

**PROPUESTA DE UN MODELO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA
PRODUCCIÓN PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTOS
SNACK'S DE LA REGIÓN**



**JESÚS DAVID HURTADO MARTÍNEZ
JOAN FELIPE PRADO HURTADO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA INDUSTRIAL
ZARZAL
2017**

**PROPUESTA DE UN MODELO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA
PRODUCCIÓN PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTOS
SNACK'S DE LA REGIÓN**

JESÚS DAVID HURTADO MARTÍNEZ

JOAN FELIPE PRADO HURTADO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería Industrial

Director:

MSC. CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS

Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

ZARZAL

2017

Nota de Aceptación

Evaluador

Zarzal, febrero de 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios por permitirme llegar hasta este punto. A mi padre, que a pesar de ya no estar con nosotros, fue el motor en la culminación de esta etapa de mi vida, a mi familia por su amor y apoyo incondicional ya que sin ellos este sueño no sería posible

Jesús David Hurtado Martínez

Dedico este trabajo de grado a Dios primero que todo por darnos las virtudes de la paciencia, fortaleza y perseverancia, a mi familia por su incondicional apoyo en toda esta etapa sin ellos este sueño no sería posible.

Joan Felipe Prado Hurtado

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos culminar una meta más en nuestras vidas.

A todas nuestras familias, que fueron un gran bastón en la realización de esta gran etapa de nuestra vida.

A mis profesores y amigos de la Universidad del Valle, por su gran colaboración y conocimiento que nos brindaron.

A la empresa caso estudio por abrirnos las puertas para la realización de este proyecto.

A nuestro director de tesis Carlos Rojas por su apoyo, paciencia y perseverancia.

Mi gratitud e incondicional amistad para cada uno de ustedes, ya que sin su ayuda esto no sería posible.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	20
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. MARCO REFERENCIA.....	21
4.1 MARCO TEÓRICO.....	21
4.1.1. SISTEMAS PRODUCTIVOS	21
4.1.1.1 Sistemas de producción continua	21
4.1.1.2 Sistemas de producción intermitente	22
4.1.2. PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LA PRODUCCIÓN (HPP) – HIERARCHICAL PRODUCTION PLANNING.....	23
4.1.3. PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD	24
4.1.4. LA PLANIFICACIÓN AGREGADA	25
4.1.5. PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS)	26
4.1.6. RELACIÓN ENTRE PLAN AGREGADO Y PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.	26
4.1.7. PLAN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES	27
4.1.8. ENTRADAS PRINCIPALES DEL SISTEMA MRP	28
4.1.9. LISTA DE MATERIALES (BOM “BILL OF MATERIAL”).....	28
4.1.10. REGISTRO FICHERO DEL INVENTARIO	29
4.1.11. PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES (SCHEDULING).....	30
4.2. MARCO REFERENCIAL	31
4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	39
5. METODOLOGÍA.....	41
6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	43

7. EVALUACIÓN METODOLOGÍAS EXISTENTES EN LA LITERATURA	47
8. FORMULACIÓN DE LOS MODELOS DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ÍTEMS INDIVIDUALES Y NECESIDADES DE MATERIALES	
54	
9. CASO ESTUDIO	66
10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	73
10. ANALISIS DE SENSIBILIDAD	78
10.1 Análisis de sensibilidad MPS	78
10.1.1 Escenario 1.	78
En este escenario se modificó el parámetro rendimiento para el producto limon10, por ser este el producto de mayor rotación para la compañía.	78
10.1.2 Escenario 2.	79
10.2 Análisis de sensibilidad modelo MRP	80
10.2.1 Escenario 1	80
10.2.2 Escenario 2	81
10.2.3 Escenario 3	82
10.2.4 Escenario 4	84
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
11. BIBLIOGRAFÍA	88
12. ANEXOS	94
12.1. Anexo. Modelos en lenguaje AMPL.....	94
12.1.1. Modelo MPS Original	94
12.1.2. Datos MPS Original.....	94
12.1.3. Comandos MPS Original.....	94
12.1.4. Modelo MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora	94
12.1.5. Datos MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora.....	94
12.1.6. Comandos MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora.....	94
12.1.7. Modelo MPS con inventario inicial en limón a cero	94
12.1.8. Datos MPS con inventario inicial en limón a cero	94
12.1.9. Comandos MPS con inventario inicial en limón a cero.....	94

12.1.10. Modelo MRP Original	94
12.1.11. Datos MRP Original.....	94
12.1.12. Comandos MRP Original.....	94
12.1.13. Modelo MRP con diferente LT	94
12.1.14. Datos MRP con diferente LT	94
12.1.15. Comandos MRP con diferente LT	94
12.1.16. Modelo MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero	94
12.1.17. Datos MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero	94
12.1.18. Comandos MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero	94
12.1.19. Modelo MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido	94
12.1.20. Datos MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido	95
12.1.21. Comandos MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa cant minima de pedido	95
12.1.22. Modelo MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido	95
12.1.23. Datos MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido.....	95
12.1.24. Comandos MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa cant minima de pedido	95
12.2. Anexo. Resultados de Análisis de sensibilidad en lenguaje AMPL Solver Cplex	95
12.2.1. Modelo MPS Original	95
12.2.2. Modelo MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora	95
12.2.3. Modelo MPS con inventario inicial en limón a cero	95
12.2.4. Modelo MRP Original	95
12.2.5. Modelo MRP con diferente LT	95

12.2.6. Modelo MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero	95
12.2.7. Modelo MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido	95
12.2.8. Modelo MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Planificación	25
Tabla 2 - Snacks salados: canales de distribución (2013)	32
Tabla 3 - Bondades y Falencias respecto al autor	47
Tabla 4 - Bondades del sistema MPS	48
Tabla 5 - Bondades del sistema MRP	49
Tabla 6 - Aspectos relevantes del sistema MPS	51
Tabla 7- Aspectos relevantes del sistema MRP	52
Tabla 8 - Demanda del producto p en las semanas t (Parámetro Demanda)	68
Tabla 9 - Horas disponibles de producción para las semanas t (Parámetro Capacidad).....	68
Tabla 10 - Datos de entrada para modelo MPS.....	69
Tabla 11 - Capacidad de producción en el periodo i (Parámetro CapProd).....	69
Tabla 12 - Datos de entrada Modelo MRP	70
Tabla 13 - Datos de entrada MRP	70
Tabla 14 - Número de unidades requeridas de componentes c para fabricar el producto p (Parámetro UCP)	71
Tabla 15 - Datos de Demanda para alimentación modelo MRP	71
Tabla 16 - Datos de Inventario para el modelo MRP.	72
Tabla 17 – Costo de producción en el horizonte de producción	73
Tabla 18 - Cantidad de producto elaborado atender la demanda.....	74
Tabla 19 - Unidades en inventario final.....	75
Tabla 20 - Costo de ordenamiento de los componentes en el horizonte de planeación	75
Tabla 21 - Cantidad de componente para abastecer	76
Tabla 22 - Cantidad de inventario final de los componentes	76
Tabla 23 – Análisis de sensibilidad escenario 1. (Variable X).....	78
Tabla 24 – Análisis de sensibilidad escenario 1(Variable InvFinal).....	79
Tabla 25 Análisis de sensibilidad escenario 2 (Variable X).....	79
Tabla 26 - Análisis de Sensibilidad Modelo MPS.....	80
Tabla 27. Análisis de sensibilidad variable X. escenario 1.....	81
Tabla 28 análisis de sensibilidad escenario 1 variable InvFinal	81
Tabla 29 Análisis de sensibilidad variable X. escenario 2.....	82
Tabla 30 Análisis de sensibilidad escenario 2 variable InvFinal.....	82
Tabla 31 Análisis de sensibilidad variable X. escenario 3.....	83
Tabla 32 Análisis de sensibilidad escenario 3 variable InvFinal.....	83

Tabla 33 Análisis de sensibilidad variable X. escenario 4.....	84
Tabla 34 Análisis de sensibilidad escenario 4 variable InvFinal.....	84
Tabla 35 Consolidación de resultados.	85

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Muestra de una lista de materiales	29
Ilustración 2 - Procedimiento descriptivo de la metodología realizada.....	42
Ilustración 3 - Diagrama de proceso de papa	44
Ilustración 4 - Caracterización del proceso empresa caso estudio	45
Ilustración 5 - Estructura organizacional empresa caso de estudio.	45
Ilustración 6 - Diagrama descriptivo de los modelos MPS - MRP	65
Ilustración 7 - Lista de materiales del producto final	66
Ilustración 8 - Integración del modelo matemático MPS- MRP	67

INTRODUCCIÓN

La importancia de la planeación de la producción radica en la reducción de costos y en el manejo de las partes, ya que la fabricación de los productos requiere tiempos para satisfacer la demanda, y por ello se debe realizar una planeación entre las actividades, ensambles y subensambles para responder de una manera eficaz a los requerimientos de los clientes.

Muchos productos no son entidades. Están compuestos de subensambles y partes, algunas se adquieren de un proveedor externo y otras se fabrican. Un paso en la fabricación de un producto es un plan de producción. Éste especifica las cantidades de cada producto final (artículo terminal), subensambles y partes que se necesitan en distintos puntos del tiempo. Dos requerimientos para generarlo son las estimaciones de demanda del producto final y un plan maestro de producción (MPS) que se usa para crear un plan de producción detallado. (SIPPER, BULFIN Jr., 1998).

Es importante resaltar que la planificación de la producción es parte de lo que suele denominarse comúnmente como Sistema de Gestión de la Producción y las Operaciones (SGP). En ese sentido, la planificación está relacionada con otros componentes tales como la programación (para algunos autores incluida en la planificación), la dirección y el control. Una empresa de manufactura debe planificar sus operaciones en distintos niveles y operar cada uno de ellos buscando la mejor eficacia y efectividad para todo el sistema en su conjunto. Adicionalmente, en las empresas de tipo manufacturero, la planificación de su operación se convierte en el núcleo central de dicho sistema. (Osorio & Motoa, 2008).

Según Domínguez Machuca, (1995) “El proceso de planificación y control de la producción debe seguir un enfoque jerárquico, en el que se logre una integración vertical entre los objetivos estratégicos, tácticos y operativos, además establezca su relación horizontal con las otras áreas funcionales de la compañía. Básicamente las cinco fases que componen el proceso de planificación y control de la producción son: (Sarache Castro, 2003).

1. Planificación estratégica o a largo plazo.
2. Planificación agregada o a medio plazo.
3. Programación maestra.
4. Programación de componentes.

5. Ejecución y control.”

Es importante anotar, que de acuerdo con Domínguez Machuca, (1995), estas fases se deberán llevar a cabo en cualquier empresa manufacturera, independiente de su tamaño y actividad, aunque la forma como estas se desarrollen dependerá de las características propias de cada sistema productivo. (Moran Rodríguez, 2005).

El presente documento busca proponer un modelo de planeación y control de la producción que contribuya a satisfacer las necesidades de demanda de los clientes, teniendo en cuenta aspectos adicionales como nivel de inventario de cada producto y la capacidad de la planta, permitiendo llevar un control de las materias primas utilizadas por producto, evitando así un desbalanceo en el inventario.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, se ha hecho poco para que las pequeñas empresas entren en el proceso de toma de decisiones inteligentes y que incrementen su productividad y competitividad, con miras a obtener resultados positivos en el mercado nacional y aprovechar oportunidades en el extranjero. Algunas de las razones por las que no se ha cumplido este objetivo, se deben a los altos costos y poca adaptabilidad al tipo de negocios de los sistemas existentes para este fin, falta de convicción y poca capacitación en este campo. Los directivos de las pyme Colombianas deberán cambiar su forma de ver el ámbito productivo, generando así nuevas maneras de proceder en cuanto a tomas de decisiones se refiere, adaptándose más rápido a las exigencias de los clientes, para así incrementar el nivel de respuesta hacia los mismos. Este cambio genera la necesidad de una planeación de actividades de una manera eficiente y oportuna. (CASTILLO TATIS & FANDIÑO HURTADO, 2005).

Las estadísticas presentadas por (Forero Páez & Ovalle Castiblanco, 2013), han demostrado que el sistema de producción más empleado en las empresas manufactureras colombianas es el MRP (Material Requirements Planning) con un 84.3%, debido a las características observadas tales como; la demanda dependiente que se presenta en las organizaciones y la necesidad de manejar niveles de stock de seguridad para materias primas e insumos.

El desarrollo de las organizaciones radica de acuerdo a las demandas de un mercado variable en el que es necesario saber; ¿cuándo pedir?, ¿cuánto pedir? Y ¿cuál es el nivel de inventario existente en la empresa? Es por ello la importancia que un plan de producción esté bien definido y pueda minimizar las dificultades presentadas en relación al cumplimiento de la programación de ítems.

En la empresa caso estudio, el problema radica en la inadecuada disposición de las materias primas causando como consecuencia un cambio de referencia o de línea de producción, aumentando así los tiempos improductivos, el aumento del costo de producción, la disminución del nivel productivo y retrasos en la entrega de pedidos.

Actualmente, el plan de producción que se establece en la organización presenta falencias, ya que las decisiones que conciernen a definir las cantidades a producir de cada referencia se desarrolla de manera empírica, es decir; no hay claridad con relación a cuánto y cuándo producir sino que en su momento se producen

unidades a partir de las directrices emitidas por la gerencia. Además en el proceso de planeación y control de la producción no se tienen en cuenta factores clave que conciernen al alistamiento de materiales y maquinaria generando retrasos en la producción.

Partiendo de la situación del plan actual que establece la empresa caso estudio, se determina que la inexistencia de una planeación jerárquica de la producción establece pérdidas que comprometen a la empresa y su funcionamiento, es por ello que se pretende usar herramientas que comprometan en un aspecto positivo en la producción y su planeación, tales como el plan maestro de producción (MPS) quien es el que establece los pronósticos de demanda y el manejo del producto final, y el plan de requerimiento de materiales (MRP) quien es el que alimenta la producción desde los insumos y materias primas. Todo esto con el fin de proponer un modelo de planeación y control que garantice las demandas y los materiales requeridos para su producción.

Las empresas de manufactura, incluso las que se consideran pequeñas, han instalado casi universalmente sistemas de planeación de requerimiento de materiales (MRP). El MRP se ha convertido en un método lógico y fácil de entender para abordar el problema de definir el número de piezas, componentes y materiales necesarios para producir cada parte terminada o en proceso. El MRP también proporciona un programa para especificar cuándo hay que producir o pedir éstos materiales, piezas y componentes. (CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009).

Según (Nahmias, 2007) el MPS por ser un plan de producción orientado a establecer los niveles de producción de artículos finales o productos por periodo, se alimenta de diferentes fuentes de datos:

- Pedidos en firme de los clientes
- Pronósticos de demanda futura por artículo
- Requerimientos de inventario de seguridad
- Inventarios disponibles
- Pedidos internos de otras partes de la organización
- Capacidad instalada y disponible
- Otra información relacionada

El MRP se considera una herramienta altamente efectiva para la gestión de manufactura por las siguientes razones:

- Busca mantener una inversión mínima de inventario
- Es un sistema sensible al cambio
- Da una mirada al futuro desde el punto de vista de componentes
- El control de inventario se orienta en acciones
- Las cantidades de las órdenes se relacionan con los requerimientos

Se hace énfasis en los tiempos de los requerimientos, su cubrimiento y las acciones de las órdenes. (Cano Arenas, 2011).

En este orden de ideas, las condiciones actuales han llevado a las empresas a la utilización de sistemas híbridos de producción, debido que el modo de operar estos sistemas por separado varía en aspectos que pueden o no traer beneficios en la producción, aspectos como: la planificación de las necesidades futuras de los productos, el punto de reorden, cantidad de recursos a utilizar, la disponibilidad de la capacidad, el nivel de inventarios, horizontes de pronósticos, la capacidad de respaldo, y la visión holística del sistema que les da mayor o menor flexibilidad. (LIBREROS LASSO & ROMERO LÓPEZ, 2015).

Según (Chih-Ting Du & Wolfe, 2000) existen tres razones por las cuales los sistemas MRP fallan a un nivel operativo (Cano Arenas, 2011):

- El MRP ignora restricciones de capacidad
- El MRP no puede lidiar con la dinámica de la planta de fabricación
- Los tamaños del lote, stocks de seguridad y tiempos de entrega fijos resultan en implementaciones rígidas.

La empresa caso estudio presenta falencias en el manejo y disposición de materias primas, debido de que hay excedentes de lo que no se usa y faltantes de lo que si se usa, un caso especial son las bobinas, el aceite para freír y el saborizante. Debido a que toman decisiones en forma empírica y no con base en registros de producción obtenidos, incurriendo en un costo total mensual de aproximadamente 32 millones de pesos Colombianos.

La inadecuada planeación y control de los materiales necesarios en la producción de acuerdo a la demanda, tiene consecuencias como; el incumplimiento en la fecha de entrega de los pedidos, el exceso o faltante en inventarios, el aumento de costos de operación, el no aprovechamiento de los recursos, la sobre carga de trabajo, las altas cantidades de inventario, recurriendo así a los bajos niveles de satisfacción del cliente.

Por consiguiente, el presente proyecto de grado pretende resolver la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo un modelo de planeación y control de la producción para una empresa productora de snack's del municipio de Zarzal puede contribuir a reducir el costo total de operación?

2. JUSTIFICACIÓN

En las organizaciones, actualmente existe un inconveniente que se presenta en la práctica de las industrias de alimentos tipo Snack's, y concierne a que las decisiones a nivel operativo se toman de manera empírica, lo cual genera frecuentes paros en la producción a raíz de la ausencia de materias primas en el proceso de abastecimiento y esto, a su vez, ocasiona consecuencias como subutilización de los recursos, incumplimiento en las fechas de entrega, disminución de la productividad, aumento de los costos y altos inventarios innecesarios. (Torné, Ramírez, & Orejuela Cabrera, 2012).

Una de las razones por las cuales las PYMES son poco competitivas es que carecen de sistemas computacionales de información y planeación apropiados para la toma de decisiones en sus procesos. Los sistemas comerciales de planeación de materiales (Materials Requirement Planning, MRP) pueden contribuir a que las PYMES mejoren sus resultados, con pronósticos más precisos, mejores planes de producción e información del estado y capacidad de la planta. Sin embargo, el costo de estos sistemas pueden alcanzar los cientos de miles de dólares, cifra que en muchos casos iguala las ventas anuales totales de una compañía PYME. Por ejemplo, el 65% de las PYMES en Colombia usan sistemas de información contable y sólo el 13% usan algún sistema MRP (Hernández & Mejía, 2008).

Con base en lo anterior, el presente trabajo busca definir un modelo de planeación y control de la producción orientado al cumplimiento de la demanda de los productos, a la determinación de niveles de inventario, y los costos relacionados; contribuyendo así a una mejora de la productividad de la empresa objeto de estudio y el nivel competitivo de la misma en el mercado.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo para la planeación y control de la producción para una empresa productora de Snack's, bajo un ambiente de fabricación Make to Stock que contribuya a minimizar el costo total de la operación.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el sistema de producción de la empresa caso de estudio que permita identificar los factores críticos relacionados.
- Evaluar una metodología existente en la literatura que considere los factores críticos identificados en la caracterización.
- Definir un modelo que integre los factores claves analizados.
- Realizar un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos del modelo.

4. MARCO REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1. SISTEMAS PRODUCTIVOS

4.1.1.1 Sistemas de producción continua

Este método de producción se utiliza para fabricar, producir, o procesar materiales sin interrupción, a través de un proceso de flujo continuo que permite mantener los materiales en movimiento y, generalmente, funcionando las 24 horas al día, siete días a la semana con alguna parada de mantenimiento aunque poco frecuentes. (Retos en Supply Chain, 2014) Sus principales características son:

- El flujo de producción es ininterrumpido.
- Los productos están estandarizados.
- Toda la producción sigue unos estándares de calidad.
- Se produce con anticipación a la demanda.
- Los procedimientos de trabajo están prefijados.

Existen dos tipos de sistema industrial continuo:

Producción en masa: es la producción de grandes cantidades de productos estandarizados con base en líneas de montaje. Se caracteriza por la mecanización como medio para lograr un alto volumen de unidades producidas, obtenidas partiendo de una cuidadosa organización de flujo de materiales a través de varias etapas de la fabricación, y con base en la supervisión de los estándares de calidad y la división del trabajo. (Retos en Supply Chain, 2014).

Producción por procesos: en este caso, el flujo de materiales también es continuo pero todo el sistema productivo se destina a la fabricación de un solo bien el cual, una vez obtenido, no puede de ninguna manera descomponerse en sus materias primas. Estos tipos de procesos están fuertemente mecanizados y requieren de una mano de obra muy poco cualificada, en contraste con la complejidad de las tecnologías que se aplican en la transformación. (Retos en Supply Chain, 2014).

4.1.1.2 Sistemas de producción intermitente

Los procesos de transformación de este tipo suceden a intervalos irregulares y sin continuidad de flujo. Los productos son fabricados con base en los pedidos del cliente y, por esta razón, los bienes se producen en pequeña escala. En este sistema, se producen grandes variedades de productos en los que tamaño, diseño y otras características intrínsecas al bien pueden variar, por lo que la flexibilidad es una de las principales características que las diferencian de los tipos de sistemas de producción continua. (Retos en Supply Chain, 2014).

Existen tres tipos de sistemas de producción industrial intermitente:

Sistemas de producción modular: esta forma de producción parte de un enfoque que subdivide un sistema en partes más pequeñas, denominadas módulos, y que pueden ser creadas de forma independiente. Su uso puede aplicarse a sistemas distintos para obtener múltiples funcionalidades. Las principales características de este tipo de sistema de producción son:

- Partición funcional del diseño de producto en módulos discretos escalables, reutilizables y formados por elementos independientes y aislados.
- Uso riguroso de interfaces modulares bien definidas.
- Facilidad de cambio que permita hacer uso de estándares industriales para las interfaces clave.

Sistemas de producción por lotes: este método de fabricación se utiliza para producir cantidades limitadas de un mismo producto bajo pedido. Su principal característica es la versatilidad de las instalaciones, que permiten producir diferentes tipos de bienes. Por esta razón, la mano de obra es cualificada. (Retos en Supply Chain, 2014)

Sistemas de producción por proyectos: este es el caso más complejo de producción intermitente ya que los requerimientos en materia de recursos varían conforme evolucionan las fases del proyecto, los roles intermitentes se interrelacionan y pueden incluir personal externo a la empresa (contratación) y la necesidad de monitorización es superior a otros tipos de sistemas de producción para garantizar la actualización del planeación por una parte, y, por otra, para adecuarse a las exigencias de auditoría que se imponen en cada caso. (Retos en Supply Chain, 2014).

4.1.2. PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LA PRODUCCIÓN (HPP) – HIERARCHICAL PRODUCTION PLANNING

La planificación jerárquica de la producción (HPP) es un método para hacer frente a la complejidad de la planificación de la producción de varios niveles y los problemas de planificación en el mundo real industrial. (Torabi, Ebadian, & Tanha, 2010)

Para que exista una coherencia entre las decisiones tomadas en los diferentes niveles de planificación de la producción y poder obtener planes viables y coherentes, las decisiones de nivel superior deben imponer restricciones sobre los niveles inferiores, mientras que estos últimos proporcionan retroalimentación necesaria para revisar las decisiones de alto nivel. Este enfoque, es uno de los importantes avances en el campo de la planificación y programación de la producción y se le conoce como planeación jerárquica de la producción. (Torabi, Ebadian, & Tanha, 2010)

La planificación jerárquica de la producción (HPP) difiere marcadamente del MRP y no ha conseguido el mismo grado de aceptación. Si bien el MRP podría considerarse como un procedimiento jerárquico, la HPP lo es realmente y se basa en la división del problema de la planificación de la producción en varios niveles. Las ventajas principales de la HPP son la reducción de la complejidad y la posibilidad de tratar con información incompleta. Existen estructuras diferentes para las arquitecturas de HPP que dependen del tipo de planificación. Los sistemas Pull se basan en la limitación de la capacidad. En cuanto a las limitaciones del modelo de HPP, se consideran las siguientes: el modelo no es aplicable a un sistema de múltiples etapas, en el que cada pieza sufre más de una operación durante su producción; solo se considera un único recurso. Esta es una limitación importante, ya que la mayoría de los casos prácticos implican más de un recurso productivo. (Mora, Tobar, & Soto, 2012).

4.1.3. PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD

Para la planeación de la capacidad es preciso definir algunos conceptos sobre capacidad. (MENDUIÑA GOVIN, 2008).

- La capacidad es la tasa de producción que puede obtenerse de un proceso. Esta característica se mide en unidades de salida por unidad de tiempo.
- La capacidad diseñada es la tasa producción que quisiera tener una empresa en condiciones normales; es también la capacidad para la que se diseñó el sistema.
- La capacidad máxima es la tasa de producción más alta que puede obtenerse cuando se emplean de manera óptima los recursos productivos.

La planeación de capacidad tiene como objeto principal obtener un equilibrio entre la capacidad necesaria y la demanda que debe satisfacer la empresa en un futuro mediante la determinación de las necesidades de capacidad o carga requerida; entre mayor sea la brecha entre las dos, se generará un aumento de los niveles de inventario, pérdida de contratos, mayores cargas financieras derivadas de la contingencia por insuficiencia de capacidad y retrasos en las fechas de entrega.

Las decisiones de planeación de la capacidad en general incluyen las siguientes actividades:

1. Evaluación de la capacidad existente.
2. Estimaciones de pronósticos de las necesidades futuras de capacidad en un horizonte de planeación seleccionado.
3. Identificación de modos alternativos para modificar la capacidad.
4. Evaluación financiera, económica y tecnológica de las alternativas de capacidad.
5. Selección o elección de la alternativa de capacidad más adecuada para llevar a cabo la misión estratégica. (EVERETT E. & Ronald J., 1994).

4.1.4. LA PLANIFICACIÓN AGREGADA

La planificación agregada (también conocida como programación agregada) se ocupa de determinar la cantidad que se producirá y cuándo se producirá en un futuro a medio plazo, generalmente entre 3 y 18 meses. Los directores de operaciones tratan de determinar la mejor manera de satisfacer la demanda prevista ajustando los ritmos de producción, la cantidad de mano de obra, los niveles de inventario, la cantidad de horas extras, las tasas de subcontratación y otras variables controlables. Normalmente, el objetivo de la planificación agregada es minimizar el costo total durante el periodo de planificación. Sin embargo, otros objetivos estratégicos pueden ser más importantes que un costo reducido. Estas estrategias pueden buscar nivelar las necesidades de mano de obra, rebajar los niveles de inventario o conseguir un alto nivel de servicio. (Jay Heizer; Barry Render, 2008)

La planificación es un proceso continuo: coexisten simultáneamente diversos planes/niveles vigentes, coordinados y jerarquizados, de manera que cada uno estudia el problema desde un punto de vista diferente. (Ver Tabla 1). Estos planes tendrán en consideración horizontes diferentes y serán reelaborados periódicamente antes de que se llegue al final de su horizonte. (Ángel A. & García Martín)

Tabla 1. Niveles de Planificación

Planificación	Horizonte temporal	Objetivo	Tipo de decisiones
Agregada	Largo	Fijar las grandes líneas de actuación y detectar grandes problemas con atención	Pocos concretas
Detallada	Medio	Gestión de materiales y cálculo de necesidades	Bastante detalladas
Programación	Corto	Analizar detalladamente lo que pasará y decidir las acciones más apropiadas	Muy concretas

Fuente: Técnicas de Planificación Agregada. Ángel A. Juan (ajuanp@uoc.edu), Rafael García Martín (rgarciamart@uoc.edu).

4.1.5. PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS)

El programa maestro de producción (MPS) representa lo que la compañía planea producción expresando configuraciones específicas de productos, cantidades y fechas. El programa maestro de producción no es un elemento de pronóstico de ventas que representa una definición de la demanda. El programa maestro de producción debe tener en cuenta el pronóstico, el plan de producción, y otras consideraciones importantes, como los pedidos de clientes, la disponibilidad de materiales, de capacidad, políticas y objetivos de gestión. Su programación se hace a través de un formato que incluye periodos de tiempo (fechas), los pronósticos de ventas, periodos de clientes, saldo de inventario proyectado, y la cantidad necesaria de cada tipo de producto. (APICS Dictionary, 2008).

El MPS, (Master Production Scheduling, por sus siglas en inglés) es el impulsador del sistema MRP, inicia a partir de recibir todas la solicitudes y pedidos de los clientes de la empresa y los pronósticos de la demanda anterior al inicio del MRP, los cuales llegan a ser los insumos del sistema (Maldonado, 2000).

4.1.6. RELACIÓN ENTRE PLAN AGREGADO Y PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.

En el entorno de la manufactura, el proceso de desglosar el plan agregado en detalles específicos se llama desagregación. Ésta da como resultado un programa de producción maestro que proporciona información a los sistemas de planeación sobre los requerimientos de materiales (MRP, Material Requirements Planning). El programa de producción maestro se refiere a la compra o producción de las partes o los componentes necesarios para fabricar los productos finales. La programación detallada del trabajo de las personas y la programación de prioridades para los productos son resultado de la etapa final del sistema de planeación de la producción. (HEIZER & RENDER , 2009).

Según (Cardós, Vicens, & Miralles, 2004), la relación entre el plan agregado y el plan maestro de producción es implícita:

1. El PAP (Plan Agregado de Producción) establece los recursos, niveles de actividad e inventario aplicables a los períodos que se planifican.

2. Los ajustes al PMP (Programa Maestro de Producción) persiguen alcanzar los niveles planificados de ocupación de los centros de trabajo. Pueden incluir anticipar la fabricación de artículos demandados en períodos posteriores, en cuyo caso los planificadores generan manualmente los ajustes considerando el nivel de incertidumbre asociado a la demanda de los artículos y la disponibilidad de los materiales necesarios.
3. Si no se logra simultáneamente alcanzar el nivel de ocupación planificado y satisfacer la demanda prevista, entonces debe revisarse el PAP porque no es viable.

4.1.7. PLAN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

Dentro de las numerosas investigaciones realizadas al entorno MRP (Material Requirements Planning) se presentan algunas teorías y trabajos fundamentados en relación a este y los elementos que lo conforman.

Según (CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009) afirma que; “el MRP es un programa de computador que determina la cantidad de cada artículo que se necesita para completar un número específico de unidades en un periodo de tiempo determinado. Logra esto extendiéndose hasta el archivo de la lista de materiales y el archivo de registros del inventario para crear una programación del tiempo y el número de unidades necesarias en cada etapa del proceso”. (Guerrero Peña, 2007).

Un Sistema MRP debe ser sensible a cambios en el Plan Maestro, en el status del inventario o en la estructura de productos. También proporciona resultados tales como: las fechas límite para los componentes, las que posteriormente se utilizan para el control de bodega. Una vez que estos productos del MRP están disponibles, permiten calcular los requerimientos de capacidad detallada para los centros de trabajo en el área de producción. (Maldonado, 2000).

La planeación de requerimiento de material es una técnica de control y planeación de producción en la que se emplea el programa maestro de producción para crear órdenes de producción y de compra de artículos con demanda dependiente. (Noori & Radford, 1997).

Por otra parte (Vollman & Whybark, 1995) afirman que el propósito es que se tengan los materiales requeridos, en el momento requerido para cumplir con las órdenes de los clientes. El MRP genera una lista de órdenes de compra sugeridas, un reporte de riesgos de material y un programa de adquisiciones a proveedores en función de la producción programada.

4.1.8. ENTRADAS PRINCIPALES DEL SISTEMA MRP

Según (SIPPER, BULFIN Jr., 1998); Los tres insumos más importantes de un sistema MRP son:

- Programa maestro de producción
- Lista de materiales (BOM “Bill Of Material”)
- Registro del estado del inventario

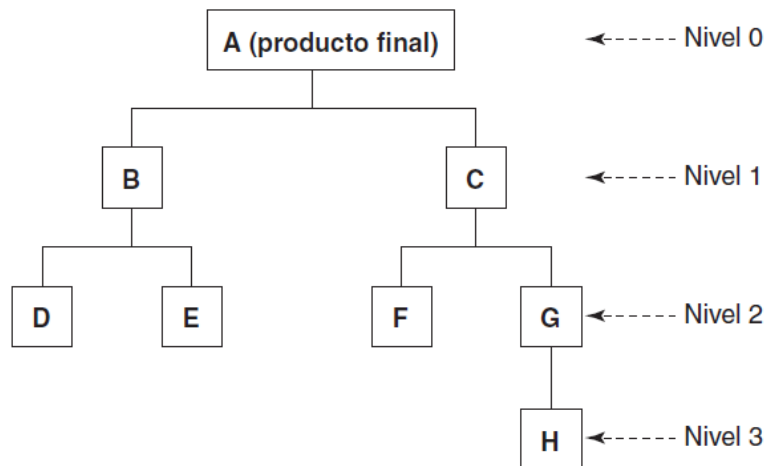
4.1.9. LISTA DE MATERIALES (BOM “BILL OF MATERIAL”)

La Lista de Materiales (BOM “Bill Of Material”) identifica cómo se estructura cada uno de los productos terminados, especifica todos los artículos subcomponentes, su secuencia de integración, su cantidad en cada una de las unidades terminadas y qué centros de trabajo realizan las secuencias de integración en las instalaciones. La información que proporciona la lista de materiales al MRP es la estructura del producto, como la que se muestra en la *Ilustración 1 - Muestra de una lista de materiales*, allí se detallan los componentes que integran el producto. (D'Alessio Ipinza, 2004).

La estructura del producto puede realizarse en forma de árbol con diferentes niveles de fabricación y montaje. La codificación por niveles facilita la explosión de materiales, identificando cada uno de los materiales que componen cada producto manufacturado en el sistema productivo.

Estos niveles se pueden definir de la siguiente manera:

Ilustración 1 - Muestra de una lista de materiales



Fuente: CHAPMAN, STEPHEN N. 2006 - Planificación y control de la producción.

Nivel 0: Productos finales no usados, como componentes de otros productos, es en nivel más complejo de la lista.

Nivel 1: Componentes unidos directamente a un elemento de nivel 0.

En general, el nivel i se ubicarán componentes que se relacionan con otros de nivel $i-1$, siguiendo el proceso hasta llegar a las materias primas y partes compradas en el exterior.

4.1.10. REGISTRO FICHERO DEL INVENTARIO

El registro fichero o archivo maestro de elementos contiene información sobre los tiempos de espera y tamaños de lote, además, de otros datos útiles como los códigos de identificación, cantidad disponible, nivel de inventario de seguridad y la cantidad asignada. Prácticamente en todos los casos hay un archivo maestro de elementos por cada componente utilizado en la planta.

El cálculo que toma en cuenta toda esta información para planificar los pedidos de componentes generalmente se denomina explosión. Esto se debe a que, tras comenzar en el nivel padre, los cálculos se “propagan” a los niveles inferiores de la lista de materiales, lo que semeja una explosión. (CHAPMAN, 2006)

4.1.11. PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES (SCHEDULING)

La programación de las tareas apoya las principales áreas funcionales de una empresa. El departamento de producción necesita conocer la secuencia real de productos a fabricar en el día. Por ello, su personal ha de consultar la programación de tareas que resulta tras la planificación de los diferentes productos a fabricar. Contabilidad, a partir de la información de la programación y de las fechas de entrega a los clientes, prevé la entrada de ingresos, los costos de cada trabajo y realiza un análisis del “*cash-flow*” de la empresa. Marketing puede establecer medidas de la eficiencia de la programación para determinar si los tiempos de terminación de los pedidos están aportando una ventaja competitiva y si las entregas se están realizando a tiempo. El conocimiento de los tiempos de entrega de cada pedido permite al departamento de marketing ofrecer tiempos de entrega más ajustados. (Sánchez Martín & López de Haro, 2005).

Así mismo (DOMINGUEZ MACHUCA & ET AL., 1995) afirman que; la tarea del *scheduling* tiene por objeto determinar qué operaciones se van a realizar sobre los distintos trabajos durante cada momento del horizonte de planeación¹ en cada máquina, de forma que con la capacidad disponible en cada una de ellas, se cumplan las fechas de entrega planificadas, empleando la menor cantidad de recursos e inventarios posible.

Por otra parte (Osorio, Lasso, & Ruiz, 2012) dicen que aunque en la literatura existente al problema del *scheduling* es extenso, la mayoría de estos trabajos han considerado solamente un criterio como función objetivo, pero la práctica demuestra que el problema involucra más de uno, que en muchas oportunidades, se presentan en conflicto. Tal como lo plantean (T'Kindt & Billaut, 2006) un problema genuino de *scheduling*, en esencia, involucra múltiples objetivos.

Hasta finales de los 80's, la mayoría de los trabajos existentes consideraban un solo criterio en su función objetivo, mientras que en la práctica, este aspecto es multidimensional, y para medir la efectividad de esta actividad en la empresa, se conjugan múltiples elementos, tales como los inventarios de trabajo en proceso, la utilización de los equipos y el cumplimiento con las fechas de entrega ofrecidas a los clientes. Ello ha obligado el desarrollo del *scheduling* multiobjetivo (Hoogeveen, 2005).

¹ El horizonte de planeación dependerá de las características del proceso productivo y su entorno, pudiendo variar entre unas horas o varias semanas.

Si bien es cierto que este tema es relativamente nuevo en la literatura correspondiente al problema del *scheduling*, es claro que los últimos desarrollos al respecto se ven obligados a incluirlo, más cuando se aprecia que esto hace más realista la situación y permite una consideración más práctica de la problemática. (Osorio, Lasso, & Ruiz, 2012).

Básicamente resolver un problema de *scheduling* es dar respuesta a tres variables de organización de la producción que son:

- La asignación de pedidos, equipo y personal a los centros de trabajo.
- Determinar la secuencia de realización de las actividades.
- La programación de las fechas de comienzo y finalización de las operaciones.

4.2. MARCO REFERENCIAL

La tendencia del mercado representa una gran oportunidad para apostarle a una categoría que se destaca por sus altas barreras de entrada, pues el mercado se encuentra concentrado en pocas compañías, que se han posicionado a través de los años invirtiendo altas sumas en publicidad. Según Marketline© 2014, el segmento de los pasabocas salados representó 1.620 millones de dólares en 2013, en Colombia, de los cuales el 70% estuvo en manos tres empresas: Frito Lay (una filial de PepsiCo), Yupi y Productos Calima. Como referencia, el mismo año la inversión en publicidad fue de 41.880 millones de pesos, en 2013, y el 77% de ésta correspondió a las dos primeras empresas, según datos de Ibope Media©. Para 2014, la inversión ascendió a los 60.788 millones de pesos. No obstante, el consumidor es una realidad y representa un reto para un mercado en el que la distribución se caracteriza por sus altos niveles de informalidad, como lo demuestra la magnitud de las ventas callejeras. Según la firma de información de mercados Marketline, en 2013, el 54.8% del segmento de los snacks salados, por ejemplo, estuvo en manos de minoristas independientes, frente al 25.6% de las grandes superficies, (ver Tabla 2). Las marcas que quieran conquistar al nuevo consumidor tendrán que salir del esquema imperante, pues éste dejará de apostarle a la gracia del tendero y se acercará a los canales modernos, que garantizan los criterios de sostenibilidad, calidad y planificación del consumo. (Ardila, 2015).

Tabla 2 - Snacks salados: canales de distribución (2013)

Canal	Participación (%)
Minoristas independientes	50,8
Grandes superficies	25,6
Tiendas de conveniencia	8,8
Estaciones de servicio	7,4
Otros	7,4

Fuente: Marketline (2014)

De acuerdo a las estadísticas de las fuentes obtenidas, la empresa caso estudio ve una gran oportunidad de participación en el mercado y segmento de minoristas independientes que agrupan tiendas, supermercados de barrio y localidades municipales donde no se encuentran las grandes superficies. Es por ende la necesidad de la existencia de un modelo de planeación y control de la producción, el cual contribuya en la correcta disposición de materia prima, equipos y producto terminado que en su conjunto puedan satisfacer al cliente.

En consecuencia, la inclusión al mercado tiene exigencias que se deben de ser provistas y es por esa misma razón que la empresa debe de tener en cuenta parámetros tales como; la capacidad de la planta, el mercado objetivo, el recurso y uso de los insumos, y los pronósticos de ventas en relación al programa de producción, todo con la misión de producir de manera eficiente, minimizando costos y gastos de operación, el tiempo de esperas por mala disposición de materias primas y contribuyendo a la satisfacción de las necesidades del cliente.

Por otra parte, el problema de la planificación de la producción reviste un carácter complejo dada la cantidad de elementos que involucra y las múltiples interrelaciones existentes entre ellos; esto ha hecho que en torno a la solución del mismo se hayan desarrollado gran cantidad de trabajos.

Como un punto intermedio entre los mencionados, surge una corriente relativamente nueva con un grado de desarrollo importante en los últimos años y que se apoya en una visión jerárquica del sistema objeto de trabajo. Tal aproximación, denominada Planificación Jerárquica de la Producción (*Hierarchical Production Planning*), reconoce en el sistema de gestión de la producción diversos

niveles u horizontes con problemas de decisión particulares, con un manejo agregado del tiempo y de los datos de las diversas entidades identificables, y con la exigencia fundamental de lograr sinergia entre las diferentes decisiones que se toman en tal sistema. (Osorio & Motoa, 2008).

La adquisición y asignación de recursos escasos a las actividades de producción para satisfacer la demanda de los clientes sobre un horizonte de tiempo específico, define el problema de la planificación de la producción. Es decir, este problema está relacionado con las decisiones de adquisición, asignación y utilización de los recursos de producción en la satisfacción de los requerimientos de los clientes, de la forma más eficiente y eficaz. Típicamente, estas decisiones entre otras cosas incluyen la definición del nivel de la fuerza de trabajo, la determinación de los tamaños de lotes, asignación de horas extras y secuenciación de las corridas de producción. (Graves, 1999).

En otras palabras, según (Motoa Garavito, Osorio Gómez, & Orejuela Cabrera, 2007), este problema se resuelve desarrollando un plan que en el sentido de la fabricación contra inventario atienda la demanda a un mínimo costo o con el beneficio máximo, y en dirección de la fabricación contra pedido permita responder por unos trabajos en el menor tiempo posible o con la menor variación alrededor de la fecha de entrega. Parece claro que este escenario puede variar de acuerdo con los diferentes sistemas de fabricación y con el tipo de mercado a atender.

Por un lado, (VILLA TELLO & JIMENEZ GONZALEZ, 2013) afirman que; La preocupación más básica es con la construcción del registro del PMP (Plan Maestro de Producción) actualizándolo a lo largo del tiempo. El registro del PMP se desarrolla para que sea compatible con el sistema de planeación de los requerimientos de materiales (MRP, Material Requirements Planning) y para suministrar la información para coordinar con el área comercial, compras y producción. A lo largo del tiempo, al ser completada la producción y utilizados los productos para cumplir los requerimientos de los clientes, el registro del PMP debe mantenerse actualizado. Hacer esto significa implementar un ciclo periodo de revisión y actualización que se denomina “rodar en el tiempo”. Actualizar los registros involucra procesar las transacciones del PMP, mantener el registro del PMP, responder a las condiciones de excepción y medir la efectividad del PMP

con una base rutinaria. Desempeñar estas tareas mantendrá los recursos de manufactura y la producción alineados con la planeación de ventas y operaciones.

Según (Nahmias, 2007) Un plan de producción es una especificación completa de la cantidad de artículos terminados o productos finales, de los tiempos exactos, de los tamaños de lote de producción y de un programa final de terminación. El plan de producción se puede descomponer en varias partes, las cuales se pueden representar en subsistemas grandes y complejos:

- Programa Maestro de la Producción (Master Production Schedule - MPS)
- Sistema de planeación de requerimientos de materiales (Material Requirement Planning -MRP)
- Programa detallado de trabajos en el piso o taller de producción (Scheduling)

La gestión y control de estos subsistemas presentes dentro del sistema de producción consta de tres fases principales:

- Reunir y coordinar la información que se requiere para formular el Programa Maestro de Producción (MPS).
- Determinar las liberaciones de los pedidos planeados utilizando el MRP
- Crear un programa detallado de trabajos de piso de producción y de requerimientos de recursos de acuerdo con las autorizaciones de pedidos planeadas con el MRP.

La planeación de la producción tiene un rol importante en el ámbito industrial, ya que este permite que una compañía pueda estar preparada y pueda prever la demanda que se vaya a suplir, y de esta forma satisfacer a los clientes y cumplir con su propia meta, en esto se quiere afirmar; “ la planificación y control de la producción exige la adquisición y asignación de recursos limitados para las actividades de producción con miras a satisfacer la demanda de los clientes en un horizonte de tiempo específico.” (Graves, 1999).

La desagregación del plan agregado según (VILLA TELLO & JIMENEZ GONZALEZ, 2013); resulta en el programa maestro de producción, el cual proporciona la información necesaria a los sistemas de planificación de requerimiento de materiales (MRP, Material Requirements Planning). El programa maestro se refiere a la compra o a la producción de las partes o los componentes necesarios para fabricar los productos finales. La MRP toma los requerimientos

para estos productos y los descompone en sus partes y sub ensamblajes para crear un plan de materiales. Este plan especifica cuándo la producción y las órdenes de compra deben colocarse en cada parte, y el sub ensamblaje para completar los productos del programa.

De igual forma (Torabi, Ebadian, & Tanha, 2010) La planeación y la programación de la producción incluye diferentes tareas complicadas relacionadas con una toma de decisiones jerárquica en los entornos de fabricación, donde se requieren la cooperación entre varias unidades funcionales en una organización, por ejemplo, la producción, contabilidad y comercialización.

Por otra parte (CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009) afirman; El plan de producción total o planeación agregada especifica grupos de productos, no especifica los artículos exactos. El siguiente nivel de planeación es el MPS, que consiste en un plan de escalonamiento en el tiempo que especifica cuando se planea la firma construir o realizar cada artículo final, detallando su modelo, características especiales. El MPS indica periodo por periodo, generalmente por semana, cuando y cuantos artículos finales de cada modelo se necesitan. En el siguiente nivel de planeación se encuentra el programa MRP, que calcula y programa todas las materias primas, las partes y suministros necesarios para fabricar el artículo final especificado por el MPS.

Según (Jamalnia & Soukhakian, 2009), la planeación agregada de la producción es un proceso de planificación de capacidad a mediano plazo que normalmente abarca un horizonte temporal de 3 a 18 meses y se trata de determinar la producción óptima, fuerza de trabajo y los niveles de inventario para cada período del horizonte de planificación para un determinado conjunto de recursos y restricciones de producción. Este tipo de planificación por lo general implica un producto o una familia de productos similares con pequeñas diferencias.

En otras palabras (Tang & Sodhi, 2009); HPP es una importante actividad de alto nivel de planificación en un sistema de gestión de la producción. Del plan de HPP dependen de manera jerárquica el programa maestro de producción (MPS), plan de capacidad y requerimientos de materiales (MRP).

Con esta información el plan maestro de producción (MPS) determina el calendario de producción de cada tipo de producto de forma que se cumplan los plazos de entrega establecidos y que se respeten las restricciones de capacidad

existentes aprovechando de forma eficiente la capacidad productiva instalada. (Miranda, Rubio, Chamorro, & Bañegil, 2005).

(Vidal, 2010) Menciona que el primer aspecto a tener en cuenta es que los pronósticos de demanda siempre estarán errados. Esto no es sorprendente, ya que cuando se pronostica, se está anticipando lo que ocurrirá en el futuro. La clave del éxito de un sistema de gestión de inventarios es, por lo tanto, conocer a fondo los errores del pronóstico y responder a ellos en forma adecuada, y definir el tipo adecuado de pronóstico de demanda, que permita estimar con precisión el patrón, el promedio y la variabilidad de la demanda de cada ítem que se mantenga en inventario. De esta forma, los inventarios de seguridad se calculan proporcionalmente a la variabilidad de la demanda, de acuerdo con el nivel de servicio deseado, y no proporcionalmente al promedio de la misma. (Arboleda & Ramírez, 2014).

En el nivel conceptual, el Plan Maestro de Producción (MPS) traduce la planeación de ventas y operaciones en un plan para fabricar productos específicos en el futuro, en donde la planeación de ventas y operaciones enuncia en forma agregada la producción de manufactura requerida para alcanzar los objetivos de la compañía, es decir, el MPS es la traducción de la planeación de ventas y operaciones en productos manufacturables con sus cantidades y tiempos determinados, por lo tanto; es una declaración de producción. El MPS toma en cuenta las limitaciones de capacidad, los costos de producción y otras consideraciones de recursos. La producción puede tener lugar con anticipación a la demanda de mercado para utilizar mejor la capacidad de producción, también es posible que un producto para el que hay demanda pronosticada ni siquiera se elabore. (JIMÉNEZ BAEZA, 2014).

Por otra parte (CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009) afirma que el plan maestro de la producción (MPS) se refiere a artículos finales, sin embargo, si el artículo final es bastante grande o costoso, el MPS se puede programar en términos de los principales subensambles o componentes según el caso.

El MRP (Material Requirements Planning) es un sistema de requerimiento de materiales que consiste en un conjunto de procedimientos lógicos relacionados, reglas de decisión y registros diseñados para traducir el plan maestro de producción en unos requerimientos netos desfasados en el tiempo y para el cubrimiento de éstos, para cada componente del inventario que se necesita para lograr cumplir con dicho plan. El sistema de planeación MRP replanea los requerimientos netos y su cubrimiento como un resultado de los cambios ya sea

en el MPS, estado del inventario o composición del producto. Dentro del proceso de planeación, el sistema MRP asigna cantidades de inventario disponibles a los requerimientos netos y reevalúa la validez de los tiempos de las órdenes abiertas para determinarlos. Para cubrir los requerimientos, el sistema establece un programa de órdenes planeadas para cada ítem, las cuales se calculan según una regla de tamaño de lote específica. Toda la información que se genera respecto al requerimiento de ítems y su cubrimiento, se refiere a un Plan de Requerimiento de Materiales. (Orlicky, 1975).

Según (Wong & Kleiner, 2001); El MRP ha evolucionado como un conjunto de técnicas lógicas de planificación que permiten una mejor gestión para operar en un entorno de fabricación. Se considera como un concepto de programación de red que integra la información en toda la empresa para planificar las actividades de manufactura. Las cuatro preguntas relevantes que giran alrededor del MRP son:

- ¿Qué vamos a hacer?
- ¿Qué se necesita para hacerlo?
- ¿Qué tenemos o disponemos?
- ¿Cuándo realizar órdenes?
- ¿Cuándo programar entregas?
- ¿Cuántas órdenes de producción se requieren?

No obstante en el trabajo de (ALDANA CABRERA, 2004) se afirma que; ha sido tradicional que el sistema MRP, tenga como entradas (*inputs*, en la literatura en inglés) tres sistemas específicos:

- El *Plan Maestro de Producción* (PMP), que señala cuáles productos finales fabricar y en qué plazos tenerlos terminados;
- La *estructura de materiales* (en inglés *bill of materials*, BOM), que indica de qué partes o componentes está formada cada unidad de producto y permite, por tanto, calcular las cantidades de cada componente necesarias para fabricarlo;
- El *nivel de inventarios*, que permite conocer las cantidades disponibles de cada artículo (en cualquier intervalo de tiempo) en los almacenes, incluidas las que están en tránsito o han sido ordenadas.

Según (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2013); La Lista De Materiales “es un registro de todos los componentes de un artículo, las relaciones padre-componente y las cantidades de uso derivadas de los diseños de ingeniería y los procesos”. Por otro lado (CHAPMAN, 2006) afirma que La lista de materiales enumera todos los componentes que se emplean para el ensamblaje de un producto, mostrando no sólo las relaciones entre ellos (es decir, qué componentes se utilizan para cuál ensamblaje), sino también las cantidades que se requieren de cada uno.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

El objetivo de este capítulo es definir conceptualmente algunos de los términos más empleados en el desarrollo del trabajo.

Lista de Materiales: El archivo con la lista de materiales (BOM) contiene la descripción completa de los productos y anota materiales, piezas y componentes, además de la secuencia en que se elaboran los productos. (CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009).

Planeación Agregada: Se refiere a la relación entre la oferta y la demanda de producción a mediano plazo, hasta aproximadamente 12 meses hacia el futuro. El término “agregada” implica que esta planeación se realiza para una sola medida general de producción o, cuando mucho, algunas categorías de productos acumulados. (SCHROEDER, 1992).

Plan maestro de producción: El MPS se caracteriza por su habilidad para determinar de forma precisa la factibilidad de un programa basado en unas restricciones de capacidad agregada por medio de una comunicación directa con el cálculo de necesidades directas de materiales MRP. (Nahmias, 2007) (CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009) (HEIZER & RENDER, 2009).

Plan Requerimiento de Materiales: El MRP permite calcular la cantidad exacta, la fecha necesaria y los datos requeridos para la emisión de órdenes de producción para los diferentes productos del programa maestro de producción. (Vollman & Whybark, 1995).

Planeación de la producción: Es la función administrativa que determina anticipadamente cuáles son los objetivos que deberán alcanzarse y qué debe hacerse para lograrlos de la mejor manera posible. La planeación está ubicada hacia la continuidad de la empresa y se centra en el futuro.

Control de la producción: Es la función administrativa que consiste en medir y corregir el desempeño para asegurar que los planes sean ejecutados de la mejor manera posible. La tarea del control es verificar si todo se hace de conformidad con lo que fue planeado en la organización, de acuerdo con las órdenes dadas para identificar los errores o desviaciones con el fin de corregirlos y evitar su repetición.

Inventarios: “Provisiones de artículos en espera de su utilización posterior, cuya utilidad está en función de la cantidad, momento y lugar de su necesidad” ²

Pasabocas o Snacks: Tipo de comida con atractivo sabor, el cual ayuda temporalmente a eliminar el deseo de comer de una persona.

SKU (Stock Keep Unit): Unidades de existencias administradas en una base de operaciones o planta. Es un sistema de numeración que hace a un producto o ítem diferenciado de otros.

Stock o Inventario de seguridad: Aquella parte del stock total que se mantiene en almacén por encima del stock activo y como complemento del mismo para hacer frente a los suministros de los proveedores y a las demandas anormalmente altas en determinados días o temporadas.

² Definición de Stocks por A. Rambaux (1998)

5. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico, se procede a caracterizar el sistema de producción de la empresa productora de alimentos snacks, mediante el estudio y análisis de los procesos de elaboración del producto y programación de las actividades y materias primas e insumos que ingresan al proceso de producción, almacenamiento y disposición, mediante visitas e inspecciones a las áreas y lugar de trabajo; de igual forma los criterios utilizados en la empresa para programar las necesidades del producción y materiales. Con base en la información recolectada, se identificará los parámetros que estén relacionados con aspectos, tales como; la capacidad instalada y disponible de la planta, las cantidades de órdenes a solicitar, pedidos comprometidos de los clientes, pronóstico de demanda por ítems de productos y requerimiento de inventario de seguridad.

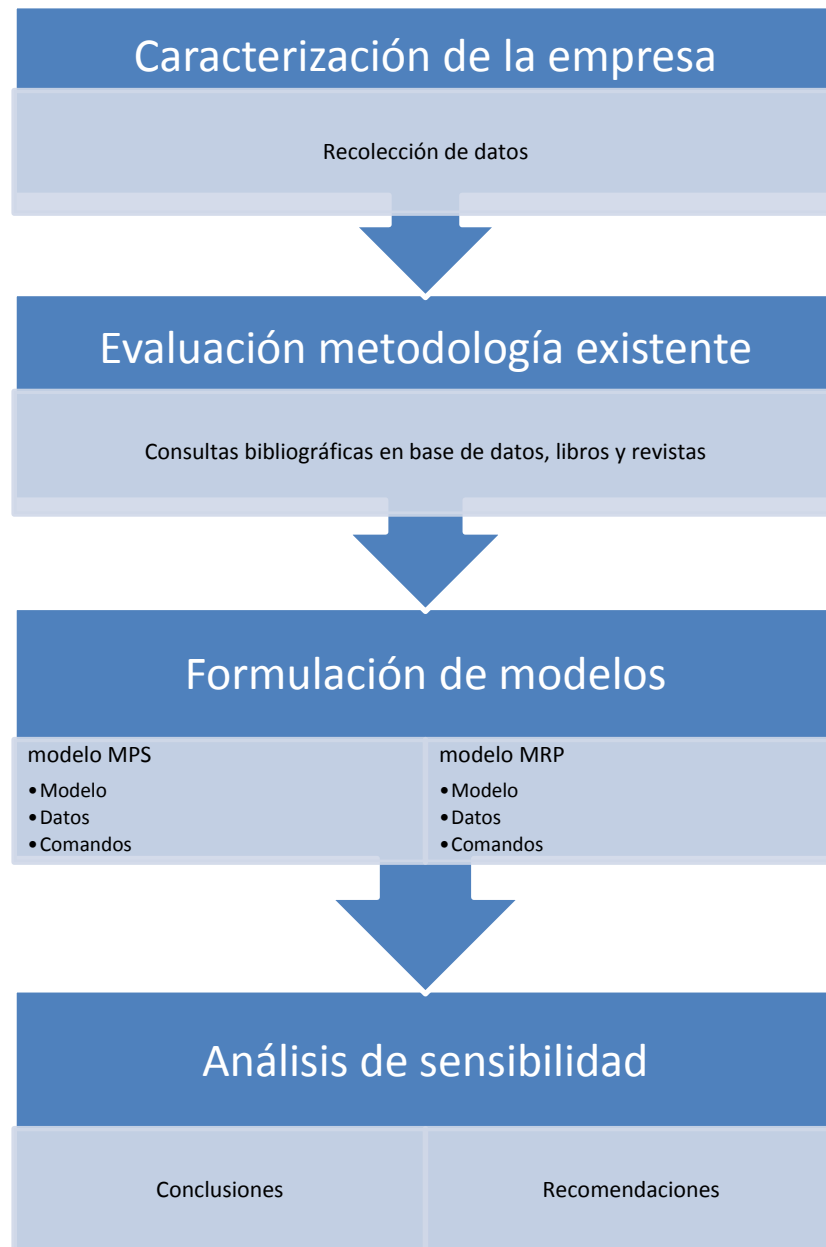
En cumplimiento del segundo objetivo específico se evalúa una metodología existente en la literatura que considere y abarque los factores críticos identificados en la empresa, para ello se realizará una consulta bibliográfica en las bases de datos de la Universidad y se seleccionarán investigaciones relacionadas con el problema en cuestión, identificando las bondades y desventajas de cada metodología consideraba y su interrelación con las características propias del sistema de producción objeto de estudio.

Para el cumplimiento del tercer objetivo específico se implica la formulación del modelo, se definirá elementos tales como las variables de decisión, los parámetros, la función de desempeño, las restricciones o limitaciones acordes a las características del sistema actual objeto de estudio y la metodología identificada en el paso anterior. De igual forma, se determinará el método de solución del modelo de programación de la producción a emplear.

Finalmente, para dar cumplimiento al último objetivo específico, el cual conlleva realizar un análisis de sensibilidad del modelo propuesto, mediante el caso objeto de estudio, tomando como referencia los datos de la empresa productora, el cual a partir de la caracterización de los factores críticos identificados, se procederá a analizar y concluir el comportamiento de cada una de las variables de decisión en el comportamiento del modelo y el impacto en la función de desempeño del modelo frente a cambios generados en la demanda, los tiempos de producción, lead time, nivel de inventarios de ítems, capacidad de producción, entre otros factores relevantes.

A continuación, se contempla un gráfico donde se muestra paso a paso los conceptos que se tuvieron en cuenta para el cumplimiento de cada objetivo establecido. Ver *Ilustración 2 - Procedimiento descriptivo de la metodología realizada*

Ilustración 2 - Procedimiento descriptivo de la metodología realizada



Fuente: Los Autores

6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

La empresa objeto de estudio es de carácter familiar creada en febrero 16 del 2011 en el municipio de Zarzal Valle del Cauca, inicialmente optó por producir papas de diferentes sabores y ante el crecimiento de ventas decidieron apostarle a la diversificación del portafolio de productos que actualmente alcanzan seis (6) referencias distintas. Debido a su alta demanda local, ésta decidió mejorar sus procesos que constan de; Lavado, corte y secado de papa contando con un rendimiento de 144.33 Kg/hr equivalente a un 88%, Fritura con un 42.15 Kg/hr equivalente a 95%, Saborizado 70.81 Kg/hr en 85%, y Empaquetado con 31.42 Kg/hr equivalente a 93% (ver *Ilustración 3 - Diagrama de proceso de papa*), adquirir nueva tecnología tanto de fritura como de empaque para aumentar la producción que ya abarca varias ciudades del sur-occidente colombiano.

La empresa opera bajo un enfoque empírico en el que las decisiones de producción van directamente ligadas y asignadas por parte de la gerencia, empleando medios móviles para realizar las órdenes de producción sin tener en cuenta la información históricos de la demanda de los ítems o conocimiento del nivel de inventario del producto terminado. La empresa actualmente no emplean pronósticos históricos de demanda para la generación de órdenes de producción, también se puede apreciar que no se evidencia un método que permita determinar la adquisición y compra de materiales y materias primas a utilizar en el proceso productivo, lo cual trae como consecuencia un problema de desbalance del inventario, es decir se tiene mucho de lo que no se vende y poco de lo que sí. La empresa no posee planillas que permitan controlar las entradas y salidas de la organización (Ver *Ilustración 4 - Caracterización del proceso empresa caso estudio*), lo cual genera problemas de flujo de caja, trazabilidad y desconocimiento de la cantidad de producto y materia prima existente en bodega.

La empresa objeto de estudio realiza su operación bajo un enfoque de producción por lotes, debido a los múltiples SKU (Unidades de Referencia) que ésta contiene. Su enfoque productivo es Make to Stock y su estructura organizacional; está compuesta por el gerente que informa ya sea vía móvil o por comunicación directa con el supervisor el tipo y cantidad de ítem a producir de cada uno. El supervisor es la persona encargada de toda la parte operativa de la organización (ver *Ilustración 5 - Estructura organizacional empresa caso de estudio.*)

Ilustración 3 - Diagrama de proceso de papa

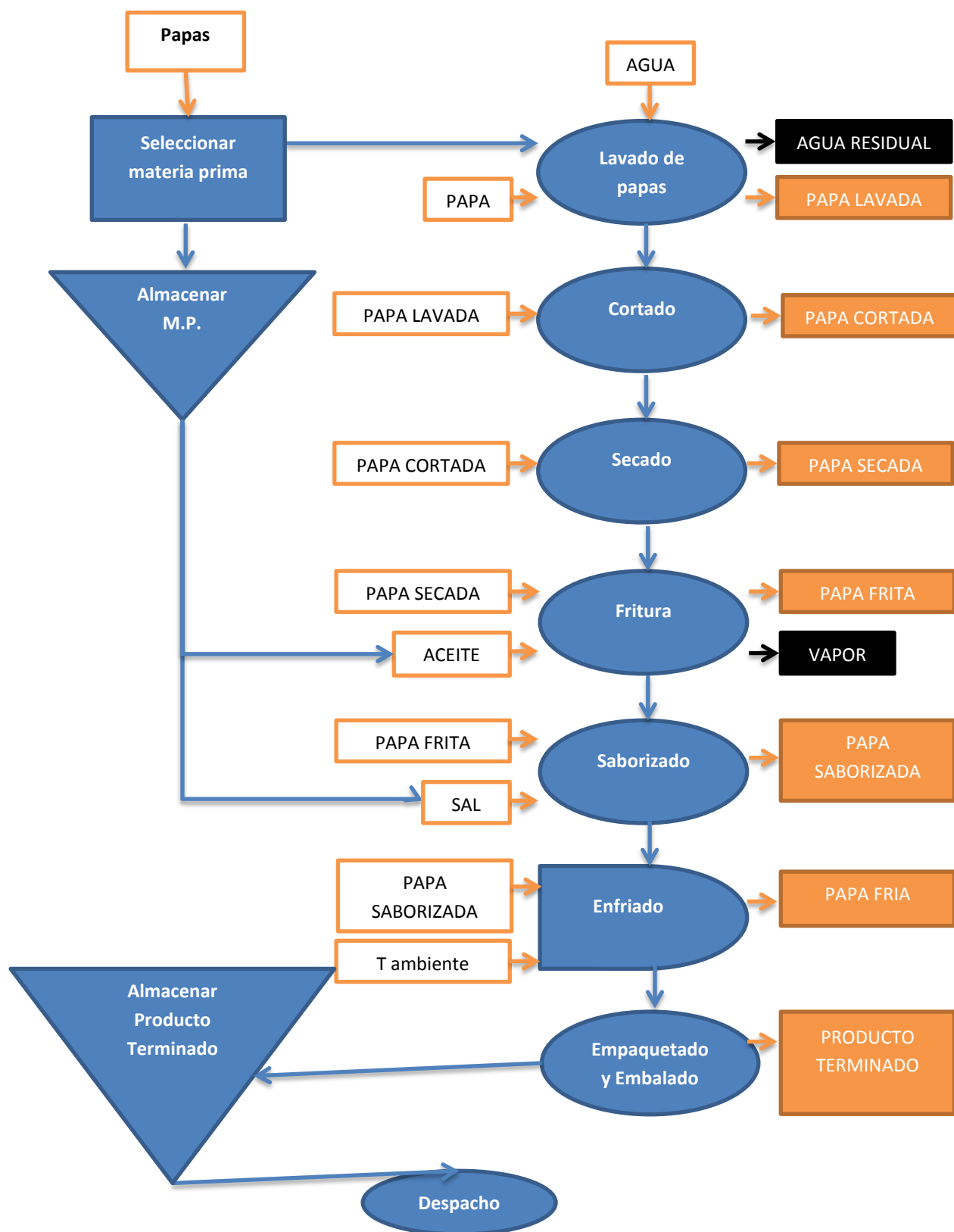
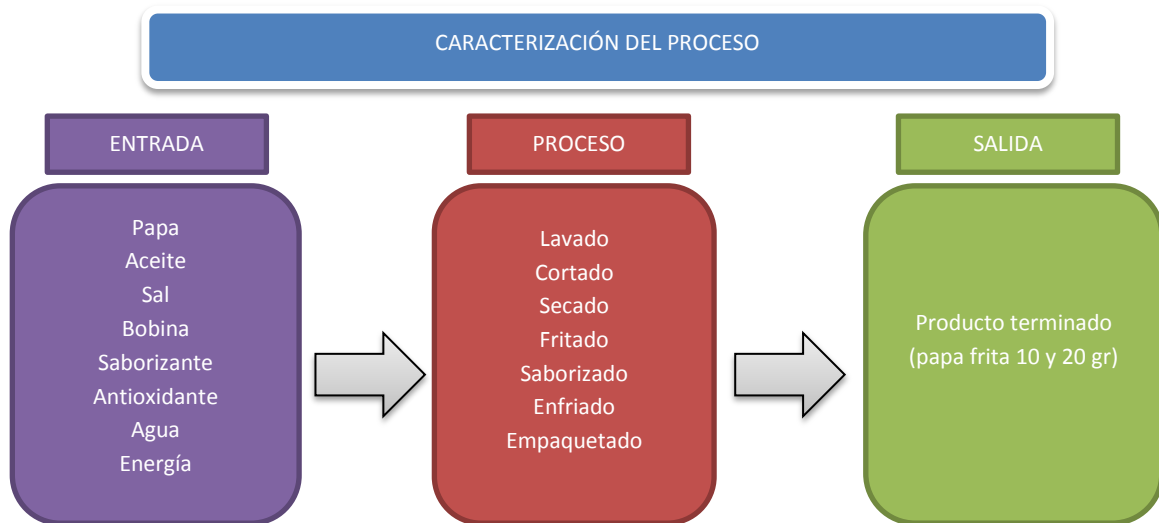
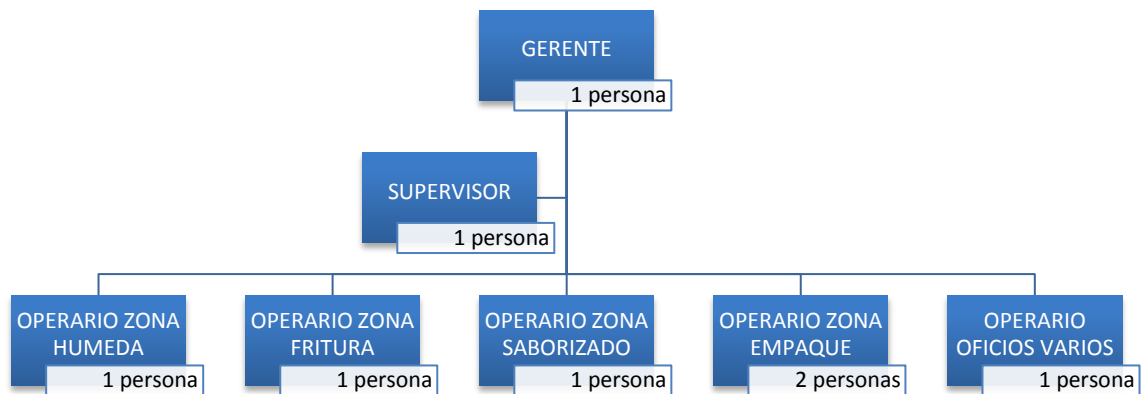


Ilustración 4 - Caracterización del proceso empresa caso estudio



Fuente: Los Autores

Ilustración 5 - Estructura organizacional empresa caso de estudio.



Fuente: Los Autores

- Dentro del marco de la estructura jerárquica y funciones en la organización; el operario de zona húmeda es responsable del descargue de la papa almacenada en bodega para luego introducirla en la máquina de lavado, después la papa se deposita a la máquina de corte en el que las rodajas caen en agua con ácido cítrico y por último el secado y transporte en canastillas de la papa al área de fritura.
- Las funciones del operario de zona de fritura; es asegurar que la temperatura del horno sea la adecuada como también el nivel de aceite sea el apropiado, y garantiza que el producto no tenga excesos de quemaduras debido a que el proceso de cocción se basa en la experiencia del operario.
- El operario de saborizado; es la persona encargada de pesar el producto en una balanza y adicionar el saborizante de acuerdo a la formulación del fabricante o de la empresa.
- En el área de empaque normalmente hay 3 personas incluidas el supervisor que se encargan de alimentar las dos máquinas empacadoras con el producto y material como lo es bobina, también en esa zona se realiza el cambio de orden según la referencia solicitada por el cliente.
- El operario de oficios varios se encarga del aseo de la planta, así como el embalaje del producto.

Con base en lo anterior, se pudo identificar que el proceso específico en el cual se evidencia claramente el problema al realizar la planeación o requisición de materiales se centra en el almacenamiento y solicitud de materias primas e insumos, ya que en muchas veces se presentan tiempos muertos o re-procesos por faltantes de los mismos por una inadecuada gestión, generando unos costos adicionales en inventarios.

7. EVALUACIÓN METODOLOGÍAS EXISTENTES EN LA LITERATURA

A continuación se presentan las bondades y falencias enmarcadas en el MPS y el MRP ya que el desarrollo de éstos planes se enmarcan y responden a las características propias del sistema actual de producción objeto de estudio. (Ver Tabla 3)

Tabla 3 - Bondades y Falencias respecto al autor

Autor	Bondades del MPS	Falencias del MRP	Autor
SIPPER D., BULFIN R., 1998	Considera el inventario existente, las restricciones de capacidad, la disponibilidad de los materiales y el tiempo de producción	No considera ninguna restricción de capacidad	Wight, 1981; Vollmann et al, 1992 Chih-Ting Du & Wolfe, 2000
Nahmias, 2007 Cardós, Vicens, & Miralles, 2004	Considera el nivel de incertidumbre a los pronósticos asociados a la demanda futura por artículo	No toma en cuenta la incertidumbre de los pronósticos	Nahmias, 2007
Miranda, Rubio, Chamorro, & Bañegil, 2005	Determina el tiempo de producción de cada tipo de producto cumpliendo los plazos de entrega establecidos acorde a las restricciones de capacidad existentes.	Los tiempos de entrega se consideran fijos, independientes de los tamaños de lote	Nahmias, 2007 Petty et al., 2000 Chih-Ting Du & Wolfe, 2000
Arboleda Z., Ramírez A., 2014	Determina la economía de la producción mediante el agrupamiento de diversas demandas y la elaboración de tamaños de lotes.	Tiene una falla referente a tamaño de lotes fijos	Yenisey, 1998 Delgado H., Toro D., 2010

Fuente: Los Autores

A continuación, se presentarán otras bondades del sistema MPS y del sistema MRP (ver Tabla 4 y Tabla 5).

Tabla 4 - Bondades del sistema MPS

SIPPER D., BULFIN R., 1998	El plan de producción considera el inventario existente, las restricciones de capacidad, la disponibilidad de los materiales y el tiempo de producción; por lo tanto, las cantidades de producción se pueden cambiar en el eje del tiempo según sea necesario.
Heizer J., Render B., 2008	El programa maestro de producción nos dice lo que se necesita para satisfacer la demanda y cumplir con el plan de producción.
APICS, 2008	El programa maestro de producción debe tener en cuenta el pronóstico, el plan de producción, y otras consideraciones importantes, como los pedidos de clientes, la disponibilidad de materiales, la disponibilidad de capacidad, y las políticas y objetivos de gestión.
Heizer y Render, 2009	Una de las mayores fortalezas del MPS es su habilidad para determinar de forma precisa la factibilidad de un programa basado en unas restricciones de capacidad agregada, lo cual puede llevar a excelentes resultados

Fuente: Los Autores

Una de las ventajas de emplear el sistema MPS en la empresa objeto de estudio es que no sólo el sistema considera restricciones de capacidad sino que las cantidades pueden variar de acuerdo a la demanda.

Tabla 5 - Bondades del sistema MRP

Controla y coordina los materiales para que estén disponibles cuando se precisan y sin necesidad de tener un inventario excesivo	Orlicky, 1975 Artes R., 1997 Cano Arenas, 2011
MRP determina los requerimientos de materiales y los tiempos para cada etapa de producción. Genera el plan para cumplir con la demanda dependiente.	SIPPER D., BULFIN R., 1998
La utilización de los sistemas MRP conlleva una forma de planificar la producción caracterizada por la anticipación, tratándose de establecer qué se quiere hacer en el futuro y con qué materiales se cuenta, o en su caso, se necesitarán para poder realizar todas las tareas de producción. Este sistema se puede determinar de forma sistemática el tiempo de respuesta (aprovisionamiento y fabricación) de una empresa para cada producto.	Bernal S., Duarte G., 2004
Uno de los principales aspectos fuertes del MRP es su capacidad para determinar de forma precisa la viabilidad de un plan teniendo en cuenta las restricciones de capacidad.	Heizer J., Render B., 2008
Método lógico y fácil de entender para abordar el problema de definir el número de piezas, componentes y materiales necesarios para producir cada pieza	CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009
Su procedimiento es directo y puede hacerse en forma manual.	Heizer y Render, 2009
Sistema sensible al cambio	Orlicky, 1975 Heizer y Render, 2009 Cano Arenas, 2011
Permiten calcular los insumos y los tiempos de entrega, en combinación con la administración de inventarios, la capacidad de producción y distribución.	CORTÉS V., RODRÍGUEZ P., 2011

Fuente: Los Autores

Una de las ventajas de tomar las teorías de los diferentes autores bajo el marco de las características del sistema de producción objeto de estudio, es que de allí parten las soluciones a los principales problemas que surgen en la empresa; debido a que no hay un control sobre los recursos disponibles, que en determinadas ocasiones hay exceso de lo que no se utiliza y faltantes de lo que sí, lo que genera problemas en la planeación de la producción.

Además, se recopiló información de algunos autores que exponen los aspectos más relevantes de cada sistema, el sistema MPS y el sistema MRP. (Ver Tabla 6 y Tabla 7)

Para el desarrollo de los modelos se tuvieron en cuenta los aportes literarios de diferentes autores en relación a las necesidades que se evidenciaron al realizarse la caracterización en la empresa caso de estudio, en los que se contemplaron las restricciones de cantidades a producir, demanda, horas de producción, costo de mantener el inventario, de alistamiento y lead time, todos los mencionados en función a cada referencia que es producida por la misma. Es allí donde se evidenció que acorde a estos escenarios de producción, se determinó la necesidad de priorizar las cantidades de materia prima a obtener para suplir la demanda de determinado tiempo y así, no quedar con faltantes o tiempos muertos generando una mala percepción por el cliente al no satisfacer sus requerimientos.

De ahí nace la concepción del modelo MPS, donde basado con históricos de producción, proyectará una demanda a futuro del producto final, lo cual alimentaría al modelo MRP y así determinar las cantidades de materias primas necesarias, minimizando los costos por exceso de inventario y por tiempos muertos o faltantes de los mismos.

Tabla 6 - Aspectos relevantes del sistema MPS

Autor	Múltiples Productos	Limitación Capacidad	Múltiples Periodos	Tipo de Algoritmo	Restricción de Demanda	Restricción Balance de Inventario	Lead Time
SIPPER D., BULFIN R., 1998	X	X	X	Exacto	X	X	X
Cardós, Vicens, & Miralles, 2004				Exacto		X	X
Miranda, Rubio, Chamorro, & Bañegil, 2005		X		Exacto	X	X	X
Nahmias, 2007		X		Exacto	X	X	
Heizer J., Render B., 2008				Exacto	X		
APICS, 2008		X	X	Exacto	X	X	X
Heizer y Render, 2009	X	X		Exacto	X		
Arboleda Z., Ramírez A., 2014	X		X	Exacto	X	X	X

Fuente: Los Autores

Tabla 7- Aspectos relevantes del sistema MRP

Autor	Múltiples Productos	Limitación Capacidad	Múltiples Periodos	Tipo de Algoritmo	Restricción de Demanda	Restricción Balance de Inventario	Lead Time
Orlicky, 1975	X	X		Exacto	X	X	
Artes R., 1997	X	X		Exacto		X	
SIPPER D., BULFIN R., 1998	X		X	Exacto	X		X
Bernal S., Duarte G., 2004		X		Heurístico	X	X	X
Heizer J., Render B., 2008		X		Exacto			
CHASE, JACOBS, & ALQUILANO, 2009	X			Exacto			
Heizer y Render, 2009				Exacto	X	X	
Cano Arenas, 2011	X	X		Exacto	X	X	
Delgado H., Toro D., 2010	X	X	x	Exacto	X	X	X

Fuente: Los Autores

En relación a la Tabla 6 y Tabla 7, los modelos que se definieron con base a la literatura, fueron aquellos que contemplan los diversos aspectos que son necesarios para su desarrollo, es decir; abarcan escenarios que se evidencian en la empresa caso de estudio, los cuales son determinantes para el proceso y a los que se deben de “atacar” en pro de una mejora en la producción y consecución de materias primas, dando así como resultado dos modelos que se añaden a cada proceso anteriormente mencionado. Entre ellos por la parte de producción (MPS) se definió el modelo de SIPPER D., BULFIN R., 1998 y por parte del control de inventario (MRP) se contempló el de Delgado H., Toro D., 2010. Ya que éstos cumplen con el propósito donde se integran los factores claves que se añaden dentro de la planeación de la producción, objetivando las previsiones en inventario, todo así; generando un control que pueda ser visto de manera tal que pueda satisfacer las necesidades de demanda dentro del tiempo establecido.

8. FORMULACIÓN DE LOS MODELOS DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ÍTEMS INDIVIDUALES Y NECESIDADES DE MATERIALES

A continuación se describe la formulación matemática con sus respectivos parámetros y variables. En primera instancia se presenta la formulación del modelo matemático del MPS con el fin de definir las cantidades a producir de cada producto o ítem individual. Posteriormente se presenta el modelo matemático del MRP, el cual está orientado a determinar los requerimientos de materiales necesarios para la elaboración de cada producto y así satisfacer las necesidades de demanda de los mismos; con base en los resultados generados por el MPS.

8.1. SUPUESTOS PARA LA ELABORACION DEL MODELO MPS

Para desarrollar el modelo donde se integren los factores clave de la planeación de la producción con el fin de realizar una adecuada planificación en la empresa objeto de estudio, se consideran las previsiones de inventario inicial de cada uno de los componentes que conforman el producto como dato de entrada, así como los inventarios finales de los productos terminados, los costos fijos, costos de ordenamiento, costos de alistamiento, tasa de mantener el inventario, capacidad de producción, y tiempos de entrega. El modelo propuesto considera un horizonte de planificación de cuatro semanas y las soluciones deben ser revisadas semanalmente.

El modelo de planeación y control de la producción propuesto involucra todas las variables mencionadas anteriormente, teniendo en cuenta los siguientes supuestos que se describen a continuación:

- Rendimiento referencia papa limón a 25 kg/ Hora.
- Inventario inicial de referencia papa limón en cero.

ELEMENTOS DEL MPS

Conjuntos:

P= Conjunto de cada producto indexado por p

T = Conjunto de instantes de tiempo indexado por t

Variables de decisión:

X_{pt} = Cantidad del producto $p \in P$ que se elabora en el tiempo t .

Y_{pt} = Si el producto $p \in P$ se produce en el tiempo $t \in T$.

$InvFinal_{pt}$ = Número de unidades $p \in P$ que quedan en inventario al final del tiempo de producción $t \in T$.

Parámetros:

$Demanda_{(pt)}$ = demanda del producto $p \in P$ en el mes de la demanda

$Capacidad_{(t)}$ = Horas disponibles para producción con base en la estación cuello de botella.

$Alist$ = Tiempo de alistamiento en la estación cuello botella.

$TasaInv$ = Tasa de mantenimiento del inventario.

$CostVar$ = Costo variable de producción del producto p .

$CostAlist$ = Costo de alistamiento de la estación cuello de botella.

$InvInic_p$ = Inventario Inicial del producto p

$Rendimiento$ = Rendimiento de la maquina cuello de botella para producir el producto $p \in P$ en una hora.

A continuación se presenta la formulación verbal del modelo que involucra función objetivo y restricciones.

Función Objetivo:

La función objetivo considera minimizar el costo total de operación en el horizonte de planeación en el que contemplan; el costo de alistamiento, inventario final y costo variable.

Restricciones:

Dentro del modelo se encuentran 6 tipos de restricciones como:

- Capacidad de producción.
- Demanda de producto.
- Decisión si producir en el instante de periodo t .
- Balance de Inventario final en el primer periodo de tiempo t .
- Balance de Inventario final para los instantes de tiempo superiores al primer periodo del tiempo t .
- Demanda acumulada del producto p en el periodo de tiempo t
- No negatividad

Formulación Matemática:

Función Objetivo: Minimizar el costo total de operación en el horizonte de planeación.

FUNCION OBJETIVO

La Ec. (1), muestra la función objetivo que considera el costo total de operación en el horizonte de planeación, con base al costo de alistamiento más inventario final por el costo variable y esto por una tasa de mantenimiento de cada unidad de componente.

$$\begin{aligned}
Min Z = & \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} Y_{pt} * CostAlist_p \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} InvFinal_{pt} * CostVar_p * TasaInv \quad \forall p, t
\end{aligned} \quad (1)$$

RESTRICCIONES

La Ec. (2), refleja el alistamiento de producto más la cantidad de producto demandado dividido el rendimiento de producción en un tiempo t (semana) que debe ser menor a la capacidad en horas de producción.

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} Alist * Y_{pt} \\
& + \sum_{p \in P} X_{pt} / Rendimiento_p \leq Capacidad_t \quad \forall p, t
\end{aligned} \quad (2)$$

La Ec. (3) expresa que la suma de la cantidad de producto a producir en un tiempo t, más el inventario inicial de productos debe ser mayor o igual a la demanda de producto en un tiempo t. Demanda en el periodo 1 del producto p.

$$X_{pt} + InvInic_p \geq Demanda_{pt} \quad \forall p, t \quad (3)$$

La Ec. (4) plasma que la cantidad de producto p a producir dividido el rendimiento de producción por cada producto debe ser menor o igual a la capacidad en horas de producción. Decisión si producir en instante de periodo t.

$$X_{pt} / Rendimiento_p \leq Capacidad_t * Y_{pt} \quad \forall p, t \quad (4)$$

La Ec.(5), dice que el inventario final en el primer período debe ser igual a la suma del inventario inicial de producto más la cantidad de producción, menos la demanda de producto en un tiempo t.

$$InvFinal_{pt} = InvInic_p + X_{pt} - Demanda_{pt} \quad \forall p, t \quad (5)$$

La Ec. (6), dice que el inventario final en un periodos superiores al inicial debe ser igual a la suma del inventario inicial de producto más la cantidad de producción, menos la demanda de producto en un tiempo t.

$$InvFinal_{pt} = InvFinal_{pt-1} + X_{pt} - Demanda_{pt} \quad \forall p, t \quad (6)$$

La Ec. (7), enmarca que la cantidad de producto a producir en un instante de tiempo t debe garantizar como máximo la demanda total.

$$X_{pt} - Y_{pt} * \sum_{k \in T} Demanda_{pt} \leq 0 \quad (7)$$

La Ec. (8) contempla la No Negatividad de las variables

$$X_{pt}, InvFinal_{pt} \geq 0 \quad ; Y_{pt} \in \{0,1\} \quad (8)$$

8.2. SUPUESTOS PARA LA ELABORACION DEL MODELO MRP

Para desarrollar el modelo propuesto se tuvieron en cuenta variables como Lead Time diferente, es decir; no hay entradas de componentes semana a semana como se realiza en la empresa caso estudio sino que se realiza el ordenamiento de dos a tres semanas en componentes como la papa y aceite. Con respecto al Lead Time Constante muestra un comportamiento en que los tiempos de entrega de cada uno de los componentes no cambian en un periodo de tiempo. En referencia al modelo de la empresa caso estudio se tienen en cuenta supuestos como:

- MRP (Material Requirement Planning) con diferente Lead Time.
- MRP (Material Requirement Planning) con diferente Lead Time y con inventario de seguridad de papa en cero.
- MRP (Material Requirement Planning) con Lead Time Constante y con inventario inicial de papa en cantidad mínima de pedido.
- MRP (Material Requirement Planning) con Lead Time diferente y con inventario inicial de papa en cantidades mínimas de pedido.
- De igual forma, no se considera faltantes de inventario para cada uno de los ítems o componentes.

De igual forma se debe tener en cuenta que los resultados de la variable de decisión del MPS que define la cantidad de producto a elaborar en cada instante de tiempo (X_{pt}), se convertirá en información de entrada para el MRP, representado a través de un parámetro (D_{pj}). El cual es un aspecto importante que integra ambos modelos matemáticos.

Conjuntos:

P= Conjunto de productos indexado por p

T = Conjunto de instantes de tiempo indexado por i, j, k

CMP = Conjunto de componentes o materiales indexado por c

Variables de decisión:

X_{cij} = Cantidad del componente c a producir en el periodo i para abastecer el periodo j .

Y_c = Si el componente c se ordena en el periodo i , igual a 1 si se realiza, 0 si no se realiza.

Ord_i = Si se ordena en el periodo i , igual a 1 si se realiza, 0 si no se realiza

$InvFinal_{cj}$ = Inventario Final del componente c al final del periodo j .

Parámetros:

LT_c = Valor esperado en tiempo de producción/ entrega componente c

$Cost_c$ = Costo de producir/ comprar del componente c

$CostInv_c$ = Costo de mantener el inventario del componente c

$CostOrd_c$ = Costo de ordenamiento del componente c

Área = Área ocupada por el componente c

$CapAl$ = Capacidad de almacenamiento de la bodega

$CapProd_i$ = Capacidad de producción en el periodo i .

$CostFijo_p$ = Costo fijo de ordenar el producto p

UCP_c = Número de unidades requeridas de componentes c

D_{pj} = Cantidad a producir del producto p para el periodo j .

$DemandComp_c$ = Calculo de demanda del componente c

$InvInc_c$ = Inventario inicial del componente c en el periodo de inicio del horizonte de planeación

$InvSeg_c$ = Inventario de seguridad del componente c para cada instante de tiempo del horizonte de planeación.

Formulación verbal del modelo MRP. A continuación se presenta la formulación verbal del modelo que involucra función objetivo y restricciones.

Función Objetivo:

Minimizar el costo total relevante en el horizonte de planeación, considerando los costos de ordenamiento por componente, más el costo fijo, costo de producir/comprar un componente, costo de mantener el inventario.

Restricciones:

Dentro del modelo se encuentran 7 tipos de restricciones como:

- Demanda del componente en la instancia de tiempo t.
- Capacidad de almacenamiento de la bodega.
- Capacidad de producción
- Inventario inicial para satisfacer la demanda
- Variable si se ordena el componente c en periodo de tiempo
- Variable si se ordena el conjunto de componente c en periodo de tiempo
- Inventario de seguridad del conjunto de componentes.
- No negatividad

Formulación Matemática:

Función Objetivo: Minimizar el costo total relevante en el horizonte de planeación.

La Ec. (9) establece Minimizar el costo total relevante en el horizonte de planeación, considerándose los costos de ordenamiento de componente c , más el costo fijo por ordenar independientemente de un componente, es decir; ordenar un solo componente en el instante de tiempo, sumando a este el costo de producir/comprar un componente y el costo de ordenar un componente por el costo de mantener el inventario, todo esto a su vez multiplicado por el tiempo de almacenamiento de dicho inventario.

$$\begin{aligned}
& \sum_{c \in CMP} \sum_{i \in T} CostOrd_c * Y_{ic} + \sum_{i \in T} \sum_{p \in P} CostFijo_p * Ord_i + \sum_{c \in CMP} \sum_{i \in T} \sum_{j \in T; (j > i)} Cost_c * X_{ijc} \\
& + \sum_{i \in T} \sum_{c \in CMP} \sum_{j \in T; (j \geq i + LT_c)} CostInv_c * (j - i - LT_c) * X_{ij} \\
& + \sum_{i \in T} \sum_{c \in CMP} CostInv_c * (InvInic_c - \sum_{j \in T} InvFinal_{jc}) \quad \forall c, i, j, p \quad (9)
\end{aligned}$$

Restricciones:

La Ec. (10), refleja que la cantidad de componente c a producir en un instante de tiempo más el inventario final, debe ser igual a la demanda de componente en una instancia de tiempo t .

$$\sum_{c \in CMP} \sum_{j \in T; j > i} (X_{ijc} + InvFinal_{jc}) = DemandComp_{cj} \quad \forall c, i, j \quad (10)$$

La Ec. (11), refleja el área ocupada por cada componente multiplicado por el inventario inicial de cada uno de éstos, más la cantidad de componente en un periodo de tiempo k de almacenamiento, sumándose a la cantidad de componente a ordenar para satisfacer la demanda en un tiempo j, todo esto debe ser menor o igual a la capacidad de almacenamiento total.

$$\begin{aligned} & \sum_{c \in CMP} Area_c * \\ & (\sum_{j \in T; (j > k)} InvFinal_{jc} + \\ & \sum_{j > k, j \in T; LT=0} X_{kjc} + \sum_{i \in T, (i+LT_c)} X_{ijc}) \leq CapAl \quad \forall c, i, j \end{aligned} \quad (11)$$

La Ec. (12), establece que el tiempo usado en la producción de componente debe ser menor o igual a la capacidad de producción de componentes en un periodo de tiempo dado i.

$$\sum_{c \in CMP} \sum_{j \in T, (j > i)} LT_c * X_{ijc} \leq CapProd_i \quad \forall c, i, j \quad (12)$$

- Inventario inicial

La Ec (13), establece que el inventario final de un componente c en un periodo de tiempo j debe ser menor o igual al inventario inicial del componente c.

$$\sum_{j \in T} InvFinal_{jc} \leq InvInc_c \quad \forall c, j \quad (13)$$

La Ec. (14) Establece si la variable si se ordena el componente c en periodo de tiempo

$$\sum_{j \in T} X_{ijc} \leq \sum_{j \in T} DemandComp_{cj} * Y_{ic} \quad \forall c, i, j \quad (14)$$

La Ec. (15) Establece si la variable si se ordena el conjunto del componente c en periodo de tiempo

$$\sum_{c \in CMP} Y_{ic} \leq CMP * Ord_i \quad \forall c, i \quad (15)$$

La Ec (16) denota que el inventario final de componente c en un periodo de tiempo j debe ser menor o igual al inventario de seguridad de componente c.

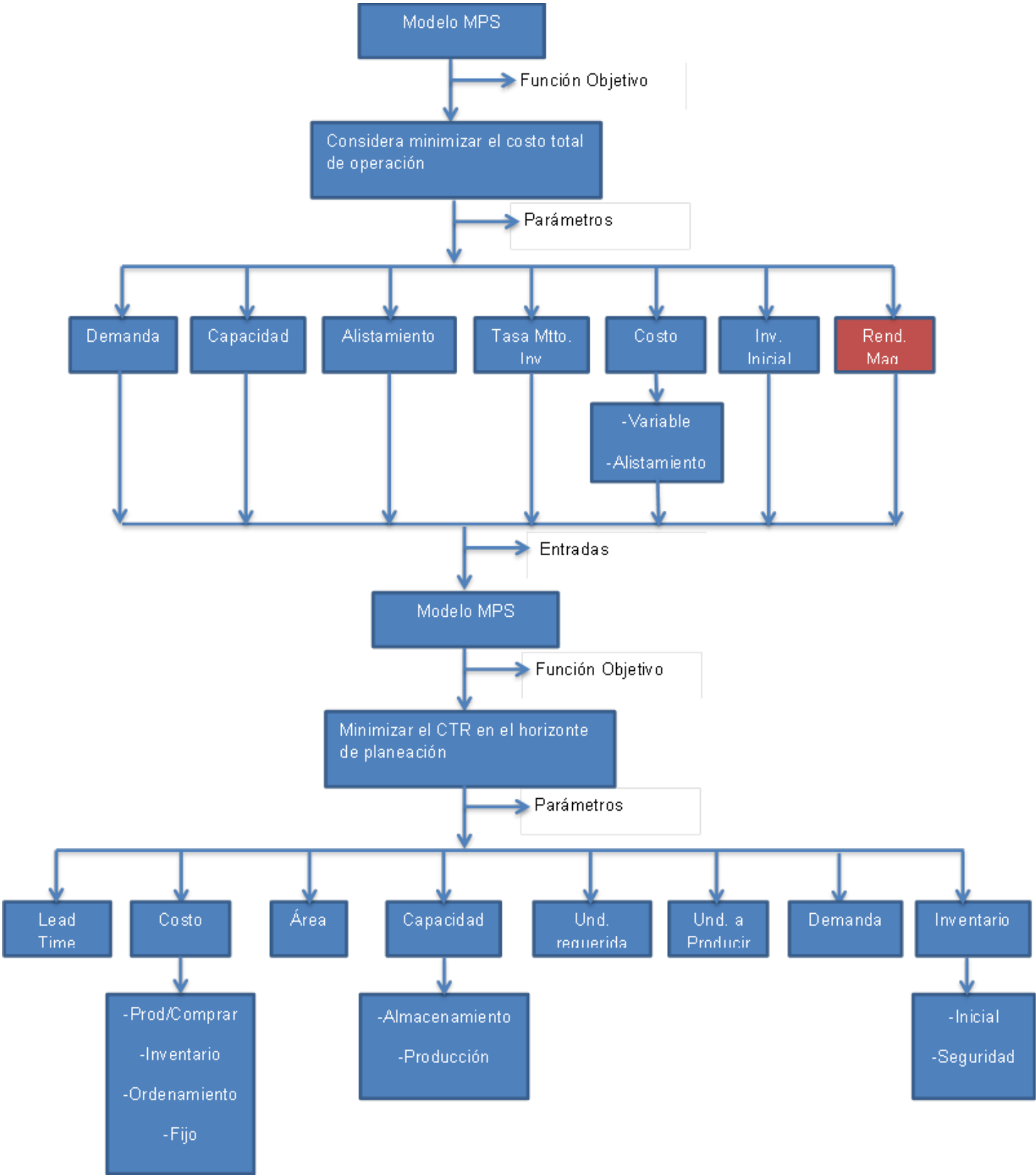
$$InvFinal_{jc} \geq InvSeg_c \quad \forall c, j \quad (16)$$

La Ec.(17) contempla la No Negatividad de las variables

$$X_{cij}, InvFinal_{cj} \geq 0 \quad ; \quad Y_c, Ord_i \in \{0,1\} \quad (17)$$

A continuación en la *Ilustración 6 - Diagrama descriptivo de los modelos MPS - MRP* se describe la relación existente entre los modelos abordados en el presente trabajo.

Ilustración 6 - Diagrama descriptivo de los modelos MPS - MRP



Fuente: Los Autores

9. CASO ESTUDIO

La industria manufacturera de alimentos labora en 1 turno al día cada uno de 10.25 horas durante 6 días a la semana. De igual forma se considera un horizonte de planeación en un mes dividido en 4 semanas, en el cual los requerimientos de cada uno de los componentes del producto se dan en unidades de gramos.

Todo esto a su vez, contemplado en un modelo de planeación en donde la demanda de los productos finales será arrojada en un horizonte mensual que alimentará a un modelo de requerimientos y su demanda dependerá de la anteriormente mencionada, para así establecer las cantidades necesarias y poder abastecerse en un horizonte de planeación semanal.

La (*Ilustración 7 - Lista de materiales del producto final*), muestra la lista de primer nivel de componentes de la empresa caso estudio, donde cuenta con un portafolio de seis productos los cuales son; limon10, limon20, pollo10, pollo20, bbq10 y bbq20, todos dispuestos en cantidades de gramos y éstos disponen de 6 componentes que son; antioxidante, papa, aceite, saborizante, bobina y sal respectivamente.

Ilustración 7 - Lista de materiales del producto final³



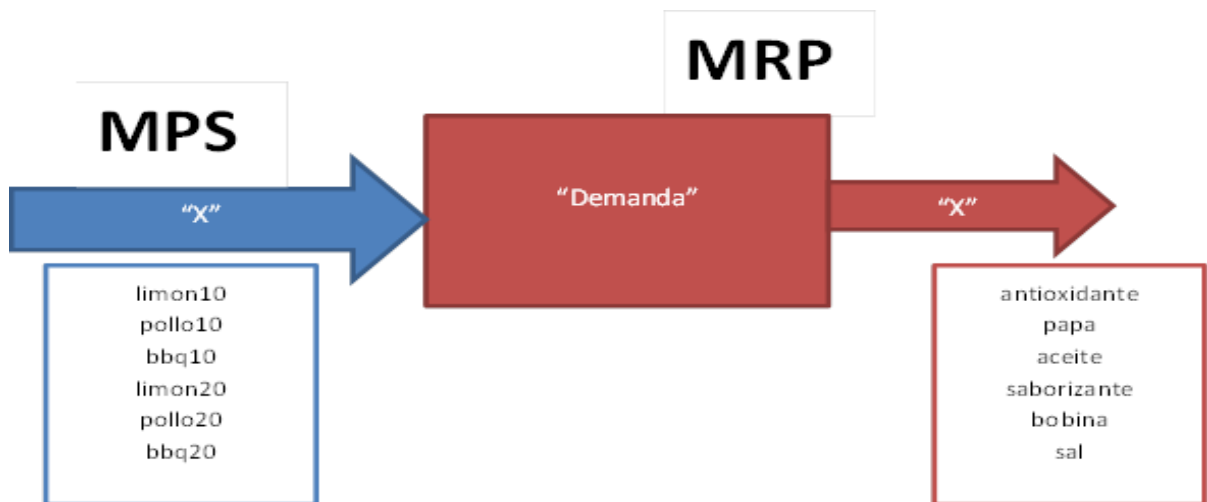
Fuente: Los Autores

³ La información proporcionada no se muestra por razones de confidencialidad, es decir; la empresa caso de estudio sugirió no especificar las cifras correspondientes.

En la *Ilustración 7 - Lista de materiales del producto final* se puede evidenciar el BOM de todos los materiales e insumos que se requieren para la fabricación del producto final, entre estos podemos describir las referencias de 10 y 20 gramos que maneja la empresa caso estudio en sus presentaciones de Limón, Pollo y BBQ. En el nivel cero de la lista de materiales podemos ver la papa frita como el producto terminado y en el nivel 1 a cada uno de los componentes o insumos que se requieren para la elaboración del producto como: Antioxidante, papa, aceite, saborizante, bobina (empaquetado) y sal.

Por otra parte, se formula una integración de los modelos matemáticos MPS y MRP que se puede evidenciar en la *Ilustración 8 - Integración del modelo matemático MPS- MRP*.

Ilustración 8 - Integración del modelo matemático MPS- MRP



Fuente: Los autores

En la *Ilustración 8 - Integración del modelo matemático MPS- MRP* se puede evidenciar que el modelo MPS (Master Production Schedule), utiliza una demanda pronosticada que proporciona la empresa caso estudio, esa demanda junto con otros parámetros que se establecieron con los seis productos que están representados por la variable X que alimenta el parámetro del modelo MRP (Material Requirement Planning), llamado demanda.

El modelo matemático MPS (Master Production Schedule), es el encargado de determinar las cantidades a producir de cada artículo o referencia en cada semana, durante el horizonte de planeación que es de cuatro semanas. Con base en los resultados obtenidos de la variable estos servirán como información entrada para el MRP (Material Requirement Planning).

A continuación se presentan los datos con los que se alimentaron los respectivos modelos MPS y MRP:

Todos los datos que alimentan la herramienta computacional, es información proporcionada por la empresa objeto estudio.

9.1. DATOS MPS

En la Tabla 8 y Tabla 9 encontramos los datos correspondientes a los parámetros de demanda de cada uno de los productos por semana y las horas disponibles de producción por semana correspondientes al parámetro Capacidad.

Tabla 8 - Demanda del producto p en las semanas t (Parámetro Demanda)

Demanda		Semana			
		1	2	3	4
Producto (gr)	limon10	892000	495000	91000	151000
	pollo10	127000	146000	82000	321000
	bbq10	160000	54000	94000	0
	limon20	306000	175000	95000	211000
	pollo20	57000	183000	0	141000
	bbq20	30000	0	45000	44000

Fuente: Los Autores

Tabla 9 - Horas disponibles de producción para las semanas t (Parámetro Capacidad)

Capacidad	
Semana	horas
1	61,5
2	61,5
3	61,5
4	61,5

Fuente: Los Autores

En la Tabla 10 se encuentran relacionados datos de entrada para alimentar el modelo MPS, de acuerdo a cada uno de los productos estudiados en el presente trabajo. En su orden encontramos:

El tiempo de alistamiento: parámetro CostAlist

La tasa de inventario: Parámetro TasaInv

Costo de alistamiento: Parámetro Alist

Rendimiento: Parámetro Rendimiento

Costo variable: Parámetro CostVar

Inventario inicial: Parámetro InvInic

Tabla 10 - Datos de entrada para modelo MPS

Producto	Alistamiento (Hr)	Tasa Inventario	Costo Alistamiento	Rendimiento (gr/semana)	Costo Variable	Inventario Inicial (gr)
limon10	0,12	33%	\$ 87,12	2'077.470	\$ 14,41	595.000
pollo10					\$ 14,58	279.000
bbq10					\$ 15,29	257.000
limon20					\$ 28,83	20.000
pollo20					\$ 29,17	165.000
bbq20					\$ 30,59	152.000

Fuente: Los Autores

9.2. DATOS MRP

En la Tabla 11 se puede ver los datos de capacidad de producción en hr/ Semana en la empresa objeto de estudio.

Tabla 11 - Capacidad de producción en el periodo i (Parámetro CapProd)

Período	hr/Semana
Semana 1	225090
Semana 2	225090
Semana 3	225090
Semana 4	225090

Fuente: Los Autores

En la Tabla 12 y Tabla 13 se encuentran relacionados datos de entrada para alimentar el modelo MRP, de acuerdo a cada uno de los componentes necesarios

en la elaboración de los productos estudiados en el presente trabajo. En su orden encontramos:

Lead Time: parámetro LT

Costo producción/compra componente: Parámetro Cost

Costo de mantener el inventario componente: Parámetro CostInv

Costo Ordenamiento del Componente: Parámetro CostOrd

Capacidad de almacenamiento: Parámetro CapAl

Área ocupada por el componente: Parámetro Area

Costo Fijo de Ordenamiento: Parámetro CostFijo

Tabla 12 - Datos de entrada Modelo MRP

Componente	Lead Time [Semana]	Producción Compra \$/ gr componente	Costo Inv \$/ gr componente
Antioxidante	1	5	1.65
Papa		0.30	0.099
Aceite		0.18	0.058
Saborizante		7.96	2.63
Bobina		14	4.62
Sal		0.84	0.277

Fuente: Los Autores

Tabla 13 - Datos de entrada MRP

Componente	Capacidad de Almacenamiento [und área]	Área (m2/gr)	Costo Ordenamiento (\$/orden)	Costo Fijo \$/Unid
Antioxidante	85.90	0.0000049	25000	13.15
Papa		0.000375	2000000	13.22
Aceite		0.000075	3420000	13.48
Saborizante		0.0000075	597150	17.10
Bobina		0.0000095	1750000	17.23
Sal		0.00000453	2625	17.77

Fuente: Los Autores

En la Tabla 14 encontramos los datos correspondientes a unidades requeridas de componentes necesarios para la fabricación de los productos.

Tabla 14 - Número de unidades requeridas de componentes c para fabricar el producto p (Parámetro UCP)

Componente	limon10	pollo10	bbq10	limon20	pollo20	bbq20
Antioxidante	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
Papa	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41
Aceite	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Saborizante	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Bobina	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Sal	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

Fuente: Los Autores

En la Tabla 15 se encuentran relacionados datos de entrada para alimentar el modelo MRP. En su orden encontramos:

Demanda de producto: Parámetro D

Parámetro indirecto cálculo de demanda de componente: Parámetro

DemandComp

Tabla 15 - Datos de Demanda para alimentación modelo MRP

Período		limon10	pollo10	bbq10	limon20	pollo20	bbq20
Demanda	Semana 1	297000	0	0	286000	0	0
	Semana 2	495000	0	0	175000	75000	0
	Semana 3	91000	76000	51000	95000	0	0
	Semana 4	151000	321000	0	211000	141000	0
Demanda Componente (Indirecto)	Semana 1	22160	91820	31080	25270	27490	19160
	Semana 2	17520	48260	25500	25640	20430	17740
	Semana 3	17520	38260	28050	24930	21360	17740
	Semana 4	17520	38260	28050	25900	22800	17740

Fuente: Los Autores

En la Tabla 16 se encuentran relacionados datos de entrada para alimentar el modelo MRP. En su orden encontramos:

Inventario Inicial de Componente: Parámetro InvInc

Inventario de Seguridad de Componente: Parámetro InvSeg

Tabla 16 - Datos de Inventario para el modelo MRP.

Componente	Inventario Inicial (grs)	Inventario Seguridad (grs)
Antioxidante	75800	1551
Papa	135600	2825
Aceite	107000	2504
Saborizante	85950	1488
Bobina	75000	1133
Sal	53400	1073

Fuente: Los Autores

10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presenta un análisis de los resultados de los modelos MPS y MRP con el fin de determinar la validación.

Para la ejecución de ambos modelos se empleó el lenguaje de programación AMPL y se utilizó como solver CPLEX en la plataforma Neos Server for Optimization ®. Para esto se desarrollaron tres archivos correspondientes al de Modelo, Datos y Comandos.

Durante la implementación del modelo de planeación MPS, se observó lo siguiente:

- En la implementación el número de variables resultantes es de 62, de las cuales 17 son variables binarias y 45 son variables lineales y 52 restricciones.

En la Tabla 17, se puede observar el valor del costo de producción de los productos durante el horizonte de planeación.

Tabla 17 – Costo de producción en el horizonte de producción

COSTO DE HORIZONTE DE PRODUCCION	\$ 6.081.032,9
----------------------------------	----------------

Fuente: Los Autores

RESULTADOS VARIABLES DE DECISIÓN

CANTIDAD DE PRODUCTO P QUE SE ELABORA EN TIEMPO PARA DEMANDA (Variable X)

Tabla 18 - Cantidad de producto elaborado atender la demanda

Producto	Semana	Cantidad
bbq10	3	51000
limon10	1	297000
limon10	2	495000
limon10	3	91000
limon10	4	151000
limon20	1	286000
limon20	2	175000
limon20	3	95000
limon20	4	211000
pollo10	3	76000
pollo10	4	321000
pollo20	2	75000
pollo20	4	141000

Fuente: Los Autores

En la Tabla 18 se puede observar que para todos los diferentes componentes se debe realizar una mayor cantidad de ordenamientos para el limon10 y limón 20, durante las semanas 1, 2, 3 y 4 respectivamente por cada producto, mientras que el pollo10 en las semanas 3 y 4 y el pollo20 se hacen en las 2 y 4, por otro lado el producto bbq10 sólo se realiza ordenamiento en la semana 3.

NÚMERO DE UNIDADES P EN INVENTARIO AL FINAL DEL TIEMPO DE PRODUCCION T (Variable InvFinal)

Tabla 19 - Unidades en inventario final

Producto	Semana	Cantidad
bbq10	1	97000
bbq10	2	43000
bbq20	1	122000
bbq20	2	122000
bbq20	3	77000
bbq20	4	33000
pollo10	1	152000
pollo10	2	6000
pollo20	1	108000

Fuente: Los Autores

La Tabla 19 refleja los inventarios finales por cada componente durante las cuatro semanas

Durante la implementación del modelo de planeación MRP, se observó lo siguiente:

- En la implementación el número de variables resultantes es de 140, de las cuales 26 son variables binarias y 114 son variables lineales y 54 restricciones.

En la Tabla 20 se puede observar el valor del costo de ordenamiento de los componentes durante el horizonte de planeación.

Tabla 20 - Costo de ordenamiento de los componentes en el horizonte de planeación

COSTO ORDENAMIENTO DE COMPONENTES	\$ 8.187.243,50
-----------------------------------	-----------------

Fuente: Los Autores

RESULTADOS VARIABLES DE DECISIÓN

CANTIDAD DE COMPONENTE PARA ABASTECER PRODUCCION (Variable X)

Tabla 21 - Cantidad de componente para abastecer

Componente	Ordenamiento	Cantidad	Semana
Papa	1	45435.0	2
Aceite	1	5680.0	2
Saborizante	1	15790.0	2
Bobina	1	17080.0	2
Sal	1	16667.0	2
Papa	1	35435.0	3
Sal	1	2313.0	3
Papa	1	130.0	4

Fuente: Los Autores

En la Tabla 21 se puede observar que para todos los diferentes componentes se debe realizar un sólo ordenamiento y las cantidades por las que estos se deben realizar, igualmente se ve durante los períodos de tiempo en los que estos ordenamientos se deben ejecutar siendo la semana 2 donde más componentes se ordenan.

INVENTARIO FINAL DE COMPONENTE C (Variable InvFinal)

Tabla 22 - Cantidad de inventario final de los componentes

Componente	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Antioxidante	22160.0	17520.0	17520.0	17520.0
Papa	91820.0	2825.0	2825.0	38130.0
Aceite	31080.0	19820.0	28050.0	28050.0
Saborizante	25270.0	9850.0	24930.0	25900.0
Bobina	27490.0	3350.0	21360.0	22800.0
Sal	19160.0	1073.0	15427.0	17740.0

Fuente: Los Autores

La Tabla 22 refleja los inventarios finales por cada componente durante las cuatro semanas

El modelo propuesto presentado permite el reabastecimiento de los componentes para la fabricación del producto final en periodos anteriores a los requeridos, con el fin de optimizar los costos relacionados con el almacenamiento y ordenamiento de productos conforme se da cumplimiento a la demanda. En la función objetivo se busca minimizar el inventario teniendo en cuenta el costo de ordenar y el costo de almacenamiento, por lo tanto se crea un inventario de acuerdo a la demanda requerida y a los lanzamientos que se ajuste a la línea de producción en relación a los dos tipos de costos.

10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

10.1 Análisis de sensibilidad MPS

Para el análisis de sensibilidad del modelo MPS, se crean dos escenarios diferentes para ver la variación en la función objetivo.

10.1.1 Escenario 1.

En este escenario se modificó el parámetro rendimiento para el producto limon10, por ser este el producto de mayor rotación para la compañía.

Tabla 23 – Análisis de sensibilidad escenario 1. (Variable X)

Producto	Semana	Cantidad
bbq10	3	51000.0
limon10	1	297000.0
limon10	2	495000.0
limon10	3	91000.0
limon10	4	151000.0
Limon20	1	286000.0
Limon20	2	175000.0
Limon20	3	95000.0
Limon20	4	211000.0
Pollo10	3	76000.0
Pollo10	4	321000.0
Pollo20	2	75000.0

Fuente: Los Autores

Tabla 24 – Análisis de sensibilidad escenario 1(Variable InvFinal)

Producto	Semana	Cantidad
bbq10	1	97000.0
bbq10	2	43000.0
bbq20	1	122000.0
bbq20	2	122000.0
bbq20	3	77000.0
bbq20	4	33000.0
Pollo10	1	152000.0
Pollo10	2	6000.0
Pollo20	1	108000.0

Fuente: Los Autores**10.1.2 Escenario 2.**

En este escenario se modificó el parámetro Inventario inicial dándole un valor de cero para el producto limon10, por ser el de mayor rotación.

Tabla 25 Análisis de sensibilidad escenario 2 (Variable X)

Producto	Semana	Cantidad
bbq10	3	51000.0
limon10	1	892000.0
limon10	2	495000.0
limon10	3	91000.0
limon10	4	151000.0
Limon20	1	286000.0
Limon20	2	175000.0
Limon20	3	95000.0
Limon20	4	211000.0
Pollo10	3	76000.0
Pollo10	4	321000.0
Pollo20	2	75000.0
Pollo20	4	141000.0

Fuente: Los Autores

La Tabla 25 se puede observar que las cantidades de producto que se elaboran para satisfacer la demanda no varían, a excepto del producto limon10 en la semana 1 que pasa de 297000.0 a 892000.0, significando esto un aumento de 595000.0

Tabla 26 - Análisis de Sensibilidad Modelo MPS

	Parámetro	Variación	Resultado Función Objetivo	Análisis
Modelo Original	-	-	\$ 6.081.032,90	Se puede observar que en los dos escenarios no se da ningún cambio en el costo de ordenamiento
Escenario 1	Rendimiento	Disminución 25,99%	\$ 6.081.032,90	
Escenario 2	Inventario Inicial	Disminución 100% producto Limon10	\$ 6.081.032,90	

Fuente: Los Autores

10.2 Análisis de sensibilidad modelo MRP

Para el análisis de sensibilidad del modelo MRP, se crean cuatro escenarios diferentes para ver la variación en la función objetivo.

10.2.1 Escenario 1

En este escenario se realizó una variación al parámetro lead Time de todos los componentes y al parámetro inventario de seguridad se le dio un valor de cero, para el componente papa.

Tabla 27. Análisis de sensibilidad variable X. escenario 1

Componente	Ordenamiento	Cantidad	Semana
Papa	1	4480.0	2
Bobina	1	17080.0	2
Papa	1	26596.7	3
Papa	1	38260.0	4
Papa	2	11663.3	3
Aceite	2	5680.0	3
Saborizante	2	15790.0	3
Sal	2	16667.0	3
Sal	2	2313.0	4

Fuente: Los Autores

Tabla 27 muestra que el componente papa pasó de 45.435,0 a 4.480,0 en la semana 2 significando esto una disminución de 40.955,0 bastante alta y en la semana 4 pasó de 130.0 a 2313.0, siendo esto un aumento bastante significativo.

Tabla 28 análisis de sensibilidad escenario 1 variable InvFinal

Componente	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Antioxidante	22160.0	17520.0	17520.0	17520.0
Papa	91820.0	43780.0	0.0	0.0
Aceite	31080.0	25500.0	22370.0	28050.0
Saborizante	25270.0	25640.0	9140.0	25900.0
Bobina	27490.0	3350.0	21360.0	22800.0
Sal	19160.0	17740.0	1073.0	15427.0

Fuente: Los Autores

En la Tabla 28. Se puede ver que el componente papa en las semanas 3 y 4 es de cero, mientras que en la semana 2 sufrió un aumento bastante significativo, por otro lado los componentes saborizante y sal sufrieron una disminución alta en la semana 2.

10.2.2 Escenario 2

En el escenario 2 se realizó cambio al parámetro Inventario inicial del componente papa con una cantidad mínima de pedido.

Tabla 29 Análisis de sensibilidad variable X. escenario 2

Componente	Ordenamiento	Cantidad	Semana
Papa	1	45435.0	2
Aceite	1	5680.0	2
Saborizante	1	15790.0	2
Bobina	1	17080.0	2
Sal	1	16667.0	2
Papa	1	35435.0	3
Sal	1	2313.0	3
Papa	1	35435.0	4

Fuente: Los Autores

Tabla 30 Análisis de sensibilidad escenario 2 variable InvFinal

Componente	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Antioxidante	22160.0	17520.0	17520.0	17520.0
Papa	91820.0	2825.0	2825.0	2825.0
Aceite	31080.0	19820.0	28050.0	28050.0
Saborizante	25270.0	9850.0	24930.0	25900.0
Bobina	27490.0	3350.0	21360.0	22800.0
Sal	19160.0	1073.0	15427.0	17740.0

Fuente: Los Autores

En la Tabla 29 y Tabla 30 se puede ver que los ordenamientos de los componentes no varían con respecto a los resultados arrojados originalmente, al igual que los inventarios finales para cada uno de los componentes.

10.2.3 Escenario 3

Para este escenario se realizó cambios al parámetro Lead Time y al parámetro inventario inicial del componente papa con pedido mínimo.

Tabla 31 Análisis de sensibilidad variable X. escenario 3

Componente	Ordenamiento	Cantidad	Semana
Papa	1	45435.0	2
Bobina	1	17080.0	2
Sal	1	0.0	2
Papa	1	20115.0	3
Aceite	1	5680.0	3
Papa	2	15320.0	3
Saborizante	2	15790.0	3
Sal	2	16667.0	3
Papa	2	35435.0	4
Sal	2	2313.0	4
Sal	3	0.0	4

Fuente: Los Autores

Para este escenario se realizó cambios al parámetro Lead Time y al parámetro de Inventario Inicial del componente (*papa*) con pedido mínimo.

La Tabla 31, determina que se debe hacer un pedido más del componente sal en las semana 4, por otro lado el pedido del componente papa en las semana 3 requiere ser menor y por lo tanto realizar un pedido del componente aceite en la semana 3.

Tabla 32 Análisis de sensibilidad escenario 3 variable InvFinal

Componente	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Antioxidante	22160.0	17520.0	17520.0	17520.0
Papa	91820.0	2825.0	2825.0	2825.0
Aceite	31080.0	25500.0	22370.0	28050.0
Saborizante	25270.0	25640.0	9140.0	25900.0
Bobina	27490.0	3350.0	21360.0	22800.0
Sal	19160.0	17740.0	1073.0	15427.0

Fuente: Los Autores

La Tabla 32 refleja que los componentes aceite, saborizante y sal en la semana 2 y 3 sufren un aumento en el inventario final, mientras que en la semana 4 el componente papa aumenta y la sal disminuye levemente.

10.2.4 Escenario 4

El cambio efectuado en este escenario se dio al parámetro Lead Time.

Tabla 33 Análisis de sensibilidad variable X. escenario 4

Componente	Ordenamiento	Cantidad	Semana
Papa	1	10130.0	2
Saborizante	1	0.0	2
Papa	1	35435.0	3
Saborizante	1	0.0	3
Papa	1	29465.0	4
Saborizante	2	15790.0	3
Bobina	2	17080.0	3
Sal	2	16667.0	3
Papa	2	5970.0	4
Aceite	2	5680.0	4
Saborizante	2	0.0	4
Sal	2	2313.0	4
Aceite	3	0.0	4

Fuente: Los Autores

La Tabla 33 nos muestra que se debe hacer un ordenamiento más del componente papa en la semana 4, al igual que el componente saborizante se sugiere hacer un ordenamiento más en la semana 3.

Tabla 34 Análisis de sensibilidad escenario 4 variable InvFinal

Componente	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Antioxidante	22160.0	17520.0	17520.0	17520.0
Papa	91820.0	38130.0	2825.0	2825.0
Aceite	31080.0	25500.0	28050.0	22370.0
Saborizante	25270.0	25640.0	9140.0	25900.0
Bobina	27490.0	20430.0	4280.0	22800.0
Sal	19160.0	17740.0	1073.0	15427.0

Fuente: Los Autores

En la Tabla 34 se observa que en la semana 2 los componentes papa, aceite, saborizante, bobina y sal sufren un aumento en el nivel de inventario final, mientras que en la semana 3 los componentes saborizante, bobina y sal

disminuyen sus niveles de inventario y finalmente en la semana el componente papa, aceite y sal bajan los inventarios.

Tabla 35 Consolidación de resultados.

	Parámetro	Variación	Resultado Función Objetivo	Análisis
Modelo Original	-	-	\$ 8.187.243,50	Se puede observar que en los cuatro escenarios el costo aumenta, siendo más significativo este aumento en los escenarios 1, 3 y 4, pero estos con un mismo valor; mientras que el escenario dos aumenta menos con respecto a los otros escenarios.
Escenario 1	Inventario de Seguridad, Lead Time	Variación del lead Time y con un inventario de seguridad cero, para el componente papa.	\$ 10.183.801,60	
Escenario 2	Inventario Inicial	inventario inicial del componente papa con una cantidad mínima de pedido	\$ 8.204.825,35	
Escenario 3	Lead Time, Inv. Inicial	Variación del Lead Time con un inventario inicial del componente papa con pedido mínimo.	\$ 10.194.393,10	
Escenario 4	Lead Time	variación del Lead Time	\$ 10.183.801,60	

Fuente: Los Autores

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente proyecto propone la integración de los modelos matemáticos MPS y MRP para una empresa manufacturera, donde el MPS se encarga de alimentar el MRP por medio de la demanda en los diferentes horizontes de planeación con el fin de suplir las necesidades o explosiones de la lista de materiales para la elaboración del producto terminado.

Se propuso un modelo matemático de programación lineal entera mixta, teniendo en cuenta la caracterización de la empresa caso estudio. Por medio de este, se identificó el proceso de ordenamiento de material, tiempos de entrega, inventario inicial de materia prima e inventario final de producto terminado, todo esto con el fin de delimitar el problema que se encontraba en cada uno de los parámetros mencionados; de esta manera lograr el hallazgo de diferentes métodos encaminados a la solución del inconveniente presentado a la problemática identificada dentro de la caracterización realizada.

Se logró identificar diferentes modelos de programación lineal en la literatura, los cuales integran en su gran mayoría las características fundamentales de los enfoques MPS y MRP bajo un ambiente Make To Stock, de tal manera que se obtuvo una evaluación de las principales características de integración, claves de estos enfoques y así dar paso a la construcción del modelo de planeación y control de la producción.

Con respecto a la validación del modelo se determinó que el modelo cumple con las restricciones de capacidad de producción, demanda de producto, decisión de producir en un instante de tiempo t , área ocupada por el componente, capacidad de almacenamiento, capacidad de producción planificación de inventarios físico y de escasez, requerimiento de inventario de materiales, necesidad del material e inventario final de materiales; convirtiéndose así en una herramienta útil para la toma de decisiones en la organización.

El análisis de sensibilidad sirvió para evaluar diferentes escenarios y así ver el comportamiento del modelo frente a estos y ver que tanto impacto directo se observaba en la función objetivo bajo estos cambios.

Tras concluir el desarrollo de este proyecto, una vez identificados los aspectos relevantes del proceso identificado dentro de la caracterización de la empresa objeto de estudio, se procede a dar unas recomendaciones.

Se recomienda para futuras investigaciones ampliar el modelo de planeación y control de la producción teniendo en cuenta factores como una política de inventarios, adicionalmente hacer un análisis profundo del comportamiento histórico de la demanda que permita tener pronósticos más acertados a la realidad que vive el mercado. La implementación de herramientas de análisis de la demanda, y de técnicas como promedio móvil simple, suavización exponencial doble, entre otros; ayudarán a la compañía a realizar pronósticos de acuerdo al comportamiento de las ventas de los ítems. Logrando así satisfacer la demanda con niveles óptimos de eficiencia.

Para terminar, es importante que la organización implemente este tipo de estudios con el fin de mejorar su competitividad y disminuir los errores relacionados con aprovisionamiento en materiales; para ello se requiere montar un sistema de información que soporte las decisiones de determinación de cantidades de producción, niveles de inventario y requerimientos de materiales, integrando a través de una interfaz computacional los modelos matemáticos y el sistema de información.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (24 de enero de 1979). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/>: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
- APICS Dictionary. (2008). (12th).
- ALDANA CABRERA, R. E. *SISTEMA DE PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES PARA LA PEQUEÑA Y LA MEDIANA INDUSTRIA MEXICANA*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, México, D. F.
- Ángel A., J., & García Martín, R. (s.f.). *TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN AGREGADA*. Recuperado el 3 de Mayo de 2016, de UOC: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Planificacion.pdf>
- Arboleda, J., & Ramírez, N. (2014). Modelamiento matemático del programa maestro de producción [MPS] en una empresa del sector de plásticos. *Ingenium*, 47-55.
- Ardila, I. (10 de Julio de 2015). *SNACK, ALMUERZO Y CENA: LA NUEVA DIETA DE LOS COLOMBIANOS*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2015, de REVISTA P&M: <http://www.revistapym.com.co/destacados/snack-almuerzo-cena-nueva-dieta-colombianos>
- Avance Jurídico Casa Editorial Ltda. (23 de noviembre de 2015). Obtenido de Secretaría General del Senado: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0100_1993.html
- Cano Arenas, J. A. *MODELO DE UN SISTEMA MRP CERRADO INTEGRANDO INCERTIDUMBRE EN LOS TIEMPOS DE ENTREGA, DISPONIBILIDAD DE LA CAPACIDAD DE FABRICACIÓN E INVENTARIOS*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Cardós, M., Vicens, E., & Miralles, C. (Diciembre de 2004). *ResearchGate*. Recuperado el 9 de Junio de 2016, de www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/45337257_Revision_de_la_relacion_entre_el_plan_agregado_y_el_maestro
- CASTILLO TATIS, G. A., & FANDIÑO HURTADO, O. A. *DISEÑO DE UN MODELO GENERAL PARA LA PLANEACIÓN OPERATIVA Y LA*

SECUENCIACIÓN DE ACTIVIDADES EN PEQUEÑAS EMPRESAS CON PROCESOS DE MANUFACTURA INTERMITENTES. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA.

CHAPMAN, S. N. (2006). *PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN*. México: PEARSON.

Chase, R. B., & Alquilano, N. J. (1994). *Dirección y administración de la producción y de las operaciones* (6a ed.). Wilmington, Delaware: Addison - Wesley Iberoamericana.

CHASE, R. B., JACOBS, F. R., & ALQUILANO, N. J. (2009). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES - PRODUCCIÓN Y CADENA DE SUMINISTROS*. México, D.F.: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Chih-Ting Du, T., & Wolfe, P. M. (2000). Building an active material requirements planning system. *International Journal of Production Research*, 38(2), 241-252.

CuidaTV. (s.f.). Obtenido de http://www.cuidatv.gob.mx: http://www.cuidatv.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=1350%3Aque-hacer-antes-durante-y-despues-de-una-emergencia&catid=181%3Ainformacion-del-dia&Itemid=167

D'Alessio Ipinza, F. (2004). *Administración y Dirección de la Producción - Enfoque estratégico y de calidad* (2 ed.). Naucalpan de Juárez, Edo. de México, México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Delgado Hidalgo, L., & Toro Diaz, H. H. (2010). Aplicación de un modelo de programación lineal en la optimización de un sistema de planeación de requerimiento de materiales (MRP) de dos escalones con restricciones de capacidad. *REVISTA INGENIERIA E INVESTIGACION*, 168-173.

DOMINGUEZ MACHUCA , J. A., & ET AL. (1995). *DIRECCION DE OPERACIONES: ASPECTOS TACTICOS Y OPERATIVOS EN LA PRODUCCION Y LOS SERVICIOS*. madrid: S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA.

EVERETT E., A. J., & Ronald J., E. (1994). *Administración de la producción y las operaciones*. PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.

- f. a. (17 de noviembre de 2011). *blogspot.com*. Obtenido de <http://bloglegislacionsaludocupacional.blogspot.com.co/>:
<http://bloglegislacionsaludocupacional.blogspot.com.co/2011/11/codigo-sanitario-ley-9-de-1979.html>
- Forero Páez, Y., & Ovalle Castiblanco, M. (2013). Análisis de los Sistemas de Programación de la Producción en la Gran Empresa de la Región Centro Sur de Caldas-Colombia. *Actualidad y Nuevas Tendencias*, 3(10), 91 - 98.
- Graves, S. C. Manufacturing Planning and Control. *Manufacturing Planning and Control*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- Guerrero Peña, A. C. Propuesta de un Plan de fabricación para una Microempresa Chocolatera. *Propuesta de un Plan de fabricación para una Microempresa Chocolatera*. Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- HEIZER, J., & RENDER, B. (2009). *PRINCIPIOS DE ADMINISTRACION DE OPERACIONES* (SÉPTIMA ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Hernández, A., & Mejía, G. (2008). Aplicativo computacional para la planeación de la producción en una empresa fabricante de autopartes. *SCIELO*.
- Hoogeveen, H. (2005). Multicriteria scheduling. *European Journal of operational research*, 167(3), 592-623.
- ICONTEC. (15 de 12 de 2010). *Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional*. (I. C. Certificación, Ed.) Bogotá, D.C., Colombia.
- Jamalnia, A., & Soukhakian, M. A. (2009). A hybrid fuzzy goal programing approach with different goal priorities to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1474-1486.
- Jay Heizer; Barry Render. (2008). *Dirección de la producción y de operaciones - Decisiones tácticas*. Madrid: PEARSON - Prentice Hall.
- JIMÉNEZ BAEZA, G. R. *SISTEMA DE PLANEACIÓN, CONTROL DE INVENTARIOS Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN UN GRUPO FARMACÉUTICO*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO D.F.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2013). *ADMINISTRACION DE OPERACIONES. PROCESOS Y CADENA DE VALOR*. PEARSON.

LIBREROS LASSO, J., & ROMERO LÓPEZ, Á. P. FORMULACIÓN DE UN MODELO DE INTEGRACIÓN MRP - JIT PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA DEL VALLE DEL CAUCA. *FORMULACIÓN DE UN MODELO DE INTEGRACIÓN MRP - JIT PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA DEL VALLE DEL CAUCA*. UNIVERSIDAD DEL VALLE, ZARZAL.

Maldonado, R. Tesis de grado para optar al título de Diseñador Industrial. *Diseño de un sistema de plan de requerimiento de materiales (MRP) para el proceso de fabricación de un modelo de bicicleta*. Universidad Rafael Landívar., Guatemala.

MENDUIÑA GOVIN, Z. INGENIERA INDUSTRIAL. *PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN EL MEDIANO PLAZO EN AMBIENTES DE MANUFACTURA FLEXIBLES*. UNIVERSIDAD DEL VALLE, SANTIAGO DE CALI.

Millan, J. (9 de Febrero de 2015). *La importancia de la seguridad y salud en el trabajo en la formación profesional*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2015, de SlideShare: es.slideshare.net/Johami123/la-importancia-de-la-seguridad-y-salud-en-la-formacin-profesional-44478893

Ministerio de Trabajo. (31 de Julio de 2014). *Decreto 1443 del 31 de julio de 2014*. Obtenido de MINTRABAJO: <http://www.mintrabajo.gov.co/normatividad-julio-decretos-2014/3700-decreto-1443-del-31-de-julio-de-2014.html>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (3 de Agosto de 1994). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de www.alcaldiabogota.gov.co

Miranda, F. J., Rubio, S., Chamorro, A., & Bañegil, T. M. (2005). *Manual de dirección de operaciones*. Thomson.

Mora, A. B., Tobar, J. L., & Soto, J. M. (2012). Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo pull, mediante simulación. *Scientia et Technica*, 100-106.

Moran Rodríguez, A. R. *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANEACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN LA COOPERATIVA ASOCIADO ALFAREROS DE BARRANCABERMEJA - COOTRASALBA*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA.

- Motoa Garavito, T. G., Osorio Gómez, J. C., & Orejuela Cabrera, J. P. (2007). PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LA PRODUCCIÓN (HIERARCHICAL PRODUCTION PLANNING) EL ESTADO DEL ARTE Y PRESENTACIÓN DE EXPERIENCIAS. *Heurística* 14, 35 - 47.
- Nahmias, S. (2007). *ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y OPERACIONES*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Noori, H., & Radford, R. (1997). *Administración de Operaciones: Calidad total y respuesta sensible rápida*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Orlicky, J. (1975). *Material Requirements Planning*. New York: McGraw-Hill.
- Osorio, J. C., & Motoa, T. G. (Junio de 2008). Planificación Jerárquica de la producción en un Job Shop flexible. *Fac. Ing. Univ. Antioquia*(44), 158-171.
- Osorio, J. C., Lasso, D. F., & Ruiz, G. A. (2012). JOB SHOP SCHEDULING BIOBJETIVO MEDIANTE ENFRIAMIENTO SIMULADO Y ENFOQUE DE PARETO. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(21), 113-126.
- Retos en Supply Chain. (4 de 9 de 2014). *RETOS EN SUPPLY CHAIN*. Recuperado el 27 de 4 de 2016, de RETOS EN SUPPLY CHAIN: <http://retos-operaciones-logistica.eae.es/2014/09/1595.htm>
- Sánchez Martín, P., & López de Haro, S. (Mayo - Junio de 2005). *DOCPLAYER*. Recuperado el 18 de Mayo de 2016, de <http://docplayer.es/7063258-Programacion-de-tareas-un-reto-diario-en-la-empresa.html>
- Sarache Castro, W. A. (27 de Julio de 2003). *Gestiopolis*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2015, de Gestiopolis: <http://www.gestiopolis.com/proceso-de-planificacion-programacion-y-control-de-la-produccion/#mae>
- SCHROEDER, R. G. (1992). *ADMINISTRACION DE OPERACIONES* (Tercera ed.). MEXICO: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MEXICO.
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (14 de marzo de 1984). *Integral Risk Management*. Obtenido de IRM Colombia: <http://irmcolombia.com/novedades/wp-content/uploads/2012/07/Decreto-614-1984-Organizacion-Salud-Ocupacional.pdf>
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (22 de junio de 1994). *Bogotá Jurídica Digital*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2629>

- SIPPER, BULFIN Jr. (1998). *Planeación y control de la producción*. México: McGRAW-HILL.
- SURATEP ADMINISTRADORA DE RIESGOS PROFESIONALES. (1999). *PANORAMA DE FACTORES DE RIESGO (Pequeña Empresa)*. Medellín: SURATEP S.A.
- Tang, C. S., & Sodhi, M. S. (2009). Modeling supply chain planning under demand uncertainty using stochastic programming: A sure motivated by asset-liability management. *International Journal of Production Economics*, 121, 728-738.
- T'Kindt, V., & Billaut, J. (2006). *Multicriteria Scheduling. Theory, models and algorithms* (Segunda ed.). Berlín, Alemania: Springer.
- Torabi, S. A., Ebadian, M., & Tanha, R. (2010). Fuzzy hierarchical production planning (with a case study). *Fuzzy Sets and Systems*, 1511–1529.
- Torné, M., Ramírez, G., & Orejuela Cabrera, J. (2012). PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES PARA EL LLENADO DE TOLVAS DOSIFICADORAS EN UNA EMPRESA DE CONCENTRADOS. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 165-178.
- Vidal, C. J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Cali: Universidad del Valle.
- VILLA TELLO, A. F., & JIMENEZ GONZALEZ, J. P. *MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA FABRICA DE CALZADO JCT EMPRESARIAL S.A.* UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, Santiago de Cali.
- Vollman, T. B., & Whybark, D. (1995). *Manufacturing Planning and Control System*. New York: Mc Graw Hill.
- Wong, C. M., & Kleiner, B. H. (2001). Fundamentals of material requirements planning. *Management Research News*, 24, 9-12.

12. ANEXOS

12.1. Anexo. Modelos en lenguaje AMPL

- 12.1.1. Modelo MPS Original
- 12.1.2. Datos MPS Original
- 12.1.3. Comandos MPS Original
- 12.1.4. Modelo MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora
- 12.1.5. Datos MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora
- 12.1.6. Comandos MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora
- 12.1.7. Modelo MPS con inventario inicial en limón a cero
- 12.1.8. Datos MPS con inventario inicial en limón a cero
- 12.1.9. Comandos MPS con inventario inicial en limón a cero
- 12.1.10. Modelo MRP Original
- 12.1.11. Datos MRP Original
- 12.1.12. Comandos MRP Original
- 12.1.13. Modelo MRP con diferente LT
- 12.1.14. Datos MRP con diferente LT
- 12.1.15. Comandos MRP con diferente LT
- 12.1.16. Modelo MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero
- 12.1.17. Datos MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero
- 12.1.18. Comandos MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero
- 12.1.19. Modelo MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido

12.1.20. Datos MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido

12.1.21. Comandos MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa cant minima de pedido

12.1.22. Modelo MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido

12.1.23. Datos MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido

12.1.24. Comandos MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa cant minima de pedido

12.2. Anexo. Resultados de Análisis de sensibilidad en lenguaje AMPL Solver Cplex

12.2.1. Modelo MPS Original

12.2.2. Modelo MPS con rendimiento en limón a 25kg/Hora

12.2.3. Modelo MPS con inventario inicial en limón a cero

12.2.4. Modelo MRP Original

12.2.5. Modelo MRP con diferente LT

12.2.6. Modelo MRP con diferente LT y con Inv. de Seguridad de papa en cero

12.2.7. Modelo MRP con LT constante y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido

12.2.8. Modelo MRP con LT diferente y con Inv. Inicial de papa en cant minima de pedido