shop, se observa el acomodo de los trabajos y el tiempo final de término de operaciones, el cual es, hasta las 21 horas, en este tiempo total se cumple la demanda obtenida anteriormente, en el inciso c) tanques de preparación, se observan cada uno de los tanques y sus capacidades.

Limpeza	
Limpo pino	
Multusos	
Suavizante	
Shampoo	

Demanda	
Pino	89,141
Multusos	161,870
Suavizante	104,014
Shampoo	26,286

producto (pino)	capacidad (lts)	tiempo
pino	20000	4 horas
general	3600	45 min
pino	5000	1 hora
general	1000	15 min
general	900	10 min
general	200	5 min

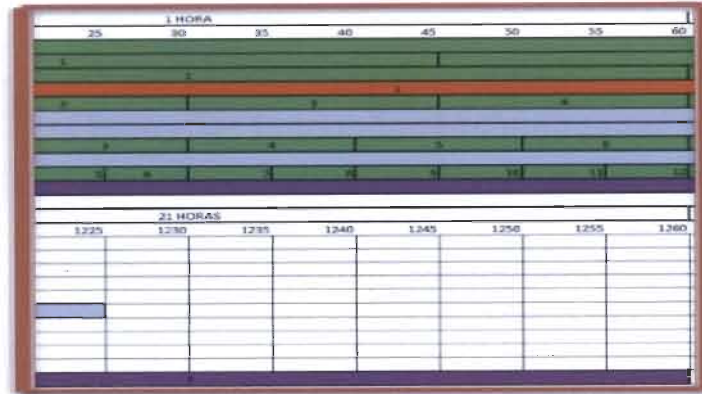
  

producto (multi)	capacidad	tiempo
multusos	5000	1.25 horas
general	3600	55 min
general	1000	15 min
general	900	15 min
general	200	5 min

a) Tiempos y capacidades

pino (20,000)	M1
gral (3,600)	M2
pino (5,000)	M3
multi (5,000)	M4
gral (1,000)	M5
suav y sham (5,000)	M6
suav (4,000)	M7
gral (900)	M8
suav (10,000)	M9
gral (200)	M10
shampoo (4,000)	M11

c) Tanques preparación



b) Diagrama de Job Shop

Figura 6.11 Diagrama Gantt de operaciones acomodado en base a orden de llegada.

En la figura 6.12 inciso a) tiempos y capacidades, se presentan los tiempos de preparación para los reactores y el color que se aplicó para la identificación de cada líquido, en el inciso c) capacidad tanques de preparación, se presentan todos los reactores con sus capacidades, en el inciso b) diagrama de Job Shop, se presenta el diagrama de operaciones en el cual se observa que algunos de los tanques se desocupan más pronto, mientras otros siguen su trabajo normal, entonces los tanques vacíos pueden servir para realizar otro trabajo.

En el diagrama acomodado en base a experiencia propia, el tiempo final de operaciones es de 16 horas mientras que en el diagrama de acomodado por orden de llegada es de 21 horas, al ver esta diferencia se deduce que el sistema de producción puede mejorarse, al tener reducción en el tiempo de operaciones final, se pueden ver reflejadas varias mejoras en la empresa, ahorro de energía principalmente, menores cargas de trabajo, tanto para operarios como para máquinas, entre muchas ventajas más. Para la validación de esta solución se propuso el uso de la simulación, y así observar de manera más real lo que está pasando en el área de llenado, contemplando los diferentes factores del área.

	Limpieza	
	Limp pino	
	Multiusos	
	Suavizante	
	Shampoo	
Demanda		
Pino	99,141	
Multiusos	161,870	
Suavizante	164,014	
Shampoo	26,286	
producto (pino)	capacidad (lit)	tiempo
Pino	20000	4 horas
general	3600	45 min
pino	5000	1 hora
general	1000	15 min
general	900	10 min
general	200	5 min
producto (multi)	capacidad	tiempo
multiusos	5000	1.25 horas
general	3600	55 min
general	1000	15 min
general	900	15 min
general	200	5 min

a) Tiempos y capacidades

pino (20,000)	M1
gral (3,600)	M2
pino (5,000)	M3
multi (5,000)	M4
gral (1,000)	M5
suav y sham (5,000)	M6
suav (4,000)	M7
gral (900)	M8
suav (10,000)	M9
gral (200)	M10
shampoo (4,000)	M11

c) Capacidades tanques preparación



b) Diagrama de Job Shop

Figura 6.12 Tiempo final de operaciones base experiencia (Makespan).

Para poder utilizar la simulación primero se validó utilizando el estándar de planta, botellas por hora (BTH) para cada una de las líneas, el cual fue proporcionado por la empresa, después se utilizó este estándar para introducirlo en la simulación y así obtener las botellas por hora. En la figura 6.13 se presenta la comparación de estándares de la línea 1.

## Resumen Estándares Línea 1

Producto	Velocidad (Minuto)	Velocidad (Hora)	Cajas x hora con 85% de eficiencia.
Pino 3.9 lts.	21 BPM	1260 BPH	182

Simulation time: 1:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
PINO1	Entity	5.7117	1260	1260	100.00%	0.00%	0.00%	50.02%	

Figura 6.13 Comparación estándar de planta y estándar de simulación línea 1.

Como se observa en la figura 6.13 el número de botellas por hora obtenidas en la simulación es el mismo número de botellas del estándar de planta, por esta razón se afirma que la simulación es válida para llevar a cabo este caso práctico, debido a que refleja lo que pasa en el área de envasado. En la figura 6.14 se muestra cada uno de los estándares simulados en cada una de las líneas que les corresponden, el apartado de "Throughput" son las botellas obtenidas por cada línea.

Simulation time: 1:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
PINO1	Entity	5.7117	1260	1260	100.00%	0.00%	0.00%	50.02%	
MULTIUSOS1	Entity	4.4426	1620	1620	100.00%	0.00%	0.00%	50.02%	
MULTIUSOS2	Entity	0.9915	7260	7260	100.00%	0.00%	0.00%	50.00%	
PINO2	Entity	0.9675	7441	7441	100.00%	0.00%	0.00%	50.00%	
SHAMPOO3	Entity	2.3996	3000	3000	100.00%	0.00%	0.00%	50.01%	
SUAVIZANTE3	Entity	2.9994	2399	2399	100.00%	0.00%	0.00%	50.01%	
SHAMPOO4	Entity	3.9989	1799	1799	100.00%	0.00%	0.00%	50.01%	
SUAVIZANTE4	Entity	4.9983	1439	1439	100.00%	0.00%	0.00%	50.02%	
MULTIUSOS5	Entity	2.9262	2460	2460	100.00%	0.00%	0.00%	50.01%	
PINOS	Entity	2.9994	2399	2399	100.00%	0.00%	0.00%	50.01%	

Figura 6.14 Resumen de estándares obtenidos mediante simulación.

Con esta validación de cada una de las líneas, se construyó una tabla de comparación entre los estándares de planta y los obtenidos por la simulación. En la tabla 6.15 se presenta esta comparación y el error que existe entre ambos estándares de todos los productos.

Tabla 6.15 Comparación de estándares.

Producto	Línea	Estándar de planta (BPH)	Estándar obtenido	Error (%)
Pino	Línea 1	1,260	1,260	0%
Multiusos	Línea 1	1,620	1,620	0%
Multiusos	Línea 2	7,260	7,260	0%
Pino	Línea 2	7,440	7,441	0.013%
Shampoo	Línea 3	3,000	3,000	0%
Suavizante	Línea 3	2,400	2,399	0.041%
Shampoo	Línea 4	1,800	1,799	0.055%
Suavizante	Línea 4	1,440	1,439	0.069%
Multiusos	Línea 5	2,460	2,460	0%
Pino	Línea 5	2,400	2,399	0.041%

En la tabla anterior se observa que los errores entre el estándar de planta y el obtenido por la simulación, es mínimo y en algunos casos nulo. Mediante esta comparación se resume que la simulación puede dar los mismos valores de producción, así que este sistema puede ser representado mediante simulación.

Habiendo validado la simulación se construyó el modelo de simulación, se comenzó para el producto de pino, este fue simulado con seis tanques de preparación (dos exclusivos de pino y cuatro tanques generales), diez tanques de almacenamiento (dos tanques exclusivos de pino y ocho tanques generales) y tres líneas de producción bajo los estándares reales obtenidos de planta.

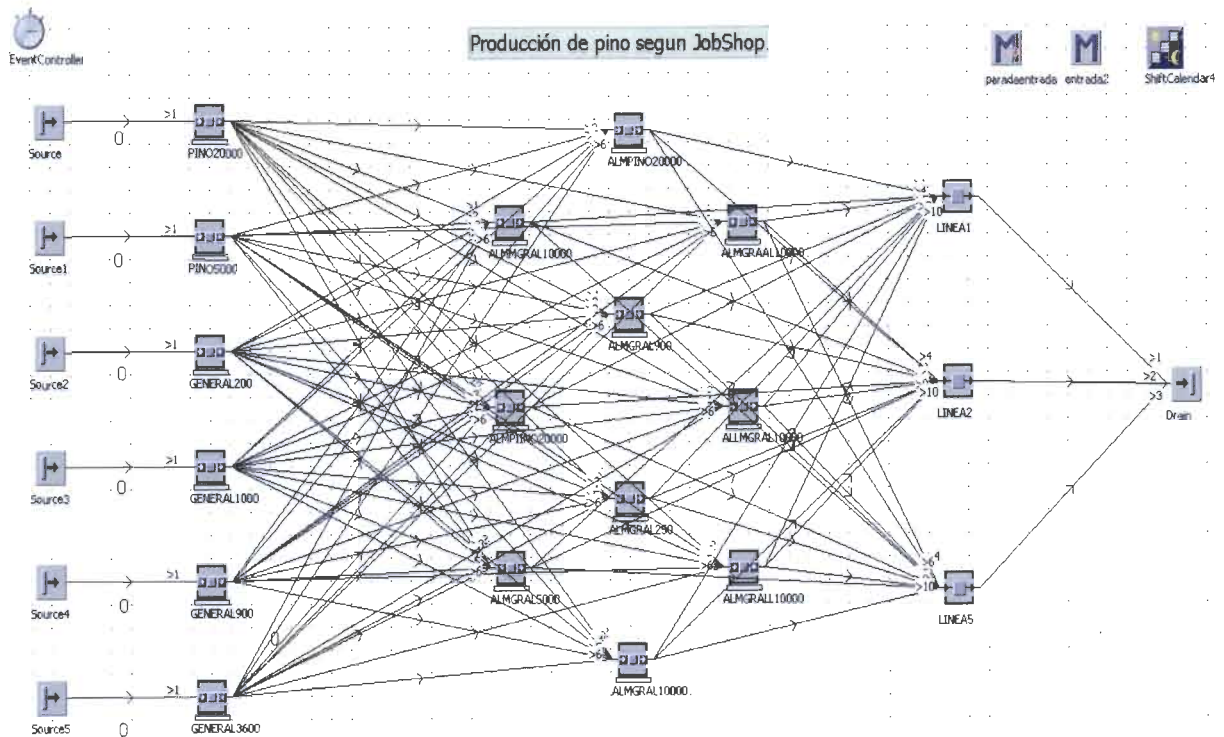


Figura 6.15 Modelo de simulación para pino.

En la figura 6.15 se representa la producción de pino, los requerimientos se presentan en las tablas 6.16, 6.17 y 6.18. Se corrió cuatro horas la simulación debido a que se comprobó si los resultados del Job Shop son ciertos. El objetivo de este modelo es el de cumplir con la demanda de pino pronosticada, y así validar los resultados del diagrama de Gantt de operaciones.

Tabla 6.16 Tanques de preparación para producto pino utilizados en simulación.

Producto (pino)	Capacidad de tanques de preparación (lts)	Tiempo de preparación
Pino	20,000	4 horas
General	3,600	45 min
Pino	5,000	1 hora
General	1,000	15 min
General	900	10 min
General	200	5 min

Tabla 6.17 Tanques de almacenamiento para producto pino utilizados en simulación.

Tanque de almacenamiento	Capacidad (lts)	Tanque de almacenamiento	Capacidad (lts)
Pino	20,000	General	900
Pino	20,000	General	10,000
General	10,000	General	10,000
General	10,000	General	10,000
General	5,000	General	250

Tabla 6.18 Líneas de producción de pino y estándares de producción.

Línea	Tiempo	Estándar
1	1:00:00	0:02.857
2	1:00:00	0:00.4838
5	1:00:00	0:01.5

Después de haber considerado todos los requerimientos y tener la estructura de la simulación para el producto pino, se realizó la simulación dando los siguientes resultados.

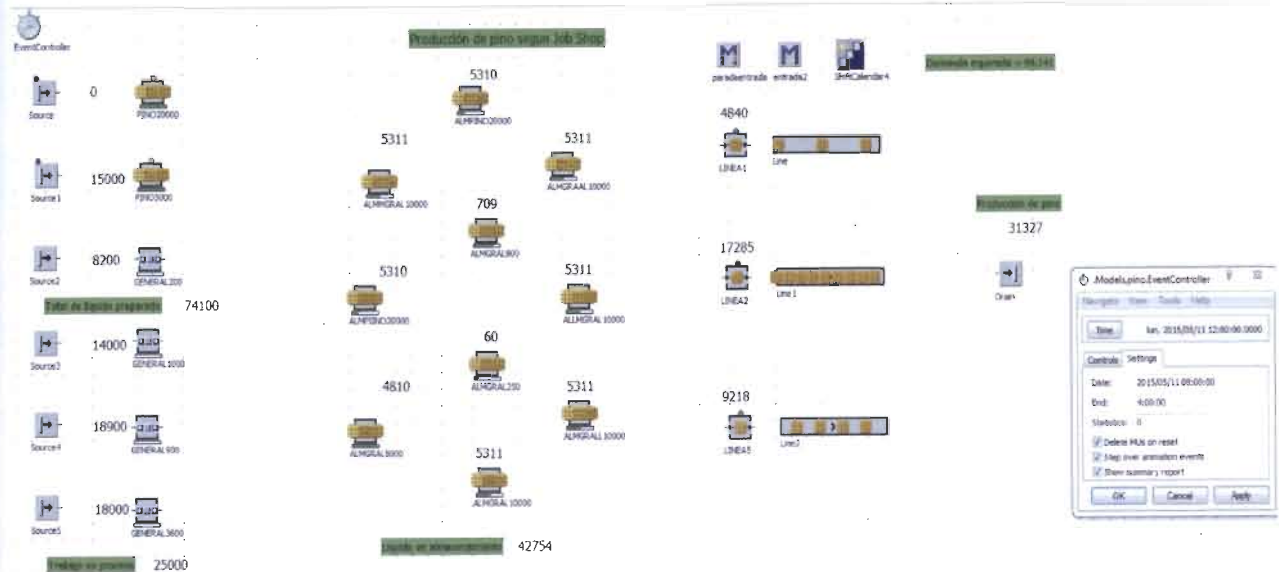


Figura 6.16 Simulación de producción de pino.

Como se observa en la simulación se quitaron las conexiones para una mejor visualización de los flujos, se obtuvo una producción de pino de 31,327 litros, en comparación con la demanda pronosticada es muy baja, además se quedaron litros sin preparar, sólo se prepararon 74,100 litros



quedando aún 20,000 litros sin preparar, además se observa que hay, 42,754 litros de líquido almacenados, la simulación se dejó correr más tiempo hasta que los tanques llegan a estar vacíos.

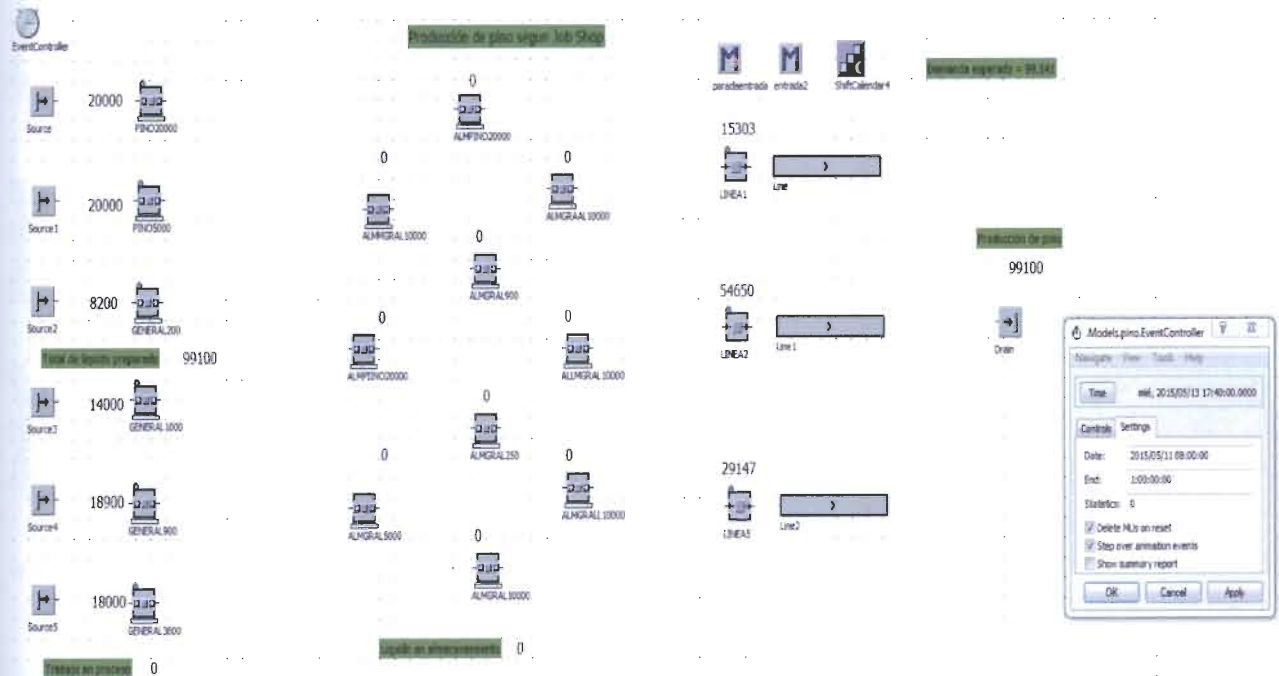


Figura 6.17 Resultados de simulación de pino y totales.

En la figura 6.17 se observa que el total de líquido preparado fue de 99,100 litros y el producido es también de 99,100 litros, pero al haber dejado correr la simulación hasta que los tanques se quedaran vacíos, el tiempo de simulación aumento hasta un día, esto quiere decir que los resultados del Job Shop muestran que no son correctos, esto es, debido a que se observó que en la simulación se contemplan factores que en el Job Shop no, como por ejemplo; el Job Shop no contempla turnos de trabajo, descansos de trabajadores, estándares a los que trabajan las máquinas, los tanques de almacenamiento, entre otros factores más. Al haber observado esto se optó por realizar la simulación completa del área de envasado, teniendo en cuenta que Job Shop afirma que en 21 horas se cumplen las demandas de todos los productos.

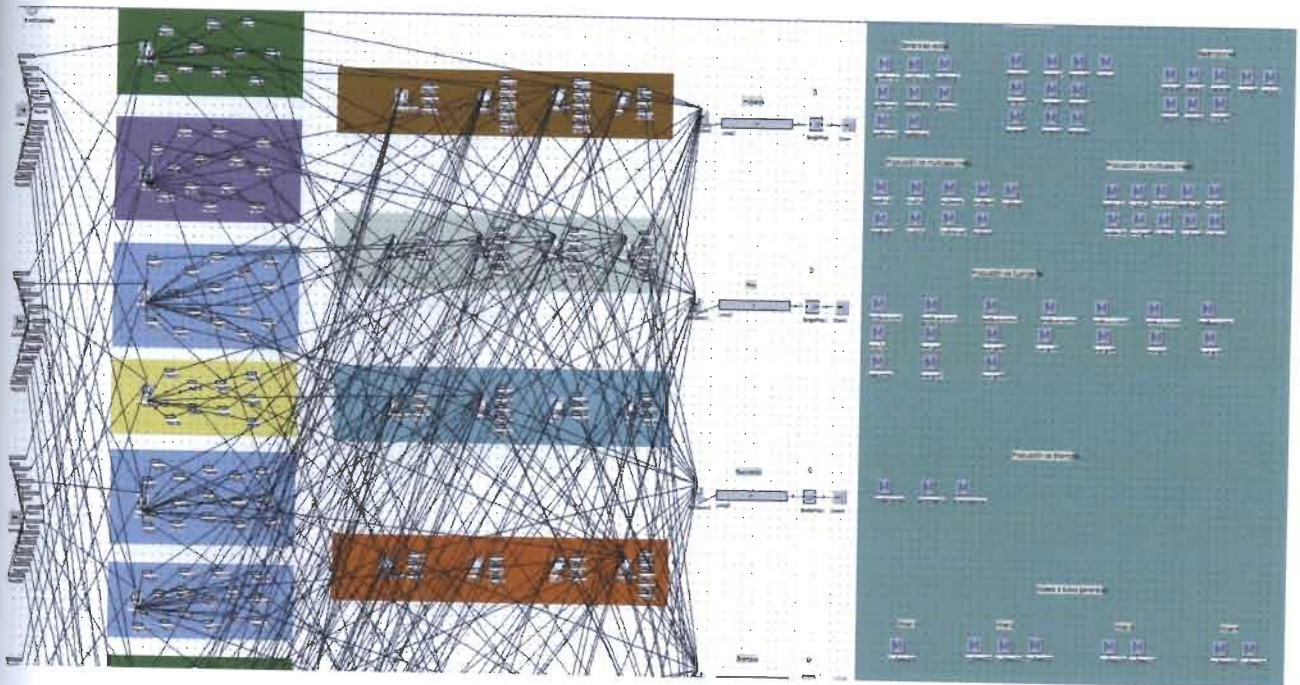


Figura 6.18 Conexiones del área de envasado parte I.

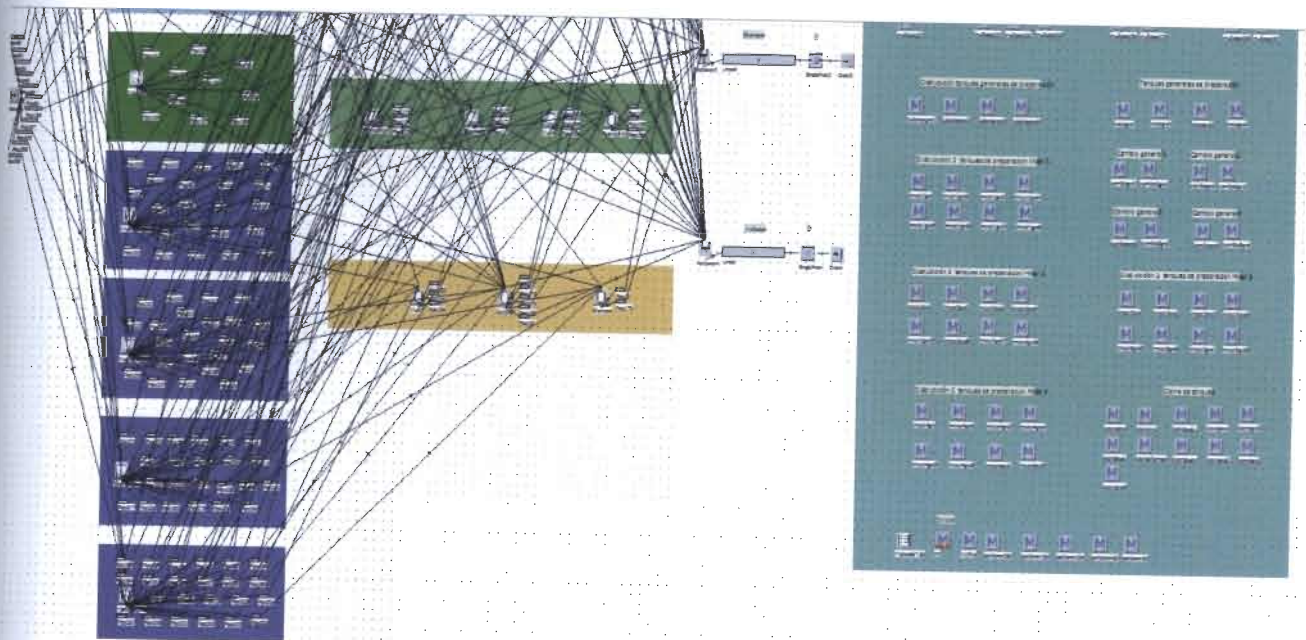


Figura 6.19 Conexiones del área de envasado parte II.

En la figura 6.18 y 6.19 se muestran las conexiones de cada uno de los tanques de preparación con cada uno de los tanques de almacenamiento y sus líneas correspondientes, en este se muestran los 11 tanques de preparación, los 23 tanques de almacenamiento y las 5 líneas de producción del

sistema de envasado. Para más claridad de los elementos en la simulación la siguiente figura se muestra sin las conexiones.

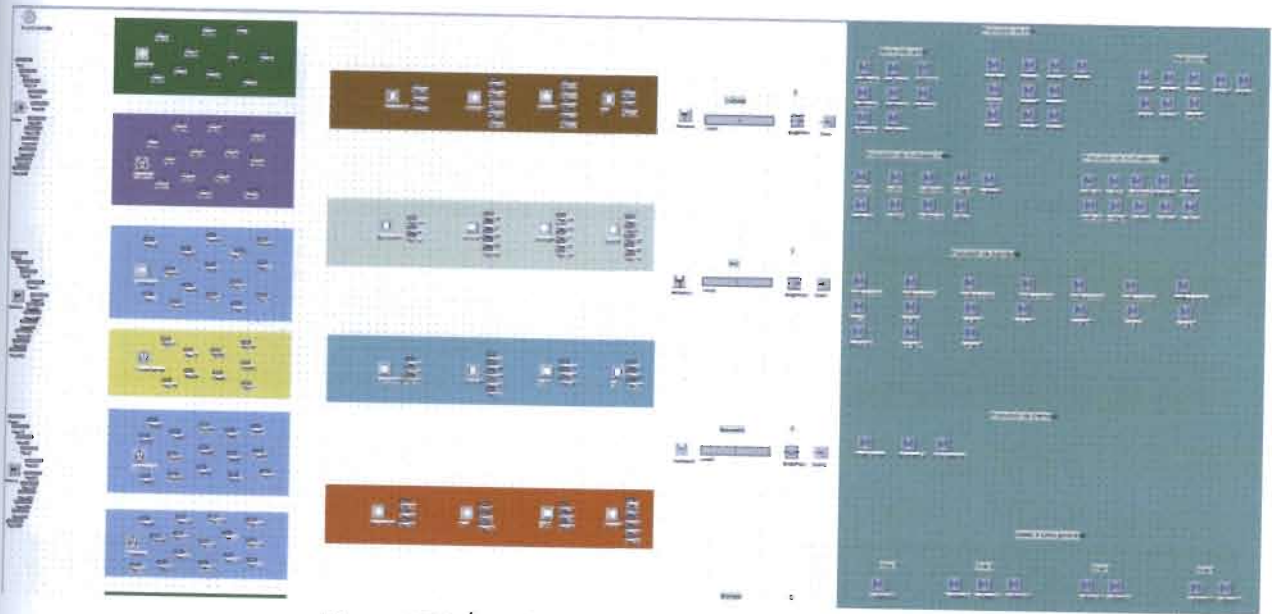


Figura 6.20 Área de envasado sin conexiones parte I.

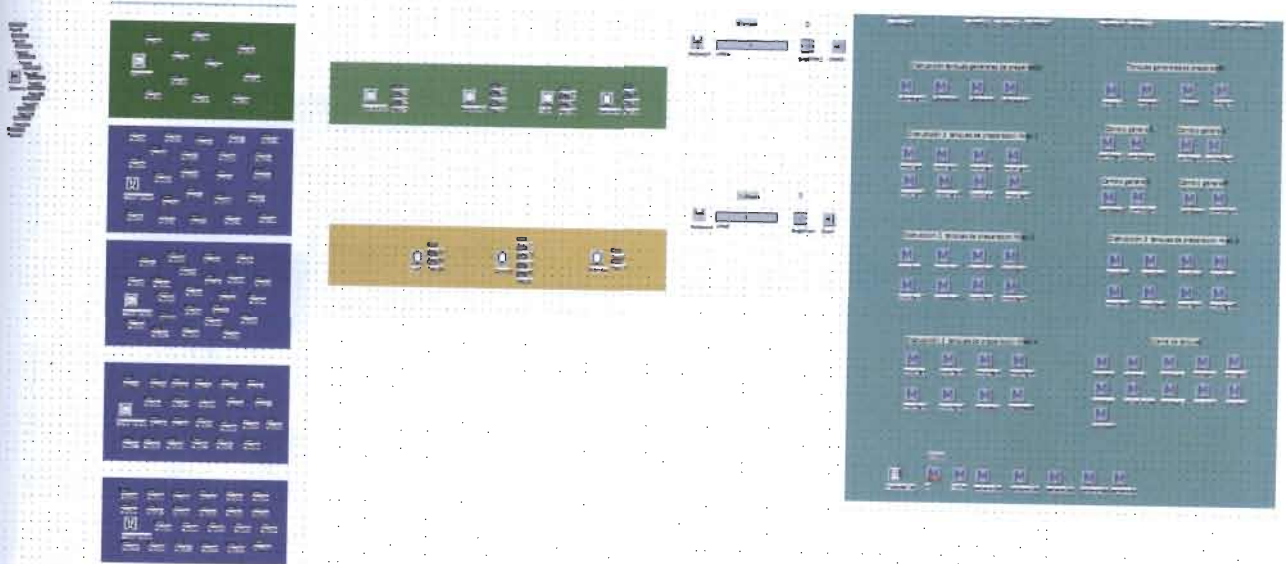


Figura 6.21 Área de envasado sin conexiones parte II.

Después de haber construido el sistema de envasado, se prosiguió a comprobar los resultados del Job Shop, los cuales afirman que, en 21 horas de producción se cumplirán las diferentes demandas de los productos. El sistema simulado se presenta en las siguientes figuras 6.22 y 6.23.

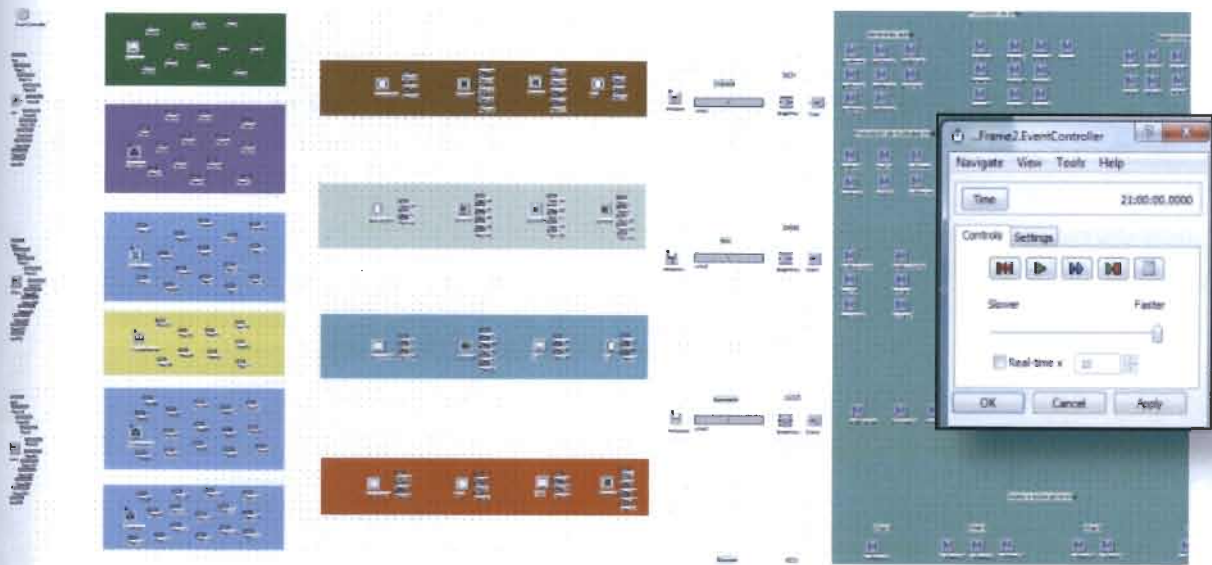


Figura 6.22 Área de envasado según Job Shop.

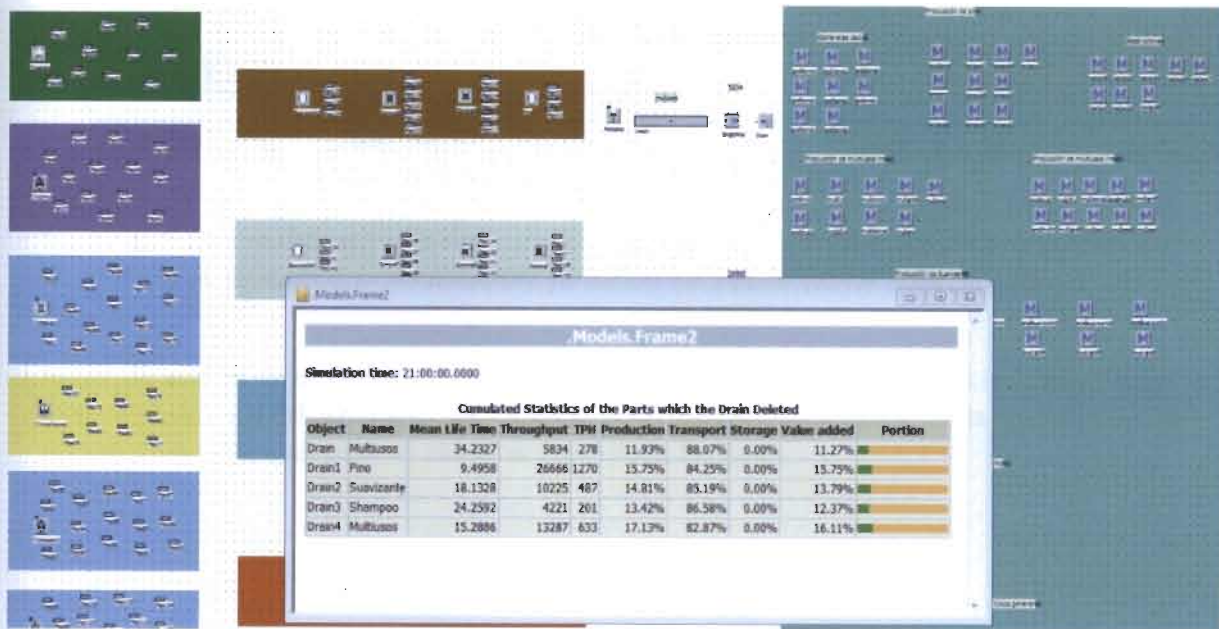


Figura 6.23 Resultados de área de envasado según Job Shop.

El sistema simulado se presenta en las figuras 6.22 y 6.23, el cual fue puesto a prueba durante 21 horas, se observa que las demandas no se cumplen, de hecho producen muy poca cantidad de líquidos, existe también trabajo en proceso y trabajo que no se ha preparado aún.

La razón de por qué pasa esto, es debido a que en la simulación son considerados diversos factores que en la metodología Job Shop no, como lo son los tanques de almacenamiento, los turnos de trabajo, los cuellos de botella, los bloqueos o esperas en las llenadoras, entre otros factores más.

Estos factores que no son tomados en cuenta tienden a aumentar el tiempo de producción, por lo tanto el sistema será simulado hasta que se cumpla la producción, tomando en cuenta todos los factores que el Job Shop no considera.

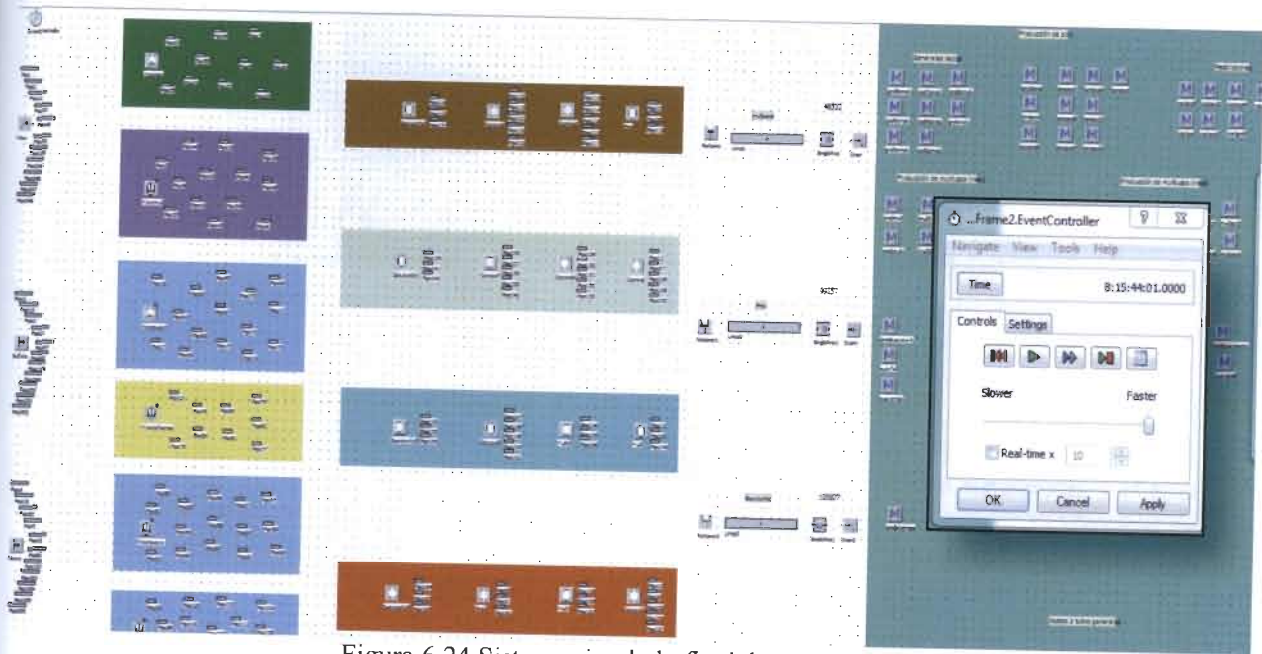


Figura 6.24 Sistema simulado final de producción.

En la figura 6.24 se observa el sistema simulado, en el cual todos los tanques tanto de preparación como los de almacenamiento se encuentran ya vacíos, además de que las líneas produjeron todo el líquido.

El tiempo total de simulación fue de 8 días 15 horas 44 minutos, el cual es muy diferente al tiempo total de producción del Job Shop, esto es, a los factores antes mencionados. En la siguiente figura 6.25 se muestra los estándares de trabajo de cada una de las líneas.

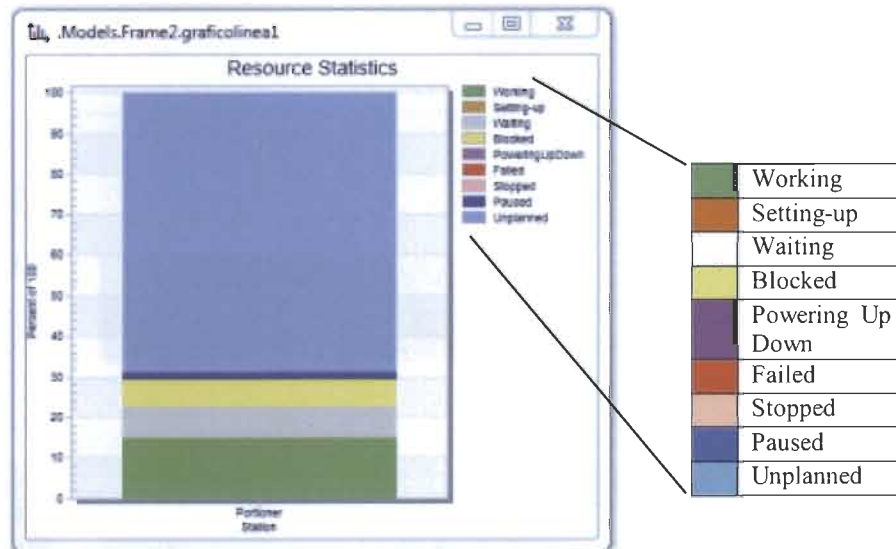


Figura 6.25 Resumen de línea 1.

En la figura 6.25 se observa el resumen de trabajo de la línea 1, el color amarillo representa el bloqueo en las líneas, el color gris representa la espera de cada una de las máquinas por material, el color verde es el trabajo que realizaron las líneas, el azul claro es el trabajo sin planear y el azul fuerte es la pausa por día que tienen las máquinas. Todos estos tiempos de espera y de bloqueos en conjunto con los demás factores mencionados anteriormente, hacen que el tiempo de procesamiento sea mucho mayor que el de Job Shop.

En las figuras 6.26 y 6.27 se muestra el total de líquidos procesados por cada línea en el lapso de los 8 días, en la línea 1 se procesó el limpiador multiusos, en la 2 el limpiador de pino, en la 3 suavizante, en la 4 shampoo y en la línea 5 se procesó multiusos.

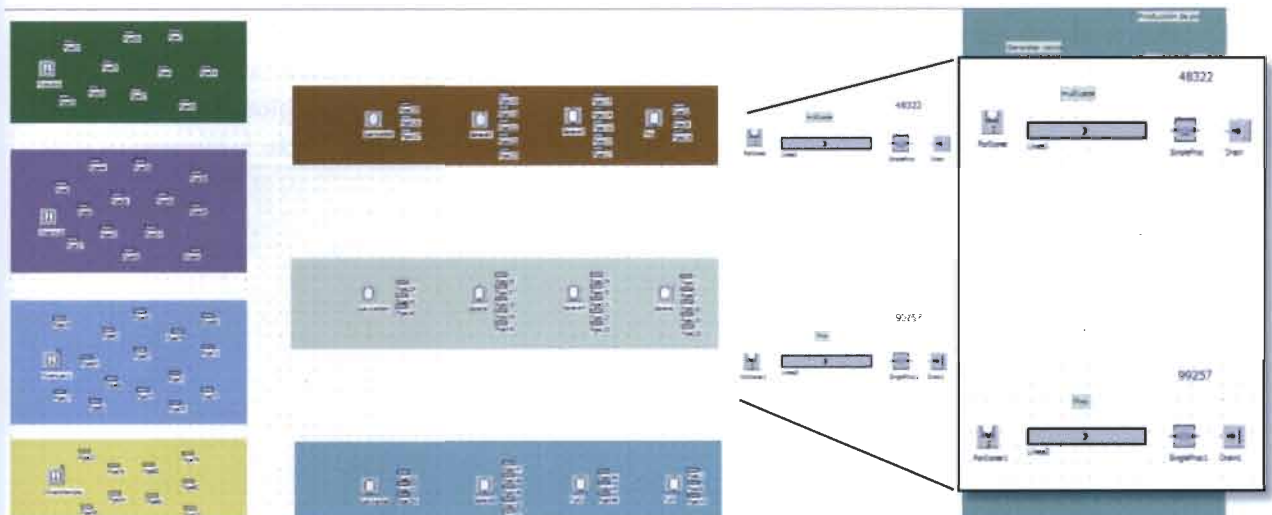


Figura 6.26 Total de líquidos línea 1 y línea 2.

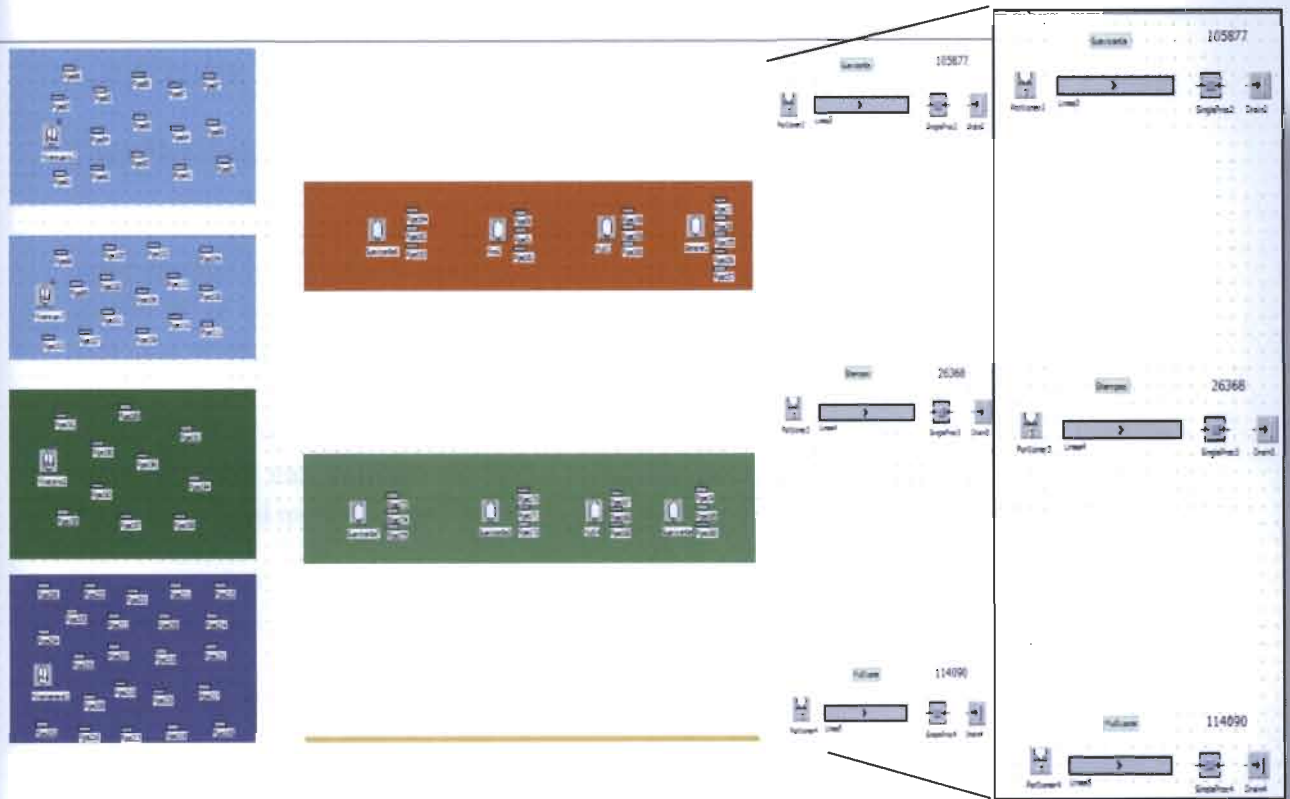


Figura 6.27 Total de líquidos línea 3, línea 4 y línea 5.

En las figuras 6.26 y 6.27 muestran la producción total de las líneas, donde se observa que la demanda esperada se cumple. Por lo tanto el sistema de simulación es aceptado debido a que representa lo que en verdad está pasando en el área de envasado, mientras que la metodología Job Shop, representa solo una pequeña parte a lo que en verdad es el área de envasado. En la figura 6.28 se presenta el modelo 3D de el sistema de envasado.

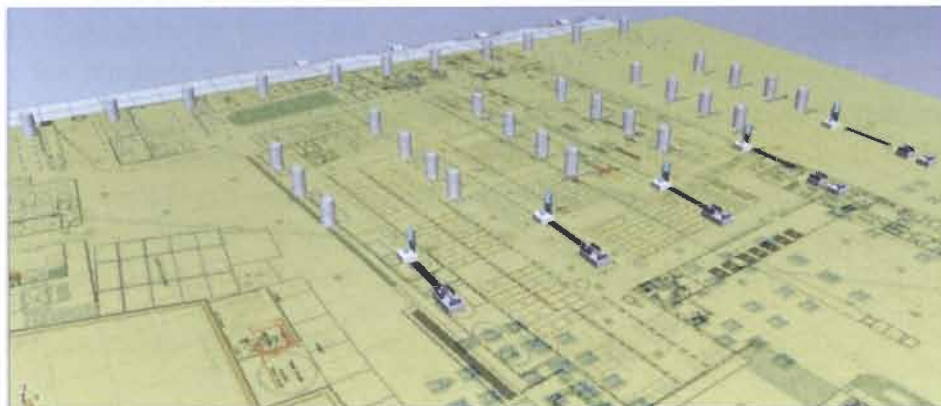


Figura 6.28 Modelo 3D área de envasado

El programa de simulación usado pudo realizar de manera correcta la representación del área de envasado de esta empresa de productos químicos de limpieza, la simulación puede brindarle a la empresa herramientas para realizar modificaciones en tiempo real, además de realizar la prueba de diversos escenarios de producción.

## Capítulo 7

### Conclusiones

El que las empresas tengan un conocimiento adecuado de la capacidad instalada es indispensable para poder cumplir con demandas futuras, si las empresas fallan en tener un control sobre esa capacidad, no sabrán de qué manera producir, cuánto y cuándo producir, para esto se engloba un plan maestro de producción, todo con el fin de ayudarlas a planear el horizonte de producción, en este trabajo se realizó la comparación de dos técnicas para el control de la producción, una de estas fue el Job Shop que se encarga de asignar trabajos a máquinas para una correcta distribución, la segunda fue la simulación del sistema de envasado la cual mostró la realidad de lo que pasaba en el sistema productivo.

La comparación de ambas metodologías mostró que la simulación es apta para la representación del sistema actual y determinación de la capacidad instalada, debido a que representa de forma real lo que está pasando en el momento, además puede tener modificaciones en tiempo y forma, sin costo para las empresas. La razón por la que el Job Shop no pudo representar lo que en verdad estaba pasando en el área de envasado, fue debido a que no contempla factores de importancia que influyen de manera directa a la producción, como lo son: los tanques de almacenamiento, el tiempo de vaciado, llenado de los tanques, los turnos a trabajar, descansos de trabajadores, estándares de líneas, bloqueos en las líneas, tiempos de espera de material e incluso fallas en las máquinas.

Por lo tanto se llegó a la conclusión de que la metodología Job Shop no es apta para resolver este caso de estudio, por el simple hecho de no representar lo que en verdad está pasando con el área de envasado y no contemplar factores importantes como lo son: turnos de trabajo, estándares de líneas, los tanques de almacenamiento, tiempos de vaciado y llenado y los bloqueos que se presentan en las líneas, todos estos factores aumentan el tiempo de producción total. En este caso la simulación pudo representar lo que en verdad pasa con el sistema productivo con el simple hecho de contemplar toda la realidad del sistema, y con esto afirmar que la empresa si tiene la capacidad instalada para cumplir con demandas futuras que se le presenten, además puede utilizar la simulación como herramienta para realizar mejoras o modificaciones a su área de envasado.

Al concluir este trabajo se lograron resolver las preguntas de investigación:

1.- ¿Qué demanda podría esperar la empresa con este crecimiento?

Se obtuvieron los pronósticos de la demanda para cada uno de los productos, con esto se pudo determinar cuánto está aumentando la demanda con este crecimiento.



2.- ¿Qué método será idóneo para el cálculo de la demanda futura?

Se utilizaron las series de tiempo para el cálculo de la demanda futura, fue escogida debido a que en las aplicaciones es la más utilizada, además de las diversas técnicas que la componen, las cuales son para diversos comportamientos como: datos cíclicos, datos con tendencia y datos estacionarios.

3.- ¿Podrá el taller flexible (Job Shop) realizar la representación adecuada del sistema actual?

La respuesta a esta pregunta es que el Job Shop no fue adecuado para la representación del sistema actual, debido a que no contempla factores importantes, como lo son: turnos de trabajo, estándares de línea, descansos de trabajadores, bloqueos de líneas, esperas de material, etc.

4.- ¿Esa producción de litros será suficiente para cumplir la demanda pronosticada?

La producción realizada con la capacidad instalada actual si es suficiente para cumplir con la demanda futura, aunque tarda 8 días de producción se puede completar esa demanda, el trabajo futuro incluye la reducción del tiempo total de producción.

5.- ¿Qué factores no son contemplados en el taller flexible?

Los factores que no son contemplados por el taller flexible son:

- Tanques de almacenamiento.
- Llenado y vaciado de tanques de almacenamiento.
- Turnos de trabajo.
- Bloqueo de líneas.
- Estándares de producción.
- Tiempo de espera de materiales.
- Descansos de trabajadores.

6.- ¿Por qué motivo no contempla dichos factores?

Estos factores no son contemplados debido a que el Job Shop no es una herramienta que represente la realidad del todo, debido a que solo contempla el acomodar trabajos a maquinas, en cambio si un sistema se simula, pueden representarse cada uno de los elementos, ya que la simulación es lo más apegado a la realidad.

7.- ¿Qué método podrá tomar en cuenta recursos que Job Shop no pudo?

El método adecuado para contemplar los factores que Job Shop no pudo fue la simulación, esto fue representado en este trabajo, y se dieron a conocer los factores que no se contemplaron en Job Shop pero en simulación sí.

8.- ¿La simulación podrá identificar los factores faltantes que el método de taller flexible no pudo contemplar?

Al haber realizado la simulación parcial del caso particular de pino, y la simulación completa, se concluyó que la simulación es adecuada para la representación de todos los factores que el Job Shop no pudo contemplar.

Al haber resuelto cada una de las preguntas de investigación y mediante la obtención de la capacidad instalada se pudo deducir que esta será suficiente para cumplir con la demanda futura, además se pudo comprobar que factores no son contemplados en el Job Shop, estos fueron determinados mediante el modelo de simulación.

La razón de por qué no contempla estos factores es debido a que Job Shop no es tan apegado a la realidad como lo es la simulación, la simulación es la representación de un modelo real en el cual se pueden hacer cambios en tiempo real, mientras que el Job Shop no se pudo contemplar esos factores faltantes.

Así que para que se pudieran contemplar esos factores que el Job Shop no considera se optó por realizar un modelo de simulación del sistema de envasado de la empresa, para que estos factores fueran considerados y así obtener como resultado un modelo que pudiera ser manipulado en tiempo y forma. Al haber realizado el modelo de simulación y al haber incluido los factores, se verificó la simulación y se observó que sí contempla todos los factores adecuadamente, al haber confirmado lo que la simulación puede hacer se pudo dar respuesta a las hipótesis.

- La primera hipótesis (Mediante Job Shop podrá ser adecuada la representación del sistema actual).

Fue descartada debido a que el Job Shop no contempla factores como turnos, velocidad de líneas, entre los otros mencionados que son muy importantes en el sistema actual, para algún otro caso pudiera ser adecuado, pero para este caso específico no lo es.

- La segunda hipótesis (El modelo podrá ser representado de manera matemática, adecuando cada uno de los factores con los que el sistema actual cuenta).

También fue descartada debido a que es complicada la elaboración matemática de este caso, debido a que ciertos factores no pueden ser considerados para ser expresados matemáticamente o son complicados.

- La tercera hipótesis (Mediante el uso de la simulación podrá realizarse una correcta representación del sistema actual de producción, contemplando cada uno de los factores).

Fue aceptada debido a que mediante la simulación se pudo realizar un modelo del sistema real el cual puede ser modificado rápidamente para acoplarlo a la variabilidad de la demanda.

Por último se verificó si cada uno de los objetivos fue cumplido y al revisarlos en el capítulo 2, se cumplió el pronóstico de la demanda, se compararon ambos estándares de producción tanto el de planta como el de la simulación, esto se comprobó en el capítulo 6, página 43, tabla 6.15, también mediante esta comparación se comprobó que la simulación es apta la representación del sistema de producción.

Se logro la simulación del sistema actual de producción, primeramente por separado cada línea, y después el sistema en conjunto, verificando con esto los factores que Job Shop no toma en cuenta. Y finalmente se realizó la simulación incluyendo cada uno de los factores que el Job Shop no contempla.

El trabajo futuro se pretende encontrar una correcta distribución de tanques en donde se minimice el tiempo total de proceso además el de tomar en cuenta limitaciones de equipo y restricciones de tiempo para poder realizar el control de la producción, en este caso sería el cumplir varios objetivos al mismo tiempo. Esto aplicado sobre el sistema de simulación ya elaborado, siguiendo los flujos que tiene la red para así seguir la secuencia de las actividades en tiempo real y verificar los tiempos de llenados y vaciado de tanques, sin dejar de considerar los factores que se contemplaron ya actualmente.

## Bibliografía

- A. Giudice, C., & M. Pereyra, A. (2005). *Diseño del proceso*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Bhatnagar, R., Chandra, P., & Goyal, S. K. (1993). Models for multi-plant coordination. *European Journal of operations research*, 141-160.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción*. México: Prentice Hall.
- Crama, Y., Pochet, Y., & Wera, Y. (2001). A discussion of production planning approaches in the process industry.
- Eppen, Gould, Schmidt, Moore & weatherford. (2000) Investigación de Operaciones en la ciencia administrativa: construcción de modelos para la toma de decisiones en hojas de cálculo electrónicas, México: Prentice-Hall.
- Ferrer, J. J. (Febrero de 2013). Manual para el diseño de procesos. *Manual para el diseño de procesos*. Arrixaca, Murcia, España : Murcia .
- Fishwick Paul. (1995). Simulation Design and Execution: Bulding Digital Worls, Estados Unidos: Prentice-Hall.
- Gonzalez Camargo, C. A. (2013). *Ingenio Industrial*. Colombia: Universidad Catolica de Colombia.
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. J. (2008). Inventory Management Models in Supply. *Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 134-149.
- Hanke, J. E., & Reitsh, A. G. (1996). *Pronósticos en los negocios*. México: Prentice Hall.
- Kempf, K. G., Kesckinocak, P., & Uzsoy, R. (2011). *Planning production and inventories in the extended enterprise*. USA: Operations research management science .
- Kenné, J.-P., Dejax, P., & Gharbi, A. (2012). Production planning of a hybrid manufacturing-remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *Production economics*, 81-93.
- Matsumoto Mitsutaka & Ikeda Akira. (2015). Examination of demand forecasting by time series analysis for auto part remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 5:1.
- N Chapman, S. (2006). *Panificación y control de la producción*. México: Pearson Educación .
- Osorio, J. C., & Motoa, T. G. (2008). Hierarchical production planning in the flexible job shop. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 158-171.
- P. Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México, D.F: Mc Graw Hill.

- Ruvalcaba Luna J.E., Praga Alejo R. & Carrum Siller E.G. (2015). Determinación de la demanda mediante técnicas de pronóstico, aplicado a un caso de estudio, Congreso Internacional de Investigación de Academia Journals en Ciencias y Sustentabilidad, 2326-2331
- Sipper, D., & Bulfin Jr, R. L. (1994). *Planeación y control de la producción*. México,D.F.: The McGraw-Hill.
- Slomp, J., & Stecke, K. E. (2011). Changes in production control required for untended operation of a flexible manufacturing cell. *The management of operations*, 674-693.
- Savsar Mehmet & Al-Jawini Abdullah (1995). Simulation analysis of Just in Time production systems. *Int. J. Production Economics*, 67-78.
- Wang Junfeng, Chang Qing, Xiao Guoxian, Wang Nan, Li Shiqi (2011). Data driven production modeling and simulation of complex automobile general assembly plant. *Computers in industry*, 765-775.
- Lin T. James, Chen Chien-Ming (2015). Simulation optimization approach for hybrid flow shop scheduling problem in semiconductor back-end manufacturing. *Simulation modelling practice and theory*, 100-114.
- Li Jianzhi, Gonzalez Miguel & Shu Yun (2009). A hybrid simulation optimization method for production planning of dedicated remanufacturing. *Int. J. Production Economics*, 286-301.
- Yang Taho, Su Chao-Ton & Hou Chia-Lin (2015). Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 66-73.
- Kose Yelkenci Simge, Demir Ieyla, Tunali Semra & Eliyi Tursel Deniz (2015). Capacity improvement using simulation optimization approaches: A case study in the thermotechnology industry. *Engineering Optimization*, 149-164.