

Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Ingeniería



Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministro

Trabajo Terminal de Grado

**PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA DE CAJAS SECAS
DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA**

Ing. Michel Geovani Cano Sánchez

Tutor académico: Dr. Javier García Gutiérrez

Tutor adjunto 1: M. en I. Sergio Vázquez Aranda

Tutor adjunto 2: Dra. Lourdes Loza Hernández

Fecha: 14 de febrero de 2018

Agradecimientos

La vida está llena de retos, y uno de esos retos es la maestría. Tú, quien has sido mi mano derecha durante todo este tiempo; te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesite, por aportar en mis proyectos. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, si no por los buenos momentos en los que convivimos, y me encanta tenerte a mi lado como una gran esposa.

Su afecto y su cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ustedes. Me han enseñado y me siguen enseñando muchas cosas de esta vida.

Contenido

Resumen	iii
Abstract	iii
Prefacio.....	v
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación	5
Hipótesis	7
Objetivo general.....	7
Objetivos particulares	8
Metodología.....	8
Alcances	9
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. La cadena de suministro.....	17
2.2. Importancia de la gestión de la cadena de suministros	18
2.3. Elementos de la cadena de suministro	19
2.4. Definición de la administración de la cadena de suministro	20
2.5. Administración de la cadena de suministro	20
2.6. Sistemas de Producción	21
2.7. Planeación de la producción.....	22
2.7.1. Sistemas de planeación y control de la operación	22
2.8. Planeación Agregada de la Producción	24
CAPÍTULO 3. MODELO DE OPTIMIZACIÓN	26
3.1. Modelación matemática	26
3.2. Desarrollo del modelo	28
3.3 Formulación del modelo	28
3.3.1 Variables de decisión y parámetros	29
3.3.2 Función objetivo	31
3.3.3 Restricciones	31
3.3.4 Naturaleza de las variables	32
3.4. Información para el modelo	32
3.5. Representación del modelo en GAMS	36

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
4.1. Escenario 1.....	37
4.1. Escenario 2.....	38
4.3. Escenario 3.....	38
4.3. Escenario 4.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
Conclusiones.....	42
Recomendaciones	44
REFERENCIAS	46
ANEXO 1. Codificación del modelo en GAMS	49

PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA DE CAJAS SECAS DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA

Resumen

En este Trabajo Terminal de Grado se planea la producción de cajas secas con el apoyo de un modelo de programación lineal tomando en cuenta en el abastecimiento de un elemento clave en la fabricación de las cajas, los paneles aislantes y en la disminución de horas extras. Se considera como objetivo minimizar los costos correspondientes a mano de obra, ya sea en tiempo normal y extra, así como los faltantes incurridos por insuficiente capacidad de producción y de abasto, lo anterior dentro de un período de planeación predeterminado. El modelo propone la correcta asignación de los recursos de mano de obra de acuerdo a la asignación necesaria para cada proveedor de un material crítico sujeto a restricciones de capacidad de planta, mano de obra disponible, de inventario, de demanda y de capacidad de los proveedores. El modelo se formula y resuelve haciendo uso de un programa de optimización comercial. Se comparan los costos incurridos antes y después del uso del modelo. La mejora obtenida corresponde a un 11.6% respecto a los incurridos antes de la mejora. El departamento de planeación y programación indica que el uso del modelo proporciona un panorama favorable para ser utilizado en los siguientes programas de planeación de la producción ya que se logra una disminución del uso de tiempo extra, así como una adecuada asignación de cantidades a ser abastecidas por los proveedores, lo que a su vez da la oportunidad de reducir los paros por faltante de material y el alto costo de las horas no planeadas para recuperar la planeación de la producción. La experiencia indica para la construcción del modelo matemático y posibles adaptaciones, es indispensable contar con la participación del gerente de área en todo el proceso de modelación.

Abstract

In this Graduate Final Work planned the production of dry boxes with the support of a linear programming model taking into account in the supply of a key element in the manufacture of the boxes, the insulating panels and in the reduction of overtime. The objective is to minimize the costs corresponding to labor, either in normal and extra time, as well as the shortfalls incurred due

to insufficient production and supply capacity, the aforementioned within a predetermined planning period. The model proposes the correct allocation of labor resources according to the allocation required for each supplier of a critical material subject to restrictions of plant capacity, available labor, inventory, demand and capacity of suppliers. The model is formulated and solved using a commercial optimization program. The costs incurred before and after the use of the model are compared. The improvement obtained corresponds to 11.6% with respect to those incurred before the improvement. The planning and programming department indicates that the use of the model provides a favorable panorama to be used in the following production planning programs since it achieves a decrease in the use of extra time as well as an adequate allocation of quantities to be supplied by suppliers, which in turn gives the opportunity to reduce stoppages due to lack of material and the high cost of unplanned hours to recover production planning. Experience indicates that for the construction of the mathematical model and possible adaptations, it is essential to have the participation of the area manager in the whole modeling process.

Prefacio

La elaboración de esta tesis ha surgido del interés personal de adentrarse en profundizar como puede aplicarse el conocimiento de la Maestría en Ingeniería en Cadena de Suministro en un entorno real que se vive día a día en la mayoría de las empresas manufactureras. Durante el tiempo que estuve en la Maestría, le vi utilidad a todas las herramientas que veíamos o se mencionaban en cada una de las materias, no siempre se pueden aplicar todas, pero al menos generan expectativas de su aplicación. De esta manera el principal objetivo en este proyecto fue el poder aplicar un modelo matemático que pudiera reducir los costos incurridos por problemas generados en la cadena de suministro.

La idea de aplicarlo en una empresa metal mecánica, es porque estas empresas son unas de las más frecuentes de encontrar en el ámbito industrial y muchas de ellas aún tienen problemas en su cadena de suministro por el tamaño de algunas de estas, además, tengo la oportunidad de laborar dentro de una de ellas y se ideó una herramienta basada en modelación matemática para la toma de decisiones y la optimización del recurso.

Por otra parte, al formar parte de la Maestría me pareció interesante constatar que los conocimientos adquiridos son de gran utilidad en la industria, solo hay que dedicarle tiempo y practicarlos para ir adquiriendo más aprendizajes de la aplicación real.

Agradezco al maestro Sergio Vázquez y a los doctores Juan Gaytán y Javier García por la asesoría brindada en la culminación de este proyecto y en su confianza otorgada.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, para la mayoría de las empresas, ha cobrado especial importancia el enfoque al cliente, en donde hay tres cosas importantes por resaltar, y son; lograr el mejor tiempo, la mejor calidad y con el mejor precio. Todo esto con la correcta administración y diseño de la cadena de suministro se permite alcanzar.

En la búsqueda de estas ventajas y considerando el alto nivel de competitividad de la época actual, las empresas se asocian con el fin de convertir un problema particular a un problema conjunto de todas las empresas que participan en la cadena de valor de un producto o servicio. En este sentido, los productos y servicios que ofrecen las empresas actualmente son el resultado de todas las etapas en las cuales se va añadiendo valor a dichos productos y servicios, esto es, el valor en la cadena de suministro.

De este modo, desde los proveedores, pasando por la empresa maquiladora, hasta llegar al cliente final, todos tienen una vital importancia en el nivel de servicio ofrecido y en la calidad del producto mismo. Es aquí donde entra en juego la ingeniería y administración de la cadena de suministro, como un conjunto de entidades integradas y coordinadas de forma efectiva por medio de relaciones de colaboración para colocar los requerimientos de insumos o productos en cada eslabón de la cadena en el tiempo preciso al menor costo.

Las empresas que manufacturan bienes terminales para su consumo final dependen directamente de las ventas, por lo que el negocio depende directamente de indicadores relacionados con ventas, y para que un negocio pueda mejorar sus utilidades o beneficios existen tres principales caminos para obtenerlos: la disminución de gastos, la reducción de costos de producción, o el incremento del mercado. Por esta razón, para generar mayores ingresos por ventas, es fundamental que las empresas ofrezcan productos de buena calidad, en tiempos cortos y con precios justos.

Es precisamente en este último rango en el que se ubica el presente trabajo, ya que, gracias a la amplia gama de situaciones “problema” que se viven a diario en el abastecimiento de materiales, donde la cadena tiende a romperse por una mala planeación y un mal desarrollo de

proveedores cuya capacidad actual es rebasada de forma frecuente en algunos puntos de demanda estacional severa.

El presente Trabajo Terminal de Grado se contextualiza en una empresa que elabora bienes de consumo final, y para la cual, la falta de entrega en los artículos solicitados en tiempo puede llegar a ser un resultado negativo en sus finanzas y en su imagen, pero también el uso de los recursos es importante y es por ello que el resolver el problema de abastecimiento y de planeación son la principal prioridad para mantener sanas las finanzas.

Planteamiento del problema

En la empresa bajo estudio, se tiene un proceso de manufactura interno de caja seca. Se observó que una de las mayores problemáticas la representa la inadecuada planeación de requerimientos de materia prima, lo que da lugar el no contar con abasto de esos materiales de manera adecuada para solventar las ordenes de pedidos de clientes, ocasionando problemas en el área de almacén y principalmente el cumplimiento de los pedidos del cliente.

En la Figura 1, es posible apreciar en color verde la planeación de la producción a lo largo del año 2016 en contraste con la producción real (en color amarillo). Puede observarse como hay periodos en los que las órdenes no se cumplieron por no tener materiales para producir momento. Al ser este un periodo de producción no suele iniciar siempre desde la semana uno, ya que el cliente tiene demandas de acuerdo a sus estacionalidades por lo que puede ser cualquier semana del año.

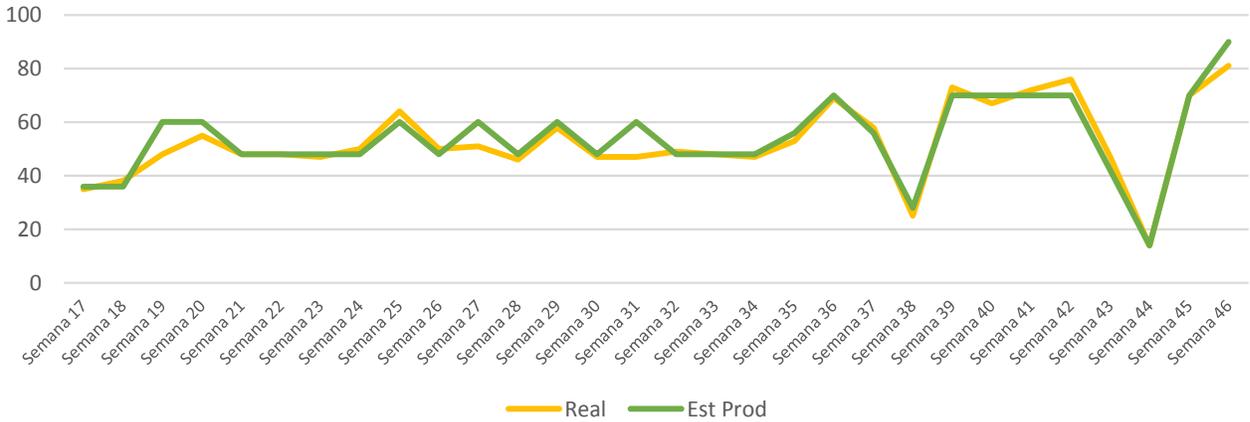


Figura 1. Gráfica de producción planeada vs producción real.

Fuente: Elaboración propia

En el año mostrado se tenía una planeación requerida anual de manufactura de 1,581 cajas secas, con una entrega programada para la semana 46 y se terminaron en la semana 47, dando así una diferencia de 37 camionetas la cual generó un costo de \$3'404,000 pesos por atrasos. Esta penalización impacta directamente a las finanzas de la empresa. En el problema es posible visualizar donde está localizando y qué tipo de problema es el que tenemos que trabajar como prioridad. En la Figura 2, podemos ver que, de esas 37 cajas secas 25 fueron por una mala planeación, 8 por la capacidad de proveedores y 4 por problema de calidad.



Figura 2. Rompimiento del problema.

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el rompimiento del problema, en la Figura 3, podemos identificar que la producción es detenida debido al inadecuado abasto de un elemento principal en la fabricación de cajas secas formadas por los paneles de aislamiento, ya que en el período de análisis ocurrieron desabastos en la entrega de paneles de los períodos del plan de producción. El desabasto ocurre principalmente por la inadecuada asignación del comprador a los dos proveedores principales de ese material, ya que no toma en cuenta la capacidad de cada uno de ellos ni los precios correspondientes.



Figura 3. Proceso de detección del punto de ocurrencia.

Fuente: Elaboración propia

En resumen, el no tener un buen cumplimiento de los proveedores desarrollados (es decir, desarrollados a partir de las necesidades de la empresa y mercado) debido a una inadecuada planeación de su abasto, genera retrasos en la producción, lo que a su vez genera una incorrecta asignación de los recursos humanos y capacidades de producción de los equipos, con un correspondiente aumento en los costos que impactan en pérdidas para la empresa.

Por lo anterior, la dirección de Planeación y Programación elaboró un proyecto enfocado a la planeación adecuada de los requerimientos de materiales, de equipos y de mano de obra. Los objetivos que se busca implementar el proyecto con lo siguiente:

- Construir un plan de producción considerando la capacidad de los proveedores, los costos de producción, la capacidad de la planta, la disponibilidad de mano de obra en tiempos normal y extra, buscando reducir el tiempo extra incurrido y el costo de no entregar en tiempo las cajas secas apoyándose con la formulación de un modelo matemático.
- Lograr estabilidad en el proceso de producción con entregas constantes de materiales evitando el desabasto y reduciendo el estrés al que se encuentra sometido el departamento de producción.

Justificación

La empresa en cuestión se caracteriza por su alta producción de bienes primarios y esto se evidencia en la participación en el mercado siendo estos los más visibles en reparto de producto perecedero del grupo. En los últimos años, el sector de transportes de insumos perecederos ha cobrado mucha importancia y ha significado un alto crecimiento económico para las empresas y el país por las grandes cantidades que se producen y distribuyen. Esta empresa no se ha quedado ajena a dicho crecimiento y las ventas de cajas secas suponen ingresos significativos para las empresas que colaboran e interaccionan con la distribución de bienes.

Dentro de la empresa se tienen altos costos que son provocados debido a los re-trabajos, horas extras, materias primas de mala calidad, cambios de secuencias sin planeación, manejos de inventarios internos, etcétera. Se optó este proyecto porque en esta etapa se necesita balancear la línea para tener un mejor flujo en la producción y disminuir el tiempo total de producción (*Lead Time* en inglés) del mismo modo que se necesita reducir el Tiempo Tacto (*Takt Time* en alemán) de cada operación y cumplir con la demanda del cliente.

Este Trabajo Terminal de Grado busca sentar las bases en el diseño de un proceso de planeación de producción que le permita a la empresa lograr el mayor beneficio, así como a las empresas que forman parte de esta cadena de suministro, pues sirve de base para identificar, gestionar y desarrollar para su posterior integración de una manera eficiente, logrando satisfacer

al mercado y mejorar los procesos de la empresa. Con la eventual operación de los resultados desprendidos de este proyecto, se espera obtener lo siguiente:

- Generar un sistema para detectar fallas dentro del sistema de manera oportuna.
- Preparar un plan que podría reducir los niveles de inventarios.
- Se podría utilizar con mayor eficiencia los recursos.
- Se pretende obtener un mejor servicio a clientes.
- Se espera obtener un beneficio económico a la empresa en caso de que se aplique.

Para finalizar, se busca que este proyecto sirva como guía para la empresa y el personal que se encuentre involucrado dentro de la organización y permita adaptarse a las necesidades de otras entidades, lo que eventualmente les dará una oportunidad de gestionar, administrar e integrar la cadena de suministro con el fin de optimizar y mejorar la productividad. Esta cadena está representada en la Figura 4, la cual muestra el flujo de materiales iniciando por el proveedor de paneles que forma una caja seca, después tenemos el almacén de materia prima de la empresa donde se recibe el material para ser procesado en la manufactura de la caja para que una vez terminado el proceso se traslada por el mismo cliente a sus instalaciones buscando tenerlo satisfecho.



Figura 4. Cadena de suministro de la empresa.

Fuente: Elaboración propia

La realización de un estudio de métodos y tiempos para el área de cajas secas dentro de la empresa, es relevante ya que este estudio le permitirá a la empresa conocer su ritmo de producción y así como la manera de cómo se encuentra distribuido el trabajo dentro de su línea. Se determina mediante un estudio de tiempos y movimientos, y la aplicación de estándares, promoviendo un diseño ergonómico y práctico en las diferentes estaciones de trabajo, se obtendrá una mejora de productividad y desempeño de la línea del mismo modo que tendrá un impacto económico en beneficio de la empresa.

En adición, es posible tener un MRP (Planificación de los Requerimientos de Material, o *Material Requirement Planning*), y un MPS (Plan Maestro de Producción o *Master Production Schedule*) como sistemas de planeación y administración, las cuales tienen como objetivo tener los materiales requeridos para el programa de producción requerido, ambos para cumplir en el momento adecuado y con las órdenes de producto.

La ingeniería de la cadena de suministro es un concepto clave durante el desarrollo de este proyecto, pues nuestro problema de fondo se extiende a mejorar el flujo de materiales en una planta, a reducir nuestros tiempos de entrega, a mejorar nuestros niveles de inventarios, a resolver el problema de satisfacción al cliente.

Hipótesis

Con el diseño de un modelo matemático de programación matemática es posible desarrollar una planeación, abastecimiento y programación de acuerdo con la demanda del cliente en la manufactura de cajas secas; logrando una reducción de los problemas de desabasto.

Objetivo general

Conocer los elementos de la cadena de suministro que no permiten cumplir adecuadamente con la demanda proyectada, y que, con base en eso, se pueda establecer una estrategia de planeación que permita minimizar los costos asociados en la falta de un correcto abastecimiento, incluyendo producción, almacenamiento y distribución recurriendo a la modelación matemática.

Objetivos particulares

Los objetivos particulares del presente trabajo terminal de grado son los siguientes:

- Realizar un levantamiento de información preliminar a través de la recopilación de información que permita conocer las condiciones actuales del área de carrozado y planeación,
- Analizar el plan de producción y la red de distribución actuales a fin de establecer la configuración para minimizar los costos actuales y de abastecimiento,
- Conocer a detalle los elementos de la empresa que intervienen en la cadena de suministro, y su grado de contribución en los procesos de la misma,
- Analizar el plan de producción y la red de distribución actuales a fin de establecer la configuración para minimizar los costos actuales y de abastecimiento,
- Proponer un modelo matemático que considere los elementos anteriores, que tenga como objeto minimizar los costos por faltantes de materiales,
- Establecer una valoración económica con el fin de determinar la viabilidad financiera de la propuesta.

Metodología

La metodología adoptada en el presente Trabajo Terminal de Grado involucra los siguientes pasos.

Paso 1. Revisión de la bibliografía con temas similares al objetivo, revisando modelos de optimización con la finalidad de evaluar y generar un modelo matemático a la medida del problema con una solución algorítmica práctica.

Paso 2. Análisis del problema con diferentes herramientas.

Paso 2.1. Revisar el MIFC (Diagrama de Flujo de Proceso o *Material and Information Flow Chart*) de la cadena interna de Moldex para ver a gran escala los problemas y enseñar a la gente a exponer y resolver los problemas en el área, generando conocimiento el cual supondrá una

mejora exponencial en el proceso cuidando la calidad y la productividad, evitando en la medida de lo posible tener menos paros de producción.

Paso 2.2. Se procede a realizar una carga de evaluación del sistema productivo para determinar los cuellos de botella y llevar a cabo un balanceo de línea, para tener un aseguramiento de calidad de proveedores, mejorar la logística de entregas y un balanceo de línea, así como proporcionar una solución que deseablemente permitía mejorar los Lead Time y la calidad ofertada, y con todo esto conlleve a un mayor beneficio para la empresa.

Paso 2.3. Con estos datos se identifican los indicadores como variables a controlar a través de la discriminación de productos que no tengan que ver con las incidencias del problema, así como la recopilación de los datos históricos por periodos. Selmelci et al. (2012) definen los KPI's (Indicadores de Desempeño Clave, o *Key Performance Indicators*) como herramientas que muestran el rendimiento de un objetivo en particular y la distancia actual para alcanzar su cumplimiento y así exponer de mejor forma los problemas del desempeño del área.

Paso 3. Analizar la mejor forma para solucionar el problema a través de la modelación matemática.

Paso 4. Validar el modelo matemático considerando todos los elementos críticos relativos del problema real

Paso 5. Experimentar con el modelo matemático con varios escenarios de tal forma que podamos observar si el modelo puede absorber correctamente los escenarios propuestos.

Paso 6. Documentar las conclusiones, recomendaciones y el trabajo futuro que de este trabajo se desprendan.

Alcances

El alcance de este proyecto sólo es para atender las necesidades específicas del área de carrozado en empresa bajo estudio. La implementación de la solución de este problema no será concluida en el momento de la graduación.

En este trabajo se presenta un proceso metodológico donde se busca que su estructura pueda ser usado eventualmente como base para aplicarse en otras situaciones en las que existan problemas de planeación y programación de materiales, así como de producción. En este trabajo se tiene como herramienta principal la modelación matemática como parte de investigación de operaciones para la optimización del problema real que es de donde se genera un modelo de programación lineal para su solución matemática.

Se plantea una metodología donde se tiene que revisar principalmente el problema de estudio que se tiene en la empresa metalmecánica dentro de su proceso de cajas secas dejándonos en claro cuál es la situación actual de esta misma y exponiendo el problema que se va a resolver. Esta fase viene acompañada de unos supuestos para poder evaluar la forma en que se puede resolver el problema a través de la modelación matemática que nos ayudes a minimizar los costos incurridos por el problema detectado en el estudio del problema y así mismo realizar la experimentación del problema para poder validar el modelo matemático a usar en el desarrollo de la solución del problema.

Posterior a la culminación del presente trabajo, se podrán continuar propuestas de procesos en otras áreas de la organización, buscando generar un modelo en particular para cada problema detectado y ayudar así en la mejora oportuna y toma oportuna de decisiones.

En el capítulo 1 de este documento se presentan los antecedentes que nos permiten contextualizar el problema dentro del problema de planeación de la producción. Posteriormente, en el capítulo 2, se presenta el marco teórico relacionado con los problemas de producción dentro de la cadena de suministro. En el capítulo 3 se presenta la formulación del modelo de optimización que se formula para resolver el problema de planeación de la producción en la línea de cajas secas. En el capítulo 4 se presenta la experimentación para distintos escenarios y los correspondientes resultados. Finalmente, en el último capítulo se presentan las conclusiones que se desprenden del presente trabajo, y recomendaciones a seguir en la empresa donde se contextualiza el problema.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

El problema presentado en el presente Trabajo Terminal de Grado está contextualizado en una empresa del ramo metal mecánica donde se ha experimentado un importante avance en el desarrollo de productos para transportar y exhibir productos, dentro de sus 25 años de operación.

Esta empresa comenzó con la parte exclusiva de mantenimiento a vehículos y actualmente desarrolla, crea e innova en las cajas secas para la distribución de bienes perecederos independientemente su zona de desempeño y asegurando que el producto se distribuya de una forma adecuada. Para cumplir con la demanda del cliente, la empresa tiene un problema que afecta directamente las utilidades e ingresos de la compañía ya que los costos por pagar tiempos extras son muy significativos.

Hablando acerca de la cadena de suministro de la empresa metal mecánica en estudio y del modo en que se ha convertido en factor clave de éxito para la empresa que presentan una orientación hacia el cliente, en búsqueda de satisfacer las necesidades de ellos las cuales llegan a ser muy variantes y en algunos casos especialmente exigentes. La cadena de suministro debe estudiarse como un todo, es decir, como un sistema complejo, siendo esto lo principal que es el flujo de información, el flujo de materiales y flujo de efectivo. De esta forma, la mejor aproximación para su estudio es mediante el pensamiento sistémico.

Los problemas de diseño de la red de cadena de suministro se ocupan de las decisiones estratégicas hechas típicamente para el horizonte de planeación a largo plazo y que requieren considerar inversiones. Cuando las empresas hacen que este tipo de decisiones estratégicas, deben considerar la incertidumbre en los parámetros incluidos con el fin de tener un diseño robusto durante un período de años. En realidad, los parámetros críticos tales como demandas, los costos y los productos devueltos son inciertos y una predicción exacta es difícil de obtener. En este sentido, surgen la integración y coordinación como conceptos de la cadena de suministros, estudiados con rigurosidad por diversos académicos y profesionistas, en las últimas tres décadas. Para ello, han sido propuestas herramientas de gestión, partiendo esencialmente de la utilización de modelos matemáticos, que recientemente han sido complementados con la utilización de tecnologías y sistemas de la información.

Cabe mencionar que otras características que distinguen a la empresa son

- Calidad
- Lead Time
- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Costo

En la Tabla 1 se detalla el proceso de planeación en la planta para la manufactura de las cajas secas, en la cual como se puede observar que el proceso inicia desde que el cliente tiene una necesidad que satisfaga sus objetivos, de ahí se ponen en contacto con el área de ventas que ellos son los que transforman esas necesidades en un producto, pero aquí solo inicia el proceso, una vez que el área de ventas captó la necesidad, se prosigue a solicitar al área de Ingeniería de Diseño que realice un *render* (proceso de generar una imagen o vídeo mediante el cálculo de iluminación partiendo de un modelo en 3D) de propuestas que puedan satisfacer la necesidad del cliente; es en estos momentos es donde se inicia toda la actividad de diseño, búsqueda de materiales y soluciones que contemplen el enfoque del cliente.

Una vez teniendo las propuestas, se realiza una evaluación de ellas en conjunto con el cliente, donde el cliente decide cuál de ellas podría convertirse en una muestra física para la validación. De ahí esta muestra se solicita y se pone a prueba revisando y aceptando por el cliente, ésta misma para la producción. Una vez aceptada la muestra, se cotiza de acuerdo a la cantidad solicitada por el cliente y se le envía. Realizado este proceso, cuando ya se tiene la compra por parte del cliente, se inicia el proceso de planeación de materiales a través de una lista de materiales, la cual el área de compra inicia a revisar en el mercado los precios, capacidades y proveedores necesarios para esta demanda. El área de planeación asigna fechas de entrega y acuerda con el cliente la cantidad de entrega de acuerdo a capacidad, siendo en este momento cuando el área de compras inicia con la asignación de materiales y cotización de estos para cumplir la demanda, pero en algunas ocasiones con la cartera de proveedores no se asignan adecuadamente, y es donde se generan desabastos y descontrol de materiales.

Se inicia producción y una vez que el producto ya pasó por todas las fases de producción y calidad se realiza la entrega al cliente, en cuanto se termine la entrega de la última pieza de carrozado comprada y planeada por el cliente y se inicia de nuevo el proceso de compras.

Los procesos de planeación están delimitados a revisar la capacidad de planta para así decidir donde se fabricarán los productos de acuerdo a necesidades del cliente. Para este momento y al sólo estar trabajando con el área de carrocerías donde se fabrican las cajas secas la capacidad es estable, sólo se tiene que revisar que la demanda del cliente no exceda de esta capacidad.

Tabla 1. Proceso de planeación en el área de carrozado desde la obtención del requerimiento del cliente hasta la entrega del producto.

No.	Responsable	Actividad								
1	Supervisor de Planeación	Recibe el pedido por correo electrónico del área de ventas, en donde debe recibir:								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>REQUISITOS</th> <th>CARROCERÍAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planos para fabricación c/ RQ</td> <td>√</td> </tr> <tr> <td>Cotización y/o costeo</td> <td>√</td> </tr> <tr> <td>Contrato firmado (aplica para clientes terceros)</td> <td>√</td> </tr> </tbody> </table>	REQUISITOS	CARROCERÍAS	Planos para fabricación c/ RQ	√	Cotización y/o costeo	√	Contrato firmado (aplica para clientes terceros)	√
		REQUISITOS	CARROCERÍAS							
		Planos para fabricación c/ RQ	√							
Cotización y/o costeo	√									
Contrato firmado (aplica para clientes terceros)	√									
2	Supervisor de Planeación	<p>Revisa la capacidad de planta, y decide en dónde se fabrica el producto, de acuerdo a la necesidad del cliente.</p> <p>La decisión se toma en base de los siguientes factores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de producción de las líneas • Cantidad del pedido • Tipo de material <p>Y las áreas son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carrocerías 								

Tabla 1. Proceso de planeación en el área de carrozado desde la obtención del requerimiento del cliente hasta la entrega del producto (continuación).

No.	Responsable	Actividad
3	Supervisor de Planeación	Ya definido donde se coloca el pedido envía la información a las áreas involucradas en el proceso para su fabricación, las cuales son las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Línea 1 y Línea 2.</i> - Compras, ingeniería del producto, programación de la producción, procesos, calidad, costos, supervisores de producción. • <i>Línea 3.-</i> Comprador de maquila. • <i>Carrocerías.</i> - Compras, ingeniería del producto, costos, programación de la producción, calidad, supervisor de producción. • <i>Estanterías y Extrusión.</i> - Compras, ingeniería del producto, programación de la producción, procesos, calidad, costos. • <i>Dispositivos electrónicos.</i> - Compras, programación de la producción, calidad, supervisor de producción, costos. • <i>Vehículos eléctricos</i> – Compras, programación de la producción, supervisor de producción y costos.
4	Supervisor de Planeación	Envía a través de un correo electrónico la fecha de entrega, del pedido solicitado.
5	Supervisor de Planeación	Ingresa en el formato de “Planeación” la información del pedido recibido, en la hoja que le corresponda las cuales son: <ul style="list-style-type: none"> • Carrocerías (FT-PL-03) • Exhibidores (FT-PL-02) • Estanterías y extrusión (FT-PL-05) • Dispositivos electrónicos y VEDETEC (FT-PL-04)
6	Supervisor de Planeación	Se realizan los indicadores de la Junta de Gerencia, donde se indica el resultado semanal (FT-PL-15)
7	Supervisor de Planeación	En base al resultado semanal, depura su base de datos y envía la Planeación actualizada a las áreas involucradas para su conocimiento. Realiza la misma actividad cada semana.

En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo para la programación de la producción de la caja seca, que es una descripción grafica del proceso anterior mencionado en las tablas y resumido en el texto. Veámoslo como un apoyo visual para la búsqueda de la causa raíz del problema y su solución de este mismo. En este momento el diagrama extrae solo la gestión de los procesos por áreas y roles involucrados dentro de la actividad de planeación y programación de la producción.

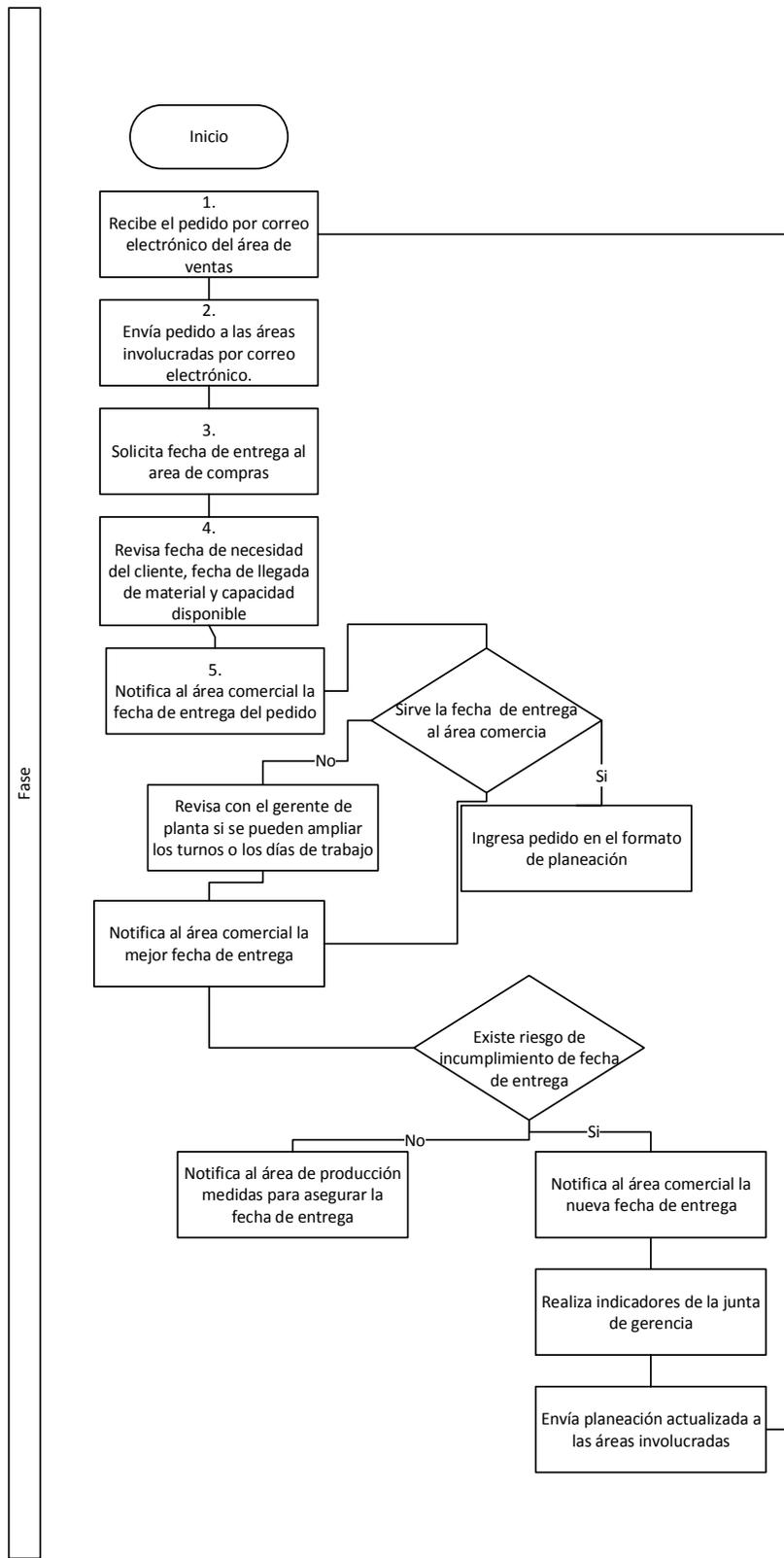


Figura 4. Proceso gráfico de la planeación y programación de producción en la planta.

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la planta a los administradores se les encomendó la planeación, a los trabajadores y supervisores la ejecución, dividiendo el trabajo en tareas específicas y enfocándose en el incremento de la eficiencia, el aseguramiento de la calidad quedó como responsabilidad de los inspectores; la inspección fue el medio principal para el control de calidad para que los fabricantes pudieran ofrecer productos de buena calidad. Frederick Taylor, fue el primero en separar la planeación de la ejecución a través de métodos formales de programación alrededor de 1914, muchas personas fueron requeridas en las industrias para crear planes, gestionar inventarios y monitorear operaciones, las computadoras tomarían estas funciones décadas más tarde (Castillo, 2007). El empleado de producción creaba un programa maestro de producción, basado en los pedidos y la capacidad; este mismo empleado emitía órdenes para liberar material del centro de trabajo.

En la actualidad las operaciones de producción son típicamente soportadas por las tecnologías de la información, las cuales potencialmente proveen abundante información en tiempo real. Hay una fuerte inclinación a asumir que los procesos de planeación con programación pueden ser complicados dentro de las estructuras de decisión de las tecnologías de la información para involucrar apropiados modelos y algoritmos. En efecto, los sistemas ERP (Planificación de Recursos Empresariales, *Enterprise Resource Planning*) o los APS (Planeación Avanzada de la Producción, *Advanced Planning and Scheduling*) tratan de considerar esta teoría (Padmos et al., 1999). Sin embargo, las limitaciones de las que tratan la planeación y la programación son esencialmente problemas matemáticos capaces de ser aislados de sus ambientes.

Hoy en día, existe software diverso para apoyar la planeación de producción y de materiales, a la fecha la empresa no cuenta con una implementación plena de estos por lo que es fácil recurrir a la planeación manual de los requerimientos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos básicos relacionados con la cadena de suministro, sistemas de producción, procesos productivos y la planeación de la producción.

2.1. La cadena de suministro

El sistema de producción Toyota, se enfoca primordialmente en la reducción de desperdicios por lo que Taichí Ohno el padre del TPS (Sistema de Producción Toyota, *Toyota Production System*), analizo la cadena de suministro o mejor conocida como la cadena de abastecimiento, donde los fabricantes en gran escala buscaban ofertas de un número de partes de firmas externas, así como las mismas divisiones del sistema, logrando que así los precios más bajos por parte de los proveedores conseguían un contrato.

Ohno (1991), observó que había un problema de coordinación a lo largo de las partes dentro del sistema de suministros sobre una base de planeación diaria, el cual da como resultado un alto costo de inventario y producción de cientos de partes que después eran encontradas defectuosas cuando eran ensambladas, tomando en cuenta que los lotes de mayor tamaño eran fabricados y enviadas sin antes ser revisadas en el área Calidad Ensamble durante meses, semanas o días antes de que llegaran a la planta de ensamble.

Por su parte Chopra & Meindl (2013) mencionan que una cadena de suministro se compone de varias partes involucradas ya sea de una manera directa e indirecta la cual tiene que satisfacer la petición de un cliente. Pero tenemos que mencionar que no solo cubre estos dos niveles, si no que considera más profundo lo que sucede dentro de esta como el transporte, almacenes, vendedores al detalle y algunos clientes finales. Observemos la Figura 5 donde se puede observar cada etapa de la cadena de suministro está conectada por flujos de productos, información y dinero, los cuales suelen incurrir en ambas direcciones y puede ser administrada por cualquier etapa o con terceras partes.

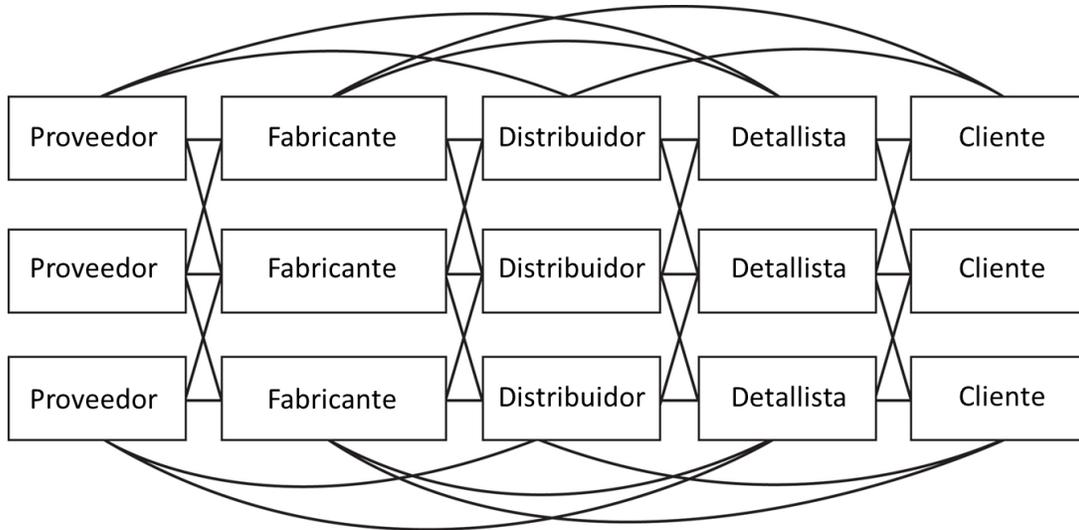


Figura 5. Etapas de una cadena de suministro.

Fuente: Administración de la cadena de suministro (Chopra & Meindl, 2013).

2.2. Importancia de la gestión de la cadena de suministros

La importancia de la cadena de suministros reside en el incremento de la competitividad que están alcanzando número de organizaciones tan solo en una reingeniería en la forma en que se administran las operaciones de la cadena de suministros (Chase & Aquilano, 2009).

Por tanto, la coordinación y el diseño eficiente de la cadena de suministros nos llevaran a tener una eficacia fuerte, de lo contrario, se puede alcanzar el fracaso.

Existe una relación muy cercana entre el diseño y la administración de los flujos de la cadena de suministro y su éxito.

Las decisiones de diseño, planeación y operación de una cadena de suministro desempeñan una función importante en el éxito o fracaso de una empresa. Para permanecer competitivas, las cadenas de suministro cual sean, deben adaptarse a los cambios tecnológicos y a las expectativas de los clientes.

2.3. Elementos de la cadena de suministro

Dentro de la cadena de suministro resultan diversos tipos de miembros, de acuerdo a lo que comentan Stock & Lambert (2000), hay miembros primarios y de soporte. Explican que los miembros de primarios son aquellas compañías autónomas que realizan actividades para satisfacer al cliente, mientras que los miembros de soporte, son aquellas empresas que proveen de recursos a los miembros primarios para que estos puedan cumplir con sus actividades. La cadena de suministro cuenta con tres elementos; los procesos, los componentes y la estructura. Los procesos se refieren a las actividades que se realizan por los miembros dentro de la cadena, los componentes se refieren a la integración y el manejo que debe existir entre los procesos y la estructura se refiere a los miembros con los que existe una unión entre los procesos (véase Figura 6).

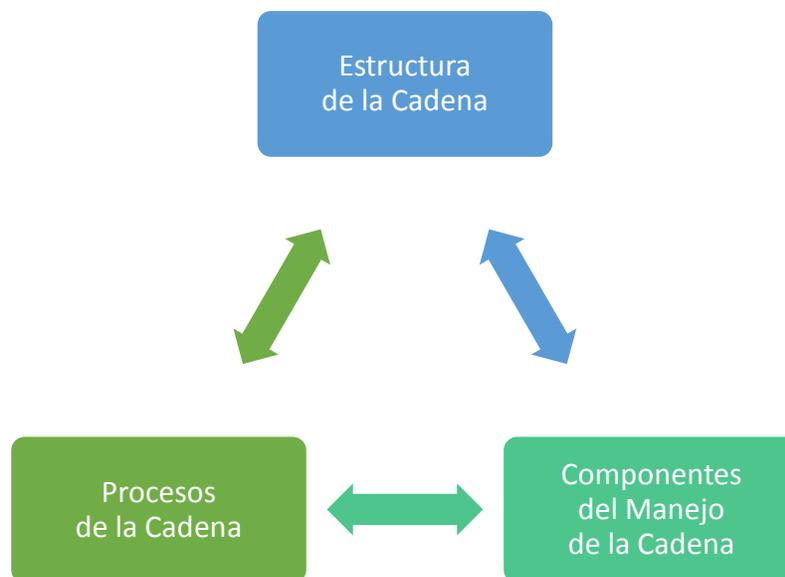


Figura 6. Elementos de la cadena de suministro.

Fuente: Stock & Lambert, 2000

La gestión de la cadena de suministros nos lleva a tener ventajas sobre el diseño; estas ventajas suelen ser el resultado de una estrategia, por lo tanto; una ventaja competitiva sobre los competidores.

2.4. Definición de la administración de la cadena de suministro

La cadena de suministro engloba a la mayoría de los procesos de negocio de una actividad industrial, a la organización, a las personas que la componen, a la infraestructura de fabricación, a la distribución y a los clientes.

Por ello, la cadena de suministro integra áreas funcionales de las empresas, tanto internas como externas, como pueden ser clientes, proveedores o incluso proveedores de proveedores. Esto hace que las cadenas de suministro en una economía cada día más global, estén cada vez más ligadas entre sus componentes.

La cadena de suministro es una red de instalaciones y redes de distribución que permiten el aprovisionamiento de materiales y su transformación en productos semiterminados y/o finales que son distribuidos para satisfacer las necesidades de los clientes (Ganeshan, & Harrison, 1995)

Es un medio para coordinar e integrar estratégicamente y sistemáticamente los procesos claves dentro de la cadena de suministro con el fin de satisfacer las necesidades del cliente y mejorar el desempeño de las empresas involucradas (Correa & Gómez, 2008).

2.5. Administración de la cadena de suministro

Se define como aquella red coordinada sistemáticamente en procesos de productivos y de inventario que integra estratégicamente el conjunto de actividades funcionales para proveedores, fabricantes, almacenes y tiendas, que operan manteniendo el menor costo, con el fin de satisfacer los requisitos de nivel de servicio, en el momento que lo requiere y la cantidad que requiera, aportando valor agregado al consumidor, mejorando el desempeño de los participantes clave dentro de la cadena de suministros representado en la Figura 7.

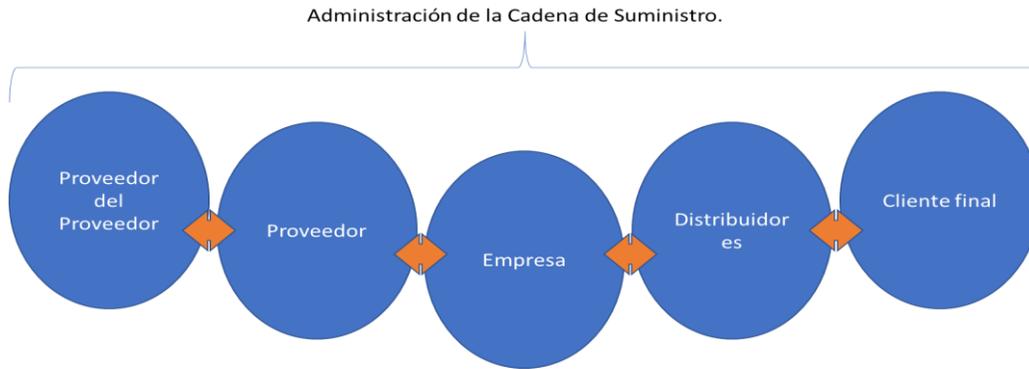


Figura 7. Administración de la cadena de suministros.

Fuente: Elaboración Propia

2.6. Sistemas de Producción

Los sistemas de producción son constituidos por elemento y actividades que interactúan en la transformación de la materia prima y al final obtener un producto, todo esto a través de minimizar costos y maximizar ganancias. Dentro del sistema se encuentran los procesos productivos, que son los encargados de llevar a cabo las actividades necesarias para la elaboración de productos y al final obtener un producto o servicio representado en la Figura 8.

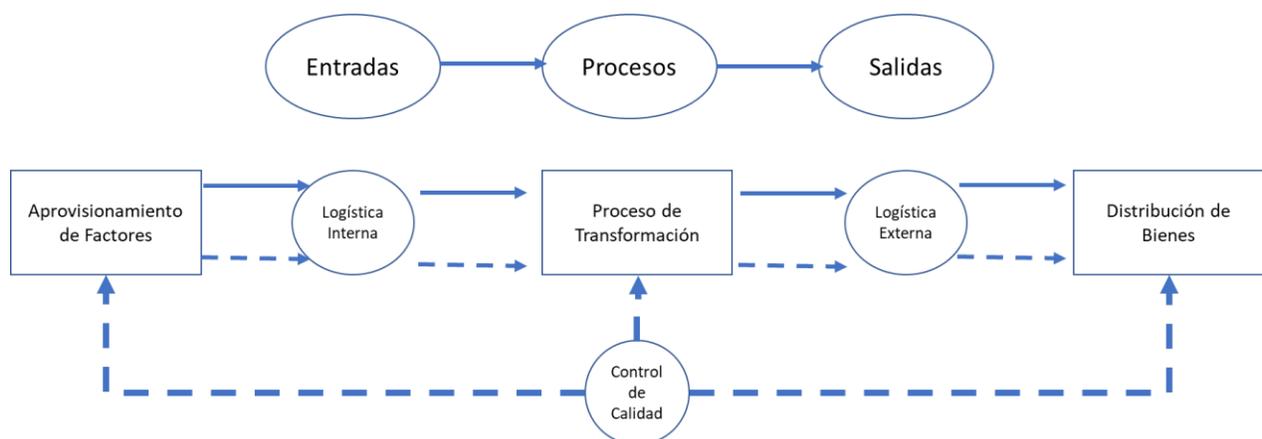


Figura 8. Sistema de producción.

Fuente: Elaboración Propia

2.7. Planeación de la producción

La planeación de la producción es una herramienta que permite a las empresas reaccionar con la flexibilidad requerida por el mercado. Los sistemas de planeación de la producción más utilizados hoy por los fabricantes están integrados en aplicaciones ERP. Los ERP fueron desarrollados con una finalidad de integración de los procesos de negocio empresariales, tales como, ingeniería, compras, producción, ventas, finanzas, etcétera.

La mayor parte de los ERP están basados sobre un sistema de planeación y control de la producción denominado MRP II (Plossl y Wight, 1967; Orlicky, 1975; Vollmann et al., 1988). Aunque fueron surgiendo enfoques alternativos al MRP II, como las técnicas japonesas Just in Time (Schonberger, 1980) o las técnicas OPT (Goldratt y Cox, 1986), a finales de los 80 el MRP II era el sistema dominante. En los 90, una serie de autores destacan los principales inconvenientes del MRP II, (Darlington y Moar 1996; Spearman et al., 1996; Aquilano et al., 1998). Una de las principales desventajas es su orientación hacia entornos de certidumbre.

Para realizar una planeación de la producción es necesario conocer el funcionamiento de la empresa, sus capacidades y limitaciones para poder conseguir resultados satisfactorios basados en el cumplimiento de la demanda de sus clientes.

La información resultante de la planeación de la producción podrá ser presentada a la empresa mediante un informe escrito, una serie de tablas, o bien se puede elaborar con la ayuda de herramientas computacionales un plan de producción donde se puedan manipular los datos para estudiar diversos escenarios de producción futuros, de manera que la empresa pueda estudiar y analizar diferentes propuestas.

2.7.1. Sistemas de planeación y control de la operación

El proceso de producción puede definirse como el proceso de transformación de materias primas en productos finales, generalmente a través de una serie de pasos de transformación que producen y consumen productos intermedios. Estas materias primas, productos intermedios y

finales pueden a menudo ser inventariados, permitiendo que uno los produzca y consuma en diferentes momentos y tarifas en el tiempo.

Cada etapa de transformación puede requerir varios productos de entrada y puede producir una o varias salidas. Las materias primas se compran a los proveedores y los productos finales se venden a clientes externos. A veces, los productos intermedios también se venden a los clientes.

Esta definición general de la producción como proceso de transformación se ilustra en la Figura 9, donde los inventarios de materiales están representados por triángulos, los procesos de transformación están representados por círculos y los flujos de materiales a través del proceso (es decir, entradas o salidas de etapas de transformación) está representado por flechas.

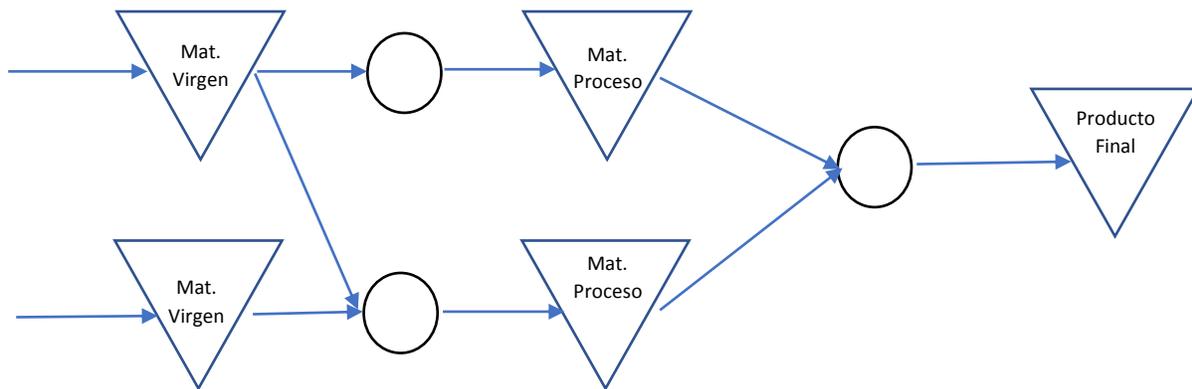


Figura 9. Cadena de suministro de un fabricante

Fuente. Chase et al. (2009)

La planeación de la producción se define como la programación (es decir, la adquisición, el tiempo de uso, la cantidad utilizada) de los recursos necesarios para realizar estos pasos de transformación, con el fin de satisfacer a los clientes de la manera más eficiente o económica. En otras palabras, las decisiones de producción se toman típicamente considerando el mejor equilibrio entre objetivos financieros y objetivos de servicio al cliente o satisfacción. En la planeación de la producción y la gestión de las operaciones, los objetivos financieros suelen estar representados por los costos de producción de las máquinas, los materiales, la mano de obra, los costos de puesta en marcha, los gastos generales y los costos de inventario, los costos de oportunidad del capital

vinculado a las acciones. Los objetivos de servicio al cliente están representados por la capacidad de entregar el producto adecuado, en cantidad ordenada, en la fecha y lugar prometidos.

2.8. Planeación Agregada de la Producción

La planeación agregada planeación de la producción, es un método para determinar la cantidad a producir en una línea de tiempo a mediano plazo. Se refiere a la determinación de la fuerza laboral, a la cantidad de producción y niveles de inventario en orden de satisfacer la demanda para un horizonte temporal de planeación específico a mediano plazo, y el término agregada, hace referencia a que la planeación no desglosa la cantidad de producción por detalles de productos, sino que los considera en varias familias, sin importar sus diferentes variantes de diseño o modelo (Dante, 2007).

Hoy en día, la planeación agregada es una buena referencia para la planeación de ventas y operaciones, en la cual puede cumplir la función de pivote al integrar las funciones de operaciones de producción, de comercialización y financieras (Singhal y Singhal, 2006). El plan maestro de la producción se desarrolla a corto plazo como consecuencia de las restricciones establecidas en el plan agregado y así se determina la cantidad a fabricar de cada artículo, como también el momento en que se debe iniciar dicha producción. Según Miranda et al. (2005), este proceso concluye con el programa y control de la producción.

La planeación agregada posee las características mostrada en la Figura 10. Las características temporales tienen que ver con el horizonte temporal de la planeación, periodos, plazo de rigidez y plazo de revisión. Los criterios de evaluación determinarán las bondades y desventajas de diversos escenarios frente a la maximización del beneficio. A su vez, este beneficio se determina gracias a la inclusión de variables de decisión tales como el mantenimiento de inventarios, la subcontratación y las variaciones de la fuerza laboral que por lo general también se influyen de restricciones técnicas, de mercado y legales que permiten medir el desempeño de la empresa.

Características Temporales	Criterios de Evaluación	Variables de Decisión	Restricciones
<ul style="list-style-type: none"> •Horizonte temporal, periodos, plazo de rigidez y plazo de revisión 	<ul style="list-style-type: none"> •Maximización del beneficio, Minimizar las demoras en las entregas de los pedidos, variaciones en el nivel de la fuerza de trabajo y variaciones en el nivel de producción 	<ul style="list-style-type: none"> •Inventario, Nivel de fuerza laboral, Nivel de producción, Subcontratación, Horas de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> •Especificaciones del producto, Restricciones Técnicas. Requerimientos del mercado

Figura 10. Características principales de la planeación agregada

Fuente. Dante (2017).

Los métodos para la planeación agregada se pueden clasificar en métodos de comparación de alternativas, métodos que utilizan reglas de decisión y métodos basados en modelos de programación matemática. En la Figura 11, se presenta una lista de los métodos más reconocidos. De estos, la programación lineal, es de particular utilidad para situaciones donde *“se debe llevar a cabo un cierto número de actividades, pero existen limitaciones en la cantidad de recursos o en el modo de utilizarlos que nos impiden desarrollar cada actividad de la manera que se considera más efectiva. En tales situaciones queremos distribuir los recursos disponibles entre las actividades, de tal forma que se optimice la efectividad total”* (Marín Pinillos, 1994).

Metodos de Comparación de Alternativas	Metodos con reglas de decision	Modelos de programación matematica
<ul style="list-style-type: none"> •Métodos gráficos de planificación agregada •Proceso de planificación agregada mediante una hoja de cálculo. 	<ul style="list-style-type: none"> •Regla de decisión lineal (LDR) •Modelo de los coeficientes de la dirección •LDR y la capacidad de la planta •Método de la regla de decisión por búsqueda •LDR con múltiples productos y ciclos largos de producción 	<ul style="list-style-type: none"> •Método del transporte de Bowman •Planificación agregada mediante programación lineal

Figura 11. Métodos más reconocidos para la planeación agregada

Fuente. Singhal y Singhal (2006)

CAPÍTULO 3. MODELO DE OPTIMIZACIÓN

En el punto anterior se han detallado las herramientas de gestión desarrolladas. En este capítulo se describe el modelo de programación lineal desarrollado para el apoyo en la toma de decisiones del Departamento de Planeación y Programación de la planta.

3.1. Modelación matemática

Un problema de optimización se genera en el momento en que se debe tomar la decisión de asignar la mejor manera posible, por decirlo así, de forma óptima los recursos que son limitados a actividades que compiten entre sí por ellos, con el fin de alcanzar los mejores resultados en el sistema (Hillier & Lieberman, 2010).

La optimización es una herramienta adecuada al diseño de sistemas de producción, en el cual se toman decisiones importantes que consideran muchos aspectos logísticos, relacionadas al número, localización y tamaño de las empresas en la cadena de suministros.

Los modelos describen la relación entre variables de decisión, restricciones y objetivos, su presentación más usual es en forma de un conjunto de ecuaciones matemáticas, en donde el modelo ha de representar el sistema real para el cual se desea tomar decisiones. La Investigación de Operaciones usa el método científico para explorar e investigar los problemas que deben ser solucionados.

En particular, el proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema incluyendo la recolección de datos pertinentes, continua con la construcción del modelo matemático, posteriormente su validación, y las respectivas conclusiones /soluciones, las cuales se espera que sean válidas también para el problema real. La Investigación de Operaciones se puede definir como la aplicación de métodos científicos en la mejora de la efectividad en las operaciones, decisiones, la principal característica consiste en construir un modelo del sistema del cual se pueden predecir y comparar los resultados de diversas estrategias, decisiones, el objetivo es ayudar a los involucrados en las tomas de decisiones.

La Programación Lineal es una técnica matemática que consiste en una serie de métodos procedimientos que permiten resolver problemas en los que se exige maximizar o minimizar funciones lineales que se encuentran sujetas a determinadas limitaciones lineales, que llamaremos restricciones.

En esencia, la Programación Lineal consiste en un problema de optimización en donde tanto la función objetivo como las restricciones pueden ser expresadas como una serie de expresiones lineales en función de las variables de decisión. Si el problema tiene variables, entonces las restricciones definen un conjunto de semiespacios en el espacio de dimensiones. Estos planos marcan los límites de una región que define el conjunto de las posibles soluciones del problema.

En general, un problema de Programación Lineal se puede escribir de la siguiente forma:

$$\text{Max o Min } \sum_{i=1}^n C_i X_i$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n a_{1i} X_i \sim b_1$$

⋮

$$\sum_{i=1}^n a_{mi} X_i \sim b_m$$

Donde \sim puede ser $\leq, \geq, o =$,

a_{ij}, b_j, C_i con $1 \leq i \leq n$ y $1 \leq j \leq m$ son constantes

y x_i con $1 \leq i \leq n$, son las variables de decisión

3.2. Desarrollo del modelo

En nuestra investigación se propone entonces una aproximación a actividades de modelación matemática ya que tenemos datos y se puede abstraer el problema de una forma matemática que nos facilite la toma de decisiones, es por ello que tenemos que comenzar a ver primeramente un gráfico de procesos (Figura 12).

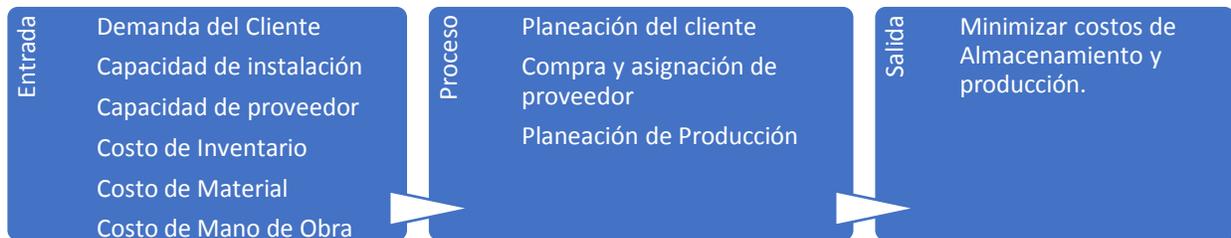


Figura 12. Mapa de proceso

Fuente. Elaboración propia.

Ya revisado nuestro mapa de proceso podemos determinar que podemos realizar un modelo matemático y que se puede resolver a través de un software como GAMS, el cual nos puede generar el valor óptimo para este proceso.

Una vez en mente y selección de la forma con la que se puede resolver el problema se prosigue a generar varias propuestas de solución partiendo de los datos que se tienen como entrada.

3.3 Formulación del modelo

Los supuestos que se manejan en el trabajo son los siguientes.

- Demanda del cliente a un solo producto en un periodo de tiempo T , que en el trabajo es a 6 meses.
- Capacidad de la planta finita real.
- Dos proveedores de paneles para cajas secas con diferentes capacidades y diferentes precios.

- Se permiten faltantes (backorders).
- El factor costos indirectos de la producción va en función de la mano de obra establecido por la empresa y es fijo.

3.3.1 Variables de decisión y parámetros

- $X1_t$ Cajas secas producidas en tiempo normal. Esta variable considera la producción normal de cajas de acuerdo a la capacidad instalada sin pago de tiempo extra
- $X2_t$ Cajas secas producidas en tiempo extra. Esta variable considera la producción en tiempo extra.
- Y_t Máxima capacidad de proveedor 1 que tiene para producir paneles para las cajas secas a producir
- Z_t Máxima capacidad de proveedor 2 que tiene para producir paneles para las cajas secas a producir
- CT Costo total es la variable que se le asigna a la función objetivo para la suma de los costos incurridos.
- IP_t Inventario positivo (sobrante al final del tiempo t) de cajas secas producidas en caso de tener que usar tiempo extra o tiempo normal para cubrir la demanda el cliente.
- IN_t Inventario negativo (backorder al final del tiempo t) de cajas secas no producidas por faltante de capacidad, generando saldos negativos para cubrir lo antes posible en algún periodo con capacidad o tiempo extra.

Parámetros

- T Horizonte de planeación (en meses), en este caso, el problema se maneja a seis meses
- D_t Demanda de cajas secas en el horizonte de planeación T
- $K1_t$ Capacidad de proveedor uno en cajas secas al mes

- $K2_t$ Capacidad de proveedor dos en cajas secas al mes
- MON_t Número de trabajadores por mes en tiempo normal que están involucrados en la manufactura de la caja seca en el horizonte de planeación
- MOE_t Número de trabajadores por mes en tiempo extra que están involucrados en la manufactura de la caja seca en el horizonte de planeación
- $CapN_t$ Capacidad de la planta en número de cajas secas por mes en el periodo t en tiempo normal.
- $CapoV_t$ Capacidad de planta en tiempo extra en número de cajas secas al mes t
- F1 Factor de costos indirectos de la producción principalmente asignado por los indirectos como las instalaciones, energía, rentas, etcétera.
- F2 Factor que reduce el número de trabajadores en tiempo extra ya el modelo considera que pueda tener una variabilidad en el número de personas que interactúen en este.
- C1 Costo ponderado por caja seca en tiempo normal por trabajador
- C2 Costo ponderado por caja seca en tiempo extra por trabajador
- h Costo de almacenamiento mensual por tener inventario de cajas secas ya que impacta en costos de maniobra y rentas de almacenamiento.
- r_1 Rendimiento por trabajador en tiempo normal en cajas secas por mes
- r_2 Rendimiento por trabajador en tiempo extra en autos por mes
- P_1 Precio de panel para el proveedor 1
- P_2 Precio de panel para el proveedor 2
- Fal Costo de una caja seca faltante al final de un mes mejor conocido como penalización por el cliente.
- Rend Porcentaje de la capacidad de producción de tiempo normal asignada a tiempo extra

3.3.2 Función objetivo

La función objetivo que se plantea es minimizar los costos de producción que incluyen los costos por desabasto, costos por almacenamiento y costos por pago de la mano de obra.

$$CT = \sum_{t=1}^T (h \cdot IP_t + C1 \cdot MON_t \cdot F1 \cdot X1_t + C2 \cdot MOE_t \cdot F1 \cdot X2_t) \\ + \sum_{t=1}^T (P_1 \cdot Y_t + P_2 \cdot Z_t) + \sum_{t=1}^T Fal \cdot IN_t$$

El primer término de la función objetivo corresponde a la suma de los costos por almacenamiento y por mano de obra en tiempo normal y extra. El segundo sumando cuantifica el costo de los paneles adquiridos a cada uno de los dos proveedores y el tercer término corresponde a los costos incurridos por faltantes que serán entregados tardíamente. La intención es obtener un plan que minimice el costo total CT.

3.3.3 Restricciones

Las restricciones utilizadas para el modelo son las siguientes:

$$D_1 = X1_1 + X2_1 + IN_1 - IP_1 \quad (1)$$

$$D_t = X1_t + X2_t + IP_{t-1} + IN_t - IP_t - IN_{t-1}, t = 2,3 \dots T \quad (2)$$

$$D_T = X1_T + X2_T - IN_{T-1} + IP_{T-1} \quad (3)$$

$$X1_t \leq CapN_t, \quad t=1,2,\dots,T \quad (4)$$

$$X2_t \leq CapOV_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$r_1 \cdot X1_t \leq MON_t, t = 1,2, \dots T \quad (6)$$

$$r_2 \cdot X2_t \leq F2 \cdot MOE_t, \quad t = 1,2, \dots T \quad (7)$$

$$X1_t + X2_t \leq Y_t + Z_t, t = 1,2, \dots T \quad (8)$$

$$Y_t \leq K1_t, t = 1,2, \dots T \quad (9)$$

$$Z_t \leq K2_t, t = 1,2, \dots T \quad (10)$$

La expresión (1) indica el balance de entradas y salidas para el primer período de planeación. Similarmente, la restricción (2) expresa los balances en los períodos 2 a T-1 y la (3) el equivalente balance para el período final T. La capacidad de producción en tiempo normal y extra queda indicada en las expresiones (4) y (5). Los semiespacios (6) y (7) limitan la cantidad producida en tiempo normal y extra debido a la disponibilidad de mano de obra en cada uno de esos turnos. La disponibilidad de materia prima se indica en la expresión (8). La capacidad de entregas de materia prima de los dos proveedores se indica en las condiciones (9) y (10).

3.3.4 Naturaleza de las variables

Finalmente, la naturaleza de las variables se indica en la expresión (11).

$$X1_t, X2_t, IN_t, IP_t, Z_t, Y_t \geq 0 \text{ Entero}, t = 1,2, \dots T \quad (11)$$

A pesar de que las variables guardan una naturaleza discreta, por la forma en que el problema es formulado, su relajación (considerando variables continuas), arroja un resultado entero. Esto se debe a la propiedad de *unimodularidad* de la formulación, la cual garantiza que, aunque se resuelva el problema continuo, la solución será entera.

3.4. Información para el modelo

Los datos recabados de las bases de datos de la empresa, los cuales alimentan al modelo formulado, se indican en seguida.

La demanda se preestablece con los clientes de tal manera que se “congela” para un período de planeación de seis meses como máximo, esto le permite a la empresa aprovechar mejor los recursos disponibles y expresar con mayor claridad las necesidades de la empresa.

El área donde se realiza el ensamble de cajas cuenta con 112 personas, las cuales están disponibles cada mes del período de planeación y se tiene una capacidad instalada para producir 520 camionetas al mes en tiempo normal y en tiempo extra esa capacidad se reduce en un 60%, pudiendo producir únicamente 208 por mes, las cuales son fabricadas por estas mismas personas. Los dos proveedores certificados de los paneles tienen diferentes capacidades, siendo la capacidad del primero de 200 paneles por mes y 400 por mes para el segundo.

Los costos ponderados de salario de trabajadores para la mano de obra de una caja seca son de \$1,685.21 pesos por persona y tiene un indirecto fijo que es del 2.4 (Factor determinado por el área de contabilidad a partir de los datos estadísticos de costos indirectos por área) sobre la mano de obra usado. De acuerdo con esto, el rendimiento por persona por caja seca es de 3.2142 vehículos por mes por que es calculado de acuerdo a la capacidad normal de 360 cajas secas al mes dividido entre los 112 colaboradores y en tiempo extra se pueden obtener 208 cajas secas más al mes dándonos un factor de rendimiento de 1.8571 para cada caja seca producida. Así entonces, los factores de eficiencia de la mano de obra son $r_1 = 0.311 \left(\frac{112}{360}\right)$ y $r_2 = 0.5384 \left(\frac{112}{208}\right)$ personas por vehículo, respectivamente.

Un dato más que tiene que influir en la toma de decisiones y que se representa en el modelo, es el costo de almacenamiento de un juego de paneles por mes, ya que, al ser un bien de dimensiones amplias, requiere de un espacio de almacén con un costo por caja seca de \$202.82 y por diez cajas secas equivale a \$2,082.18 pesos que es la caja seca mínima de entrega por cada proveedor. Existe un costo más que es el de no entregar una caja seca en tiempo, el cual es de \$7660.00 mensuales, el cual fue obtenido de dividir el monto extra por atraso entre el número de camionetas no entregadas a tiempo para a si mismo dividirlo entre doce meses para obtener el costo generado al mes por no entregar a tiempo ($(\$3'404,000 / 37 \text{ cajas secas}) / 12 \text{ meses}$).

Con estos datos y realizando un resumen objetivo de ellos se tiene lo siguiente:

- Factor de indirecto de producción = 2.4 =F1

- Factor que reduce el número de trabajadores en tiempo extra = $0.9=F2$
- Número de trabajadores en tiempo normal = $112=MON_t$
- Costo ponderado por caja seca de trabajadores en tiempo normal = $\$15.04651389=C1$
- Costo ponderado por caja seca de trabajadores en tiempo extra = $\$23.51017795=C2$
- Costo de almacenamiento mensual = $\$2,028.18=h$
- Rendimiento por trabajador en tiempo normal en autos por mes = $.311111=r1$
- Rendimiento por trabajador en tiempo extra en autos por mes = $.11=r2$
- Costo de no entregar a tiempo una caja seca por mes $\$7660=Fal$

En cuanto a la capacidad de los dos proveedores, éstas se indican en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Capacidad del proveedor 1 (cajas secas por mes) $K1_t$

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
200	200	200	200	200	200

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3. Capacidad del proveedor 2 $K2_t$

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
400	400	400	400	400	400

Fuente. Elaboración propia.

La capacidad instalada de la planta en tiempo normal se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Capacidad de la planta en tiempo normal (cajas secas por mes) $CapN_t$

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
360	360	360	360	360	360

Fuente. Elaboración propia.

En cuanto a la capacidad de la planta en tiempo extra, debido a mantenimientos preventivos se considera un 40% de la capacidad en tiempo normal.

La demanda del cliente es recibida por el departamento de compras. El cliente por lo regular realiza pedidos cada 6 meses, con ello él considera que, en caso de requerirlo, puede solicitar cambios en las cajas secas cada vez que se cumpla ese periodo, por lo que el horizonte de planeación del Departamento de producción y programación es de 6 meses, considerándose fija la cantidad solicitada, lo que facilita el abasto y la planeación de la producción. Cabe hacer notar que el elemento central del vehículo que se manufactura en la planta objeto de este estudio es el chasis, pero debido a la experiencia y buenas relaciones con ese proveedor, no se considera crítica la inclusión de su capacidad en el modelo.

La demanda de cajas secas por periodo mensual ocurre con dos patrones, uno donde la demanda es razonablemente estable y otro donde la demanda es estacional. Las tablas 5, 6 y 7 muestran esos patrones.

Tabla 5. Patrón de demanda Estable

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
300	360	360	360	360	60

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 6. Patrón de demanda moderada

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
400	360	460	360	360	200

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 7. Patrón de demanda moderada

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
520	520	520	520	520	520

Fuente. Elaboración propia.

3.5. Representación del modelo en GAMS

El modelo codificado en el programa comercial GAMS 24.7.4 (*General Algebraic Modeling System*) se indica en el anexo 1, el cual incluye la información recabada en la sección 3.4. Se elige GAMS debido a sus disponibilidades en el acervo computacional de la MICS y a que permite representar en forma simbólica las restricciones del modelo, ahorrando esfuerzo de captura y ejecución.

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La experimentación consiste en ejecutar el modelo para los tres escenarios de demanda indicados en la sección 3.4, para fines de conocer la sensibilidad de la disponibilidad de los proveedores, se considera un cuarto escenario donde se aumenta la capacidad de ambos proveedores en un 10%, esto se realiza pensando en un posible incremento en la demanda para el siguiente período de planeación. En resumen, los escenarios considerados son:

1. Estable, donde la demanda presenta estabilidad, sin cambios notables (Tabla 8)
2. Demanda estacional moderada (Tabla 9)
3. Demanda estacional severa (Tabla 10)
4. Aumento moderado en la demanda y un aumento en la capacidad de los proveedores (Tabla 11)

4.1. Escenario 1

Escenario 1. Demanda Estable. En la Tabla 8 podemos visualizar un resumen de los resultados arrojados por el modelo, que incluye además de las cantidades a ser producidas, la asignación de materiales óptima a cada proveedor. Como se observa en esa tabla, para una demanda razonablemente estable no se requiere producir en tiempos extras ni tener inventarios.

Tabla 8. Resultados para la planeación de la producción para el escenario 1

t	1	2	3	4	5	6
D(t)	300	360	360	360	360	60
X1(t)	300	360	360	360	360	60
X2(t)	0	0	0	0	0	0
IP(t)	0	0	0	0	0	0
IN(t)	0	0	0	0	0	0
Y(t)	200	200	200	200	200	60
Z(t)	100	160	160	160	160	0

Fuente. Elaboración propia.

El costo total de este plan es de \$39'234,235 el cual representa una reducción en 11.49% del costo real reportado por la empresa.

4.1. Escenario 2.

Escenario 2. Demanda estacional moderada. La tabla 9 incluye los resultados asociados a este escenario.

Tabla 9. Resultados para la planeación de la producción con demanda actualizada

t	1	2	3	4	5	6
D(t)	400	360	460	360	360	200
X1(t)	360	360	360	360	360	200
X2(t)	40	0	90	0	0	0
IP(t)	0	0	0	0	0	0
IN(t)	0	0	0	0	0	0
Y(t)	200	200	200	200	200	200
Z(t)	200	160	260	160	160	0

Fuente. Elaboración propia.

Como vemos en la tabla 3, la solución del modelo considera entregas tardías (backorders) ya que es más barato que tener que pagar la mano de obra en tiempo extra, siendo el costo total de \$47,076'193.00.

4.3. Escenario 3.

Escenario 3. Demanda estacional severa. La tabla 10 contiene la solución reportada para este caso.

Tabla 10. Resultados para la planeación de la producción con demanda estacional severa

t	1	2	3	4	5	6
D(t)	300	360	720	720	720	60
X1(t)	360	360	360	360	360	112
X2(t)	36	208	208	208	208	0
IP(t)	96	304	152	0	0	0
IN(t)	0	0	0	0	152	0
Y(t)	200	200	200	200	200	200
Z(t)	196	368	368	368	220	12

Fuente. Elaboración propia.

En este caso, la mejor solución considera una mayor cantidad en inventario en períodos anteriores a los meses pico con el fin de poder atender la demanda alta. El costo total asociado a esta solución es de \$67'557,641.00.

4.3. Escenario 4.

Escenario 4. Aumento en la capacidad de los proveedores y aumento moderado en la demanda. Por último, consideremos el cuarto escenario donde la capacidad de los proveedores se incrementa 10% para contrarrestar un aumento moderado en la demanda que puede ser posible si se trabaja con ellos y se les demuestra el costo beneficio de ellos, además, es importante mejorar la cadena de suministro buscando tener la mejor opción posible. La tabla 11 resume los resultados.

Tabla 11. Resultados para la planeación de la producción con demanda actualizada

t	1	2	3	4	5	6
D(t)	400	360	460	360	360	200
X1(t)	360	360	360	360	360	200
X2(t)	40	0	100	0	0	0
IP(t)	0	0	0	0	0	0
IN(t)	0	0	0	0	0	0
Y(t)	220	220	220	220	220	200
Z(t)	180	140	240	140	140	0

Fuente. Elaboración propia.

Al igual que en el escenario 2, la asignación a los proveedores se hace primero comprando al más barato toda su capacidad y las cantidades necesarias adicionales al segundo proveedor. El costo asociado a este plan es de \$46,889'313.00 Comparando esta solución con la del escenario 2, el cual tiene la misma demanda, se observa una reducción en el costo total debido a la mayor cantidad comprada al proveedor más barato.

El análisis de los escenarios nos permite concluir que el modelo responde adecuadamente a las variaciones de la demanda o capacidad y le permite al planeador la formulación de planes de producción óptimos, planes que muy difícilmente se pueden proponer sin este tipo de herramientas, aún para personas que tienen mucha experiencia haciendo esto. Se espera que al implementar el modelo en la empresa y aplicarlo de una manera periódica, al menos una vez al mes y ver si es posible solventar satisfactoriamente las exigencias del mercado, incluyendo cambios en la demanda del cliente, y variaciones en precios de materias primas y actualización de salarios.

Tabla 11. Resumen de los escenarios.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Incurrido Planta
Costos	\$39,234,235.00	\$47,076,193.00	\$ 67,557,641.00	\$46,889,313.00	\$44,330,308.98

Fuente. Elaboración propia.

Se pueden apreciar los resultados en la Tabla 11 como resumen para poder comparar los escenarios obtenidos como resultado de la optimización de los recursos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se realizó un estudio del sistema productivo, planeación y de las necesidades de la administración para resolver el problema de la planificación de abastecimiento de materiales y planeación de la producción.

Se efectuó una investigación en la literatura de Investigación de Operaciones, y se revisaron publicaciones de revistas científicas en busca de casos de estudio y de propuestas de solución en el área.

Se desarrolló después de la investigación, un modelo de programación lineal entera para resolver el problema de planificación de la producción y planeación de materiales en la línea de cajas secas de la empresa metalmecánica. Por medio de este se logró presentar una propuesta de minimizar los costos asociados en la cadena de abastecimiento

Se realizó el respectivo análisis de las variables resultantes logrando concluir que el modelo cumple con las restricciones de capacidad, demanda e inventario. Convirtiéndose de esta forma en una herramienta rápida y económica para la toma de decisiones para el área de carrozado.

Se logró desarrollar en GAMS para generar la planeación de la asignación de proveedores al menor costo y de acuerdo a capacidades para cumplir la demanda del cliente actual.

Lamentablemente estas técnicas de programación lineal se usan con poca frecuencia, tal vez por la dificultad que esta involucra en el proceso de formulación e implementación de la solución principalmente por los niveles académicos y el bajo conocimiento de la aplicación en la vida real.

El presente trabajo se alcanzó al mostrar la bondad de la programación entera en la modelación y solución a problemas asociados con los sistemas de planeación de producción y asignación de materiales a proveedores, así como también la correcta toma de decisiones con esta información.

Con el presente trabajo se ha analizado la planeación de la producción de la empresa metal mecánica, una vez realizado el incremento de capacidad a través de los proveedores, solo queda asignar de manera adecuada a cada proveedor de acuerdo a capacidad y precio del sistema. Por lo que podemos decir que la manera más eficiente para cumplir la demanda en tiempo con los proveedores y no dejar en desabasto la línea la podemos observar en la asignación realizada por el sistema.

De esta forma podemos ver que el proveedor uno tiene que abastecer al máximo de su capacidad, mientras que el proveedor dos solo abastece el resto de los paneles restantes. Así de esta forma evito el costo de almacenamiento, así como el costo de tiempo extra.

Este sistema está diseñado para poder usarse adecuadamente y aplicar con los diferentes modelos, solo tendremos que modificar los costos, capacidad y demanda del cliente para poder así de esta forma disminuir los costos incurridos por desabasto y la no entrega de equipos.

La finalidad de experimentar en el modelo matemático y realizar los diferentes escenarios es para demostrar que la hipótesis planteada en donde buscamos reducir los costos a través de la correcta asignación de los recursos y de los proveedores para la producción de caja seca. Es por ello que al revisar las tablas de la experimentación podemos observar que la modelación matemática y su solución de esta misma nos apoya a generar los óptimos para cada condición. Por lo tanto, la hipótesis planteada “Con el diseño de un modelo matemático de programación matemática es posible desarrollar una planeación, abastecimiento y programación de acuerdo con la demanda del cliente en la manufactura de cajas secas; logrando una reducción de los problemas de desabasto” en su momento dentro de la fase de experimentación tenemos tablas que nos ayudan a planear de acuerdo a la demanda del cliente y la capacidad de la empresa metalmecánica así como a los proveedores. Esto nos da una ventaja de tener mejores costos y se demuestra que es aplicable y aceptable para su aplicación a problemas reales.

Estos escenarios se crearon con un propósito, tratando de analizar un sistema. El diseño de cada uno depende de ciertos supuestos y en función de estos se pudieron obtener datos útiles, ya que se estudió el sistema y se propusieron soluciones a una problemática.

Como trabajo futuro quedaría analizar qué sucederá si se aplica correctamente un modelo matemático en las demás áreas de la empresa donde se tenga que invertir tiempo en el desarrollo de estos modelos para que los usuarios de estos modelos, les permitan obtener información valiosa para de disminución de los costos incurrido y optimizar los recursos asignados.

Recomendaciones

Si la empresa asigna correctamente la cantidad a los proveedores no tendríamos desabasto, pero aun así por los costos tenemos pérdidas en el panel, ya que planeado por los seis meses son \$30'958,164.00 y se va a incurrir en un gasto de \$31'954,130.00 lo que genera una pérdida de - \$995,966.00, por lo que se debería buscar desarrolla de mejor forma que la capacidad de proveedor uno sea incrementada para así poder tener un menor gasto.

En una versión más real, la empresa puede usar el modelo matemático para asignar de mejor forma los recursos, es por ellos que si usa este modelo matemático tendrá que actualizar las cajas secas cada vez que se tenga una modificación del cliente y balancear de nuevo la línea.

El sacar mayor producción con la misma cantidad de personas, podría reducir el costo considerable de horas extras y poder aumentar la capacidad de instalación para cumplir con la demanda.

Se recomienda realizar trabajo estándar para que en todo el turno se realice un producto con la misma secuencia de trabajo y no reduzca la capacidad de producción.

Adicionar el costo de fabricación de las piezas como otro objetivo a medir en un plan de trabajo.

Modelar en el problema otros elementos tales como: el tiempo de configuración y cambio de herramientas, la existencia de máquinas en paralelo para el habilitado, entre otros, que le otorgarían a la modelación del problema un mayor acercamiento a la realidad.

REFERENCIAS

- Agrawal, A., Minis, I. & Nagi, R. (2000). Cycle time reduction by improved MRP-based production planning. Taylor and Francis.
- Alarcón F., García J., Ortiz A. & Alemany M. (2001). Modelo de programación/ secuenciación de producción para un sistema de taller de flujo con diferentes requerimientos según etapas, Universidad Politécnica de Valencia, IV Congreso de Ingeniería de Organización CIO, 2001.
- Albritton, M., Shapiro, A. & Spearman, M. (2000). Finite capacity production planning with random demand and limited information. Stochastic Programming E-Print Series.
- Álvarez, M. (2002) ‘‘Cambios en la industria automotriz frente a la globalización: el sector autopartes en México’’. Revista Contaduría y Administración. N° 206.
- Arjona A. (1979). Principios de control de producción, Ediciones Deusto.
- Taylor, D. H., 1999. Measurement and analysis of demand amplification across the supply chain. International Journal of Logistics Management 10, p. 55–70.
- Castillo, E., Cobo, A., Jubete, F. & Pruneda, E. (2007). Orthogonal sets and polar methods in linear algebra: applications to matrix calculations, systems of equations and inequalities, and linear programming, Wiley.
- Chase, R.B. & Aquilano N.J. (2009). Administración de producción y operaciones. 8° Ed. Mc Graw Hill Interamericana.
- Chase, R.B., Jacobs, F.R. & Aquilano, N.J. (2009). Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva. 10ª. Ed., McGraw-Hill.
- Chopra, S.M. & Meindl, P. (2013). Supply chain management: strategy, planning, and operation. 5ta Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Correa Espinal, A. & Gómez Montoya, R.A. (2008). Tecnologías de la información en la cadena de suministro. Dyna, 157, p. 37-48.

- Dante, O., Corominas, A. & Lusa, A. (2007). Estado del arte sobre planificación agregada de la producción. Estado del arte sobre planificación agregada de la producción. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto de la organización y sistemas industriales: Barcelona.
- Darlington, J. & Moar, C. (1996) MRP rest in peace. Management accounting.
- Ganeshan, R. & Harrison Terry P. (1995). An introduction to supply chain management. Department of Management Sciences and Information Systems.
- Goldratt E.M. & Cox, J. (1986). The goal: A process of ongoing improvement, 2a. Ed., Great Barrington, MA North River Press, pp. 114-118.
- Hillier, F.S. & Lieberman, G. J. (2010). Introducción a la investigación de operaciones, 9ª Ed. México: McGraw-Hill.
- Kang, S., Malik, K., & Thomas, L.J. (1997). Lot sizing and scheduling in parallel machines with sequence dependent setup costs, Working paper 97-07, Johnson Graduate school of Management, Cornell University.
- Marín Pinillos, B. (1994). Técnicas de optimización. México,
- Miranda Gonzalez, F.J., Rubio, S., Chamorro, A. & Bañegil, T. (2005). Manual de dirección de operaciones. Editorial Thomson.
- Oloff M. & Burch E. (1985). Multiproduct Production Scheduling at Owens-Corning Fiberglass, Interfaces. 15 (15), p. 25-34.
- Ohno, T. (1991). El sistema de producción Toyota: más allá de la producción a gran escala. Editores Gestión 2000. España.
- Orlicky, J. (1975). Material requirements planning, Editorial McGraw Hill.
- Padmos, J., Hubbard, T., Duczmal, S. & Saidi, S. (1999). How i2 Integrates Simulation in Supply Chain Optimization. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, Phoenix, p. 1350-1355.
- Plossl, G.W. & Wight, O.W. (1967). Production and inventory control, Prentice-Hall.
- Schrijver, A. (1986). Theory of linear and integer programming. Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization.

- Schonberger, R.J. (1980). The Rationalization of production”, Proceedings of the 50th Anniversary of the Academy of Management. Chicago: Academy of Management, p. 64 -70.
- Selmeci, A., Orosz, I., Györök, G. & Orosz, T. (2012). Key Performance Indicators used in ERP performance measurement applications. IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems & Informatics. Subotica. Serbia.
- Singhal, J. & Singhal, K. (2006). Holt, Modigliani, Muth and Simons work and its role in the renaissance and evolution of operations management. Journal of Operations Management. 25, p. 300-309.
- Spearman, M.L. & Hopp, W.J. (1996). Factory physics, Editorial Mc-Graw Hill.
- Stock, J. & Lambert, D. (2000). Strategic logistics management. Irwin Professional Publishing.
- Taug, S., Mawchwn, R. & Min Y. (2004). Using genetic algorithm to solve sequence dependent setup time jobs scheduling problem, International Computer Symposium, Dec 15-17 2004, Taipen Taiwan.
- Vollmann T., Berry, W. & Whybark C. (1988). Manufacturing planning and control systems. 2^a Ed. Down Jones-Irwin.

ANEXO 1. Codificación del modelo en GAMS

El código utilizado para el modelo de planeación de producción, en el lenguaje de programación de GAMS es el siguiente.

Sets

```
t Periodo de tiempo /1*6/;
```

Parameters

D(t) Demanda de Unidades

```
      /1      300
      2      360
      3      360
      4      360
      5      360
      6      60/
```

K1(t) Capacidad de Proveedor uno

```
      /1      200
      2      200
      3      200
      4      200
      5      200
      6      200/
```

K2(t) Capacidad de Proveedor uno

```
      /1      400
      2      400
      3      400
      4      400
      5      400
      6      400/
```

MON(t) mano de obra en número de trabajadores por mes en tiempo normal

```
      /1      112
      2      112
      3      112
      4      112
      5      112
      6      112/
```

MOE(t) mano de obra en número de trabajadores por mes en tiempo extra

/1	112
2	112
3	112
4	112
5	112
6	112/

CapN(t) capacidad de la planta en tiempo normal en número de unidades por mes

/1	360
2	360
3	360
4	360
5	360
6	360/

;

Scalar

F1	Factor de Indirecto de producción /2.4/
F2	Factor que reduce el número de trabajadores en tiempo extra /.5/
C1	Costo Ponderado por unidad de trabajadores en tiempo normal /1685.21/
C2	Costo Ponderado por unidad de trabajadores en tiempo extra /2633.14/
h	Costo de Almacenamiento mensual /2028.18/
r1	Rendimiento por trabajador en tiempo normal en autos por mes /.311111/
r2	Rendimiento por trabajador en tiempo extra en autos por mes /.11/
P1	Precio de Panel para el proveedor 1 /16984.01/
P2	Precio de Panel para el proveedor 2 /18852.81/
Fal	Costo de una unidad faltante al final de un mes /7660/
Rend	Porcentaje de la capacidad de producción de tiempo normal asignada a tiempo extra /0.4/

;

Parameter

CapoV(t)	capacidad de planta en tiempo extra en número de unidades al mes ;
CapoV(t)=	CapN(t) *Rend;

;

Variables

X1(t) Unidades Producidas en tiempo normal
X2(t) Unidades producidas en tiempo extra
Y(t) Máxima Capacidad de Proveedor uno
Z(t) Máxima Capacidad de Proveedor Dos
CT Costo Total
IP(t) Inventario Positivo (sobrante al final de t)
IN(t) Inventario Negativo (backorder al final de t)

;

positive variables

y(t), z(t), IP(t), IN(t), X1(t), X2(t)

;

Equations

CostoTotal	Define la Función Objetivo
Demanda1(t)	Balance de entradas y salidas para t igual a 1
Demanda2(t) y menor a 6	Balance de entradas y salidas para t mayor que 1
Demanda3(t)	Balance de entradas y salidas para t =T=6
CapInstalada(t)	Define la producción de acuerdo a capacidad
ManodeObraN(t)	Define la capacidad de MO en tiempo normal
ManodeObraE(t)	Define la capacidad de MO en tiempo extra
AsigProv(t)	Asignación de compra a Proveedores
Capprov1(t)	Capacidad del proveedor 1
Capprov2(t)	Capacidad del proveedor 2

;

```

CostoTotal ..          CT =e= sum(t,h*IP(t)+C1*MON(t)*F1*X1(t)
                        +C2*MOE(t)*F1*X2(t))+sum(t,(P1*Y(t)
                        +P2*Z(t))) +sum(t,FAL*IN(t));

Demanda1(t)$(ord(t) eq 1) ..          D(t) =e= X1(t)+X2(t)+IN(t)-IP(t);
Demanda2(t)$(ord(t) ge 2 and ord(t) lt 6) ..  D(t) =e= X1(t)+X2(t)+
                                                IP(t-1)+IN(t)-IP(t)-
                                                IN(t-1);
Demanda3(t) $(ord(t) eq 6) .. X1(t)+X2(t)+IP(t-1)-IN(t-1)=e= D(t);
CapInstalada(t) ..          X1(t)+X2(t)=l= CapN(t)+CapOV(t);
ManodeObraN(t) ..          r1*X1(t) =l= MON(t);
ManodeObrAE(t) ..          r2*X2(t) =l= F2*MOE(t);
AsigProv(t) ..             X1(t)+X2(t) =l= Y(t)+Z(t);
Capprov1(t) ..             Y(t) =l= K1(t);
Capprov2(t) ..             Z(t) =l= K2(t);

```

*Model TesisV1

```

/costototal,demanda1,demanda2,demanda3,capinstalada,manodeobraN,manodeobrae,a
sigprov/;

```

```

Model TesisV1 /all/;

```

```

Solve TesisV1 Using lp MINIZING CT;

```

```

Display X1.l, X2.l, IP.l,IN.l, y.l, z.l, CT.l ;

```