

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN
LOGÍSTICA”**

TEMA

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEMAND DRIVEN – MRP,
PARA LOS INSUMOS DEL PROCESO DE MANUFACTURA DE PAPEL
HIGIÉNICO DE UNA EMPRESA DE CONSUMO MASIVO.**

AUTOR

MARTHA SALAZAR RODRÍGUEZ

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2019

RESUMEN

Dentro de este proyecto se plantea dar una solución mediante el MRP a fin de obtener un óptimo de materiales que deben comprarse de acuerdo a la política de compras, satisfaciendo los niveles de servicio con el área comercial en el cumplimiento de la demanda requerida, y considerando un stock de seguridad que permita la gestión oportuna de ventas y de compras. No obstante se considera cumplir lo descrito pero cuidando los costos incurridos, de manera que si se debe aumentar la calidad del servicio, no puede desconocerse que existe por ley de causa y efecto un aumento del costo, por lo que el objetivo es siempre llevarlo al mínimo posible. Para su desarrollo se considera un modelo matemático, utilizando programación lineal, donde se conoce la demanda requerida por el área Comercial, el stock de seguridad definido por la empresa, la producción mínima establecida por el área de producción, las fechas de compras establecidas por la planificación, el costo de almacenamiento, y costo de preparación del sku final.

Palabras Clave: Materiales, demanda, programación lineal, modelo, optimización, MRP

ABSTRACT

Within this project it is proposed to provide a solution through the MRP in order to obtain an optimum of materials that must be purchased according to the purchasing policy, satisfying the service levels with the commercial area in compliance with the required demand, and considering a security stock that allows the timely management of sales and purchases. However, it is considered to comply with the described but taking care of the costs incurred, so that if the quality of the service should be increased, it cannot be ignored that there is an increase in cost by law of cause and effect, so the objective is always to take it to the minimum possible. For its development a mathematical model is considered, using linear programming, where the demand required by the Commercial area is known, the security stock defined by the company, the minimum production established by the production area, the dates of purchases established by the planning, the cost of storage, and the cost of preparing the final sku.

Keywords: Materials, demand, linear programming, model, optimization, MRP

DEDICATORIA

Primero a Dios por darme vida y salud
para disfrutar un sueño más junto a
mi familia. Sin El nada sería posible.

A mis padres por su apoyo y confianza
en mí cuando esta maestría era solo un
sueño y ellos la hicieron realidad.

A mis hijas por ser el motor principal
de mi vida, por ellas todo esfuerzo
vale la pena.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por estar siempre con nosotros,
a mis padres y familia que nos han ayudado
a llegar al final de este camino.

A mi Directora de tesis, por todo el tiempo
brindado y por su apoyo al orientarme para
cumplir con todos los requisitos del
proyecto

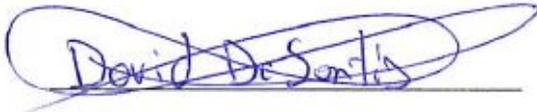
DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me (nos) corresponde(n) exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Ing. Martha Salazar

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



MSc. David De Santos Bermeo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



MSc. Brenda Cobeña Terán
DIRECTOR DE PROYECTO



MSc. Nadia Cárdenas Escobar
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTOR



Ing. Martha Salazar Rodríguez

ÍNDICE GENERAL

| | |
|------------------------------------|------|
| RESUMEN..... | ii |
| ABSTRACT | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| DECLARACIÓN EXPRESA..... | vi |
| TRIBUNAL DE GRADUACIÓN..... | vii |
| ÍNDICE GENERAL | ix |
| ABREVIATURAS..... | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xv |
| CAPITULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Objetivo general | 12 |
| 1.3. Objetivos específico | 12 |
| 1.4. Alcance y limitaciones..... | 12 |
| 1.5. Estructura del proyecto | 13 |
| 1.6. Marco teórico | 14 |
| CAPÍTULO II..... | 18 |

| | |
|---|----|
| DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA | 18 |
| 2.1. Descripción de metodología..... | 18 |
| 2.2. Referencias conceptuales | 18 |
| 2.3. Variabilidad de la demanda..... | 30 |
| 2.4. Planeación de la producción | 31 |
| 2.5. Modelo de Gestión Demand Driven – MRP | 35 |
| 2.6. Métodos de solución | 37 |
| CAPÍTULO III..... | 40 |
| APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 40 |
| 3.1. Funcionamiento del modelo | 40 |
| 3.2. Datos del modelo | 40 |
| 3.3. Planteamiento del problema..... | 43 |
| 3.4. Planteamiento del modelo..... | 52 |
| 3.5. Análisis de los resultados..... | 57 |
| 3.6. Comparación de resultados con el modelo anterior | 61 |
| 3.7. Visualización del MRP..... | 67 |
| CAPÍTULO 4..... | 70 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 70 |
| 4.1 Conclusiones | 71 |
| 4.2 Recomendaciones | 72 |
| Bibliografía..... | 73 |
| ANEXOS..... | 74 |
| ANEXO 1 Ejecución en GAMS | 74 |

ABREVIATURAS

ABC – Metodo para segmentar el inventario

ADU - Calculating Average Daily Usage - Cálculo de promedio diario

BOM - Bill of Materials - Lista de materiales

CRP - Capacity Requirements Planning - Planificación de requerimientos de capacidad

CoV - Coefficient of Variability - Coeficiente de variabilidad

DDMRP - Demand Driven Materials Requirement Planning - Planificación de necesidades de material impulsadas por la demanda

EID - Estado de Inventario Disponible

ERP - Enterprise Resource Planning - Planificación de recursos de la empresa

LTD – Lead Time Desacoplado

LP - Lineal Programing

Min. - Mínimo

Max. - Máximo

MSA - Matrial Synchronization Alert - Alertas de sincronización de material

MO - Manufacturing Order - Orden de fabricación

MOQ - Significant Minimun Order Quantity - Cantidad Significativa de Orden Mínima

MRP - Materials Requirement Planning - Planificación de necesidades de material

OH - On Hand - A la mano o en el almacén

OMAX - Over Maximun - Por encima del máximo

PO - Purchase Order - Orden de compra

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Ganancias / ventas | 3 |
| Figura 2 Mapa de procesos..... | 4 |
| Figura 3 Principales procesos..... | 5 |
| Figura 4 Cumplimiento de la demanda producto 1..... | 6 |
| Figura 5 Cumplimiento de la demanda producto 2..... | 6 |
| Figura 6 Cumplimiento de la demanda producto 3..... | 7 |
| Figura 7 Cumplimiento de la demanda producto 4..... | 7 |
| Figura 8 Cumplimiento de la demanda producto 5..... | 8 |
| Figura 9 Demanda vs Producción 2018 | 9 |
| Figura 10 Adherencia del Plan de Producción 2018 | 11 |
| Figura 11 Rotación del inventario..... | 14 |
| Figura 12 Inventario vs Ventas 2018..... | 15 |
| Figura 13 Ventas vs Inventario 2018..... | 16 |
| Figura 14 Parámetros para testeo del tiempo óptimo de espera de pasajero . | 17 |
| Figura 15 Variables que afectan a la gestión del inventario | 26 |
| Figura 16 Pasos del modelo DDMRP | 35 |
| Figura 17 SETS de programación..... | 53 |
| Figura 18 Estructura de programación en GAMS para parámetros tablas..... | 54 |
| Figura 19 Estructura de programación en GAMS para parámetros constantes | 54 |
| Figura 20 Estructura de programación en GAMS para escalares | 55 |
| Figura 21 Configuración de variables en GAMS | 55 |
| Figura 22 Declaración de ecuaciones en GAMS..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 Estructura de restricciones en GAMS | 56 |
| Figura 24 Ejecución del modelo en GAMS | 56 |
| Figura 25 Función Objetivo (z) | 57 |
| Figura 26 Producción (x) | 58 |
| Figura 27 Variable Binaria (y)..... | 58 |
| Figura 28 Materiales Lamina Primaria (m1) | 59 |
| Figura 29 Materiales Semi Elaborados (m2) | 59 |
| Figura 28 Reorden por trimestre | 60 |
| Figura 32 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre I | 62 |
| Figura 33 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre II | 63 |
| Figura 34 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre III | 64 |
| Figura 35 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre III | 65 |
| Figura 35 Comparación Modelo Actual – Almacenamiento | 66 |
| Figura 36 Resumen MRP | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Eficiencia de la maquinaria | 10 |
| Tabla 2 SKU según resultado del ABC | 40 |
| Tabla 3 Tiempo de cambio SKU | 41 |
| Tabla 4 Forecast del área de ventas..... | 41 |
| Tabla 5 Política de stock | 41 |
| Tabla 6 Costo de almacenamiento..... | 42 |
| Tabla 7 Costo de preparar cada sku producido | 42 |
| Tabla 8 Materia prima | 42 |
| Tabla 9. SKU..... | 43 |
| Tabla 10. Sku seleccionado para modelo | 44 |
| Tabla 11. SKU..... | 44 |
| Tabla 12. Índice de los materiales..... | 45 |
| Tabla 13. Índice de Trimestres..... | 45 |
| Tabla 14. Demanda..... | 46 |
| Tabla 15. Lote de Seguridad..... | 47 |
| Tabla 16. Materiales..... | 48 |
| Tabla 17. Lote mínimo | 48 |
| Tabla 18. Inventario Inicial | 49 |
| Tabla 19. Costo Almacenamiento | 49 |
| Tabla 20. Costo de Producción variable | 49 |
| Tabla 21. Costo de Producción fija | 50 |
| Tabla 22. Capacidad máxima..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Tabla 23. Tabla de Variables del modelo..... | 50 |
| Tabla 24. Tabla de Restricciones..... | 52 |
| Tabla 22. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre I..... | 61 |
| Tabla 23. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre I..... | 61 |
| Tabla 24. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre II..... | 62 |
| Tabla 25. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre II..... | 62 |
| Tabla 26. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre III..... | 63 |
| Tabla 27. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre III..... | 64 |
| Tabla 28. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre IV..... | 65 |
| Tabla 29. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre IV..... | 65 |
| Tabla 30 Buffer para MOQ..... | 68 |
| Tabla 31. Topes de Buffer de M_1 | 68 |
| Tabla 32. Topes de Buffer de M_2 | 69 |

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Introducción

La fabricación del papel se cree, tiene su origen en China alrededor del año 100 d.C. Hasta el siglo XIX se seguían empleando métodos de producción por lotes y las fuentes de fibras agrícolas.

Las primeras máquinas, continuas de papel fueron patentadas en el cambio de siglo XIX al XX. Alrededor de 1884 los métodos para la obtención del papel habían mejorado de tal manera que se mecanizaron los procedimientos para la obtención de la pasta de papel. (Teschke & Demers, 2017)

Actualmente la fabricación del papel y sus derivados ha llegado a alcanzar cifras que lo sitúan dentro de las industrias más grandes del mundo, teniendo una producción alrededor de los 700 millones de toneladas al año 2016.

Según datos del Banco Central, en el 2013 se importaron 37516 toneladas de papel higiénico (producto terminado), papel para uso facial (toallitas sanitarias), toallas absorbentes para cocina, y también bobinas para la elaboración de estos productos, conocidas como 'jumbo rolls'. Ese volumen de productos y materia prima se tradujo en un total de USD 64,7 millones en importaciones. (Diario el Comercio, 2014)

En Ecuador hasta el 2012 había nueve firmas dedicadas a la comercialización de papel higiénico, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Las marcas del producto papel higiénico con mayor participación en el mercado ecuatoriano son: Scott, de la multinacional Kimberly Clark; y Familia, del grupo colombiano del mismo nombre. (Diario el Comercio, 2014)

Según datos al 2013 de la Cámara de la Industria Cosmética, de Productos de Aseo, de Higiene y Afines del Ecuador, los hogares del país del segmento socioeconómico medio asignan USD 50 al mes al rubro de higiene personal y el segmento alto, hasta USD 300. (Diario el Comercio, 2014)

La demanda del papel higiénico en el país es de unas 45000 toneladas anuales. De esta cantidad, el 45% se produce en Ecuador y el 55% restante se importa entre Colombia y Perú. Según el Censo Nacional Económico del 2010, en el país existen 11 establecimientos que se dedican a la elaboración de estos productos. (Revista Lideres, 2015)

Dada la importancia de esta industria y de los procesos que conlleva la elaboración de los productos que ofrece, es necesario lograr que dichos procesos sean eficientes tanto en demanda como en inventario.

1.1.1. Descripción del problema

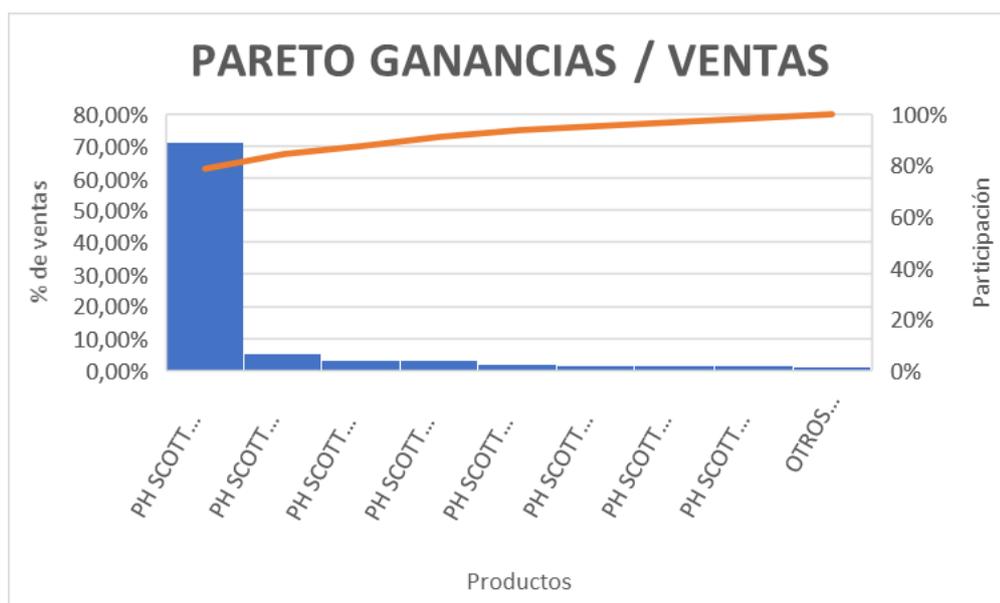
La planificación y optimización de la cadena de abastecimiento es uno de los recursos más importantes que tiene una empresa, dado que generalmente se dan rupturas de inventarios en materias primas, los cuales provocan retrasos en la producción y por ende pérdida de ventas del producto final. El problema que se requiere resolver es atender los niveles de servicio hacia el área de ventas en cumplir con la producción requerida, considerando las diferentes variables que podrían alterarlo como variación de las estimaciones, considerando el cumplimiento de las políticas de inventario, stock de seguridad, lote mínimo de producción y así que la compra de materiales sean lo óptimo posible al momento de su adquisición.

1.1.2. Alcance de la Aplicación

En la siguiente tabla, podemos observar mediante un Pareto que 5 artículos conforman el 80% de las ganancias, es decir, el 20% de los

SKU representan el 80% de las ventas, esto sucedido en el período 2018.

Figura 1 Ganancias / ventas



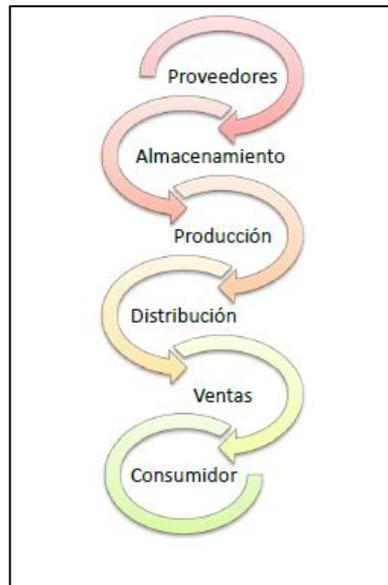
Elaborado por: Autor

Por ende, en este estudio se hará énfasis en los productos de este primer grupo para su optimización en el MRP.

En la empresa objeto de estudio, se ha detectado que en reiteradas ocasiones la demanda sobrepasa la producción del papel higiénico, dado que el área de ventas solicita mayor cantidad de producto y a la suma de los días se va produciendo un inventario que no satisface dicha demanda. Cabe recalcar que existe una mayor demanda del producto respecto a lo planificado, en gran parte se debe a que el área de ventas solicita mayor cantidad del producto debido a las promociones e impulso de la marca, que da como resultado dicho aumento de la demanda del producto.

Dentro de la organización, se ha identificado y esquematizado el mapa de procesos, donde se identifican los actores y días que toma cada proceso desde la compra, hasta su reparto.

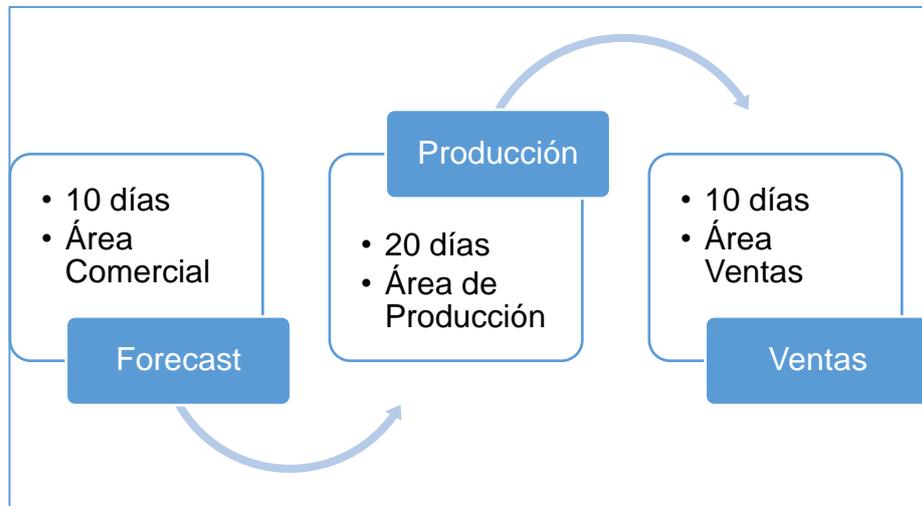
Figura 2 Mapa de procesos



Elaborado por: Autor

En el siguiente gráfico se hace un extracto, del enfoque principal, objeto de este estudio, donde se identifica los tres principales procesos que son, la estrategia comercial (Forecast) hasta su comercialización ejecutada por el área de Ventas. Sin dejar de mencionar el proceso de producción.

Figura 3 Principales procesos

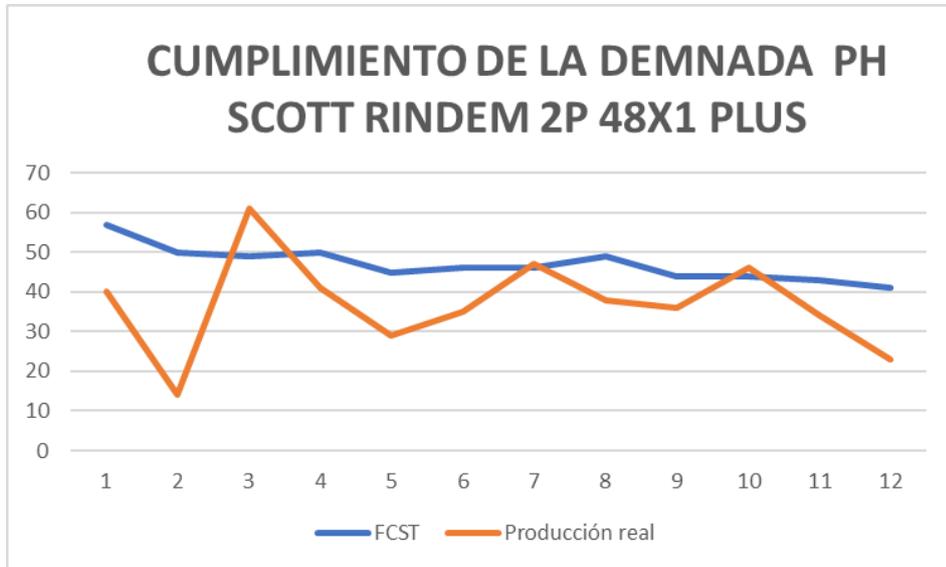


Elaborado por: Autor

Con la finalidad de cumplir la demanda y tener un stock suficiente para cumplir con demandas futuras, se propone hallar una solución a través del modelo DDMRP a implementar en este proyecto.

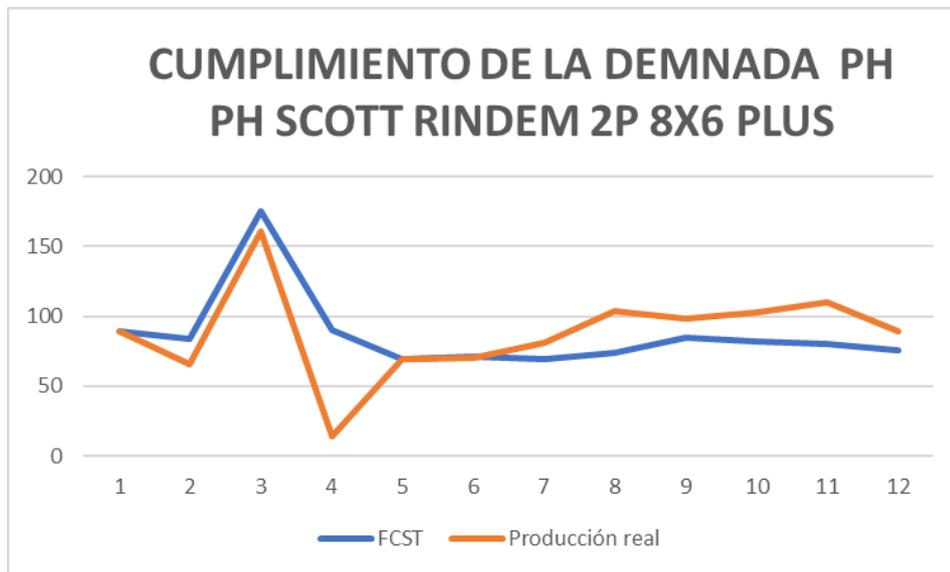
En los siguientes gráficos, se puede evidenciar la demanda requerida por producto, la misma que es ejecutada mediante el modelo de Predicción o Forecast (FCST), correspondiente al histórico del 2018, versus con la producción dentro del mismo año.

Figura 4 Cumplimiento de la demanda producto 1



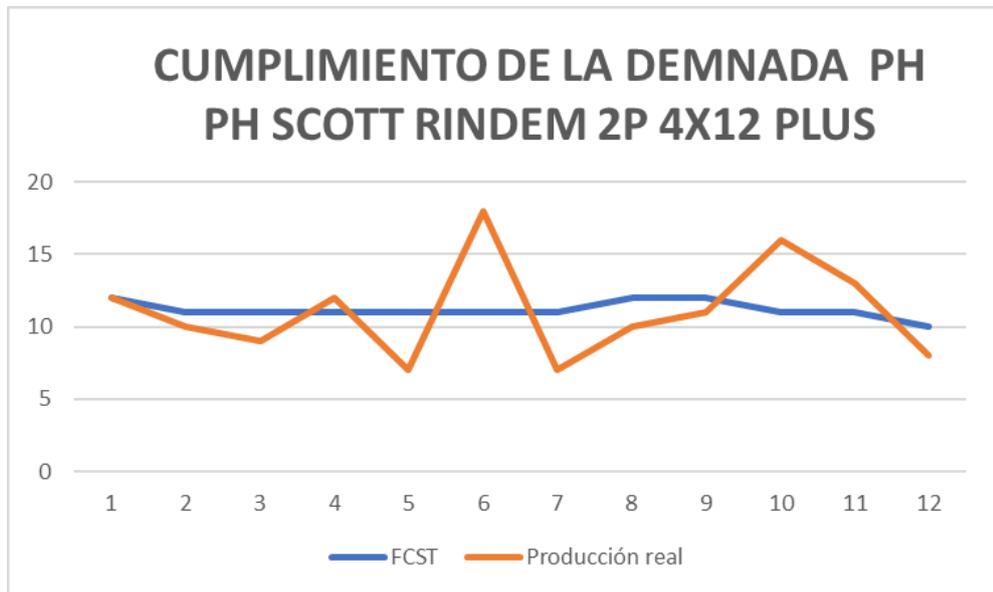
Elaborado por: Autor

Figura 5 Cumplimiento de la demanda producto 2



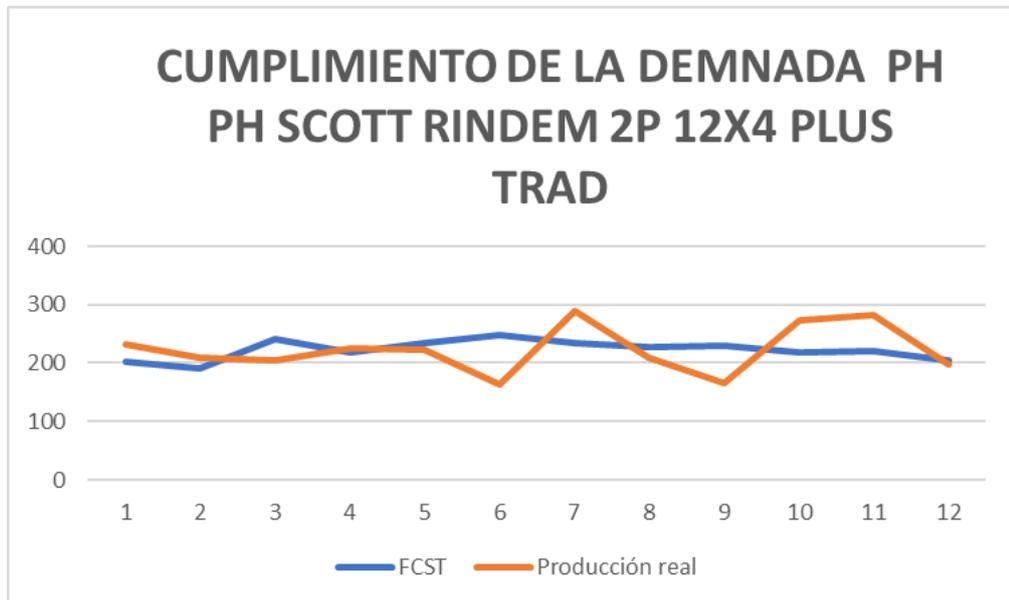
Elaborado por: Autor

Figura 6 Cumplimiento de la demanda producto 3



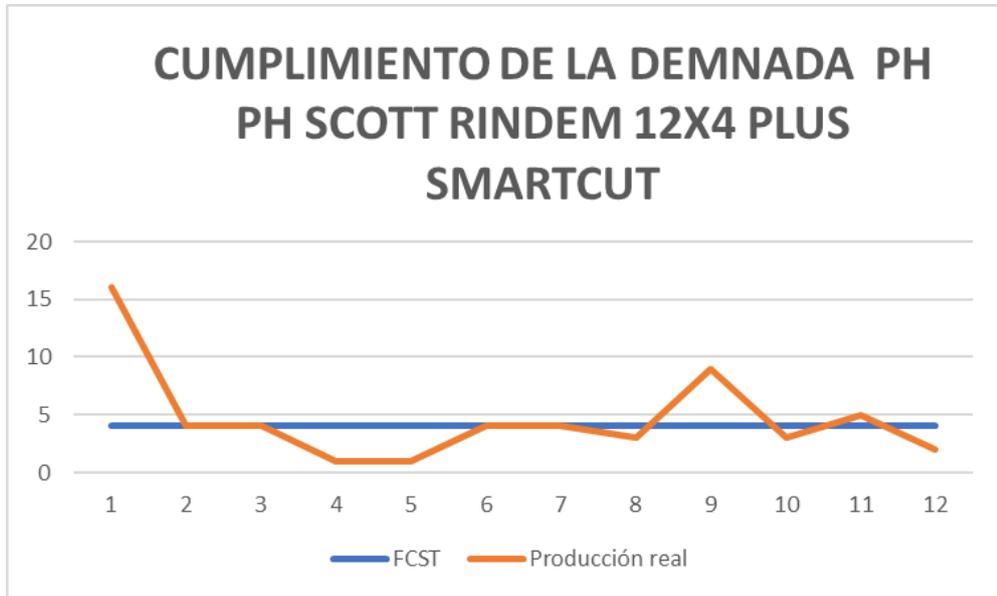
Elaborado por: Autor

Figura 7 Cumplimiento de la demanda producto 4



Elaborado por: Autor

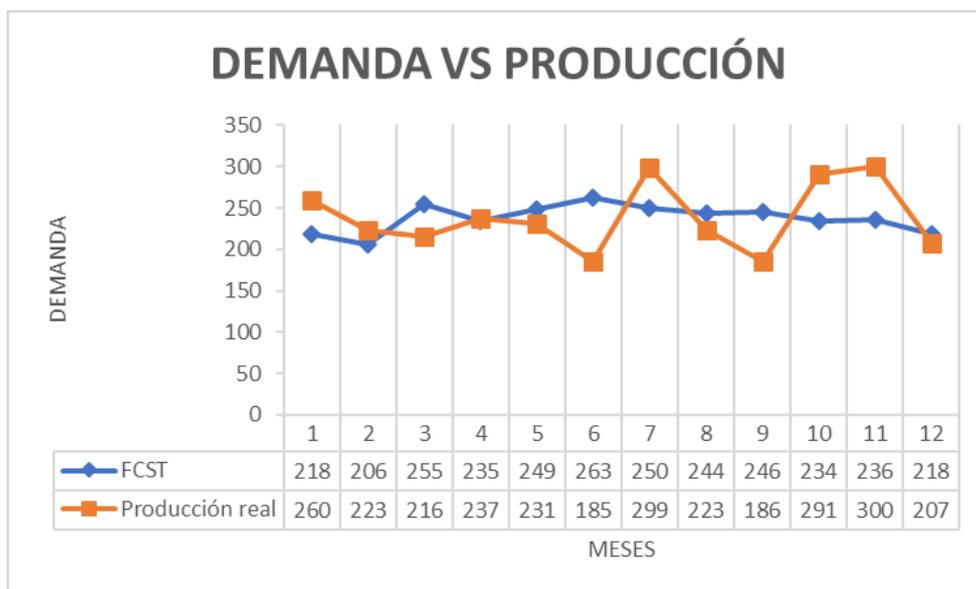
Figura 8 Cumplimiento de la demanda producto 5



Elaborado por: Autor

En los gráficos anteriores, se logra evidenciar el sobrecumplimiento de la producción en relación con la demanda en el período 2018, siendo este un factor clave para proponer una mejora dentro del modelo a realizar.

Figura 9 Demanda vs Producción 2018



Elaborado por: Autor

1.1.3. Situación actual de la empresa

Dentro del portafolio de productos que comercializa la empresa sujeta de análisis, se ha considerado para este proyecto, las líneas de manufactura correspondiente al papel higiénico, el cual representa el 32% de facturación de todo el 2018.

Debido a la variabilidad de la demanda se presentan rupturas de inventarios en materias primas, lo que ocasiona retrasos en los planes de producción, pérdida de ventas en las diferentes estados de la cadena de suministro y altos niveles de inventario en ciertos sku's; ya que por tratar de evitar que no se afecte la venta se ha optado por incrementar los niveles de compras de materias primas con el fin de cubrir varios meses los planes de producción (dependiendo de los mínimos de compra), poniendo en riesgo obsolescencias o caducidades de los sku's. Dicho lo anterior, se puede detectar en la eficiencia de las máquinas de

Papel Higiénico, las cuales al día de hoy están al 57% de efectividad, indicando una variación del 6% en relación al 2017.

Tabla 1 Eficiencia de la maquinaria

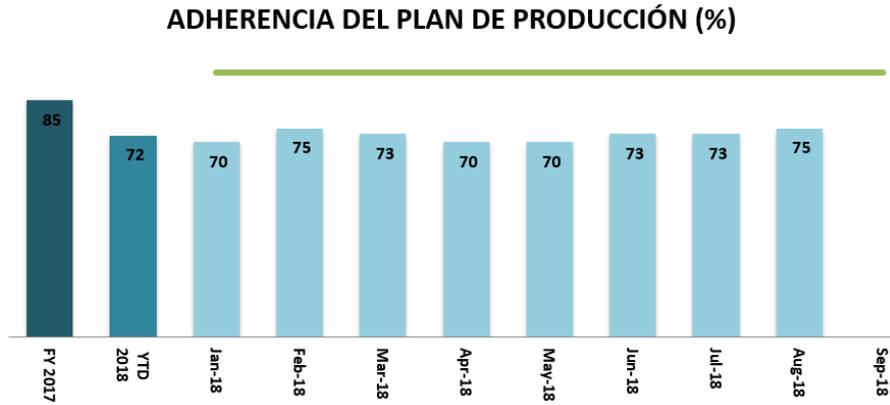
| Machine Performance | Unidad | Family Care | | | | | | |
|---------------------|--------|-------------|---------------|---------------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | Objetivo | Promedio 2017 | Promedio 2018 | Variación | YTD 2017 | YTD 2018 | Variación |
| Productividad | OEE2 | 63% | 60.2% | 57.0% | -5% | 60.6% | 57.0% | -6% |

Elaborado por: Autor

Todo esto conlleva a que el nivel de servicio, el cual se mide por la “Adherencia al plan de producción”, se mantenga por debajo del 95%.

La adherencia es uno de los indicadores q sirve para medir el nivel de servicio de la planeación a planta, además de visualizar las variaciones del plan inicial de cada mes y los cambios que se ejecutaron en el transcurso de ese mes por cualquier novedad. A inicios de cada mes se analiza las cantidades a producir analizando el cierre y la demanda, de aquí nace la adherencia, mapeando el volumen inicial del plan, Semanalmente se va revisando los avances y de existir modificaciones se pasa el actualizado. Al final de mes se revisa el indicador de adherencia para mapear los motivos de las variaciones dadas en las semanas pasadas

Figura 10 Adherencia del Plan de Producción 2018



Elaborado por: Autor

1.1.4. Motivación

- Se ha decidido implementar el Modelo de Gestión Demand Driven – MRP como solución a las incidencias detalladas en este proyecto impactando positivamente a una mejor planificación y optimización de la cadena de abastecimiento.
- Detectar los motivos por los cuales no se cumple con la demanda a pesar de que se ha planificado la producción en relación con esta, de manera que se pueda prever de mejor manera la variación de la misma manteniendo un stock suficiente.
- Establecer ítems para mejorar las políticas de la empresa en el área comercial respecto a la promoción del producto, logrando eficiencia en los procesos establecidos en la cadena de suministro observando siempre que el impulso de la marca no provoque demanda que no ha sido contemplada.

1.2. Objetivo general

Diseñar un Modelo de Gestión Demand Driven – MRP (Planificación de Requerimientos de Material Impulsados por la Demanda), para los insumos del proceso de manufactura de papel higiénico de una empresa de consumo masivo, con el fin de establecer los niveles de inventario óptimos de las materias primas que se están analizando.

1.3. Objetivos específico

- Realizar un análisis ABC en base al historial de ventas de las líneas de manufactura de papel higiénico donde se aplicará la metodología de Demand Driven – MRP.
- Determinar los niveles óptimos de inventario para los insumos de la fabricación de papel de higiénico mediante una política de inventario mensual.
- Mejorar el nivel de servicio en un 90%, tal como la disponibilidad del área de producción mediante la adherencia al plan mensual.
- Disminuir en 1% la demanda no satisfecha.

1.4. Alcance y limitaciones

La empresa sujeta de análisis cuenta con 2 líneas de producción, con más de 30 sku's, para lo cual se realizará un análisis ABC basado en el historial de ventas mensual del 2018, para la aplicación del modelo en mención.

Las materias primas están clasificadas de la siguiente manera:

- Semi-elaborados

- Empaques primarios
- Empaques secundarios
- Químicos
- Promocionales

Adicionalmente abarcará los empaques primarios, por ser un producto único y sensible para cada Producto Terminado de papel higiénico. Cabe recalcar que cualquier retraso de estos sku's o una variabilidad fuerte en la demanda puede causar el desabastecimiento de estos materiales.

1.5. Estructura del proyecto

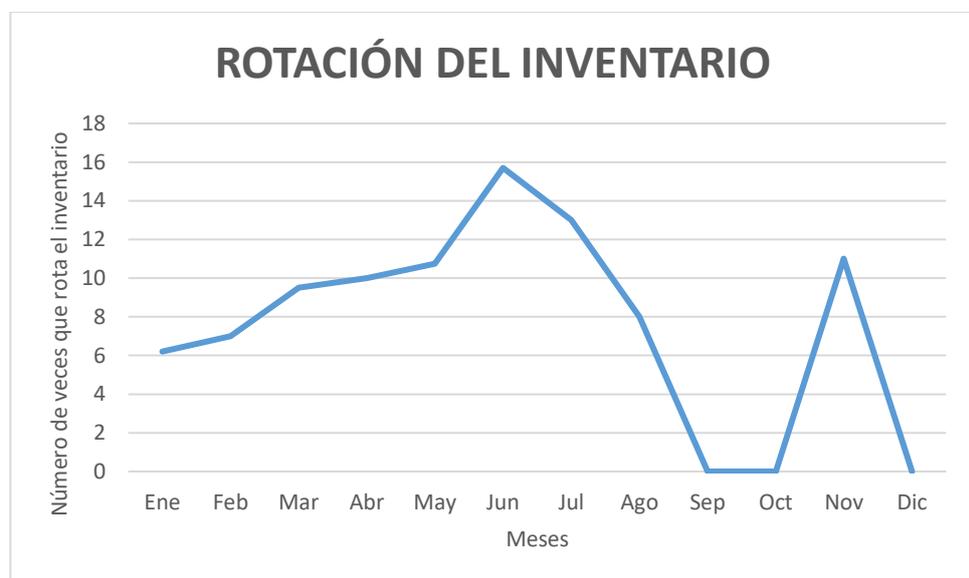
El proyecto se encuentra desarrollado de la siguiente manera:

- **Capítulo I:** Se delimitó el alcance y efecto de la investigación respecto a la empresa. Tomando en consideración su situación actual en busca del problema objeto de estudio.
- **Capítulo II:** Se planteó el marco teórico del proyecto, con bases teóricas científicas y referencias de otras investigaciones relacionadas al tema, con la finalidad de sentar bases para el desarrollo de los siguientes capítulos.
- **Capítulo III:** Se implementó el modelo matemático, estableciendo las principales características, variables, ecuaciones para establecer el óptimo de materiales. Además, se evaluaron los resultados para comprobar los objetivos planteados.
- **Capítulo IV:** Se analizaron y se compararon las expectativas del proyecto, uno a uno cada objetivo específico, estableciendo las recomendaciones y oportunidades de mejora identificadas.

1.6. Marco teórico

En investigaciones realizadas respecto a la aplicación de DDMRP se ha notado que el inventario rota más veces que aquellos productos que permanecen menos tiempo en bodega. Se ha detectado que la variación anual del inventario ha rotado 10.1 veces, era diferencia del año anterior que fue de 3.75. Con la aplicación de DDMRP el inventario permaneció almacenado un promedio de 26 días. (Pérez Castro, 2018)

Figura 11 Rotación del inventario



Fuente: (Pérez Castro, 2018)

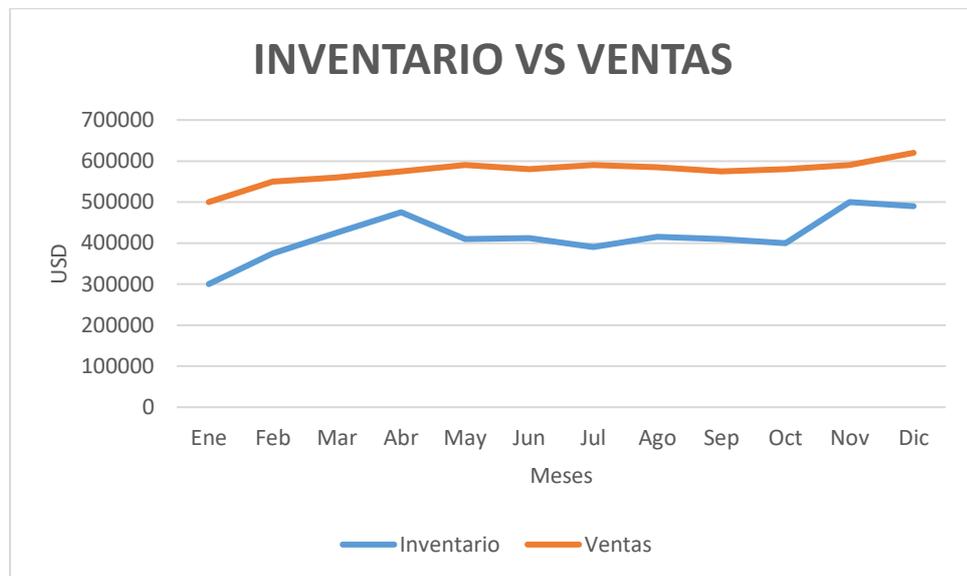
Rotación de inventario con DDMRP.

La metodología basada en DDMRP presenta varios beneficios, entre ellos:

- Permite un mejor nivel de servicio con un costo menor de inventario.
- El ROA y los activos tienden a rotar más veces.

En la Figura 5 se puede observar como disminuye el inventario almacenado con respecto al año anterior. La reducción fue entre el 48% y 52%, lo cual representa alrededor de 600.00, USD. (Pérez Castro, 2018)

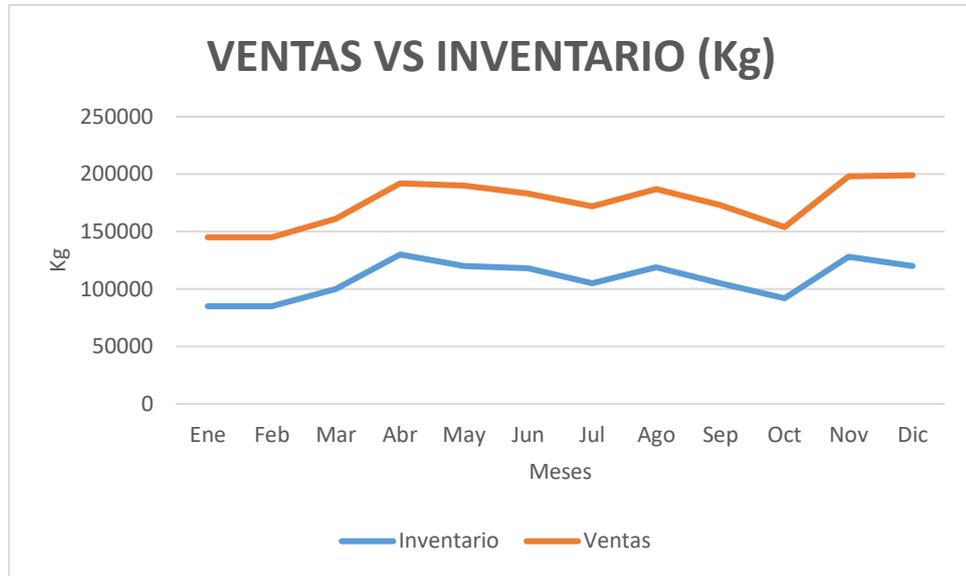
Figura 12 Inventario vs Ventas 2018



Fuente: (Pérez Castro, 2018)

En el siguiente gráfico se puede observar como mejora el nivel de servicio, lo cual repercute en un cumplimiento de la política de despacho, dado que se cuenta con un stock suficiente que cubre la demanda. (Pérez Castro, 2018)

Figura 13 Ventas vs Inventario 2018



Fuente: (Pérez Castro, 2018)

El método DDMRP mejora la rotación del inventario, tal como se puede observar en la siguiente imagen donde el promedio de rotación del inventario al año es de 11.36, lo que logra que este rote cada mes.

Es relevante recalcar que el modelo DDMRP depende de una correcta construcción del flujo de materiales y de información relevante, donde el búfer tiende a ser el mecanismo principal para la planeación. Además, se debe contar con información de relevancia tal como la demanda, el inventario físico y el inventario en tránsito, ya que la metodología en si se basa en posicionar, proteger y halar.

Los casos de implementación de Demand Drive para la gestión de la cadena logística son múltiples.

En el año 2012 se implementó en el comercio de e-books, encontrándose que este es un modelo apto debido a la eficiente gestión

de inventario que se obtiene respecto a los hábitos de compra que este mercado tiene. (Borda Ángel, 2016)

Otro ejemplo, en Singapur, implementándolo en el servicio de metro, con la finalidad de enfocar los recursos dependiendo del tráfico y el nivel de pasajeros en tiempo real, garantizando el movimiento de rutas según las necesidades surgidas en el momento, poniendo de lado la prolongación que no tenía en cuenta el movimiento y demanda real de los pasajeros. La percepción para los usuarios fue de menor tiempo de espera por este medio de transporte.

Figura 14 Parámetros para testeo del tiempo óptimo de espera de pasajero

Input parameters of case studies.

| Parameter | Case 1 | Case 2 |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Δt | 1 min | 1 min |
| T_n | 1021 (6:00-23:00) | 181 (6:00-09:00) |
| S_n | 24 | 15 |
| K_n | 165 | 40 [35-55] |
| P_n | 20 (maximum waiting time 20 min) | 20 (maximum waiting time 20 min) |
| N_{max} | 10 (maximum headway 10 min) | 10 (maximum headway 10 min) |
| N_{min} | 2 (minimum headway 2 min) | 2 (minimum headway 2 min) |
| B_n^p | Obtained by averaging weekday demand | Obtained by averaging weekday demand |
| CAP | 2000 pax/service | 2000 [1900-2500] |

Fuente: (Pérez Castro, 2018)

En la imagen anterior se muestran los parámetros recogidos en el estudio del metro de Singapur, donde se hicieron testeos para determinar el tiempo óptimo de espera por pasajero (Borda Ángel, 2016)

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA

2.1. Descripción de metodología

La metodología empleada consistió en diseñar un modelo matemático cuya base fueron datos históricos, estructurando la función objetivo respecto a las diferentes variables presentadas y aplicando el Modelo de Gestión Demand Driven – MRP.

Además, se analizará los resultados de los Buffers y el propósito de estos.

2.2. Referencias conceptuales

2.2.1. Empresa de consumo masivo y productos básicos

Una empresa de consumo masivo es una empresa cuyo fin es satisfacer la demanda de productos y servicios del consumidor, entre ellos individuos, familiares o componentes del sistema de distribución tanto mayoristas como detallistas. (Vainrub, 2000)

En este tipo de empresas la mayor parte de sus recursos son asignados a las áreas de marketing y publicidad, debido a que la demanda se relaciona directamente con la promoción de los productos que ofertan al mercado.

Siendo una realidad que para una empresa de consumo masivo su principal objetivo es hacer llegar al consumidor un producto básico, además se deben considerar dos áreas de aplicación del enfoque estratégico para las ventas:

- Comercialización de productos básicos, donde podemos encontrar alimentos, materia prima similar, empresas de trading; y

- Mercados de comportamiento masivo, semejantes en su estructuración funcional.

El sector de los productos básicos se caracteriza en otros varios factores por:

- Gran necesidad de amplia distribución.
- Margen de beneficio muy bajo por ventas de unidad, ya que la rentabilidad es lograda por venta en volúmenes.
- Un estrecho contacto entre el proveedor y el comprador, donde se sigue muy de cerca la tendencia de precios de producto.
- Compras muy racionalizadas.
- Sectores sensibles en gran manera al precio del producto.
- Requisitos mínimos de calidad para la inserción en el mercado.
- Tendencia a convertirse en mercados globales.
- Distribución controlada por los grandes centros mundiales, que en su mayoría llegan a controlar el mercado respecto a la producción, comercialización y consumo.
- Actividades de comunicación mínimas. (Ediciones Díaz de Santos, S.A , 2000)

El sector al que pertenece este tipo de empresa es uno de los más representativos en la economía mundial, además de ser altamente competitivo debido a la gran cantidad de empresas que lo conforman y a la gran demanda que tienen sus productos.

Debido a lo descrito en el párrafo anterior es primordial elaborar y ejecutar procedimientos administrativos con la finalidad de tener un control eficiente de todas las áreas de la empresa. Una buena práctica se traduce en una relación compra-ventas-inventario que permita no tener déficit de productos ni tampoco productos embodegados sin salida a la venta por una menor demanda.

2.2.2. Productos de consumo masivo

Los productos de consumo masivo son aquellos productos de alta demanda, requeridos por todos los estratos sociales, lo que motiva a las empresas dedicadas a la producción de estos artículos a competir fuertemente en su sector para captar clientes intentando ofrece alternativas variadas, precios atractivos o agregados.

Las principales características de estos productos son las siguientes:

- Son productos de consumo inmediato, los cuales no duran mucho tiempo en los hogares o lugares donde se los consume; están fabricado para un consumo rápido y en cortos periodos de tiempo.
- El cliente los adquiere de forma cotidiana.
- Se pueden encontrar sin mayor dificultad en el mercado, debido a que muchas empresas se dedican a su expendio.
- Su demanda varía según los precios.

2.2.3. Manufactura

La manufactura en su sentido más amplio es el proceso de convertir la materia prima en productos. Se debe considerar para esto las siguientes tareas dentro de este proceso:

- El diseño del producto.
- La selección de la materia prima.
- La secuencia de procesos a través de los cuales será manufacturado el producto.

La manufactura es una de las actividades económicas más importante de un país industrializado, comprende el 20 – 30% del valor de todos los bienes y servicios producidos. La actividad manufacturera de una nación está estrechamente relacionada con una económica saludable, tanto es así que a mayor nivel de esta industria mayor el nivel de vida de esa población. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

Esta actividad involucra también actividades en las que el producto manufacturado se emplea en la fabricación de otros productos. Por ejemplo, las láminas de papel se emplean para fabricar las carrocerías de los automóviles, pernos para fabricar máquinas, rollos de papel para fabricar diversos productos, como por ejemplo servilletas y cuadernos.

Un producto manufacturado adquiere un valor debido a que resulta de un proceso para convertir materia prima en ese producto, incrementando su valor final. La arcilla como tal tiene un valor definido, pero una vez convertida en una herramienta como una olla cuchara adquiere un valor extra, dado por el hecho de su creación a partir de materia prima, es decir la manufactura tiene una función importante en el valor agregado que tiene un producto terminado. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

La manufactura tiende a ser una actividad compleja, la cual puede involucrar una gran cantidad de recursos y actividades, por ejemplo, las siguientes:

- Diseño del producto
- Maquinaria y herramienta
- Planeación de procesos
- Materiales
- Compras
- Manufactura

- Control de producción
- Servicios de apoyo
- Marketing
- Ventas
- Embarques
- Servicio al cliente

Las actividades a realizarse en la manufactura deben cumplir las siguientes exigencias y tendencias:

1. El producto debe llenar requerimientos de diseño, especificaciones y estándares.
2. Un producto debe ser creado de la manera más ambiental y económicamente posible.
3. La calidad debe ser integrada en cada etapa de la cadena de producción, ya que el nivel de calidad debe satisfacer el uso del producto.
4. Los métodos de producción deben ser eficientes, flexibles a cambios de la demanda, productos y cantidades.
5. Deben evaluarse de manera continua nuevos desarrollos en materiales, métodos de producción y tecnologías.
6. Los sistemas base de la manufactura deben ser modelables, integrados e interrelacionados en cada una de sus partes.
7. Una organización de manufactura debe alcanzar niveles altos de calidad y de productividad. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.2.4. Inventario

Las empresas tienen la necesidad de aprovisionarse de bienes y servicios para lograr desarrollar sus actividades; dicho aprovisionamiento debe ser debidamente gestionado, de manera que se lleve a cabo una correcta manipulación y conservación. (Cruz Fernández, 2017)

Los inventarios detallan de forma ordenada los contenidos de bienes que una empresa posee. Estos contenidos pueden estar destinados a la venta, operaciones comerciales, mientras otro tipo de inventarios recogen los bienes que forman parte de los activos de la empresa, siendo estos partes de sus cuentas anuales.

Un inventario tiene un tamaño, volumen, estructura y representación; además está muy relacionado con el aprovisionamiento y distribución de la empresa. (Cruz Fernández, 2017)

Los objetivos que tiene todo inventario son los siguientes:

- Reducción de los riesgos al mantener un stock de seguridad en la empresa.
- Reducción de los costes, pues permite programar las adquisiciones y mejora la eficiencia de la producción de la empresa.
- Reducción de las variaciones que se puedan presentar entre la oferta de la empresa y la demanda de los clientes.
- Reducción de los costes de distribución del producto, dado que permite programar el transporte.

En resumen, el inventario es una listado ordenado y valorado de los productos que posee la empresa, ayudándola al aprovisionamiento de sus almacenes y bienes, mejorando el proceso comercial y productivo.

Los tipos de inventarios más conocidos son:

- **Materias primas:** registra el material que forma parte del proceso de producción y es suministrado por el proveedor.
- **Productos semiterminados:** registran las fases por las que ha pasado un producto dentro de su proceso de fabricación o producción.
- **Productos terminados:** Recogen los productos que tienen como fin la venta al cliente.

Según la periodicidad:

- Inventario intermitente
- Inventario perpetuo

Según el momento:

- Inventario inicial
- Inventario final

Según la forma:

- Inventario de materias primas
- Inventario de productos en fabricación o en curso
- Inventario de productos terminados
- Inventarios de suministros de fabrica
- Inventario de mercancías

Según la función:

- Inventario de transito
- Inventario de ciclo
- Inventario de seguridad
- Inventario de previsión
- Inventario de desacoplamiento

Otros tipos:

- Inventario físico
- Inventario mínimo
- Inventario máximo
- Inventario disponible
- Inventario en línea

Para que en un inventario los datos sean registrados de manera fiable y se ajusten a la realidad se realiza un inventario físico, el cual consiste en

contar las unidades de existencias, las cuales en algún momento la empresa tiene almacenado. (Cruz Fernández, 2017)

Imagen 1 Realización del inventario físico

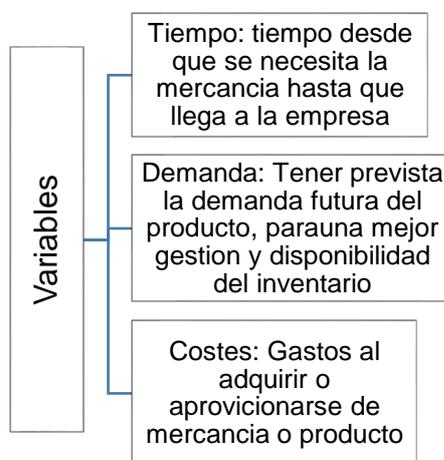


Fuente: (Cruz Fernández, 2017)

El inventario debe ser programado y ordenado, empleando herramientas que permitan agilizar el proceso y registrar datos reales. Ejemplo de estas herramientas: terminales con lectura de código de barras, lectura de placas, etc. (Cruz Fernández, 2017)

Las variables que afectan a la gestión del inventario podemos resumirlas en la siguiente gráfica:

Figura 15 Variables que afectan a la gestión del inventario



Elaborado por: Autor

2.2.5. Capacidad de la producción

Para casi todos los tipos de organizaciones la capacidad de producción está íntimamente relacionada con la tasa de producción y es medida generalmente como la salida del proceso por unidad de tiempo.

Al planificar la capacidad de producción se define en si la capacidad del proceso, que no es otra cosa que la carga que representa el trabajo liderado y planificado para el proceso durante un periodo determinado.

La capacidad es definida como el volumen de producción recibido, almacenado o producido sobre una unidad de tiempo, siendo producción el bien que produce la empresa, ya sea intangible o no.

Ahora bien, una empresa puede planear su capacidad a largo, mediano o corto plazo con el fin de garantizar una producción enfocada a la estrategia de competitividad de la empresa, modificando instalaciones, mano de obra y maquinaria. Un sistema productivo es planeado a largo, mediano y corto plazo. En este sentido las decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo son de gran importancia para la capacidad.

La capacidad a largo plazo se enfoca en más de un año y es a nivel estructural. Esto implica que requiere gran inversión y que su importancia es estratégica. Planear adecuadamente la capacidad a largo plazo es vital, pues junto a la inversión que requiere, también es determinante para demanda posterior. Una capacidad excesiva con una baja demanda tendrá elevados costos en el funcionamiento de la planta, mientras que una capacidad que no consigue igualar el nivel de demanda resulta insuficiente conllevando a la pérdida de competitividad.

La capacidad a mediano plazo se enfoca entre los 6 y 18 meses. Se toman decisiones con respecto a la contratación o despido del personal, adquisición de herramientas, máquinas y subcontratación.

La capacidad a corto plazo se trabaja en forma diaria o semanal, por lo tanto, las acciones realizadas son efectivas en horas con el fin de alinear la producción planeada y la real. Se asocian decisiones relacionadas con las horas extras, movimiento de personal y transporte de producto.

Los tipos de capacidad de producción podemos definirlos de la siguiente manera:

2.2.6. Capacidad de diseño

Se conoce también como mejor nivel de operación. Es la máxima producción teórica que se puede alcanzar bajo condiciones ideales.

2.2.7. Capacidad efectiva

Considera que la mayoría de las empresas no operan a su máxima capacidad. Lo hacen por las restricciones “típicas”, entre las cuales podemos encontrar el mantenimiento de la maquinaria, los errores en el personal, los tiempos perdidos, etc. Con esto en mente, piensa en la capacidad efectiva como la producción que se espera alcanzar en condiciones reales de funcionamiento.

2.2.8. Capacidad real

Es la producción real conseguida en un período determinado. Realmente el concepto de capacidad real es útil al ser utilizado en conjunto con la capacidad de diseño y la capacidad efectiva con la finalidad de calcular la utilización de capacidad y la eficiencia de producción. (Krajewski & Ritzman, 2000)

Un método práctico que se recomienda para calcular la capacidad de producción es el siguiente:

1) Obtener el mapa completo de las operaciones productivas normalizadas al detalle.

2) Medir los tiempos de cada actividad del proceso (10 mediciones por lo menos, en diferentes momentos del día y turnos y a diferentes trabajadores), para al final sacar un tiempo promedio que sea representativo. A este tiempo se le llama Tiempo Normal (TN).

Tiempo normal (TN) = $t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+t_7+t_8+t_9+t_{10} / 10$.

3) Teniendo en cuenta que una jornada de trabajo tiene 8 horas; pero sabemos que las personas no podemos mantener un trabajo totalmente continuo en períodos largos de tiempo (relativos a la jornada). Es decir: de las 8 horas disponibles, no podemos esperar que se producirá todo el tiempo. Se acumulan pequeños momentos de no producción. A ese tiempo no efectivo en trabajo, se denomina "Tiempo no efectivo o de Tolerancia" o, también lo conocemos como: grado de eficiencia de la mano de obra; normalmente es representado con un porcentaje. Por estudios realizados, se conoce que, con normalidad, en grupos bien dirigidos esta eficiencia alcanza un 85%; es decir las personas hacen trabajo efectivo solo el 85% de su jornada de 8 horas. De tal forma que 80 minutos del día son, muy normalmente, gastados en cosas como: estirarse un poco, alguna conversación con compañeros, ir al baño,

tomar agua, arreglar cosas, baja por cansancio, etc. (Castro Martínez, 2015)

Al tiempo resultado que tiene en cuenta lo anterior (Tolerancias) se le llama Tiempo Normal Estándar. De tal forma que:

Tiempo Normal Estándar (TNE)= $(8 \times 60 / TN) \times 0.85$ (capacidad máxima de producción en 8 horas de trabajo)

4) Con este dato, ya sabemos cuanta es la máxima producción que esperaríamos de este proceso si todo transcurriera con normalidad y sin tropiezos adicionales; pero se sabe que no existe un proceso sin tropiezos ni alteraciones de diversa índole, que ocurren y que no tienen que ver con el rendimiento propio del personal, sino que se deben a otros factores. Esos inconvenientes productivos también tienen su impacto directo en alterar la capacidad de diseño y deben ser considerados al establecer nuestra capacidad real de producción. Donde el número 0.88 es un factor de merma inherente al proceso conveniente para tener en cuenta en el cálculo, en la Capacidad real de producción, de tal forma que:

$TNE \times 0.88 =$ Capacidad real de producción.

5) Este valor debe ser considerado como nuestra capacidad real de producción y con relación a él debe medirse diariamente el rendimiento obtenido en las jornadas de 8 horas. El cálculo realizado nos marca cuál es el nivel que tomaremos como nuestro 100% de eficiencia.

Comprender la capacidad de producción permitirá a una empresa estimar el rendimiento financiero futuro y crear una línea de tiempo confiable para la entrega de los productos. (Krajewski & Ritzman, 2000)

2.3. Variabilidad de la demanda

En el contexto de la administración de inventarios, es conocido que ante la variación de la demanda y la demora en la entrega de un nuevo pedido por parte del proveedor las organizaciones definen un inventario de seguridad que les permita atender la demanda y no llegar situación no deseada de tener agotamientos del inventario que les representarían ventas perdidas, así como una mala imagen ante los consumidores, lo cual hoy en día es esencial ante la enorme competencia que se ha desatado en prácticamente todos los sectores comerciales. (Castro Martínez, 2015)

En el ámbito de los inventarios se han efectuado numerosos estudios de aplicaciones de varios modelos a casos prácticos para determinar las existencias de seguridad, buscando la mayoría de ellos minimizar el costo implicado.

En las cadenas de suministro se buscan mecanismos para reducir el nivel de inventario sin menoscabo del nivel de servicio provisto al cliente. (Castro Martínez, 2015)

Existen 2 opciones para conseguir esto son la reducción del tiempo de entrega del proveedor y de la variabilidad de este tiempo de entrega. Si la demanda del tiempo de entrega sigue una distribución normal, estas 2 acciones reducen el inventario para niveles de servicio superiores al 50% y es de mayor impacto la variabilidad del tiempo de entrega que su magnitud.

La manera tradicional de calcular el punto de reorden es para un nivel de servicio meta, la cual asume que la demanda del tiempo de entrega se ajusta a una distribución de probabilidad conocida, lo que muchas

veces no es válido, particularmente en el caso de un artículo que se mueve de manera lenta y del cual se dispone de pocos registros. (Castro Martínez, 2015)

En algunos casos mantener grandes cantidades de inventario mejora los niveles de servicio y estimula la demanda de artículos.

El inventario de seguridad es una protección contra la incertidumbre, que puede incluir variaciones en la demanda de los clientes, del tiempo de entrega del proveedor y de la calidad de los productos que se suministran al cliente. Las 2 medidas usuales para enfrentar la incertidumbre de la oferta y la demanda de un artículo son las existencias de seguridad y la seguridad del tiempo de entrega. Sin embargo, estos fenómenos se han estudiado en condiciones aisladas, pasando por alto las incertezas del lado de la oferta y la demanda. (Castro Martínez, 2015)

Pronosticar la demanda es una tarea ardua, no solo porque se trata de cientos o miles de SKU, sino también porque muchos de ellos parecen ser no pronosticables. Y, sin embargo, las áreas de Operaciones se enfrentan día a día con el desafío de pronosticar el futuro para tomar decisiones de cuánto comprar o producir.

2.4. Planeación de la producción

La planeación estratégica de la producción se convierte en el elemento fundamental, para articular las demás funciones administrativas con las operativas empresariales. (Ballou, 2004)

La planeación de la producción es un concepto sobre el cual se ha escrito y se ha estudiado bastante, su importancia es vital para las

empresas, pero como en los tiempos de cambios permanentes de los mercados y la tecnología, debe enfrentarse con una visión diferente, a como se ha venido trabajando.

La rentabilidad, concluiremos que la planeación de la producción es una actividad estratégica fundamental, que al final garantizara sí o no, la permanencia de la empresa por mucho tiempo en el mercado. (Ballou, 2004)

Para alcanzar sus objetivos y aplicar adecuadamente sus recursos, las empresas no producen al azar, actualmente no se produce lo que la empresa quiere vender, sino lo que el mercado está demandando, Ni funcionan improvisadamente. Necesitan planear con anticipación y necesitan controlar adecuadamente su producción, pues producir por debajo perjudica el nivel de servicio y por ende la satisfacción del cliente y producir por encima de lo demandado aumenta los costos y perjudica la rentabilidad. Para esto existe la planeación y control de la producción (PCP). La PCP tiene como fin aumentar la eficiencia y eficacia de la empresa a través de la administración de la producción. (Ballou, 2004)

Para hablar de la planeación y control de la producción (PCP), debemos hablar de: eficiencia, eficacia y efectividad.

La planeación y el control de la producción en una empresa logran:

Eficiencia: Porque defines con anticipación recursos (materiales, mano de obra, tiempo, etc.) y lo que vas a producir con ellos. La relación entre lo que usas y los resultados que obtienes se denomina Eficiencia. Es decir, está orientado al proceso. **Eficacia:** Define qué es lo que tienes que hacer para conseguir tus objetivos. Es decir, está orientado al resultado.

Efectividad: La empresa que logra sus objetivos con eficiencia y eficacia se dice que es efectiva. En otras palabras, consigue sus objetivos de acuerdo con lo planeado de la forma y con los recursos previstos o menos de estos. De tal forma que para ser efectivo empresarialmente se deberá planear y controlar la producción permanentemente.

No se debe confundir la Planeación de la producción con la Programación de la producción, pues mientras la planeación de la producción es estratégica y tiene en cuenta lo que quiere la empresa y el cliente, la programación de la producción es la parte tangible que determina cuándo se debe iniciar y terminar cada lote de producción, qué operaciones se van a utilizar, con qué máquina y con qué operarios. Así pues, en conclusión, siguiendo un ordenamiento lógico, la programación de la producción debe ser un paso posterior a la planeación. (Ballou, 2004)

Se diría entonces en un concepto amplio moderno de Planeación estratégica que está enfocada hacia la continuidad de la empresa en el futuro. De tal manera que sin la planeación la empresa puede estar a la deriva.

La Planeación de la producción debe ser sistémica e incluir el manejo de los materiales y la información desde los procesos de entrada (abastecimiento de materias primas desde los proveedores), procesos internos (almacenamiento, inventarios y producción) y procesos de salida (transporte, distribución y servicio al cliente). (Ballou, 2004)

Es a partir de la planeación que se elaboran los objetivos que deberán alcanzarse con anticipación: qué se debe hacer, cuándo, quién debe

hacerlo y de qué manera. Así, la planeación se hace en base a planes. Un conjunto de planes forma la planeación.

La PCP planea y controla la producción de bienes, cuidando inclusive de las materias primas necesarias, de la cantidad de mano de obra, de las máquinas y equipos, y de las existencias de productos acabados disponibles en el tiempo y espacio para que el área comercial pueda cumplir con lo prometido a los clientes. Si la empresa es productora de servicios, la PCP planea y controla la producción de esos servicios, cuidando de la cantidad de mano de obra necesaria, de las máquinas y equipos, de los demás recursos necesarios, para la oferta de los servicios en el tiempo y espacio para atender la demanda de los clientes y usuarios. (Ballou, 2004)

La PCP actúa antes, durante y después del proceso productivo para mantenerlo de acuerdo con lo que fue planeado. Con esas funciones, la PCP asegura la obtención de la máxima eficiencia y eficacia del proceso de producción de la empresa.

Para establecer una buena Planeación de la producción se deben seguir los siguientes pasos:

- Conocer ampliamente la visión de la empresa y las necesidades de los clientes.
- Analizar factores internos y externos (mercados, competencia, etc.)
- Recolectar toda la información necesaria de las necesidades de los clientes) para establecer tendencias de estos (lo que consumirán en el futuro) establecer un pronóstico de ventas, que será la base para establecer la meta de ventas de la empresa.
- Establecer la planeación estratégica de producción.
- Formular el plan de producción.

- Poner en práctica el plan de producción.
- Ejecutar el plan de producción.
- Controlar a través de indicadores el resultado.
- Verificar y ajustar.
- Mantener la vigilancia permanente del comportamiento del plan estratégico de producción para corregir cualquier desviación a tiempo. (Ballou, 2004)

2.5. Modelo de Gestión Demand Driven – MRP

El modelo de Gestión DDMRP es considerado una nueva metodología para modelar, planear y gestionar las cadenas de suministro con el fin de proteger y promover el flujo de materiales e información relevantes. DDMRP es la generación de órdenes de reposición y el motor de gestión de un modelo operativo basado en demanda. Permite percibir el cambio de la demanda, adaptando la planeación de la compañía y la producción jalando desde los proveedores. (Anaya Tejero, 2015)

El modelo DDMRP consta de 5 pasos, resumidos en la siguiente gráfica:

Figura 16 Pasos del modelo DDMRP



Elaborado por: Autor

Las organizaciones que ya trabajan con políticas y procesos Demand Driven MRP optimizan sus operaciones a través de las siguientes mejoras:

- Mejora del Nivel de Servicio.
- Reducción de la inversión en stock.
- Descenso de los costes asociados a urgencias.

Las implementaciones de Demand Driven MRP han demostrado que los niveles de servicio aumentan hasta cerca del 100% mientras que la reducción media de stock global se sitúa en torno al 30%. (Anaya Tejero, 2015)

Además, al comprometer los recursos económicos, técnicos y humanos de la organización a aquello que realmente es necesario, permite ser mucho más rápido y sensible a lo que demanda el cliente.

El método Demand Driven es convencionalmente utilizado hoy por las empresas para su gestión de inventarios y con él se observan valiosas oportunidades de mejora cuando se retoma para postular modelos propios. En este estudio se postulan y explican brevemente. (Anaya Tejero, 2015)

Para aplicar el modelo se realiza un levantamiento de datos de una empresa perteneciente al sector de consumo masivo. Para no revelar datos reales, éstos se trabajan a escala mediante la aplicación de un factor de reducción, aunque guardando su sensatez y validez para la aplicación del modelo en cualquier empresa hipotética de consumo masivo que cuente con un sistema de inventarios y demanda real. Posteriormente se hace costeo por nivel de stock y resultados cuantitativos de cada método para su posterior comparación y conclusiones.

Con los datos y el seguimiento de la aplicación se producen un documento en donde se explican los procesos en términos de validación de la efectividad del método DD en tres pasos:

1. Aplicación del modelo donde se explica brevemente cómo se calcula cada parámetro y buffer para la aplicación de la metodología DD,
2. Realización del modelo donde se aplican estos campos calculados y expuestos previamente a la totalidad del portafolio, y
3. Validación de los supuestos que nos llevan a la demostración de la disminución de costos en la cadena productiva e incremento de la eficacia y respuesta logística desde la gestión de inventarios, dando como resultado la demostración de mayores utilidades para las empresas que utilizan la metodología expuesta. (Anaya Tejero, 2015)

2.6. Métodos de solución

En la actualidad existe una múltiple variedad de modelos matemáticos determinísticos para la construcción de sistemas MRP, que buscan maximizar o minimizar una función objetivo por medio de diferentes técnicas de optimización, garantizando el cumplimiento de unas restricciones planteadas que permiten que los resultados del modelo sean una solución factible. Los modelos más relevantes tenidos en cuenta son los de Shapiro (1989), Graves (1999), Tang, Wang y Fung (2000), Pochet (2001), Mula, Poler y García (2007), Arango, Serna y Álvarez (2009), Almeder (2010), Arango, Serna y Pérez (2010) y Arango, Vergara y Gaviria (2010). (Anaya Tejero, 2015)

Se encuentra que estos modelos enfocados para la planeación de la producción y la planeación de materiales, en su mayoría, son problemas multiproducto, multinivel, multiperiodo, con capacidad limitada, cuya función objetivo persigue la reducción de los costos de producción, de inventarios y de capacidad de forma general. Igualmente, estos modelos suelen presentar restricciones de balance de inventarios y requisitos de materiales, restricciones de capacidad, de indicadores de producción, de no negatividad y complementarias que ayudan a personalizar cada uno de los modelos.

Dentro de las variables de decisión básicamente se encuentran en común la cantidad de pedido del producto i en el periodo t , el tiempo extra del recurso k en el periodo t , la variable binaria de producción para el producto i en el periodo t y el inventario del artículo i al final del periodo t .

Con base en lo anterior, se prepara una propuesta de modelo determinista para la planeación de necesidades de materiales denominado MRPOPTIMO. (Anaya Tejero, 2015)

La metodología Demand Driven gira en torno al uso de posiciones estratégicas de inventario (buffers) demostrados aquí para un SKU, sin embargo, los resultados comparativos se expondrán más adelante para el portafolio de la categoría con 150 SKU.

Estos buffers son como cajones de inventario de producto, que se van llenando a medida que las plantas de producción convierten las materias primas en producto terminado, y se van vaciando a medida que los clientes consumidores compran los productos. El primer cajón que se llena es el rojo, luego el amarillo y por último el verde. La metodología consiste en la construcción de cada uno de estos cajones, del tamaño adecuado para que cada vez que el inventario toca un cajón, se activen las señales de producción asignadas a éste y de esta forma se tenga el inventario ideal buscando evitar la ruptura de inventario o agotados y pérdida de servicio.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Funcionamiento del modelo

El Modelo tiene como funcionalidad determinar la cantidad de producto a comprar en cuanto a la necesidad de materiales requeridos para la producción, cuantificando la producción mensual, satisfaciendo la demanda, y respetando los niveles de stock de seguridad, siempre minimizando el costo de almacenamiento y costo de preparación de cada sku.

Se tendrá como resultado satisfactorio la producción del producto a fabricar, se tendrá además la cantidad de materiales requeridos por mes y la cantidad de materiales que se sugiere comprar.

3.2. Datos del modelo

Se entiende que el modelo matemático considera información sobre el proceso, siendo relevante para su desarrollo:

Los sku's a considerar corresponden al resultado del ABC, donde se consideran productos que generan mayor volumen.

Tabla 2 SKU según resultado del ABC

| SKU |
|------------------------------|
| PH SCOTT RINDEM 2P 48X1 PLUS |
| PH SCOTT RINDEM 2P 8X6 PLUS |

| |
|------------------------------------|
| PH SCOTT RINDEM 2P 4X12 PLUS |
| PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD |
| PH SCOTT RINDEM 12X4 PLUS SMARTCUT |

Elaborado por: Autor

Tabla 3 Tiempo de cambio SKU

| SKU |
|-----------------------------------|
| PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD |

Elaborado por: Autor

La producción se considera de forma mensual, tomando en cuenta el Forecast del área de ventas. El forecast que utiliza el área de ventas es el método de promedio simple bajo el supuesto que la demanda permanecerá estable a través del tiempo, sin tendencia o estacionalidad.

En miles de unidades (cajas)

Tabla 4 Forecast del área de ventas

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| FCST | | | | | | | | | | | | |
| PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD | 202 | 190 | 240 | 219 | 235 | 248 | 235 | 228 | 230 | 219 | 221 | 204 |

Elaborado por: Autor

La empresa considera una política de stock de seguridad de 10 días, basado en el criterio de tener un nivel de servicio del 90% de la demanda.

Tabla 5 Política de stock

| | |
|--------------------|---------|
| Stock de Seguridad | 10 días |
|--------------------|---------|

Elaborado por: Autor

Se establece el costo de almacenamiento

Tabla 6 Costo de almacenamiento

| | |
|-------------------------|--------------|
| Costo de almacenamiento | 1,30 dólares |
|-------------------------|--------------|

Elaborado por: Autor

Se indica el costo de preparar cada sku producido.

Tabla 7 Costo de preparar cada sku producido

| | |
|-----------------------|------|
| Costo preparación sku | 0.31 |
|-----------------------|------|

Elaborado por: Autor

Los materiales (materia prima) son:

Tabla 8 Materia prima

| # | Descripción | Consumo por caja |
|---|-----------------|------------------|
| 1 | Lámina Primaria | 8 kg |
| 2 | Semielaborado | 2.7 kg |

Elaborado por: Autor

3.3. Planteamiento del problema

A continuación, se procede al planteamiento de la solución al problema en mención, de acuerdo con los datos establecidos, se definen cuáles serán los parámetros que intervienen en el modelo a fin de minimizar el costo ocasionado por la producción, permitiendo establecer un punto de reorden de compra óptimo.

3.3.1. Índices

Se definen tres índices que guían el desarrollo del modelo

- SKU
- Tiempo
- Materiales
- trimestre

3.3.1.1. SKU

Los sku's representan los productos terminados resultados de la producción, sin embargo, este índice hace referencia a los diferentes tipos de presentaciones.

Los productos tienen una estandarización de su producción en horas, se conoce que cada lote de producción tiene un tiempo promedio de 1 hora.

La empresa cuenta con la siguiente gama de sku's.

Tabla 9. SKU

| SKU |
|------------------------------------|
| PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD |
| PH SCOTT RINDEM 2P 8X6 PLUS |
| PH SCOTT RINDEM 2P 4X12 PLUS |
| PH SCOTT RINDEM 2P 48X1 PLUS |
| PH SCOTT RINDEM 12X4 PLUS SMARTCUT |

Elaborado por: Autor

Para la solución, se ha considerado realizar el siguiente sku (Ver tabla 10), por ende no se define el índice que especifique el respectivo producto.

Tabla 10. Sku seleccionado para modelo

| SKU |
|-----------------------------------|
| PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD |

Elaborado por: Autor

3.3.1.2. Tiempo

El tiempo para considerar dentro de la solución son todos los meses del año.

El horizonte de planeación de producción es mensual, cada mes estará representado por su índice, de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 11. SKU

| Índice | Mes |
|--------|------------|
| Ene | Enero |
| Feb | Febrero |
| mar | Marzo |
| Abr | Abril |
| May | Mayo |
| Jun | Junio |
| Jul | Julio |
| Ago | Agosto |
| Sep | Septiembre |
| oct | Octubre |
| Nov | Noviembre |
| dic | Diciembre |

Elaborado por: Autor

Finalmente para representar el tiempo en un modelo, se han considerado los meses: ene, feb,..., dic y serán representados por j.

Dónde: j = ene, feb, mar, abr, may,..., dic

3.3.1.3. Materiales

De acuerdo área de producción, se definen los materiales para la fabricación de los sku, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 12. Índice de los materiales

| Índice | Materiales |
|----------------|-----------------|
| M ₁ | Lámina primaria |
| M ₂ | Semielaborados |

Elaborado por: Autor

Finalmente, para representar los materiales en un modelo, se han considerado m_1 , m_2 ; y serán representados por k .

Dónde: $k = m_1, m_2$.

3.3.1.1. Trimestre

Se considera la necesidad de compra trimestral, por ello se define el índice trimestre como t .

Tabla 13. Índice de Trimestres

| Índice | Descripción |
|--------|-------------------|
| 1 | Primer Trimestre |
| 2 | Segundo Trimestre |
| 3 | Tercer Trimestre |

Elaborado por: Autor

Para el modelo, se han considerado tres trimestres adentro del año a evaluar. Ya que el cuarto trimestre sería en enero y se requiere el nuevo forecast, el mismo que por política es entregado en octubre del año en curso.

Para encender los meses de cada trimestre, se define una tabla M, donde 1 significa que dicho mes j corresponde al trimestre t. Así mismo se define una segunda tabla para conocer el primer mes j del trimestre t.

3.3.2. Parámetros

Se definen los valores o parámetros que permitirán el éxito del modelo a implementar:

- Demanda
- Lote de Seguridad
- Materiales
- Tamaño mínimo del lote
- Inventario inicial
- Costo de almacenamiento del producto
- Costo de producción fija
- Costo de producción variable
- Capacidad máxima de almacenamiento

3.3.2.1. Demanda

DEMAND (j): La demanda está descrita mediante una tabla que representa la cantidad de productos que el negocio solicita para la venta, esto es mediante el forecast realizado por los técnicos expertos del negocio. El parámetro demanda está representado por DEMAND (j) que explica la cantidad de producto requerido en el mes j.

Tabla 14. Demanda

| Mes (j) | SKU |
|---------|--------|
| ene | 202000 |
| feb | 190000 |
| mar | 240000 |
| abr | 219000 |
| may | 235000 |
| jun | 248000 |
| jul | 235000 |
| ago | 228000 |

| | |
|-----|--------|
| sep | 230000 |
| oct | 219000 |
| nov | 221000 |
| dic | 204000 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Lote de Seguridad

LOTESEG(j): El lote de seguridad se encuentra descrito mediante una tabla que representa la cantidad de productos que el área de planeación cuida para atender las variaciones del negocio, esto es mediante la política de la empresa de considerar un 30% de producción de acuerdo al forecast realizado por los técnicos expertos del negocio. El parámetro lote de seguridad está representado por LOTESEG (j) que explica la cantidad de producto requerido en el mes j.

Tabla 15. Lote de Seguridad

| Mes (j) | SKU |
|---------|-------|
| ene | 60600 |
| feb | 57000 |
| mar | 72000 |
| abr | 65700 |
| may | 70500 |
| jun | 74400 |
| jul | 70500 |
| ago | 68400 |
| sep | 69000 |
| oct | 65700 |
| nov | 66300 |
| dic | 61200 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Materiales

MATERIAL (K): La requisición de materiales se encuentra descrito mediante una tabla que representa la cantidad de materiales que el área de producción establece para atender la producción, de acuerdo a las necesidades del negocio, este cálculo es conocido por política de la empresa siendo previamente validado con los técnicos de producción. El parámetro material está representado por MATERIAL (k) que explica la cantidad de producto requerido k para elaborar el sku.

Tabla 16. Materiales

| | |
|----|-----|
| m1 | m2 |
| 8 | 2,7 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Tamaño del lote mínimo

LS: El tamaño del lote mínimo se encuentra descrito mediante una constante, que representa la cantidad mínima de producción definida por la política de inventarios. El parámetro lote mínimo está representado por LS que explica la cantidad mínima a fabricar del sku.

Tabla 17. Lote mínimo

| |
|----------|
| Cantidad |
| 14000 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Inventario Inicial

INI(j): El inventario inicial al inicio del periodo se encuentra descrito mediante una constante, que representa la cantidad de inventario inicial del sku en enero. El parámetro inventario inicial está representado por INI (j) que explica la cantidad de inventario del sku en mes j.

Tabla 18. Inventario Inicial

| mes | Cantidad |
|-----|----------|
| ene | 14000 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Costo de almacenamiento

COSTA: El costo de almacenamiento se encuentra descrito mediante una constante, que representa el Costo de almacenamiento por unidad del producto. El parámetro costo de almacenamiento representado por COSTA explica el costo de almacenamiento del sku actual.

Tabla 19. Costo Almacenamiento

| Valor |
|-------|
| 1.30 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Costo de producción variable

COSTH: El costo de producción variable se encuentra descrito mediante una constante, que representa el Costo de la producción siempre que solo se fabrique una cantidad de cajas de sku superior al lote mínimo. El parámetro costo de producción variable representado por COSTH explica el costo de fabricar el lote total del sku.

Tabla 20. Costo de Producción variable

| Valor |
|-------|
| 0.30 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Costo de producción fija

COSTF: El costo de producción fija se encuentra descrito mediante una constante, que representa el Costo de la producción siempre que solo se

fabrique el lote mínimo de cajas de sku. El parámetro costo de producción fija representado por COSTF explica el costo de fabricar el lote mínimo del sku.

Tabla 21. Costo de Producción fija

| |
|-------|
| Valor |
| 1200 |

Elaborado por: Autor

3.3.2.1. Capacidad máxima

CAP: La capacidad máxima se encuentra descrita mediante una constante, que representa la capacidad máxima de almacenamiento que soporta la bodega en un periodo de fabricación. El parámetro capacidad máxima representado por cap explica la cantidad de sku máximos a almacenar.

Tabla 22. Capacidad máxima

| |
|--------|
| Valor |
| 350000 |

Elaborado por: Autor

3.3.3. Variables del modelo

Las variables que han considerado dentro de este modelo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 23. Tabla de Variables del modelo

| Variables | Descripción |
|------------------|--|
| z | función objetivo |
| x(j) | Cantidad de sku producido en el mes j |
| matprim(k,j) | Materia prima k requerida en el mes j |
| Pr(t) | Almacena la necesidad del sku en el trimestre t. |

| | |
|---------------------------|--|
| Cmp(t,k) | Cantidad de materia prima a comprar en el trimestre t. |
| Binary Variables | Descripción |
| Y(j) | 1 si se produce el lote mínimo |
| Positive Variables | Descripción |
| Invf(j) | Inventario final del sku en el mes j. |

Elaborado por: Autor

3.3.4. Función objetivo

La función objetivo, consiste en minimizar el costo ocasionado por la producción y almacenamiento permitiendo establecer un punto de reorden de compra óptimo.

Función Objetivo:

$$Z = \sum_{j=1}^n invf_j * COSTA + \sum_{j=1}^n X_j * COSTH + \sum_{j=1}^n Y_j * COSTF$$

3.3.5. Restricciones

Las restricciones, se encuentran resumidas y explicadas en la siguiente tabla:

Tabla 24. Tabla de Restricciones

| Restricción | Descripción |
|---------------|--|
| Stockf(j) | Stock final del mes j. $INI_j + invf_{j-1} + x_j - DEMAND_j - LOTESEG_j = invf_j; \forall_j$ |
| Lotemin(j) | Lote mínimo de producción. $x_j \geq LS * y_j; \forall_j$ |
| demanda(j) | Cumplimiento de la demanda. $x_j \geq DEMAND_j * y_j; \forall_j$ |
| capacidad(j) | Producir dentro del margen de capacidad de almacenamiento. $x_j \leq cap * y_j; \forall_j$ |
| prb(j) | Comprobación del flujo $invf_j \geq LOTESEG_j; \forall_j$ |
| mprim(k,j) | Materia prima k a consumir en el mes j $x_j * material_k \leq matprim_j; \forall_k, \forall_j$ |
| prt(t) | Producción esperada para solicitar punto de reorden $\sum_{j=1}^n x_j * M_{t,j} - \sum_{j=1}^n X_j * M1_{t,j} = prt_t; \forall_t$ |
| comprast(t,k) | Compras de materia prima en el trimestre t $prt_t * material_k = cmp_{t,k}; \forall_t, \forall_k$ |

Elaborado por: Autor

3.4. Planteamiento del modelo

Una vez que se ha explicado el funcionamiento del modelo, se procede a su ejecución en mediante un solver informático, que facilite la evaluación de sus resultados. La codificación del modelo se realiza en la herramienta de GAMS.

3.4.1. Sets

Los índices descritos en la sección anterior corresponden al tipo de producto (sku), el tiempo (meses) y los materiales (Materia prima).

Figura 17 SETS de programación

```
sets j mes /ene, feb, mar, abr, may, jun, jul, ago, sep, oct, nov, dic/  
sets k material /m1, m2/  
set t trimestre / 1, 2, 3/;
```

Elaborado por: Autor

3.4.2. Parámetros

Los parámetros corresponden a los mencionados en la sección anterior, los mismos que describen la demanda, el lote de seguridad, materiales por producto, lote mínimo, inventario inicial, costo de almacenamiento y costo producción fija y variable.

En GAMS tendrá la siguiente parametrización, se describen los siguientes parámetros como tablas:

Figura 18 Estructura de programación en GAMS para parámetros tablas

```

Table M(t,j) meses asociados al trimestre t
      ene  feb  mar  abr  may  jun  jul  ago  sep  oct  nov  dic
1     0    0    0    1    1    1    0    0    0    0    0
2     0    0    0    0    0    0    1    1    1    0    0
3     0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    1    1

Table M1(t,j) Mes inicial de cada trimestre
      ene  feb  mar  abr  may  jun  jul  ago  sep  oct  nov  dic
1     0    0    1    0    0    0    0    0    0    0    0
2     0    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0
3     0    0    0    0    0    0    0    0    1    0    0

```

Elaborado por: Autor

De igual manera se plantean los siguientes parámetros como valores fijos o constantes:

Figura 19 Estructura de programación en GAMS para parámetros constantes

```

Parameter DEMAND(j) Demanda en el mes j
/
ene 202000
feb 190000
mar 240000
abr 210000
may 235000
jun 248000
jul 235000
ago 228000
sep 230000
oct 219000
nov 221000
dic 204000/;
Parameter LOTESEG(j) Lote de Seguridad mes j
/
ene 60600
feb 57000
mar 72000
abr 65700
may 70500
jun 74400
jul 70500
ago 68400
sep 69000
oct 65700
nov 66300
dic 61200
/;

```

Elaborado por: Autor

De igual manera se plantean los siguientes parámetros como escalares:

Figura 20 Estructura de programación en GAMS para escalares

```
Scalar LS Tamaño del lote minimo /14000/;
Scalar COSTA Costo de Almacenamiento /1.3/;
Scalar COSTH Costo de Producción Variable /0.3/;
Scalar COSTF Costo de Produccion Fija /1200/;
Scalar cap Capacidad maxima /350000/;
```

Elaborado por: Autor

La codificación de las variables está configurada de la siguiente manera:

Figura 21 Configuración de variables en GAMS

```
binary variables
y(j)          1 si se produce el lote minimo
Variables
z             función objetivo
x(j)         Cantidad de sku producido en el mes j
matprim(k,j) Materia prima k requerida en el mes j
pr(t)        Almacena Necesidad de sku del trimestre t
cmp(t,k)     Cantidad de materia prima a comprar en el trimestre t
Positive Variables
invf(j)      Inventario final del producto en el mes j
```

Elaborado por: Autor

Siguiendo la codificación en GAMS se procede a la declaración de las ecuaciones, se detallan las diferentes ecuaciones que permiten conocer los diferentes resultados que hacen énfasis en los objetivos específicos, como la obtención de datos para el MRP.

Figura 22 Declaración de ecuaciones en GAMS

```
Equations
obj          funcion objetivo
lotemin     lote minimo de produccion
stockf      stock final del mes j
demanda     cumplimiento de la demanda
capacidad   capacidad
prb         comprobación
mprim      materia prima k a consumir en el mes j
prt         produccion esperada para solicitar punto de reorden
comprast    Compras de materia prima en el trimestre t
```

Elaborado por: Autor

Las restricciones tienen la siguiente estructura:

Figura 23 Estructura de restricciones en GAMS

```
obj..          z =e= sum((j), invf(j)*COSTA) + sum((j), x(j)*COSTH) + sum((j), y(j)*COSTF);
stockf(j)..   INI(j) + invf(j-1) + x(j) - demand(j) - loteseg(j) =e= invf(j);
lotemin(j)..  x(j) =g= ls*y(j);
demanda(j)..  x(j) =g= demand(j)*y(j);
capacidad(j).. x(j) =l= cap*y(j);
prb(j)..      invf(j) =g= loteseg(j);
mprim(k,j).. x(j)*material(k) =e= matprim(k,j);
prt(t)..      sum((j), x(j)*M(t,j)) - sum((j), x(j)*M1(t,j)) =e= Pr(t);
comprast(t,k).. pr(t)*material(k) =e= cmp(t,k);
```

Elaborado por: Autor

La ejecución del modelo representa una minimización de la función objetivo, considerando un Modelo de Programación lineal.

Figura 24 Ejecución del modelo en GAMS

```
model mrp /all/
solve mrp minimizing z using mip
display z.l, x.l, y.l, invf.l, matprim.l, pr.l, cmp.l;
execute_unload 'resulmrpl.gdx' z.L, x.l, y.l, invf.l, matprim.l, pr.l, cmp.l;
```

Elaborado por: Autor

3.5. Análisis de los resultados

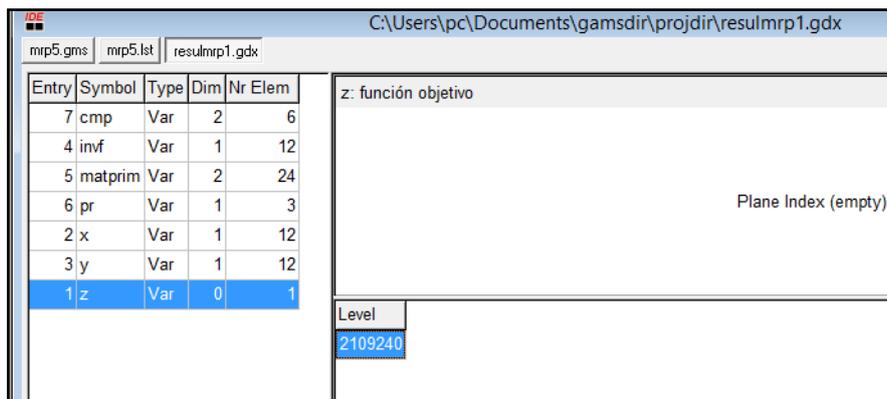
Se procede a la ejecución del modelo y se obtienen los resultados, a fin de que puedan ser evaluados, comparados y validados a fin de determinar el cumplimiento de los objetivos específicos de este proyecto.

3.5.3. Análisis del valor resultado de la z

El valor z corresponde al valor de la función objetivo, representado en costos (dólares) cuyo valor se encuentra totalizado en un año fiscal.

El resultado de los costos es \$ 2,109,240.00

Figura 25 Función Objetivo (z)



The screenshot shows the GAMS IDE interface. The title bar indicates the file path: C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\resulmrp1.gdx. The main window is divided into two panes. The left pane contains a table with the following data:

| Entry | Symbol | Type | Dim | Nr Elem |
|-------|---------|------|-----|---------|
| 7 | cmp | Var | 2 | 6 |
| 4 | invf | Var | 1 | 12 |
| 5 | matprim | Var | 2 | 24 |
| 6 | pr | Var | 1 | 3 |
| 2 | x | Var | 1 | 12 |
| 3 | y | Var | 1 | 12 |
| 1 | z | Var | 0 | 1 |

The right pane displays the objective function: z: función objetivo. Below this, it shows "Plane Index (empty)". At the bottom of the right pane, a "Level" box displays the value 2109240.

Elaborado por: Autor

3.5.4. Análisis de la Producción

El modelo propone la siguiente ruta de producción mensual, considerando cumplir la demanda, lote de seguridad y lote mínimo de producción.

Figura 26 Producción (x)

| Entry | Symbol | Type | Dim | Nr Elem | x(j): Cantidad de sku producido en el mes j | |
|-------|---------|------|-----|---------|---|--------|
| 7 | cmp | Var | 2 | 6 | | |
| 4 | invf | Var | 1 | 12 | | |
| 5 | matprim | Var | 2 | 24 | | |
| 6 | pr | Var | 1 | 3 | | |
| 2 | x | Var | 1 | 12 | | |
| 3 | y | Var | 1 | 12 | | |
| 1 | z | Var | 0 | 1 | | |
| | | | | | Level | |
| | | | | | ene | 309200 |
| | | | | | feb | 243400 |
| | | | | | mar | 327000 |
| | | | | | abr | 269400 |
| | | | | | may | 310300 |
| | | | | | jun | 326300 |
| | | | | | jul | 301600 |
| | | | | | ago | 294300 |
| | | | | | sep | 299600 |
| | | | | | oct | 281400 |
| | | | | | nov | 287900 |
| | | | | | dic | 260100 |

Elaborado por: Autor

Así mismo, se muestra el comportamiento de la variable binaria, a fin de conocer si debe cumplirse al menos el lote mínimo.

Figura 27 Variable Binaria (y)

| Entry | Symbol | Type | Dim | Nr Elem | y(j): 1 si se produce el lote minimo | |
|-------|---------|------|-----|---------|--------------------------------------|----------|
| 7 | cmp | Var | 2 | 6 | | |
| 4 | invf | Var | 1 | 12 | | |
| 5 | matprim | Var | 2 | 24 | | |
| 6 | pr | Var | 1 | 3 | | |
| 2 | x | Var | 1 | 12 | | |
| 3 | y | Var | 1 | 12 | | |
| 1 | z | Var | 0 | 1 | | |
| | | | | | Level | Marginal |
| | | | | | ene | 1 1200 |
| | | | | | feb | 1 1200 |
| | | | | | mar | 1 1200 |
| | | | | | abr | 1 1200 |
| | | | | | may | 1 1200 |
| | | | | | jun | 1 1200 |
| | | | | | jul | 1 1200 |
| | | | | | ago | 1 1200 |
| | | | | | sep | 1 1200 |
| | | | | | oct | 1 1200 |
| | | | | | nov | 1 1200 |
| | | | | | dic | 1 1200 |

Elaborado por: Autor

3.5.5. Análisis de los materiales

De acuerdo con la producción sugerida por el modelo, se indica la cantidad de materiales requeridos por mes tanto de la lámina primaria como del semielaborado.

Figura 28 Materiales Lamina Primaria (m1)

| Entry | Symbol | Type | Dim | Nr Elem |
|-------|---------|------|-----|---------|
| 7 | cmp | Var | 2 | 6 |
| 4 | invf | Var | 1 | 12 |
| 5 | matprim | Var | 2 | 24 |
| 6 | pr | Var | 1 | 3 |
| 2 | x | Var | 1 | 12 |
| 3 | y | Var | 1 | 12 |
| 1 | z | Var | 0 | 1 |

| Level | Value |
|-------|---------|
| ene | 2473600 |
| feb | 1947200 |
| mar | 2616000 |
| abr | 2155200 |
| may | 2482400 |
| jun | 2610400 |
| jul | 2412800 |
| ago | 2354400 |
| sep | 2396800 |
| oct | 2251200 |
| nov | 2303200 |
| dic | 2080800 |

Elaborado por: Autor

Figura 29 Materiales Semi Elaborados (m2)

| Entry | Symbol | Type | Dim | Nr Elem |
|-------|---------|------|-----|---------|
| 7 | cmp | Var | 2 | 6 |
| 4 | invf | Var | 1 | 12 |
| 5 | matprim | Var | 2 | 24 |
| 6 | pr | Var | 1 | 3 |
| 2 | x | Var | 1 | 12 |
| 3 | y | Var | 1 | 12 |
| 1 | z | Var | 0 | 1 |

| Level | Value |
|-------|--------|
| ene | 834840 |
| feb | 657180 |
| mar | 882900 |
| abr | 727380 |
| may | 837810 |
| jun | 881010 |
| jul | 814320 |
| ago | 794610 |
| sep | 808920 |
| oct | 759780 |
| nov | 777330 |
| dic | 702270 |

Elaborado por: Autor

3.5.6. Puntos de reorden de Compras

Este es un resultado muy importante en la resolución del modelo, ya que establece la cantidad óptima a comprar para atender la demanda y establecer el lote de seguridad.

A continuación, se muestra en la siguiente figura la cantidad de compra en el primer trimestre de la lámina primaria considerando alrededor de 4632000 kg y aproximadamente 1563300 kg de semielaborados.

Figura 30 Reorden por trimestre

| Entry | Symbol | Type | Dim | Nr Elem |
|-------|---------|------|-----|---------|
| 7 | cmp | Var | 2 | 6 |
| 4 | invf | Var | 1 | 12 |
| 5 | matprim | Var | 2 | 24 |
| 6 | pr | Var | 1 | 3 |
| 2 | x | Var | 1 | 12 |
| 3 | y | Var | 1 | 12 |
| 1 | z | Var | 0 | 1 |

| | | Level |
|---|----|---------|
| 1 | m1 | 4632000 |
| | m2 | 1563300 |
| 2 | m1 | 4553600 |
| | m2 | 1536840 |
| 3 | m1 | 4238400 |
| | m2 | 1430460 |

Elaborado por: Autor

Así mismo se muestra en la figura la cantidad de compra en el segundo trimestre de la lámina primaria considerando alrededor de 4553600 kg y aproximadamente 1536840 kg de materiales semielaborados.

Finalmente, se muestra en la figura la cantidad de compra en el tercer trimestre de la lámina primaria considerando alrededor de 4238400 kg y aproximadamente 1430460 kg de materiales semielaborados.

3.6. Comparación de resultados con el modelo anterior

En este apartado se compara el modelo actual con el modelo propuesto, a fin de evidenciar el cumplimiento de la producción, y finalmente incorporar el rango para las Zonas de Buffer (verde, amarillo y rojo), de tal forma que pueda establecer los niveles óptimos de la demanda y tener una buena cobertura de esta.

Para su mejor análisis, se ha considerado dividir los resultados por trimestre para visualizar los gráficos con mayor detenimiento.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla los resultados de la producción y demanda evaluada en el primer trimestre con el proceso anterior y bajo el mismo escenario con el modelo propuesto.

Tabla 25. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre I

| Modelo Actual | TRIMESTRE I | | |
|-------------------------|-------------|--------|--------|
| | Ene | Feb | Mar |
| Demanda | 202000 | 190000 | 240000 |
| Producción | 232000 | 185000 | 204000 |
| Cumplimiento trimestral | 115% | 97% | 85% |

Elaborado por: Autor

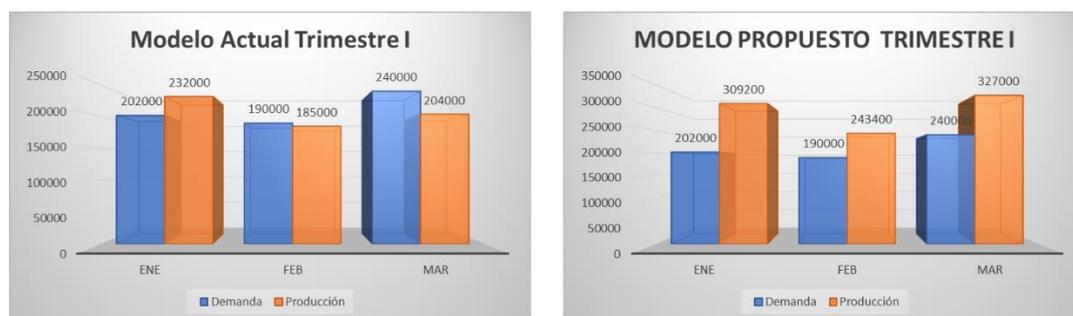
Tabla 26. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre I

| Modelo Propuesto | TRIMESTRE I | | |
|-------------------------|-------------|--------|--------|
| | Ene | Feb | Mar |
| Demanda | 202000 | 190000 | 240000 |
| Producción | 309200 | 243400 | 327000 |
| Cumplimiento trimestral | 153% | 128% | 136% |

Elaborado por: Autor

Para el primer trimestre, se logra evidenciar que con el modelo actual los índices de producción no llegan a satisfacer la demanda, mientras que al observar el modelo propuesto se ve una armonía entre la demanda y la producción, considerando además el stock de seguridad establecido.

Figura 31 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre I



Elaborado por: Autor

Se puede apreciar que el modelo propuesto en esta comparación del primer trimestre cumple la expectativa del negocio.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla los resultados de la producción y demanda evaluada en el segundo trimestre con el proceso anterior y bajo el mismo escenario con el modelo propuesto.

Tabla 27. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre II

| Modelo Actual | TRIMESTRE II | | |
|-------------------------|--------------|--------|--------|
| | Abr | May | Jun |
| Demanda | 219000 | 235000 | 248000 |
| Producción | 224000 | 222000 | 164000 |
| Cumplimiento trimestral | 102% | 94% | 66% |

Elaborado por: Autor

Tabla 28. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre II

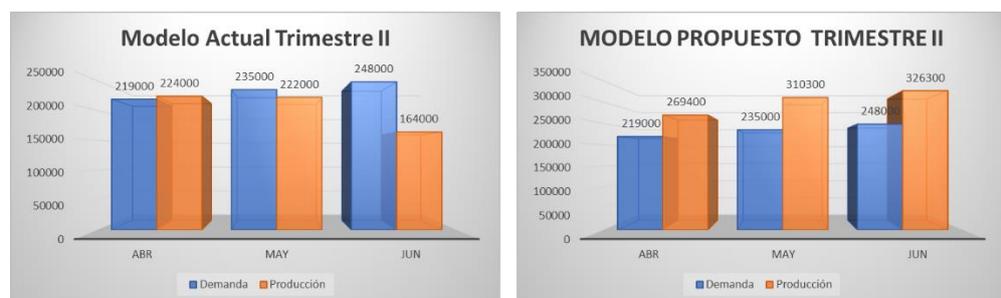
| Modelo Propuesto | TRIMESTRE II | | |
|------------------|--------------|--------|--------|
| | Abr | May | Jun |
| Demanda | 219000 | 235000 | 248000 |
| Producción | 269400 | 310300 | 326300 |

| | | | |
|-------------------------|------|------|------|
| Cumplimiento trimestral | 123% | 132% | 132% |
|-------------------------|------|------|------|

Elaborado por: Autor

Para el segundo trimestre, se logra evidenciar que con el modelo actual los índices de producción no llegan a satisfacer la demanda, mientras que al observar el modelo propuesto se ve una armonía entre la demanda y la producción, considerando además el stock de seguridad establecido.

Figura 32 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre II



Elaborado por: Autor

Se puede apreciar que el modelo propuesto en esta comparación del segundo trimestre cumple la expectativa del negocio.

Posteriormente, se muestra en la siguiente tabla los resultados de la producción y demanda evaluada en el tercer trimestre con el proceso anterior y bajo el mismo escenario con el modelo propuesto.

Tabla 29. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre III

| Modelo Actual | TRIMESTRE III | | |
|-------------------------|---------------|--------|--------|
| | Jul | Ago | Sep |
| Demanda | 235000 | 228000 | 230000 |
| Producción | 288000 | 210000 | 165000 |
| Cumplimiento trimestral | 123% | 92% | 72% |

Elaborado por: Autor

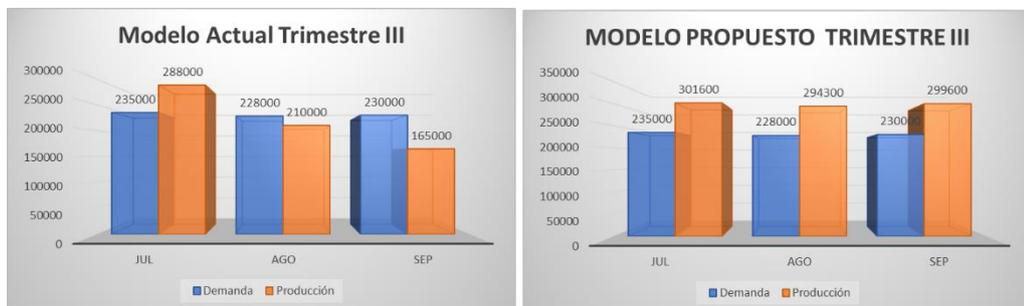
Tabla 30. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre III

| Modelo Propuesto | TRIMESTRE III | | |
|-------------------------|---------------|--------|--------|
| | Jul | Ago | Sep |
| Demanda | 235000 | 228000 | 230000 |
| Producción | 301600 | 294300 | 299600 |
| Cumplimiento trimestral | 128% | 129% | 130% |

Elaborado por: Autor

Para el tercer trimestre, se logra evidenciar que con el modelo actual los índices de producción no llegan a satisfacer la demanda, mientras que al observar el modelo propuesto se ve una armonía entre la demanda y la producción, considerando además el stock de seguridad establecido.

Figura 33 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre III



Elaborado por: Autor

Se puede apreciar que el modelo propuesto en esta comparación del tercer trimestre cumple la expectativa del negocio.

Finalmente, se muestra en la siguiente tabla los resultados de la producción y demanda evaluada en el cuarto trimestre con el proceso anterior y bajo el mismo escenario con el modelo propuesto.

Tabla 31. Producción – Demanda (Modelo Actual) Trimestre IV

| Modelo Actual | TRIMESTRE IV | | |
|-------------------------|--------------|--------|--------|
| | Oct | Nov | Dic |
| Demanda | 219000 | 221000 | 204000 |
| Producción | 272000 | 282000 | 197000 |
| Cumplimiento trimestral | 124% | 128% | 97% |

Elaborado por: Autor

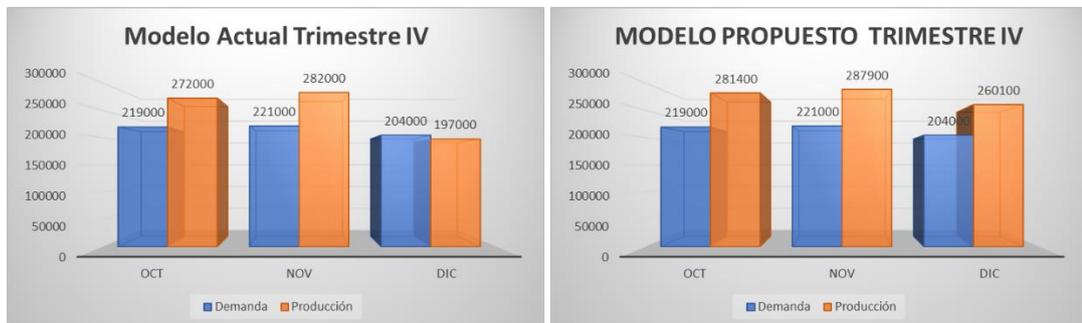
Tabla 32. Producción – Demanda (Modelo Propuesto) Trimestre IV

| Modelo Propuesto | TRIMESTRE IV | | |
|-------------------------|--------------|--------|--------|
| | Oct | Nov | Dic |
| Demanda | 219000 | 221000 | 204000 |
| Producción | 281400 | 287900 | 260100 |
| Cumplimiento trimestral | 128% | 130% | 128% |

Elaborado por: Autor

Para el cuarto trimestre, se logra evidenciar que con el modelo actual los índices de producción no llegan a satisfacer la demanda, mientras que al observar el modelo propuesto se ve una armonía entre la demanda y la producción, considerando además el stock de seguridad establecido.

Figura 34 Comparación Modelo Actual – Modelo Propuesto Trimestre III

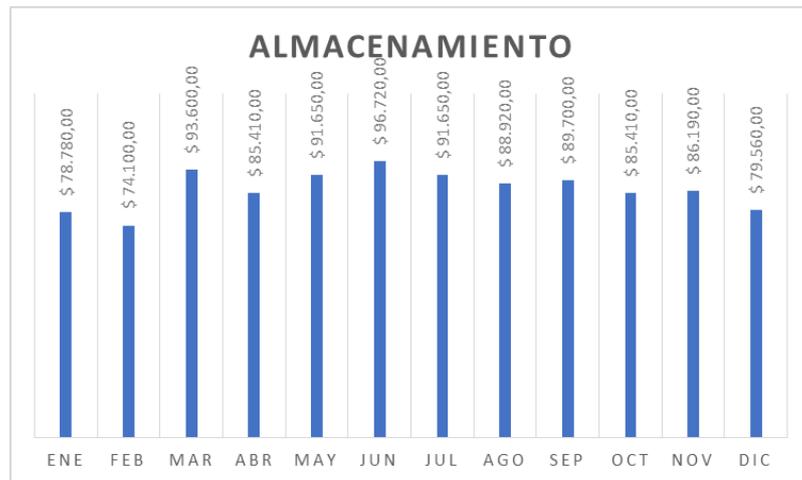


Elaborado por: Autor

Se puede apreciar que el modelo propuesto en esta comparación del cuarto trimestre cumple la expectativa del negocio.

Así mismo se puede apreciar en el siguiente gráfico el resumen de los costos totales por almacenamiento en relación a la producción realizada.

Figura 35 Comparación Modelo Actual – Almacenamiento



Elaborado por: Autor

Se puede apreciar que, en los meses de marzo, mayo y el costo de almacenamiento se incrementa.

3.7. Visualización del MRP

Una vez que se ha concluido el análisis se plantea el Demand Driven – MRP a fin de conocer el óptimo reabastecimiento de los materiales de producción, considerando los índices en su total cumplimiento.

Figura 36 Resumen MRP

| RESUMEN MRP | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|--------------|
| SKU | PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD | | | | Inventario | 14000 |
| | | | | Costo Almacenamiento | | 18200 |
| | | | | Costo Producción | | 4200 |
| Datos Importantes | | | | | | |
| Consumo Lámina Primaria | | 8 | Costo Almacenamiento | | 1,3 | |
| Consumo Semielaborados | | 2,7 | Costo de Producción | | 0,3 | |
| Demanda Requerida | | | | | | |
| Primer Semestre | | | | | | |
| | Enero | Feb | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
| Demanda | 202000 | 190000 | 240000 | 219000 | 235000 | 248000 |
| Produccion | 309200 | 243400 | 327000 | 269400 | 310300 | 326300 |
| Reorden | | | | | | |
| Lamina Primaria | | 4632000 | | | 4553600 | |
| Semielaborado | | 1563300 | | | 1536840 | |
| Stock Requerido | | | | | | |
| Lamina Primaria | 2473600 | 1947200 | 2616000 | 2155200 | 2482400 | 2610400 |
| Semielaborado | 834840 | 657180 | 882900 | 727380 | 837810 | 881010 |
| Stock Actual | | | | | | |
| Lamina Primaria | 4420800 | | 100% | | | |
| Semielaborado | 1492020 | | 90% | | | |

Elaborado por: Autor

Se plantea el siguiente buffer a fin de cumplir la demanda:

Tabla 33 Buffer para MOQ

| Color | Rango |
|----------|------------------------------|
| Verde | Mayor igual al 90 % del MOQ. |
| Amarillo | Entre 50% y 89% del MOQ. |
| Rojo | Menor al 50% del MOQ. |

Elaborado por: Autor

El buffer siguiente describe la siguiente política para el MOQ, a fin de cumplir con la demanda y el nivel de servicio.

Desglosando el margen de materiales de lámina primaria, se debería considerar el siguiente umbral:

Tabla 34. Topes de Buffer de M_1

| M_1 | >90% | 50 -89% | < 50% |
|-------|---------|---------|--------|
| ene | 2473600 | 1236800 | 618400 |
| feb | 1947200 | 973600 | 486800 |
| mar | 2616000 | 1308000 | 654000 |
| abr | 2155200 | 1077600 | 538800 |
| may | 2482400 | 1241200 | 620600 |
| jun | 2610400 | 1305200 | 652600 |
| jul | 2412800 | 1206400 | 603200 |
| ago | 2354400 | 1177200 | 588600 |
| sep | 2396800 | 1198400 | 599200 |
| oct | 2251200 | 1125600 | 562800 |
| nov | 2303200 | 1151600 | 575800 |
| dic | 2080800 | 1040400 | 520200 |

Elaborado por: Autor

Desglosando el margen de materiales de lámina primaria, se debería considerar el siguiente umbral:

Tabla 35. Topes de Buffer de M₂

| M ₂ | >90% | 50 -89% | < 50% |
|----------------|--------|---------|----------|
| ene | 834840 | 417420 | 208710 |
| feb | 657180 | 328590 | 164295 |
| mar | 882900 | 441450 | 220725 |
| abr | 727380 | 363690 | 181845 |
| may | 837810 | 418905 | 209452,5 |
| jun | 881010 | 440505 | 220252,5 |
| jul | 814320 | 407160 | 203580 |
| ago | 794610 | 397305 | 198652,5 |
| sep | 808920 | 404460 | 202230 |
| oct | 759780 | 379890 | 189945 |
| nov | 777330 | 388665 | 194332,5 |
| dic | 702270 | 351135 | 175567,5 |

Elaborado por: Autor

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se ha observado a lo largo del desarrollo del proyecto, el modelo planteado, cubre los objetivos planteados, permitiendo a la organización ser cada vez más competente en su proceso de planificación y de producción, permite un ordenamiento de los procesos ya que se tiene un control numérico, que basado en indicadores se puede tomar decisiones.

Es importante mencionar que los costos asociados a la implementación tienen como resultado un mayor beneficio, siendo esto una inversión en aprendizaje, nuevas formas de trabajo y sobre todo incursionar en la automatización.

En el mercado existe muchos software que permiten ejecutar eficazmente un plan de producción, sin embargo si este no se encuentra parametrizado, no funcionará ante las expectativas del negocio, por ello este modelo se integra técnicamente y de manera flexible ante los parámetros establecidos en el software, siendo un complemento importante para los resultados esperados, así mismo de no contar con un software informático, el modelo funciona por si solo en una hoja de cálculo, no requiere más que el conocimiento y habilidad técnica para poder ejecutarlo sin problemas.

Los beneficios son claramente identificables con el desarrollo de este modelo, ya que el área de ventas tendrá que ajustar su modelo de predicción con estimaciones cada vez más desafiantes, que minimicen los errores y por ende que maximicen las ganancias.

4.1 Conclusiones

- El modelo ha permitido gestionar la producción mediante un Demand Driven – MRP (Planificación de Requerimientos de Material Impulsados por la Demanda), considerando un modelo matemático determinístico, basado en la programación lineal, para de esta forma cumplir con las necesidades del negocio, impulsando la eficacia en el área de producción, para así establecer los niveles de inventario óptimos de las materias primas que se están analizando.
- Se realizó un análisis ABC considerando el historial de ventas de las líneas de manufactura de papel higiénico y se seleccionó al sku con mayor representación de ventas PH SCOTT RINDEM 2P 12X4 PLUS TRAD, siendo este el de mayor consumo.
- Se determinaron los niveles óptimos de inventario para los insumos de la fabricación de papel de higiénico mediante una política de inventario mensualizado que consiste en que la orden de requisición se realiza en los meses de febrero, mayo y agosto, tomando como referencia, la necesidad del mes posterior, la necesidad del trimestre y el lote de seguridad que se produce en el mes que se realiza la compra.
- Con este trabajo se evidencia una mejora en el nivel de servicio en un 90% de las áreas de negocio y así mismo al área de producción mediante la adherencia al plan mensualizado, ya que el producir unidades a última hora o realizar una 'para' de la máquina por falta de inventario ya no es ahora un problema.

- Se controla la demanda no satisfecha, considerando una política de inventario que debe considerar el 30% de la producción pronosticada, manteniendo los costos al margen.

4.2 Recomendaciones

- Del resultado del análisis ABC, se recomienda realizar el estudio con el resto de sku's que conforman el segmento A y los principales del segmento B, a fin de que en el mediano plazo se pueda integrar todo el inventario dentro del MRP.
- Se recomienda ajustar trimestralmente los niveles óptimos de inventario para los insumos en la fabricación de sku manteniendo que la orden de requisición se realice en los meses de febrero, mayo y agosto, así mismo que mantenga como input la ecuación actual, (consumo del mes actúa, la necesidad del trimestre y el lote de seguridad que se produce en el mes que se realiza la compra) podría revisarse además dentro de la ecuación eliminar la necesidad del mes inmediato posterior, ya que su planificación se realizó tres meses atrás.
- Se recomienda, implementar un Balanced Score Card que permita visualizar de manera objetiva los índices de nivel de servicios, e incorporar dentro de la organización un plan de incentivos de manera que contribuya al Great Place to Work que apuntan hoy en día las empresas.

Bibliografía

- Cruz Fernández, A. (2017). *Gestión de inventarios. COML0210*. Antequera: ic editorial.
- Anaya Tejero, J. J. (2015). *Conseguir este libro impreso*. Madrid: ECIC.
- Ballou, R. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. México.
- Borda Ángel, L. G. (09 de Marzo de 2016). *Repositorio EAFIT*. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9328/LuisGabriel_BordaAngel_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Castro Martínez, A. (2015). *UF0475 - Planificación y gestión de la demanda*. Madrid: Elearning S.L.
- Diario el Comercio. (2014). *www.elcomercio.com*. Obtenido de www.elcomercio.com/actualidad/empresa-mercado-papel-higienico-ecuador.html
- Ediciones Díaz de Santos, S.A . (2000). *Marketing mix: conceptos, estrategias y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A .
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México.
- Krajewski, L., & Ritzman, L. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. México.
- Pérez Castro, M. G. (09 de Marzo de 2018). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/43682/D-CD102914.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Revista Lideres. (25 de Enero de 2015). *Revista Lideres*. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-locales-papel-higienico.html>
- Teschke , K., & Demers, P. (2017). *Industria del papel y de la pasta de papel*. Madrid.
- Vainrub, R. (2000). *Nacimiento de una empresa*. Caracas.

ANEXOS

ANEXO 1 Ejecución en GAMS

General Algebraic Modeling System
Compilation

```
1 *sets i sku /p1/
2 sets j mes /ene, feb, mar, abr, may, jun, jul, ago, sep, oct, nov,
dic/
3 sets k material /m1, m2/
4 set t trimestre / 1, 2, 3/;
5
6 Table M(t,j) meses asociados al trimestre t
7     ene   feb   mar   abr   may   jun jul   ago   sep   oct   nov
dic
8 1  0     0     0     1     1     1  0     0     0     0     0
9 2  0     0     0     0     0     0  1     1     1     0     0
10 3  0     0     0     0     0     0  0     0     0     1     1     1
11
12 Table M1(t,j) Mes inicial de cada trimestre
13     ene   feb   mar   abr   may   jun   jul   ago   sep   oct   nov
dic
14 1  0     0     1     0     0     0   0     0     0     0     0
0
15 2  0     0     0     0     0     1   0     0     0     0     0
0
16 3  0     0     0     0     0     0   0     0     1     0     0
0
```

17

18 Parameter DEMAND(j) Demanda en el mes j

19 /

20 ene 202000

21 feb 190000

22 mar 240000

23 abr 210000

24 may 235000

25 jun 248000

26 jul 235000

27 ago 228000

28 sep 230000

29 oct 219000

30 nov 221000

31 dic 204000/;

32

33

34 Parameter LOTESEG(j) Lote de Seguridad mes j

35 /

36 ene 60600

37 feb 57000

38 mar 72000

39 abr 65700

40 may 70500

41 jun 74400

42 jul 70500

43 ago 68400

44 sep 69000
 45 oct 65700
 46 nov 66300
 47 dic 61200
 48 /;
 49 Parameter MATERIAL(k) Cantidad de materiales k por producto
 50 /m1 8
 51 m2 2.7/;
 52 Scalar LS Tamaño del lote minimo /14000/;
 53 Scalar COSTA Costo de Almacenamiento /1.3/;
 54 Scalar COSTH Costo de Producción Variable /0.3/;
 55 Scalar COSTF Costo de Produccion Fija /1200/;
 56 Scalar cap Capacidad maxima /350000/;
 57
 58 Parameter
 59 INI(j) Inventario Inicial del Producto
 60 /
 61 ene 14000
 62 /
 63
 64 binary variables
 65 y(j) 1 si se produce el lote minimo
 66 Variables
 67 z función objetivo
 68 x(j) Cantidad de sku producido en el mes j
 69 matprim(k,j) Materia prima k requerida en el mes j
 70 pr(t) Almacena Necesidad de primer trimestre

```

71  cmp(t,k)      Cantidad de materia prima a comprar en el trimestre t
72  Positive Variables
73  invf(j)      Inventario final del producto i en el mes j
74
75  ;
76
77  Equations
78  obj          funcion objetivo
79  lotemin     lote minimo de produccion
80  stockf      stock final del mes j
81  demanda     cumplimiento de la demanda
82  capacidad   capacidad
83  prb         comprobación
84  mprim       materia prima k a consumir en el mes j
85  prt         produccion esperada para solicitar punto de reorden
86  comprast    Compras de materia prima en el trimestre t
87  ;
88
89  obj..          z =e= sum((j),invf(j)*COSTA) +
sum((j),x(j)*COSTH)+sum
((j),y(j)*COSTF);
90  stockf(j)..   INI(j)+invf(j-1)+x(j)-demand(j)-
loteseg(j)=e=invf(j);
91  lotemin(j)..  x(j)=g=ls*y(j);
92  demanda(j)..  x(j)=g=demand(j)*y(j);
93  capacidad(j).. x(j)=l=cap*y(j);
94  prb(j)..      invf(j)=g=loteseg(j);
95  mprim(k,j)..  x(j)*material(k)=e=matprim(k,j);

```

```

96      prt(t)..          sum((j),x(j)*M(t,j))-
sum((j),x(j)*M1(t,j))=e=Pr(t);
97  comprast(t,k)..    pr(t)*material(k)=e=cmp(t,k);
98
99
100 model mrp4 /all/
101 solve mrp4 minimizing z using mip
102 display z.l, x.l, y.l, invf.l, matprim.l, pr.l, cmp.l
103 execute_unload 'resulmrp1.gdx' z.L, x.l, y.l, invf.l, matprim.l,
pr.l, cmp
    .l;

```

```

COMPILATION TIME      =          0.000 SECONDS      3 MB  24.9.2 r64480 WEX-
WEI

```

General Algebraic Modeling System

Equation Listing SOLVE mrp4 Using MIP From line 102

---- obj =E= funcion objetivo

obj.. - 1200*y(ene) - 1200*y(feb) - 1200*y(mar) - 1200*y(abr) -
1200*y(may)

- 1200*y(jun) - 1200*y(jul) - 1200*y(ago) - 1200*y(sep) - 1200*y(oct)

- 1200*y(nov) - 1200*y(dic) + z - 0.3*x(ene) - 0.3*x(feb) -
0.3*x(mar)

- 0.3*x(abr) - 0.3*x(may) - 0.3*x(jun) - 0.3*x(jul) - 0.3*x(ago)

- 0.3*x(sep) - 0.3*x(oct) - 0.3*x(nov) - 0.3*x(dic) - 1.3*invf(ene)

- 1.3*invf(feb) - 1.3*invf(mar) - 1.3*invf(abr) - 1.3*invf(may)

- 1.3*invf(jun) - 1.3*invf(jul) - 1.3*invf(ago) - 1.3*invf(sep)

- 1.3*invf(oct) - 1.3*invf(nov) - 1.3*invf(dic) =E= 0 ; (LHS = 0)

---- lotemin =G= lote minimo de produccion

lotemin(ene).. - 14000*y(ene) + x(ene) =G= 0 ; (LHS = 0)

lotemin(feb).. - 14000*y(feb) + x(feb) =G= 0 ; (LHS = 0)

lotemin(mar).. - 14000*y(mar) + x(mar) =G= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- stockf =E= stock final del mes j

stockf(ene).. x(ene) - invf(ene) =E= 248600 ; (LHS = 0, INFES = 248600
****)

stockf(feb).. x(feb) + invf(ene) - invf(feb) =E= 247000 ;

(LHS = 0, INFES = 247000 ****)

stockf(mar).. x(mar) + invf(feb) - invf(mar) =E= 312000 ;

(LHS = 0, INFES = 312000 ****)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- demanda =G= cumplimiento de la demanda

demanda(ene).. - 202000*y(ene) + x(ene) =G= 0 ; (LHS = 0)

demanda(feb).. - 190000*y(feb) + x(feb) =G= 0 ; (LHS = 0)

demanda(mar).. - 240000*y(mar) + x(mar) =G= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- capacidad =L= capacidad

capacidad(ene).. - 350000*y(ene) + x(ene) =L= 0 ; (LHS = 0)

capacidad(feb).. - 350000*y(feb) + x(feb) =L= 0 ; (LHS = 0)

capacidad(mar).. - 350000*y(mar) + x(mar) =L= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- prb =G= comprobación

prb(ene).. invf(ene) =G= 60600 ; (LHS = 0, INFES = 60600 ****)

prb(feb).. invf(feb) =G= 57000 ; (LHS = 0, INFES = 57000 ****)

prb(mar).. invf(mar) =G= 72000 ; (LHS = 0, INFES = 72000 ****)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- mprim =E= materia prima k a consumir en el mes j

mprim(m1,ene).. $8*x(ene) - matprim(m1,ene) =E= 0 ; (LHS = 0)$

mprim(m1,feb).. $8*x(feb) - matprim(m1,feb) =E= 0 ; (LHS = 0)$

mprim(m1,mar).. $8*x(mar) - matprim(m1,mar) =E= 0 ; (LHS = 0)$

REMAINING 21 ENTRIES SKIPPED

---- prt =E= produccion esperada para solicitar punto de reorden

prt(1).. $-x(mar) + x(abr) + x(may) + x(jun) - pr(1) =E= 0 ; (LHS = 0)$

prt(2).. $-x(jun) + x(jul) + x(ago) + x(sep) - pr(2) =E= 0 ; (LHS = 0)$

prt(3).. $-x(sep) + x(oct) + x(nov) + x(dic) - pr(3) =E= 0 ; (LHS = 0)$

---- comprast =E= Compras de materia prima en el trimestre t

comprast(1,m1).. $8*pr(1) - cmp(1,m1) =E= 0 ; (LHS = 0)$

comprast(1,m2).. 2.7*pr(1) - cmp(1,m2) =E= 0 ; (LHS = 0)

comprast(2,m1).. 8*pr(2) - cmp(2,m1) =E= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 3 ENTRIES SKIPPED

General Algebraic Modeling System

Column Listing SOLVE mrp4 Using MIP From line 102

---- y 1 si se produce el lote minimo

y(ene)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, 1, 0)
-1200 obj
-14000 lotemin(ene)
-202000 demanda(ene)
-350000 capacidad(ene)

y(feb)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, 1, 0)
-1200 obj
-14000 lotemin(feb)
-190000 demanda(feb)
-350000 capacidad(feb)

y(mar)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, 1, 0)
-1200 obj
-14000 lotemin(mar)
-240000 demanda(mar)
-350000 capacidad(mar)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- z función objetivo

z

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

1 obj

---- x Cantidad de sku producido en el mes j

x(ene)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-0.3 obj

1 lotemin(ene)

1 stockf(ene)

1 demanda(ene)

1 capacidad(ene)

8 mprim(m1,ene)

2.7 mprim(m2,ene)

x(feb)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-0.3 obj

1 lotemin(feb)

1 stockf(feb)

```
1      demanda (feb)
1      capacidad (feb)
8      mprim (m1, feb)
2.7    mprim (m2, feb)
```

x (mar)

```
(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-0.3   obj
1      lotemin (mar)
1      stockf (mar)
1      demanda (mar)
1      capacidad (mar)
8      mprim (m1, mar)
2.7    mprim (m2, mar)
-1     prt (1)
```

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- matprim Materia prima k requerida en el mes j

matprim (m1, ene)

```
(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-1     mprim (m1, ene)
```

matprim (m1, feb)

```
(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-1     mprim (m1, feb)
```

```
matprim(m1,mar)
          (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-1      mprim(m1,mar)
```

REMAINING 21 ENTRIES SKIPPED

---- pr Almacena Necesidad de primer trimestre

```
pr(1)
          (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-1      prt(1)
      8      comprast(1,m1)
      2.7    comprast(1,m2)
```

```
pr(2)
          (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-1      prt(2)
      8      comprast(2,m1)
      2.7    comprast(2,m2)
```

```
pr(3)
          (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
-1      prt(3)
      8      comprast(3,m1)
      2.7    comprast(3,m2)
```

---- cmp Cantidad de materia prima a comprar en el trimestre t

cmp (1,m1)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-1 comprast (1,m1)

cmp (1,m2)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-1 comprast (1,m2)

cmp (2,m1)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-1 comprast (2,m1)

REMAINING 3 ENTRIES SKIPPED

---- invf Inventario final del producto i en el mes j

invf (ene)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)

-1.3 obj

-1 stockf (ene)

1 stockf (feb)

1 prb (ene)

invf (feb)

```
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-1.3    obj
-1      stockf (feb)
1       stockf (mar)
1       prb (feb)

invf (mar)
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-1.3    obj
-1      stockf (mar)
1       stockf (abr)
1       prb (mar)
```

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

General Algebraic Modeling System

Model Statistics SOLVE mrp4 Using MIP From line 102

MODEL STATISTICS

| | | | |
|---------------------|-----|--------------------|----|
| BLOCKS OF EQUATIONS | 9 | SINGLE EQUATIONS | 94 |
| BLOCKS OF VARIABLES | 7 | SINGLE VARIABLES | 70 |
| NON ZERO ELEMENTS | 231 | DISCRETE VARIABLES | 12 |

GENERATION TIME = 0.015 SECONDS 4 MB 24.9.2 r64480 WEX-WEI

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 4 MB 24.9.2 r64480 WEX-WEI

General Algebraic Modeling System

Solution Report SOLVE mrp4 Using MIP From line 102

S O L V E S U M M A R Y

| | | | |
|--------|-------|-----------|----------|
| MODEL | mrp4 | OBJECTIVE | z |
| TYPE | MIP | DIRECTION | MINIMIZE |
| SOLVER | CPLEX | FROM LINE | 102 |

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 8 Integer Solution

**** OBJECTIVE VALUE 2109240.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.047 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT 11 2000000000

IBM ILOG CPLEX 24.9.2 r64480 Released Nov 14, 2017 WEI x86 64bit/MS
Windows

Cplex 12.7.1.0

Space for names approximately 0.00 Mb

Use option 'names no' to turn use of names off

MIP status(102): integer optimal, tolerance

Cplex Time: 0.00sec (det. 0.16 ticks)

Fixing integer variables, and solving final LP...

Fixed MIP status(1): optimal

Cplex Time: 0.00sec (det. 0.08 ticks)

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution: 2162280.000000 (0 iterations, 0 nodes)

Final Solve: 2109240.000000 (11 iterations)

Best possible: 1999800.000000

Absolute gap: 162480.000000

Relative gap: 0.075143

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|--------------|-------|-------|-------|----------|
| ---- EQU obj | . | . | . | 1.000 |

obj funcion objetivo

---- EQU lotemin lote minimo de produccion

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|-------|-----------|-------|----------|
| ene | . | 2.9520E+5 | +INF | . |
| feb | . | 2.2940E+5 | +INF | . |
| mar | . | 3.1300E+5 | +INF | . |
| abr | . | 2.5540E+5 | +INF | . |
| may | . | 2.9630E+5 | +INF | . |

| | | | | |
|-----|---|-----------|------|---|
| jun | . | 3.1230E+5 | +INF | . |
| jul | . | 2.8760E+5 | +INF | . |
| ago | . | 2.8030E+5 | +INF | . |
| sep | . | 2.8560E+5 | +INF | . |
| oct | . | 2.6740E+5 | +INF | . |
| nov | . | 2.7390E+5 | +INF | . |
| dic | . | 2.4610E+5 | +INF | . |

---- EQU stockf stock final del mes j

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|-----------|-----------|-----------|----------|
| ene | 2.4860E+5 | 2.4860E+5 | 2.4860E+5 | 0.300 |
| feb | 2.4700E+5 | 2.4700E+5 | 2.4700E+5 | 0.300 |
| mar | 3.1200E+5 | 3.1200E+5 | 3.1200E+5 | 0.300 |
| abr | 2.7570E+5 | 2.7570E+5 | 2.7570E+5 | 0.300 |
| may | 3.0550E+5 | 3.0550E+5 | 3.0550E+5 | 0.300 |
| jun | 3.2240E+5 | 3.2240E+5 | 3.2240E+5 | 0.300 |
| jul | 3.0550E+5 | 3.0550E+5 | 3.0550E+5 | 0.300 |
| ago | 2.9640E+5 | 2.9640E+5 | 2.9640E+5 | 0.300 |
| sep | 2.9900E+5 | 2.9900E+5 | 2.9900E+5 | 0.300 |
| oct | 2.8470E+5 | 2.8470E+5 | 2.8470E+5 | 0.300 |
| nov | 2.8730E+5 | 2.8730E+5 | 2.8730E+5 | 0.300 |
| dic | 2.6520E+5 | 2.6520E+5 | 2.6520E+5 | 0.300 |

---- EQU demanda cumplimiento de la demanda

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|-------|-----------|-------|----------|
| ene | . | 1.0720E+5 | +INF | . |
| feb | . | 53400.000 | +INF | . |
| mar | . | 87000.000 | +INF | . |
| abr | . | 59400.000 | +INF | . |
| may | . | 75300.000 | +INF | . |
| jun | . | 78300.000 | +INF | . |
| jul | . | 66600.000 | +INF | . |
| ago | . | 66300.000 | +INF | . |
| sep | . | 69600.000 | +INF | . |
| oct | . | 62400.000 | +INF | . |
| nov | . | 66900.000 | +INF | . |
| dic | . | 56100.000 | +INF | . |

---- EQU capacidad capacidad

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|-------|-----------|-------|----------|
| ene | -INF | -4.080E+4 | . | . |
| feb | -INF | -1.066E+5 | . | . |
| mar | -INF | -2.300E+4 | . | . |
| abr | -INF | -8.060E+4 | . | . |
| may | -INF | -3.970E+4 | . | . |
| jun | -INF | -2.370E+4 | . | . |
| jul | -INF | -4.840E+4 | . | . |
| ago | -INF | -5.570E+4 | . | . |

| | | | | |
|-----|------|-----------|---|---|
| sep | -INF | -5.040E+4 | . | . |
| oct | -INF | -6.860E+4 | . | . |
| nov | -INF | -6.210E+4 | . | . |
| dic | -INF | -8.990E+4 | . | . |

---- EQU prb comprobación

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|-----------|-----------|-------|----------|
| ene | 60600.000 | 60600.000 | +INF | 1.300 |
| feb | 57000.000 | 57000.000 | +INF | 1.300 |
| mar | 72000.000 | 72000.000 | +INF | 1.300 |
| abr | 65700.000 | 65700.000 | +INF | 1.300 |
| may | 70500.000 | 70500.000 | +INF | 1.300 |
| jun | 74400.000 | 74400.000 | +INF | 1.300 |
| jul | 70500.000 | 70500.000 | +INF | 1.300 |
| ago | 68400.000 | 68400.000 | +INF | 1.300 |
| sep | 69000.000 | 69000.000 | +INF | 1.300 |
| oct | 65700.000 | 65700.000 | +INF | 1.300 |
| nov | 66300.000 | 66300.000 | +INF | 1.300 |
| dic | 61200.000 | 61200.000 | +INF | 1.600 |

---- EQU mprim materia prima k a consumir en el mes j

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|--------|-------|-------|-------|----------|
| m1.ene | . | . | . | EPS |

| | | | | |
|--------|---|---|---|-----|
| m1.feb | . | . | . | EPS |
| m1.mar | . | . | . | EPS |
| m1.abr | . | . | . | EPS |
| m1.may | . | . | . | EPS |
| m1.jun | . | . | . | EPS |
| m1.jul | . | . | . | EPS |
| m1.ago | . | . | . | EPS |
| m1.sep | . | . | . | EPS |
| m1.oct | . | . | . | EPS |
| m1.nov | . | . | . | EPS |
| m1.dic | . | . | . | EPS |
| m2.ene | . | . | . | EPS |
| m2.feb | . | . | . | EPS |
| m2.mar | . | . | . | EPS |
| m2.abr | . | . | . | EPS |
| m2.may | . | . | . | EPS |
| m2.jun | . | . | . | EPS |
| m2.jul | . | . | . | EPS |
| m2.ago | . | . | . | EPS |
| m2.sep | . | . | . | EPS |
| m2.oct | . | . | . | EPS |
| m2.nov | . | . | . | EPS |
| m2.dic | . | . | . | EPS |

---- EQU prt produccion esperada para solicitar punto de reorden

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

| | | | | |
|---|---|---|---|-----|
| 1 | . | . | . | EPS |
| 2 | . | . | . | EPS |
| 3 | . | . | . | EPS |

---- EQU comprast Compras de materia prima en el trimestre t

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|------|-------|-------|-------|----------|
| 1.m1 | . | . | . | EPS |
| 1.m2 | . | . | . | EPS |
| 2.m1 | . | . | . | EPS |
| 2.m2 | . | . | . | EPS |
| 3.m1 | . | . | . | EPS |
| 3.m2 | . | . | . | EPS |

---- VAR y 1 si se produce el lote minimo

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|-------|-------|-------|----------|
| ene | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| feb | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| mar | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| abr | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| may | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| jun | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| jul | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |

| | | | | |
|-----|---|-------|-------|----------|
| ago | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| sep | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| oct | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| nov | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |
| dic | . | 1.000 | 1.000 | 1200.000 |

| | | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|------|-------|-------|-----------|-------|----------|
| ---- | VAR z | -INF | 2.1092E+6 | +INF | . |

z función objetivo

---- VAR x Cantidad de sku producido en el mes j

| | | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-----|------|-----------|-------|-------|----------|
| ene | -INF | 3.0920E+5 | | +INF | . |
| feb | -INF | 2.4340E+5 | | +INF | . |
| mar | -INF | 3.2700E+5 | | +INF | . |
| abr | -INF | 2.6940E+5 | | +INF | . |
| may | -INF | 3.1030E+5 | | +INF | . |
| jun | -INF | 3.2630E+5 | | +INF | . |
| jul | -INF | 3.0160E+5 | | +INF | . |
| ago | -INF | 2.9430E+5 | | +INF | . |
| sep | -INF | 2.9960E+5 | | +INF | . |
| oct | -INF | 2.8140E+5 | | +INF | . |
| nov | -INF | 2.8790E+5 | | +INF | . |

dic -INF 2.6010E+5 +INF .

---- VAR matprim Materia prima k requerida en el mes j

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|--------|-------|-----------|-------|----------|
| m1.ene | -INF | 2.4736E+6 | +INF | . |
| m1.feb | -INF | 1.9472E+6 | +INF | . |
| m1.mar | -INF | 2.6160E+6 | +INF | . |
| m1.abr | -INF | 2.1552E+6 | +INF | . |
| m1.may | -INF | 2.4824E+6 | +INF | . |
| m1.jun | -INF | 2.6104E+6 | +INF | . |
| m1.jul | -INF | 2.4128E+6 | +INF | . |
| m1.ago | -INF | 2.3544E+6 | +INF | . |
| m1.sep | -INF | 2.3968E+6 | +INF | . |
| m1.oct | -INF | 2.2512E+6 | +INF | . |
| m1.nov | -INF | 2.3032E+6 | +INF | . |
| m1.dic | -INF | 2.0808E+6 | +INF | . |
| m2.ene | -INF | 8.3484E+5 | +INF | . |
| m2.feb | -INF | 6.5718E+5 | +INF | . |
| m2.mar | -INF | 8.8290E+5 | +INF | . |
| m2.abr | -INF | 7.2738E+5 | +INF | . |
| m2.may | -INF | 8.3781E+5 | +INF | . |
| m2.jun | -INF | 8.8101E+5 | +INF | . |
| m2.jul | -INF | 8.1432E+5 | +INF | . |
| m2.ago | -INF | 7.9461E+5 | +INF | . |
| m2.sep | -INF | 8.0892E+5 | +INF | . |

| | | | | |
|--------|------|-----------|------|---|
| m2.oct | -INF | 7.5978E+5 | +INF | . |
| m2.nov | -INF | 7.7733E+5 | +INF | . |
| m2.dic | -INF | 7.0227E+5 | +INF | . |

---- VAR pr Almacena Necesidad de primer trimestre

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---|-------|-----------|-------|----------|
| 1 | -INF | 5.7900E+5 | +INF | . |
| 2 | -INF | 5.6920E+5 | +INF | . |
| 3 | -INF | 5.2980E+5 | +INF | . |

---- VAR cmp Cantidad de materia prima a comprar en el trimestre t

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|------|-------|-----------|-------|----------|
| 1.m1 | -INF | 4.6320E+6 | +INF | . |
| 1.m2 | -INF | 1.5633E+6 | +INF | . |
| 2.m1 | -INF | 4.5536E+6 | +INF | . |
| 2.m2 | -INF | 1.5368E+6 | +INF | . |
| 3.m1 | -INF | 4.2384E+6 | +INF | . |
| 3.m2 | -INF | 1.4305E+6 | +INF | . |

---- VAR invf Inventario final del producto i en el mes j

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|--|-------|-------|-------|----------|
|--|-------|-------|-------|----------|

| | | | | |
|-----|---|-----------|------|---|
| ene | . | 60600.000 | +INF | . |
| feb | . | 57000.000 | +INF | . |
| mar | . | 72000.000 | +INF | . |
| abr | . | 65700.000 | +INF | . |
| may | . | 70500.000 | +INF | . |
| jun | . | 74400.000 | +INF | . |
| jul | . | 70500.000 | +INF | . |
| ago | . | 68400.000 | +INF | . |
| sep | . | 69000.000 | +INF | . |
| oct | . | 65700.000 | +INF | . |
| nov | . | 66300.000 | +INF | . |
| dic | . | 61200.000 | +INF | . |

**** REPORT SUMMARY :

| | |
|---|------------|
| 0 | NONOPT |
| 0 | INFEASIBLE |
| 0 | UNBOUNDED |

General Algebraic Modeling System
Execution

---- 102 VARIABLE z.L = 2109240.000 función objetivo

---- 102 VARIABLE x.L Cantidad de sku producido en el mes j

| | | | | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|------------|
| ene | 309200.000, | feb | 243400.000, | mar | 327000.000, | abr | 269400.000 |
| may | 310300.000, | jun | 326300.000, | jul | 301600.000, | ago | 294300.000 |
| sep | 299600.000, | oct | 281400.000, | nov | 287900.000, | dic | 260100.000 |

---- 102 VARIABLE y.L 1 si se produce el lote minimo

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|-------|
| ene | 1.000, | feb | 1.000, | mar | 1.000, | abr | 1.000, | may | 1.000, | jun | 1.000 |
| jul | 1.000, | ago | 1.000, | sep | 1.000, | oct | 1.000, | nov | 1.000, | dic | 1.000 |

---- 102 VARIABLE invf.L Inventario final del producto i en el mes j

| | | | | | | | |
|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-----------|
| ene | 60600.000, | feb | 57000.000, | mar | 72000.000, | abr | 65700.000 |
| may | 70500.000, | jun | 74400.000, | jul | 70500.000, | ago | 68400.000 |
| sep | 69000.000, | oct | 65700.000, | nov | 66300.000, | dic | 61200.000 |

---- 102 VARIABLE matprim.L Materia prima k requerida en el mes j

| | ene | feb | mar | abr | may | jun |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| m1 | 2473600.000 | 1947200.000 | 2616000.000 | 2155200.000 | 2482400.000 | 2610400.000 |
| m2 | 834840.000 | 657180.000 | 882900.000 | 727380.000 | 837810.000 | 881010.000 |
| + | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
| m1 | 2412800.000 | 2354400.000 | 2396800.000 | 2251200.000 | 2303200.000 | 2080800.000 |
| m2 | 814320.000 | 794610.000 | 808920.000 | 759780.000 | 777330.000 | 702270.000 |

---- 102 VARIABLE pr.L Almacena Necesidad de primer trimestre

1 579000.000, 2 569200.000, 3 529800.000

---- 102 VARIABLE cmp.L Cantidad de materia prima a comprar en el trimestre

| | t | |
|---|-------------|-------------|
| | m1 | m2 |
| 1 | 4632000.000 | 1563300.000 |
| 2 | 4553600.000 | 1536840.000 |
| 3 | 4238400.000 | 1430460.000 |