

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Propuesta de planificación mensual de la producción para la
línea de dulce de membrillo en la empresa Eckart
Alimentos Ltda.**

Por

**Diego Guillermo Acevedo Mancilla
Cristian Raúl Gutiérrez Lamelis**

Trabajo de Título para Optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía: Augusto Vargas Schüller

Enero, 2015

Agradecimientos

A mi padre.

A mi madre.

A mi tía.

A mi amado hermano.

A mi amada Rana.

A todos ellos, con mucho amor.

Diego

Muchas veces pensé como comenzar a escribir este apartado de nuestra tesis, muchas veces pensé en metáforas o frases que llegaran emocionalmente a quienes la lean y que hicieran sentir realmente importantes a todos aquellos que me acompañaron en este camino, hoy cuando este trabajo ya está a un paso de cerrar su ciclo, y que la imaginación cede paso a la sinceridad de mis emociones no puedo interpretar la inmensa gratitud a quienes fueron el combustible principal de este proceso, me refiero a mi familia y en especial a mis Padres, gracias por su apoyo incondicional, gracias por siempre creer que uno se puede levantar, gracias por mostrarme que las cosas no siempre son fáciles pero que la dificultad no puede ser causal de abandonar nuestros objetivos, gracias por su esfuerzo constante para que yo pueda acceder a esta educación a la que no todos pueden llegar, no existe límite para escribir los motivos de todo lo que agradezco de ustedes.

También quiero agradecer a todos quienes formaron parte de mi camino, a mis amigos, por hacer que este avanzar fuera lleno de buenos momentos, a mi amigo y compañero de tesis, por su paciencia y comprensión siempre, a nuestro profesor director, por guiarnos en momentos que nuestro norte se hacía difuso. Finalmente a mi pareja por acompañarme con amor incondicional y por ser parte de mi motivación para alcanzar cada uno de mis sueños.

Cristian Gutiérrez Lamelis

Índice

Glosario	6
Lista de tablas	7
Lista de figuras.....	8
Resumen	9
Abstract	11
Introducción	13
Capítulo 1: Antecedentes generales	14
1.1 Descripción de la empresa	14
1.1.1 Visión.....	15
1.1.2 Misión.....	15
1.2 Procesos productivos.....	19
1.2.1 Producción de dulce de membrillo	20
1.3 Proceso de venta.....	22
1.4 Descripción del problema	25
1.4.1 Análisis demanda – ventas	26
1.5 Posibles consecuencias.....	30
1.6 Objetivos.....	32
1.6.1 Objetivo general	32
1.6.2 Objetivos específicos	32
1.7 Resultados esperados.....	32
Capítulo 2: Metodologías	33
2.1 Metodologías aplicables para la identificación de la causa raíz de un problema	33
2.1.1 5 Por qué	33
2.1.2 Diagrama de causa y efecto.....	37
2.1.3 Árbol de la Realidad Actual (ARA)	40
2.2 Selección de la metodología	45
2.3 Aplicación del árbol de los 5 por qué.....	47
2.4 Planificación de la producción y niveles de detalle.....	50
2.4.1 Planificación estratégica	51
2.4.2 Planificación agregada.....	52
2.4.3 Planificación maestra de la producción	53
2.5 Métodos para el desarrollo de la planificación a mediano plazo	54

2.5.1 Métodos de comparación de alternativas	54
2.5.2 Métodos con regla de decisión	55
2.5.3 Métodos basados en programación lineal	56
2.6 Selección del método de planificación	58
2.7 Metodologías para realizar pronósticos	59
2.7.1 Promedios móviles	62
2.7.2 Suavización exponencial simple.....	63
2.7.3 Suavización exponencial con ajuste de tendencia: método de Holt	64
2.7.4 Suavización exponencial método de Holt-Winters.....	65
2.8 Proceso de selección del método de pronóstico	67
2.9 Desarrollo y selección de los métodos de pronóstico.....	69
2.10 Idoneidad de los métodos de pronóstico.....	78
2.11 Cálculo del stock de seguridad.....	83
2.11.1 Determinación del nivel apropiado de stock de seguridad.....	84
Capítulo 3: Aplicación de la metodología	85
3.1 Programación lineal.....	85
3.1.1 Definición	86
3.1.2 Conceptos básicos	87
3.1.3 Construcción del modelo matemático.....	92
Capítulo 4: Resultados y análisis	100
4.1 Noviembre 2013.....	100
4.2 Diciembre 2013.....	106
Conclusiones	110
Comentarios	112
Bibliografía.....	113
Anexos	115
Anexo I: Productos Eckart.....	115
Línea de Mermeladas	115
Línea de Dulce de Membrillo	116
Línea de Manjar	116
Anexo II: Detalle de venta mensual de cajas por producto	117
Línea de Dulce de Membrillo 2012.....	117
Línea de Dulce de Membrillo 2013.....	117
Línea Mermelada 2012.....	118
Línea Mermeladas 2013	119
Línea Manjar 2012.....	120
Línea Manjar 2013	120

Anexo III: Tablas de Pronósticos y Stock de seguridad por producto.	121
DUME0410. Método:Holt-Winters	121
DUME2516. Método: Suavización exponencial simple	122
DUME5008. Método: Holt-Winters.....	123
DUMEJB10. Método: Promedio móvil.....	124
DUMEJB25. Método:Holt-Winters.	125
DUMEJB50. Método:Holt-Winters	126
DUMELD10. Método:Holt-Winters	127
DUMELD25. Método:Holt.....	128
DUMELD50. Método: Suavización exponencial simple.	129
DUMELG33. Método: Promedio móvil.....	130
Anexo IV: Valores críticos de la distribución Chi-Cuadrado X^2	131

Glosario

Grados Brix: Es la medida de una sustancia soluble seca en una líquida lo que arroja un valor aproximado del contenido de azúcar, se expresa en “°Brix”. A través de esta medida se puede obtener indirectamente un valor objetivo del grado de madurez de la fruta.

Demanda: Se refiere a la cantidad de bienes o servicios que se solicitan o desean en un determinado mercado de una economía a un precio específico, generalmente está influenciada por un gran número de factores, siendo una de las características más importante a considerar que no son de carácter estáticos y varían a través del tiempo o en un momento determinado.

Oferta: Se refiere a la cantidad de bienes, productos o servicios que se ofrecen en un mercado bajo determinadas condiciones. Siendo una de ellas el precio y la capacidad de cada empresa.

Pronósticos: Son una predicción de eventos futuros en base a información pasada, utilizados con propósitos de planificación.

Stock de Seguridad: Es un término que describe el nivel extra de stock que se mantiene en bodega para hacer frente a eventuales rupturas de stock, ayuda que reducir las incertidumbres que se producen a partir de la oferta y la demanda.

Quiebre de Stock: Situación en el que existe una ausencia total o parcial de stock suficiente de determinado producto.

Planificación de la Producción: Acción destinada a relación apropiadamente la demanda, a través de una labor comercial, con la oferta externa dentro de un plano temporal definido a medio y largo plazo.

FillRate: Es un indicador de servicio que representa el porcentaje de la demanda que se logra satisfacer.

Lista de tablas

Tabla 1.1: Distribución trabajadores Eckart.....	16
Tabla 2.1: Ejemplo metodología 5 Por qué.....	35
Tabla 2.2: Causas genéricas 4M, 4P y otras.....	37
Tabla 2.3: Comparación metodologías	46
Tabla 2.4: Pronóstico para DUMELD10, método de Holt.....	71
Tabla 2. 5: Pronóstico para DUMELD10, método de Holt-Winters.....	72
Tabla 2. 6: Pronóstico para DUMELD10, método de Suavización exponencial simple.....	73
Tabla 2. 7: Pronóstico para DUMELD10, método de media móvil n=12.....	74
Tabla 2. 8: Estadísticos de error para los diferentes métodos de pronósticos por producto.....	76
Tabla 2. 9: Métodos de pronósticos seleccionados.....	76
Tabla 2. 10: Valor de las autocorrelaciones y del estadístico Q de Ljung-Box.....	80
Tabla 2. 11: Resultado de idoneidad de los métodos seleccionados.....	82
Tabla 3.1: Formatos de productos incluidos en la planificación.....	96
Tabla 4. 1: Modelo de planificación para noviembre 2013.....	100
Tabla 4. 2: Cantidades óptimas de producción para noviembre 2013.....	101
Tabla 4.3: Quiebres de stocks reales correspondientes a noviembre 2013.....	102
Tabla 4. 4: Quiebre de Stock e inventario final teórico.....	102
Tabla 4. 5: Stock teórico noviembre 2013	104
Tabla 4. 6: Modelo de planificación para diciembre 2013.....	106
Tabla 4. 7: Cantidades óptimas de producción para diciembre 2013.....	106
Tabla 4. 8: Quiebres de stocks reales diciembre 2013.....	107
Tabla 4. 9: Quiebres de stock e inventario final teórico.....	108

Lista de figuras

Figura 1.1: Organigrama Eckart Alimentos Ltda.	17
Figura 1.2: Clientes Eckart.	18
Figura 1.3: Comparación de líneas productivas en volumen de venta y utilidades, periodo 2012-2013.	19
Figura 1. 4: Venta de dulce de membrillo en cajas, periodo 2012-2013	20
Figura 1. 5: Diagrama del proceso de venta.	24
Figura 1. 6: Quiebres de stock expresado en cajas, periodo 2012.	27
Figura 1. 7: Utilidades periodo 2012	27
Figura 1. 8: Quiebres de stock expresado en pesos, periodo 2012.	28
Figura 1. 9: Quiebres de stock expresados en cajas, periodo 2013.	29
Figura 1. 10: Utilidades periodo 2013.	29
Figura 1. 11: Quiebres de stock expresado en pesos, periodo 2013.	30
Figura 2.1: Diferencia entre grafo y grafo dirigido.	35
Figura 2. 2: Representación de una relación causa-efecto.	36
Figura 2.3: Representación de una relación causa-efecto con múltiples causas independientes.	36
Figura 2. 4: Representación de una relación causa-efecto, con múltiples causas dependientes.	36
Figura 2. 5: Representación de la distribución de las categorías en un diagrama causa-efecto.	38
Figura 2. 6: Ejemplo diagrama causa-efecto	39
Figura 2.7: Representación de una relación causa-efecto, con múltiples causas dependientes.	43
Figura 2. 8: Árbol de la realidad actual.	44
Figura 2. 9: Diagrama Árbol de los 5 Por qué.	49
Figura 2.10: Diagrama horizonte planificación.	51
Figura 2.11: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método Holt.	71
Figura 2. 12: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método Holt-Winters.	72
Figura 2.13: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método de Suavización exponencial simple.	73
Figura 2.14: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método Media móvil n=12.	74
Figura 2. 15: Correlograma de los errores de pronóstico del método de Holt-Winters, para el producto DUMELD10.	79
Figura 2. 16: Relación entre nivel de inventario y servicio al cliente.	83
Figura 3. 1: Diagrama estructura programación matemática.	86
Figura 3. 2: Diagrama proceso de elaboración del dulce de membrillo.	94
Figura 4. 1: Gráfico comparativo, quiebres de stock real v/s teórico noviembre 2013.	103
Figura 4. 2: Gráfico comparativo, quiebre de stock v/s teórico diciembre 2013.	109

Resumen

Palabras clave: *Quiebre de stock, planificación de la producción, programación lineal, pronósticos, simulación.*

La planificación de la producción es una herramienta de alta eficiencia para el diseño estratégico de la producción industrial, empleada por diversas empresas manufactureras con el fin de relacionar de manera eficiente la oferta y la demanda dentro un plano temporal definido, con el fin de generar planes de producción adecuados para cada producto en virtud de una serie de etapas o periodos, intentando mantenerse dentro de ciertos límites de capacidad instalada y bajo criterios de flujos sobre disposición de materiales.

Eckart ha evolucionado desde la producción artesanal hasta la industrialización de sus procesos productivos, incorporando de forma paulatina distintas herramientas que le han permitido generar mayor competitividad frente al mercado, aumentando de manera radical su nivel de producción, sin embargo, hoy en día se enfrenta una problemática proveniente precisamente de su crecimiento en el mercado y que forma parte del tema principal a desarrollar en la presente memoria, debido a que actualmente se ve afectada por constantes quiebres de stock, mostrándose imposibilitada de cumplir de manera estable con la demanda existente.

Primero se procedió con el análisis de métodos de detección de causa raíz con el fin de identificar el origen del problema planteado, en donde se concluyó mediante un detallado árbol de decisión que para poder mejorar la situación planteada era imprescindible generar planes de producción que satisfagan la demanda futura basados en su demanda pasada a partir del cálculo de pronósticos. Sin embargo, tomando en cuenta la variedad de productos con los que se trabaja, se decidió abarcar un sector acotado y seleccionar solo una línea de producción, pero que en la generalidad de los productos representa los mayores porcentajes de quiebres de stock. Esta línea de producción es la que genera todos los formatos de dulce de membrillo que Eckart produce actualmente.

Continuando en esta dirección, se procedió a la aplicación de cuatro métodos de pronóstico para cada uno de los productos de la línea seleccionada, basándose en la demanda real existente en los años 2012 y 2013, seleccionando el que proporcionaba un

menor error en cada caso, además se establece un stock de seguridad para hacer frente a la variabilidad de la demanda. Con esta información se construye un modelo matemático de programación lineal y se procede a su simulación a través de la herramienta Solver de Excel obteniendo como resultado un plan de producción mensual basado en distintos criterios y restricciones.

Una vez realizada la simulación, se procedió a la validación de los resultados, comparando los quiebres de stock reales con los quiebres de stock teóricos si se hubiese utilizado plan productivo propuesto por el modelo para los meses en evaluación, vale decir noviembre y diciembre 2013, entregando como resultado una disminución del quiebre de stock de un 17% a un 6% en el mes de noviembre utilizando un 99,9% de la capacidad productiva, lo que conlleva a aumentar sus utilidades en \$1.730.382 (14,77%) en éste periodo. El resultado para el mes de diciembre es una disminución del 12% al 0% de quiebre de stock utilizando un 76,7% de la capacidad productiva, lo que se traduce en un cumplimiento del 100% de sus pedidos y en un aumento equivalente a \$1.423.483 (14,19%) en las utilidades para éste mes.

Abstract

Key Words: Stock out, production planning, linear programming, forecasting, and simulation.

Production planning is a highly efficient tool for the strategic design of industrial production, used by various manufacturers to efficiently connect supply and demand within a defined temporal plane, in order to generate the appropriate production plans for each product under a series of stages or periods, trying to stay within limits of installed capacity, and under flow criteria for the disposal of materials.

Eckart has evolved from craft production to industrialization of production processes, gradually incorporating various tools to generate more competition against the market, increasing its production in a radical way. However, this same market today is facing a problem coming from its very growth, which is part of the main topic to be developed in this thesis. Currently it is being affected by constant stock outs, appearing unable to constantly meet the existing demand.

To begin with, we proceeded with the analysis of methods for detecting the root cause in order to identify the source of the problem. It was concluded through a detailed investigation, that in order to improve the situation in question, it was essential to generate production plans to meet future demand based on past demand from the forecasted calculation. However, taking into account the variety of products involved, it was decided to cover a limited area and select only one production line, which in the overall majority of products represents the highest percentages of stock breaks. This production line is what generates all formats of the quince paste Eckart currently produces.

Continuing in this direction, we proceeded to the application of four forecasting methods for each of the products in the line selected, based on real demand in the years 2012 and 2013, selecting the ones which provided a minor error in each case, in addition safety stock is set to address the variability of demand. With this information, a linear programming mathematical model is created and the simulation proceeds through the Excel Solver tool resulting in a monthly production plan based on various criteria and restrictions.

Once the simulation has been carried out, we proceeded with the validation of the results, comparing the actual stock breaks with theoretical stock outs. The proposed productive plan has been used for the months of November and December of 2013, giving a result of reduction in the months previously mentioned from 17% to 6% and from 12% to 0%, respectively, which leads to an increase in its profit of 14.77% in November and a 14.19% in December.

Introducción

Eckart Alimentos Ltda. es una empresa con más de cincuenta años de tradición, dedicada a la elaboración, envasado y venta de manjar, mermelada y dulce de membrillo, ubicada en la comuna de Casablanca, V Región. Sus principales clientes son: los supermercados que componen la industria del retail en Chile, la JUNAEB, Ideal y Osku.

Actualmente, la empresa presenta problemas de quiebre de stock en producto terminado en la línea de dulce de membrillo, debido a una incorrecta planificación de la producción, ya que en la actualidad se produce de forma empírica, día a día, sin prever la futura demanda, lo que ha provocado quiebres del 16% el 2012 y de un 18% el 2013, por lo cual, el presente trabajo de tesis abordará la problemática de la planificación de la producción a través del desarrollo de un modelo matemático de programación lineal.

El modelo considera un horizonte temporal de un mes y entrega un plan óptimo de producción que minimiza los costos, tanto del proceso productivo como del inventario, tomando en cuenta las restricciones de la línea. Además, se efectúan pronósticos de demanda, los cuales se utilizan como datos de entrada para el modelo; conjuntamente con lo anterior, se calculan inventarios de seguridad para cada uno de los productos.

El resultado es una propuesta de planificación mensual de la producción para los meses de noviembre y diciembre 2013, que considera pronósticos de demanda y stock de seguridad, para solucionar el problema de quiebres de stock en producto terminado en la línea de dulce de membrillo de la empresa Eckart Alimentos Ltda.

Capítulo 1: Antecedentes generales

En el primer capítulo se procederá a describir la empresa, sus líneas productivas en función de volúmenes de venta y el proceso de venta, luego se procederá a realizar el planteamiento del problema, a establecer los objetivos generales y específicos y, finalmente los resultados esperados.

1.1 Descripción de la empresa

Eckart Alimentos es una empresa creada hace más de 50 años, que desarrolla sus funciones productivas dentro del mercado alimenticio en Chile. Localizada en la comuna de Casablanca, Provincia de Valparaíso, se dedica a la producción y venta de manjar, mermelada y dulce de membrillo. La empresa tiene su origen en una tradición familiar que ha continuado desarrollándose a través de generaciones, lo que determina su sello de producción.

En sus inicios la empresa se crea como un negocio artesanal, enfocado en la producción de mermeladas y manjar únicamente, los cuales eran producidos de forma casera. Con el pasar del tiempo y aumento de la demanda en sus productos, comienza un proceso de expansión, incorporando la fabricación de un nuevo producto, el dulce de membrillo, todo lo cual conlleva a que en los años ochenta la empresa se formalice como tal.

Sin embargo la producción en esos años y, hasta fines de la década, continuaba caracterizándose por lo artesanal de sus procesos, cuando, mediante la adquisición de un concentrador que se incorpora al proceso productivo, la empresa da el salto de lo artesanal a la producción semi-industrializada, fusionando los métodos artesanales con el apoyo tecnológico, permaneciendo desde ese entonces en una continua expansión de sus líneas productivas. A comienzos del año 2000 la empresa abandona completamente sus técnicas artesanales de producción, para dar paso a procesos cien por ciento industrializados.

A lo largo de su historia Eckart ha enfocado su desarrollo en entregar productos reconocibles por sus estándares, para lo cual ha desarrollado controles de calidad que permiten obtener productos terminados de excelencia, poniendo énfasis en cada

componente de su cadena productiva, con seguimientos desde la cosecha de la fruta o producción de la leche que utiliza, hasta la elaboración y envasado de sus productos.

La empresa se encuentra en continuo proceso de crecimiento y mejoramiento de su infraestructura. Se ha puesto énfasis en el crecimiento productivo, adquiriendo maquinaria de alta tecnología para cumplir con los estándares de calidad en la elaboración de sus productos.

Actualmente la empresa se encuentra certificada con la norma HACCP Codex Alimentarius, la cual fue puesta en práctica por la NASA con la finalidad de obtener un cien por ciento de seguridad en los alimentos utilizados en el programa espacial, por lo cual se transformó en un principio internacional que define los requisitos para un control efectivo de la seguridad alimentaria, demostrando así el compromiso que tiene la empresa con la producción y comercialización de alimentos seguros para los consumidores.

A continuación se presentan la visión y misión de la empresa,

1.1.1 Visión

“Ser una empresa de alimentos que se mantenga en el tiempo gracias a su eficiencia y productividad, con productos que satisfagan a sus clientes y consumidores. Lo anterior asegurado por los más exigentes estándares de calidad y gestión, apoyada por personas altamente capacitadas y procesos automatizados. Ser reconocida por sus prácticas alineadas a la ética y la legalidad, enfocándose al mercado tanto interno como externo.”

1.1.2 Misión

“Ser una compañía orientada a satisfacer a sus clientes y consumidores con productos de excelente relación precio-calidad, utilizando materias primas que cumplan con los estándares de calidad, con personal capacitado, alta tecnología, teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente.”

Eckart presentó el año 2012 ventas equivalentes a MM\$ 2.696 y el año 2013 equivalentes a MM\$ 2.994, situándola como una gran empresa según la estratificación del Ministerio de Economía entre pequeñas, medianas y grandes empresas.

En el desarrollo de sus actividades Eckart cuenta con un grupo de trabajadores compuesto por 77 personas, los cuales se distribuyen según las áreas y según su organigrama, en la tabla 1.1 y figura 1.1 respectivamente, de la siguiente forma:

AREA	N° TRABAJADORES
ADMINISTRACION	11
JEFE CONTROL CALIDAD	1
JEFE PRODUCCION	1
OPERARIOS BODEGA	4
OPERARIOS CALDERA	2
ENVASADORAS	14
MAQUINISTAS ENVASADO	4
FAENA TRANSITORIA NARANJA –ENV	5
MANTENCION	2
PLAZOS FIJOS (PRODUCCION)	5
VENEDORES	2
PRODUCCION	22
YALE	2
REPONEDORA ECKART	1
PERSONAL FUERO MATERNAL	1
TOTAL	77

Tabla 1.1: Distribución trabajadores Eckart.
Fuente: Eckart Alimentos Ltda.



ORGANIGRAMA DE LA ORGANIZACIÓN

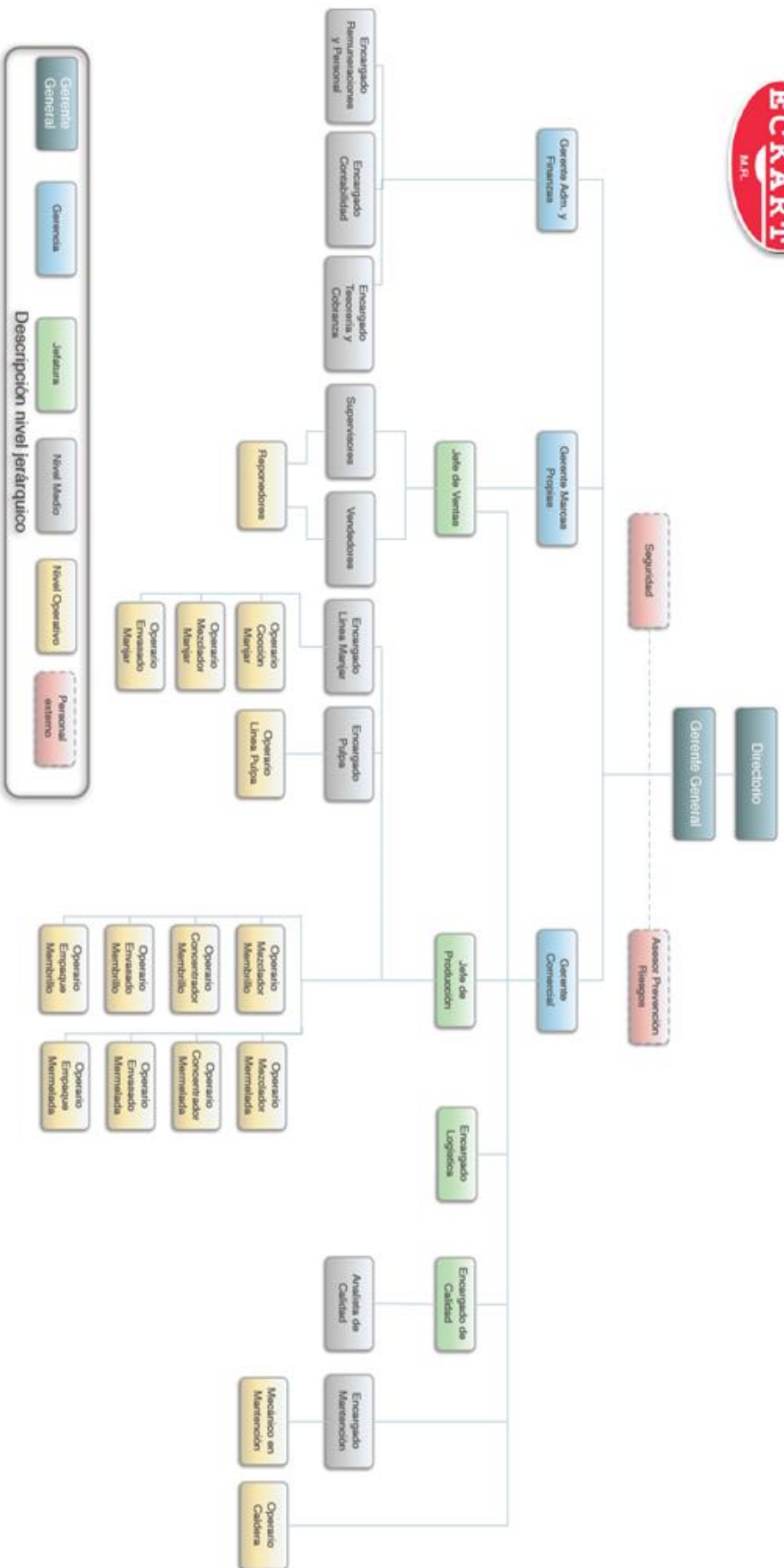


Figura 1.1: Organigrama Eckart Alimentos Ltda.
Fuente: Eckart Alimentos Ltda.

Como se mencionó anteriormente, Eckart posee tres procesos productivos: mermeladas, manjar y dulce de membrillo, los cuales poseen una cobertura nacional en las principales cadenas de retail y en el mercado minorista. En los últimos años la empresa ha expandido su alcance productivo, transformándose en productor de variadas marcas propias de los supermercados que conforman su cartera de clientes. En la figura 1.2 se muestra su cartera de principales clientes.



Figura 1.2: Clientes Eckart.
Fuente: Elaboración propia.

1.2 Procesos productivos

Eckart Alimentos, ofrece al mercado una gama de productos, que varían dependiendo de su formato de venta y requerimientos de producción en cada caso, por lo cual, la descripción de las líneas productivas se efectuará comparando tanto sus niveles de venta anuales como sus respectivas utilidades, para los periodos en evaluación, vale decir, en los años 2012 y 2013.

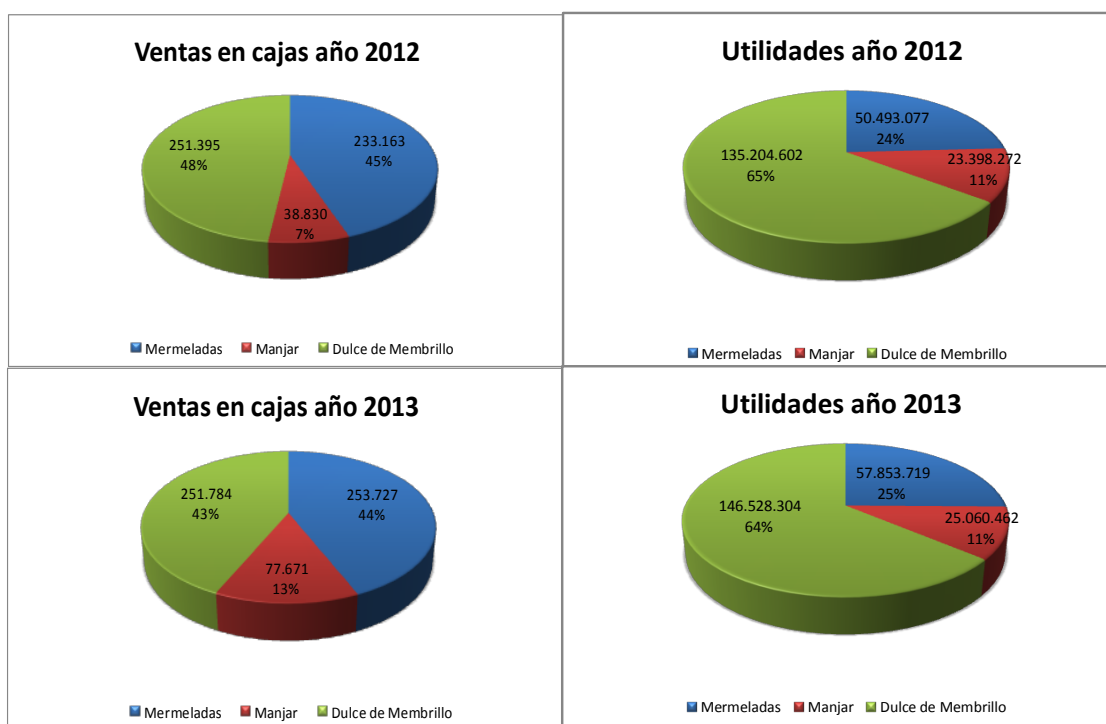


Figura 1.3: Comparación de líneas productivas en volumen de venta y utilidades, periodo 2012-2013.
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 1.3 se presenta la distribución de ventas y utilidades para cada una de las líneas de producción, si bien es cierto desde la perspectiva de las ventas la línea de dulce de membrillo y la de mermelada poseen una equivalencia en cuanto a su participación en los volúmenes anuales, sin embargo, al analizar las utilidades se puede concluir que la línea de dulce de membrillo es la que se presenta como la más relevante por el margen que reporta, representando para el periodo 2012 el 65% de las utilidades totales de la empresa, relación que se mantiene el 2013.

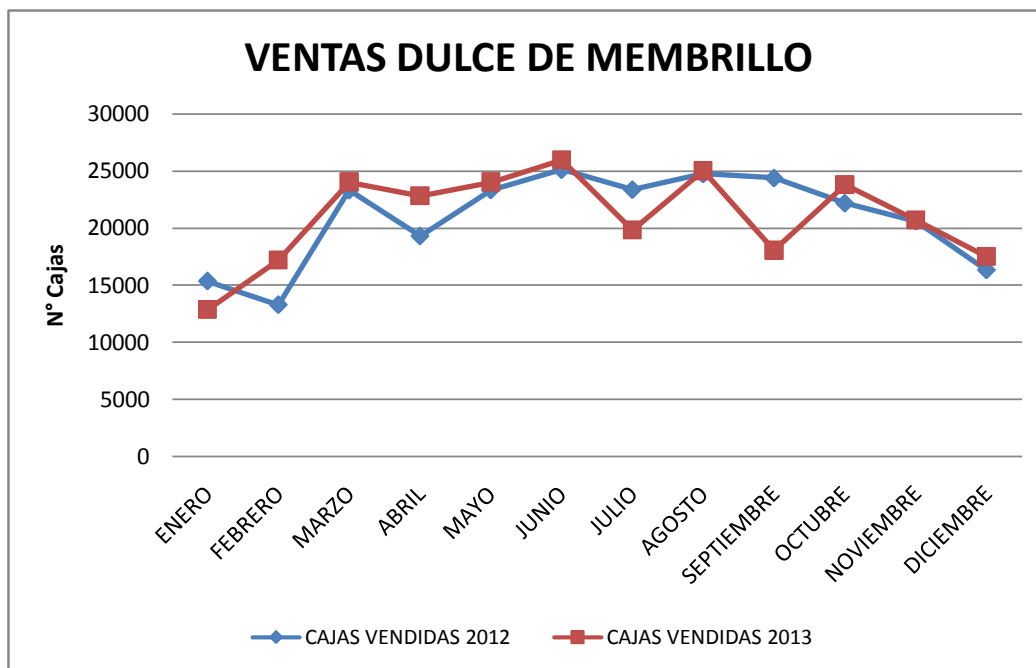
Cada una de las líneas posee una variedad de productos en distintos formatos, los cuales están detallados en el anexo I (página 115) para la línea de mermeladas y, en

anexo I (página 116) para la línea de manjar. A continuación se detalla la línea productiva de dulce de membrillo y su comportamiento para el periodo en evaluación.

1.2.1 Producción de dulce de membrillo

En esta línea los productos a la venta son 10, los cuales se exhiben en el anexo I (página 116). El dulce de membrillo no presenta variaciones en su composición ni en su concentración de sacarosa (64°Bx), estableciéndose como un único producto que sólo varía en los formatos de venta y envase cuando corresponde a una marca propia de un supermercado.

En las siguientes líneas se presenta el análisis para las ventas tanto en cajas como en [kg].



CAJAS VENDIDAS												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2012	15.351	13.271	23.329	19.308	23.350	25.129	23.376	24.759	24.398	22.190	20.610	16.324
2013	12.862	17.209	24.026	22.836	24.027	25.961	19.825	25.011	18.047	23.810	20.686	17.484

Figura 1. 4: Venta de dulce de membrillo en cajas, periodo 2012-2013

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 1.4, los productos a la venta en esta categoría presentan un patrón claramente estacional en la temporada de verano, siendo

el período con las ventas más bajas del año. En febrero del año 2012 se vendieron 13.271 cajas las que equivalen a 57.523 [kg] y en enero del año 2013 se vendieron 12.862 cajas las que representan 58.549 [kg].

También existe un patrón estacional para la temporada de invierno, pero esta vez refleja la mayor cantidad de ventas del año con 25.129 cajas en el mes de junio 2012, lo que equivale a 108.998 [kg], seguido por el mes de agosto con 24.759 cajas, equivalentes a 110.217 [kg]. En el año 2013 se repite el mismo patrón situando a los meses antes mencionados como los peak de ventas para este año, en el mes de junio se vendieron 25.961 cajas y en agosto 25.011 cajas, representando 112.187 [kg] y 110.123 [kg] respectivamente.

En total, en el año 2012 se vendieron 1.111.685 [kg] y en el año 2013 la venta fue de 1.122.253 [kg], lo que significó un aumento de un 8,37% en las utilidades de esta línea productiva. El detalle de ventas de cada uno de los productos de esta línea se puede observar en Anexo II (página 117).

1.3 Proceso de venta

El proceso de venta comienza con la emisión de la Orden de Compra por parte del cliente, este proceso se efectúa a través de www.comercionet.cl en el caso de clientes de retail y, a través de e-mail en otros casos. Posteriormente el Departamento de Logística recibe las órdenes de compra y si pertenecen a la categoría retail, ingresa la información de compra a la base de datos (Flexwin), si no es así, el Departamento de Contabilidad realiza una evaluación del cliente respecto a su cumplimiento financiero antes de autorizar la venta; una vez que se confirma que no presenta deudas, la información de la Orden de Compra es ingresada a la base de datos.

Después de este proceso, se revisa en el sistema el inventario de productos terminados, si existe stock se genera la Hoja de Resumen (hoja de despacho) donde se detalla la cantidad de cajas a enviar y su equivalente en [kg], si no hubiera stock suficiente se evalúa la posibilidad de producirlo en el tiempo restante, si fuera factible se programa la producción de las unidades faltantes, de no ser así, se genera la Hoja de Resumen (hoja de despacho) con el stock disponible en ese momento.

Con la hoja de resumen terminada, el personal de logística hace entrega de esta hoja a bodegueros para que realicen su paletización. El bodeguero recibe la hoja de resumen y revisa existencias en la bodega, si hay inventario, procede a terminar de completar la hoja de resumen indicando la cantidad real de cajas que serán despachadas al cliente, si no hay inventario suficiente, se evalúa la posibilidad de producir lo faltante en el tiempo que resta, si existe esta posibilidad, entonces se programa la producción de los productos faltantes, si no existe tal posibilidad, procede a terminar de completar la hoja de resumen indicando la cantidad real de cajas que serán despachadas al cliente. Posteriormente el bodeguero paletiza el pedido registrado en la hoja de resumen.

Una vez concluido el proceso anterior, la encargada de bodega revisa que la paletización sea correcta de acuerdo con la hoja de resumen a través de conteo, si es correcta, se deposita el pedido en el patio de carga y a su vez la hoja de resumen es enviada de vuelta a logística con la información final a despachar para elaborar la factura correspondiente, si la paletización presenta un error, el bodeguero agrega las cajas faltantes y paletiza nuevamente para posteriormente trasladar el pallet al patio de carga. Con los pallets listos para su despacho, es cargado el camión y se inicia proceso de distribución.

En la figura 1.5, se presenta el diagrama de flujo del proceso de venta en Eckart Alimentos Ltda.

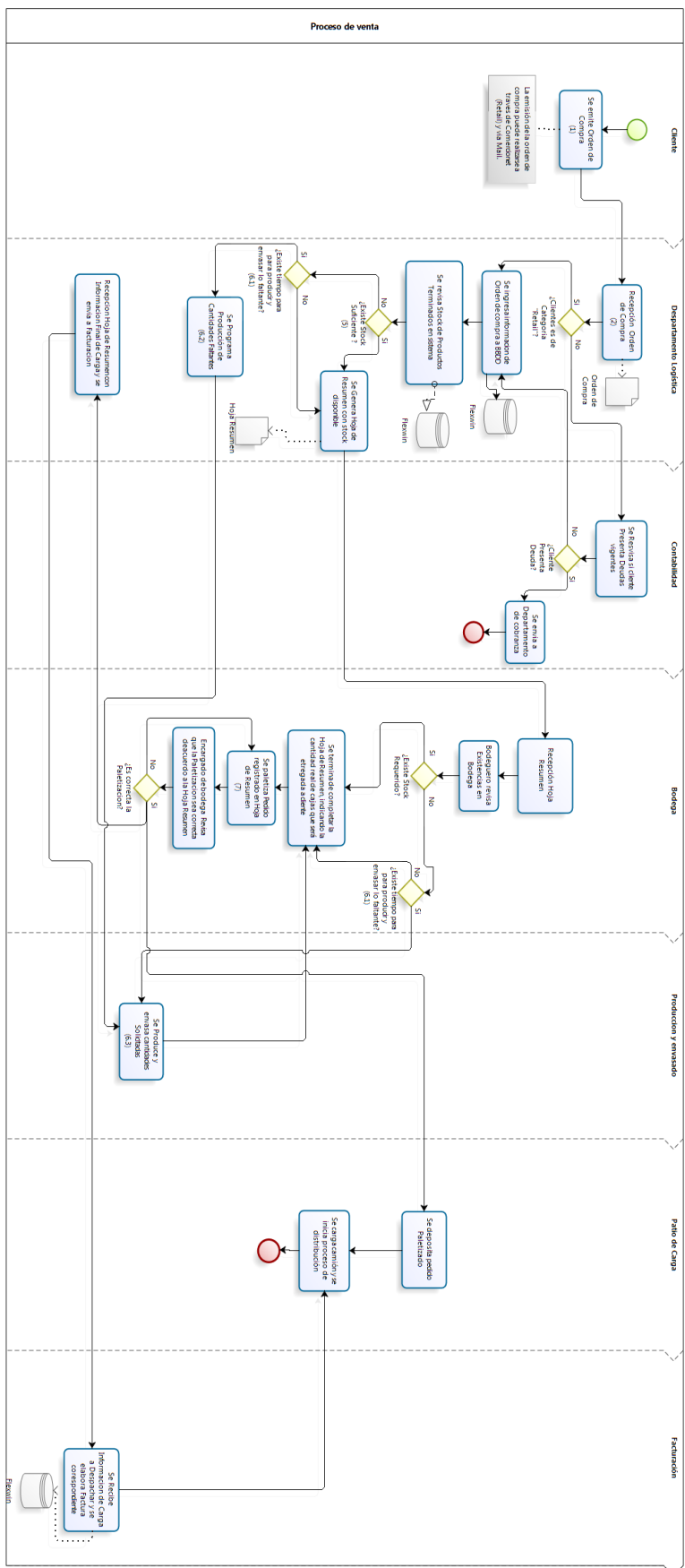


Figura 1. 5: Diagrama del proceso de venta.
Fuente: Elaboración propia

1.4 Descripción del problema

En base a la aplicación de la metodología de entrevista a expertos, llevada a cabo mediante una reunión con el gerente de finanzas y el gerente de desarrollo de la empresa, se concluyó cuál era la base de la problemática de la empresa, la cual unánimemente se manifestaba en una incorrecta planificación de la producción, que no estaba basada en datos históricos, puesto que dicha acción se llevaba a cabo de manera espontánea, dependiendo de los pedidos que cada día la empresa iba recibiendo, además esta responsabilidad no recaía solamente en una persona. Esta labor actualmente es realizada ya sea por trabajadoras del área logística, por el gerente general o en ocasiones directamente por la dueña de la empresa, los cuales día a día deciden el orden y cantidad en que cada producto debe ser fabricado. Esta metodología, que se aplica actualmente, ha llevado en consecuencia a que la empresa presente reiterados quiebres de stock en las distintas líneas de producción, manifestando ellos, a su vez, que la línea de dulce de membrillo era la que presentaba la mayor cantidad de quiebres. Sin embargo, también hacen presente que no se posee en el momento actual, una cuantificación real del alcance de estos quiebres, lo cual presentaba una preocupación mayor, puesto que estaban conscientes de la existencia de este problema debido a los constantes reclamos de sus clientes por el despacho de los pedidos incompletos y la demora en el cumplimiento de éstos en muchos casos, pero aun así, no se había realizado aún un estudio acabado para encontrar la raíz de esta problemática y sus implicaciones económicas para la empresa.

Como primer paso, se recopiló toda la información existente respecto a los movimientos de productos de la empresa por conceptos de ventas realizadas en cada una de las líneas productivas, comparándolas con la demanda percibida dentro del periodo en estudio, el cual se refiere a los años 2012 y 2013, con el fin de realizar una primera cuantificación de los quiebres stock que, hasta entonces, eran inexistentes en la empresa.

A continuación se realiza un análisis segmentado por año de la demanda y venta de cada línea con su respectiva cuantificación según su volumen y su injerencia económica, con el fin de argumentar en forma exployada la justificación de la línea productiva escogida y su real impacto en la empresa por concepto de quiebres de stock.

1.4.1 Análisis demanda – ventas

Una vez que ya se ha indicado toda la información necesaria para realizar una detallada descripción de la problemática en la que se trabajará más adelante, se procede a utilizar dicha información para reflejar de manera clara y fundamentada, los quiebres de stock existentes en las distintas líneas de producción, con el fin de cuantificar su impacto económico dentro de la empresa.

En el punto 1.4.1.1 y 1.4.1.2 se realiza una comparación gráfica, del total de cajas vendidas de cada línea durante el año 2012 y 2013 respectivamente, con el fin de evidenciar los quiebres anuales en cada una de ellas, se trabaja en el formato de “cajas” y no “kilógramos” debido a que éste es su formato de venta y, como es lógico, su comportamiento es el mismo, independiente de la unidad de medida que se utilice ya que son directamente proporcionales, posteriormente esta misma información se cuantificó en términos económicos para visualizar qué línea impacta de manera más significativa en las utilidades de la empresa.

1.4.1.1 Año 2012

En la figura 1.6 se presentan los quiebres de stock ocurridos durante el año 2012 en cada una de las tres líneas productivas de la empresa, utilizando la información recopilada de los volúmenes de venta, contrastados con los volúmenes demandados durante un mismo espacio temporal.

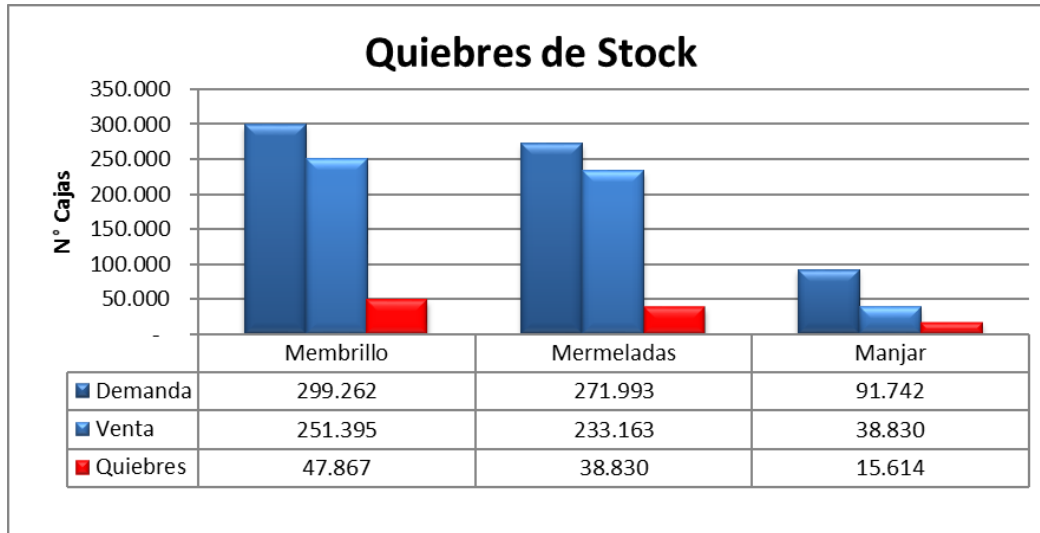


Figura 1. 6: Quiebres de stock expresado en cajas, periodo 2012
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 1.6 durante el año 2012 la empresa presentó quiebres en sus tres líneas, llegando a un total anual de 102.311 cajas no entregadas a sus clientes. Con un análisis inicial se puede observar que la línea de membrillo es la que presenta un mayor porcentaje de quiebres de stock, seguido muy de cerca por la línea de mermeladas. Sin embargo es necesario profundizar este análisis, enfocándolo desde el punto de vista de las utilidades que se dejan de percibir por motivo de estos quiebres de stock, lo cual será detallado en la figura 1.7.

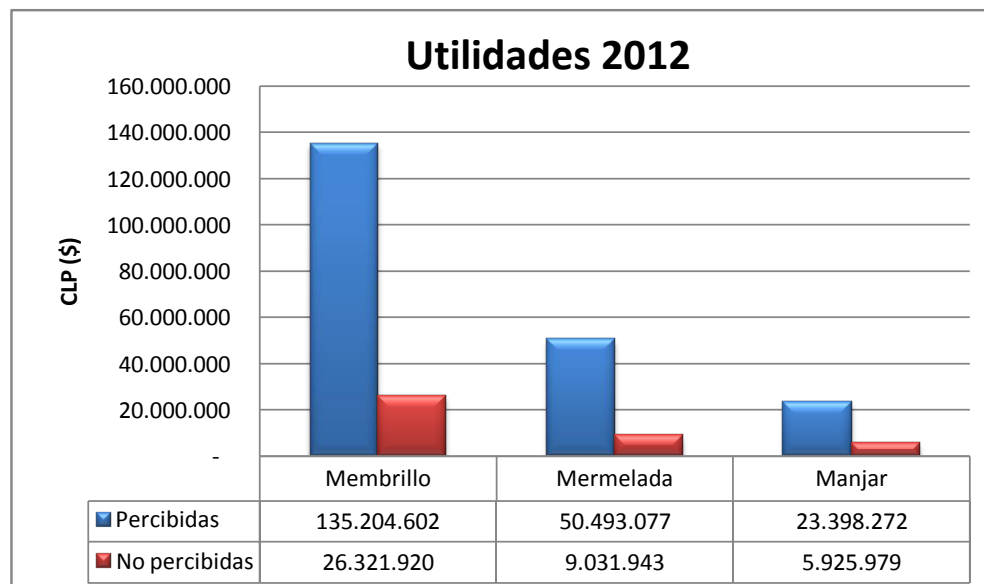


Figura 1. 7: Utilidades periodo 2012
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1.7 encontramos la distribución de las utilidades de las tres líneas productivas durante el año 2012, en donde se grafican los quiebres de stock, en términos de “Utilidades no percibidas”. Con esta información podemos destacar que la línea de membrillo, claramente, en volumen y utilidades no percibidas, es la más significativa entre las tres líneas alejándose considerablemente de las otras dos líneas con respecto a las utilidades que entrega. Esta relación quedará mejor representada en la figura 1.8.

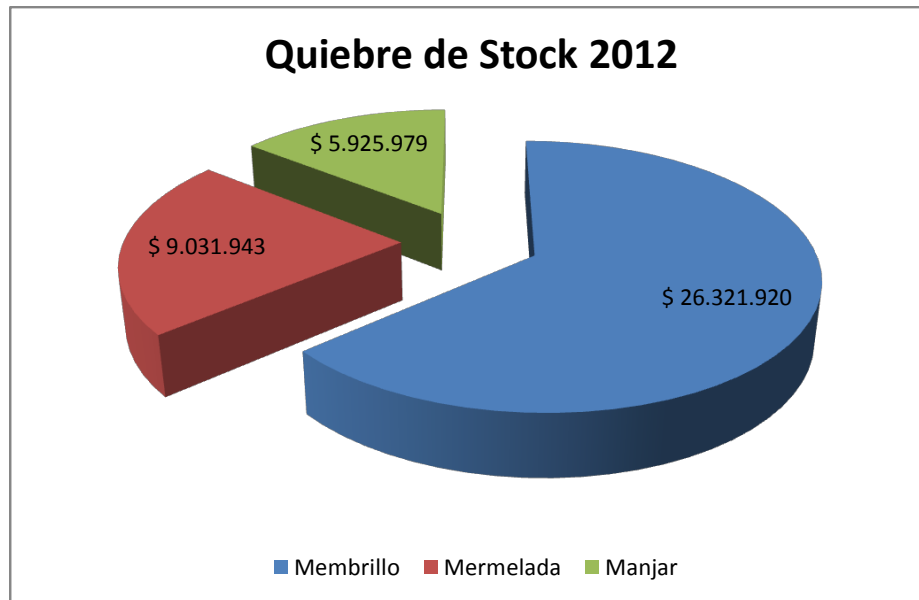


Figura 1. 8: Quiebres de stock expresado en pesos, periodo 2012.
Fuente: Elaboración propia.

1.4.1.2 Año 2013

En la figura 1.9 se procede a realizar el mismo análisis que se realizó para el año 2012, pero con la información del periodo 2013, para poder obtener las conclusiones correspondientes con los datos recopilados.

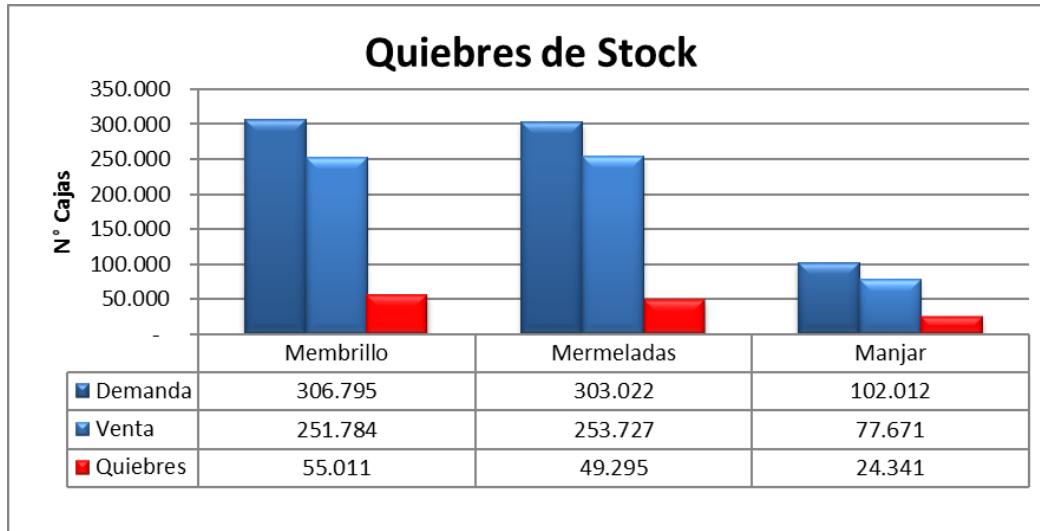


Figura 1. 9: Quiebres de stock expresados en cajas, periodo 2013.
Fuente: Elaboración propia.

Al igual que durante el 2012, en este período la línea de dulce de membrillo, lidera los quiebres de stock desde la perspectiva del volumen de cajas no entregadas, seguido muy de cerca por la línea de mermeladas. En la figura 1.10 se grafican estos volúmenes de quiebres de stock, pero expresados en términos de las utilidades que la empresa dejó de percibir por la no entrega de estos productos.

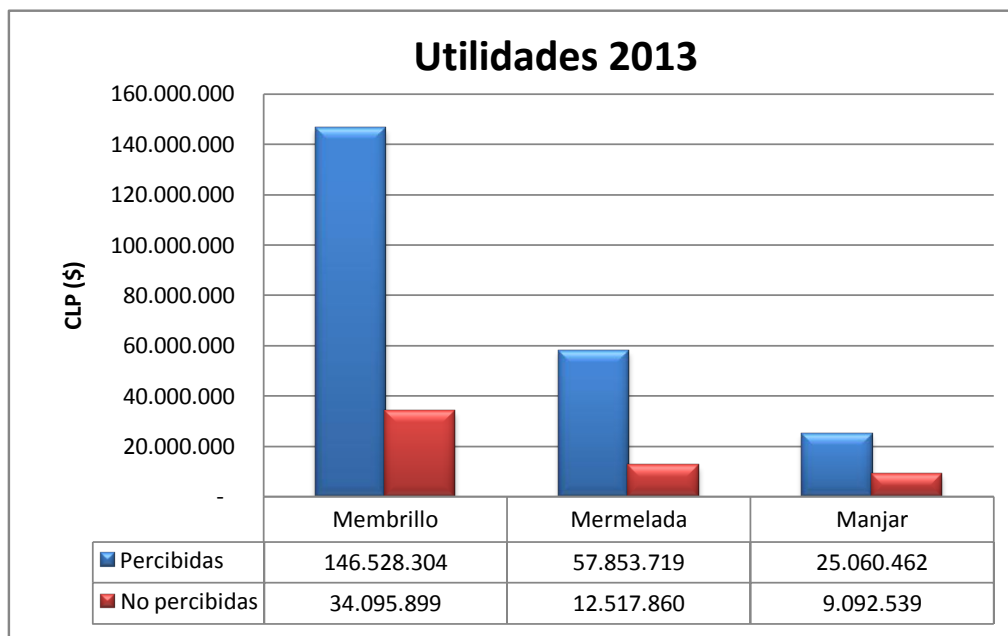


Figura 1. 10: Utilidades periodo 2013.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 1.10, la tendencia se mantiene y la línea de dulce de membrillo es la que provoca un mayor impacto con sus quiebres, tanto por el

volumen de cajas como por las utilidades que se dejan de percibir, las cuales son claramente superiores a la de las otras dos líneas de producción, tal como se visualiza en la figura 1.11.

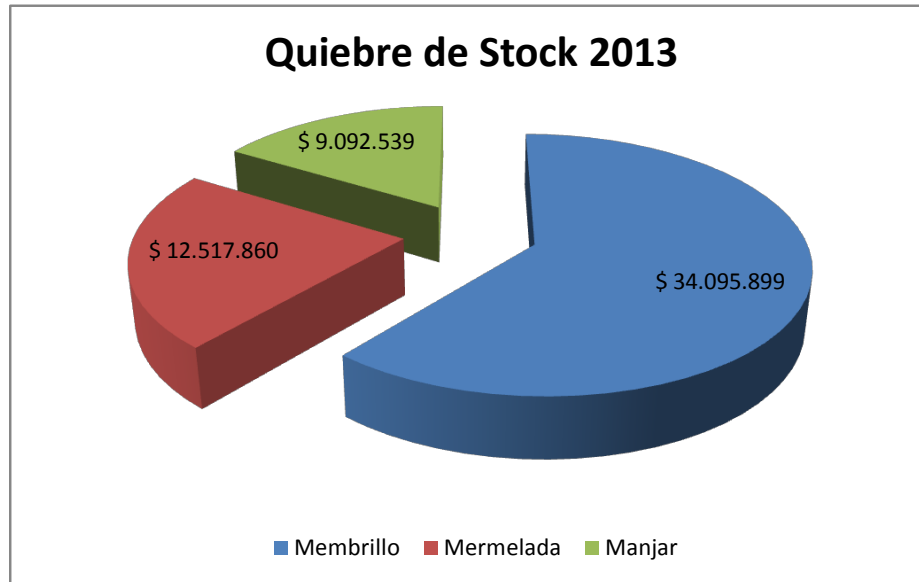


Figura 1. 11: Quiebres de stock expresado en pesos, periodo 2013.
Fuente: Elaboración propia.

Con toda la información entregada anteriormente, queda demostrado el problema existente en la empresa Eckart, los quiebres de stock suceden frecuentemente en las tres líneas de producción, siendo el impacto de cada una de ellas de distinta intensidad, sin embargo, es concluyente que la línea de dulce de membrillo es la que económicamente sobresale de entre las demás, ya que las utilidades que se dejan de percibir son de gran importancia, por lo cual el trabajo de esta memoria estará enfocado en reducir los quiebres de stock existentes en esta línea, específicamente en los meses de noviembre y diciembre 2013, ya que es en este periodo donde se cuenta con los últimos datos reales de quiebres de stock.

1.5 Posibles consecuencias

Luego de una entrevista con el Gerente de Desarrollo de la empresa, con respecto a la situación planteada anteriormente, se pudieron determinar posibles consecuencias directamente ligadas al no cumplimiento de la demanda a cada cliente.

Al presentar constantemente quiebres en los pedidos, existen riesgos asociados, que no sólo radican en el hecho de dejar de percibir ingresos por los productos no entregados, lo que de igual forma es un impacto económico importante, sino que, también existe un gran daño a la imagen corporativa de la empresa debido a que se menciona, por parte de la empresa, que en situaciones anteriores se ha producido un bloqueo en algunos de sus productos en las cadenas de retail, debido a un constante incumplimiento, lo que implica que ese producto bloqueado se deja de solicitar por el cliente afectado durante un periodo indefinido, hasta que se produzcan las gestiones correspondientes por parte de la empresa para volver a reincorporarlo como cliente; luego de 3 bloqueos que sufra la empresa, el cliente procederá a cortar relaciones comerciales por no ser un proveedor confiable, lo cual se resume en la pérdida de un cliente.

Si bien no existen multas asociadas, estipuladas en los acuerdos comerciales con los distintos clientes, la situación reflejada anteriormente, es decir, el impacto económico que esto puede ocasionar es demasiado alto, considerando los importantes volúmenes de venta de ciertos clientes.

1.6 Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de esta memoria.

1.6.1 Objetivo general

Generar una propuesta de planificación mensual de la producción para los meses de noviembre y diciembre 2013 en la línea de dulce de membrillo, a fin de disminuir en su implementación los quiebres de stock en producto terminado, en la empresa Eckart Alimentos Ltda.

1.6.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación de las líneas productivas en los años 2012 y 2013, para determinar la que posee el mayor índice de quiebres de stock.
- Determinar la causa raíz que provoca los quiebres de stock y proponer una metodología para resolverla.
- Desarrollar pronósticos de demanda y establecer stocks de seguridad para noviembre y diciembre 2013, y así utilizarlos como datos de entrada en la metodología seleccionada.
- Evaluar la validez de los resultados obtenidos en los meses de noviembre y diciembre 2013.

1.7 Resultados esperados

Disminuir en su implementación el quiebre de stock de la línea de dulce de membrillo en producto terminado, a través de una metodología idónea, generando pronósticos de demanda y stocks de seguridad.

Capítulo 2: Metodologías

En éste capítulo se realiza una descripción de las metodologías disponibles para la identificación de la causa raíz del problema planteado, para posteriormente seleccionar la idónea y aplicarla. Posteriormente, con la causa raíz hallada, se describen las metodologías disponibles para dar solución a la causa raíz, para luego seleccionar la apropiada. Luego de esto, se describen métodos para pronosticar la demanda y se aplican los que más se ajustan a cada serie de tiempo, para utilizarlos como datos de entrada en la metodología seleccionada. Por último, se cierra el capítulo señalando cómo se determinará el nivel apropiado de stock de seguridad.

2.1 Metodologías aplicables para la identificación de la causa raíz de un problema

Este apartado tiene como objetivo identificar y definir las metodologías existentes en la literatura y sitios de internet, para identificar la causa raíz de un problema, para luego analizarlas y posteriormente seleccionar la metodología que se utilizará para determinar la causa raíz de los quiebres de stock y, de esta manera, confirmar o rechazar la causa planteada.

2.1.1 5 Por qué

“Fue inventada en la década de 1930 por el fundador de Toyota Industries Co. Sakichi Toyoda y popularizada en los años setenta por el Sistema Toyota de Producción. La estrategia de los 5 por qué consiste en examinar cualquier problema y preguntar: ¿por qué? y ¿qué causo este problema?. Al hacer esta pregunta, inmediatamente se pueden separar los efectos indeseados de las causas de un problema, esto es importante ya que a menudo los efectos ocultan las causas [5 why’s technique.pdf, 09], luego se debe repetir la pregunta ¿por qué? pero esta vez a la causa-respuesta del primer por qué y así sucesivamente hasta iterar el proceso cinco veces, esta cantidad de preguntas (cinco) se deriva de una observación empírica sobre el número de iteraciones que suelen ser necesarias para encontrar la raíz de un problema.

Este método ayuda a determinar las relaciones causa-efecto subyacente en un problema particular y su objetivo es determinar la causa raíz de éste, se puede utilizar cada vez que la causa real de un problema o situación no esté clara.

Según el documento [5 why's technique.pdf, 09], la metodología es la siguiente:

- 1) Se debe reunir a un grupo de personas conocedoras del área de la no conformidad.
- 2) En una pizarra, diapositiva o incluso papel se deberá describir y documentar el problema lo más completo posible. Luego afinar la descripción con el equipo y llegar a un acuerdo sobre la definición del problema en cuestión.
- 3) Se debe preguntar a los miembros del equipo: ¿por qué el problema como se describe podría ocurrir?, y escribir la respuesta bajo la descripción del problema.
- 4) Cada respuesta entregada como causa, se debe respaldar con evidencias, datos fidedignos, de esta manera se tendrá la certeza de que es una causa real y no una mera opinión de los participantes.
- 5) Una vez obtenidas las causas del primer nivel, se debe repetir a éstas el proceso de los puntos 3) y 4), así se obtendrá el segundo nivel de causas. Este proceso se debe iterar para el segundo nivel de causas y así se obtendrá el tercer nivel y así sucesivamente. El proceso se detendrá cuando no exista una respuesta a un porqué o cuando la causa esté fuera del control de la empresa.
- 6) La causa raíz será o serán aquellas que se encuentren en el último nivel. Se debe asegurar que el equipo está de acuerdo e intentar una resolución.

Este proceso se puede realizar de dos formas:

- 1) Como tabla
- 2) Como grafo de árbol.

Se debe utilizar como tabla sólo si hay una sola causa para el problema en estudio y una sola causa para cada uno de los efectos indeseados de niveles inferiores.

En la tabla 2.1, se muestra un ejemplo básico.

Problema: Auto se detiene a la mitad del camino del trabajo a casa.

¿Por qué...	Porque...
1) se detuvo el auto?	Porque se le agotó la bencina en el camino a casa.
2) Se le agotó la bencina en el camino a casa?	Porque no compré bencina en el camino al trabajo esta mañana.
3) No compraste bencina hoy en la mañana?	Porque no tenía dinero para comprarla
4) No tenías dinero para comprarla?	Porque anoche lo perdí en un juego de póker con mis amigos.
5) Perdiste tu dinero anoche en el juego de póker?	Porque no sé blufear cuando no tengo una buena mano de póker y los demás aumentan la apuesta.
Solución	Ir a una escuela de póker y aprender a blufear.

Tabla 2.1: Ejemplo metodología 5 Por qué.

Fuente :http://www.lifetime-reliability.com/tutorials/lean-management-methods/How_to_Use_the_5-Whys_for_Root_Cause_Analysis.pdf

En este ejemplo se muestra la esencia de la metodología. En ocasiones se deberá preguntar una sexta o séptima vez para encontrar la causa real.

Se debe utilizar como grafo de árbol cuando un efecto sea producido por múltiples causas o múltiples combinaciones de causas.

Se denomina árbol ya que es un grafo que conecta cualesquiera dos vértices por sólo un camino y en teoría de grafos a los que cumplen con esta característica se les denomina árboles, pero técnicamente no es un árbol sino un grafo dirigido ya que el primero no considera un nodo de inicio y un nodo de término y el grafo dirigido sí.

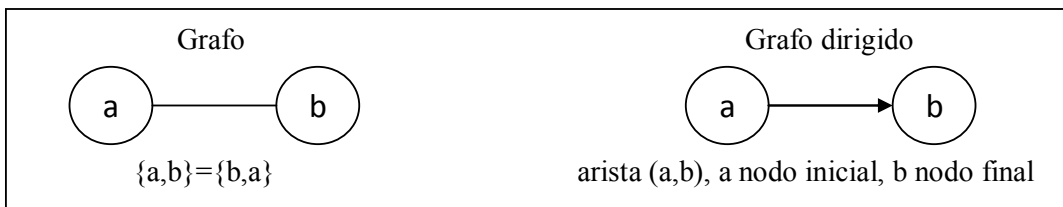


Figura 2.1: Diferencia entre grafo y grafo dirigido.

Fuente:<http://es.wikipedia.org/wiki/Grafo>

La relación causa-efecto entre los efectos indeseados y sus causas, es representada por una flecha que va desde la causa hasta el que es el efecto. Un ejemplo se presenta a continuación en la figura 2.2:

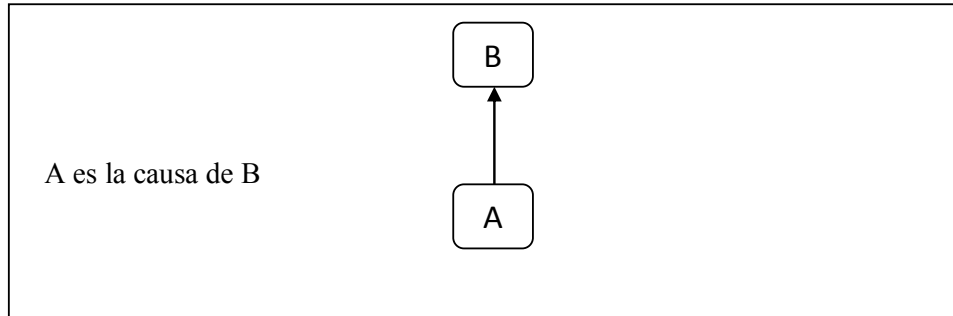


Figura 2.2: Representación de una relación causa-efecto.
Fuente: Elaboración propia.

Cuando múltiples causas son independientes entre sí, las flechas de causalidad son representadas por separado. Un ejemplo se presenta a continuación en la figura 2.3:

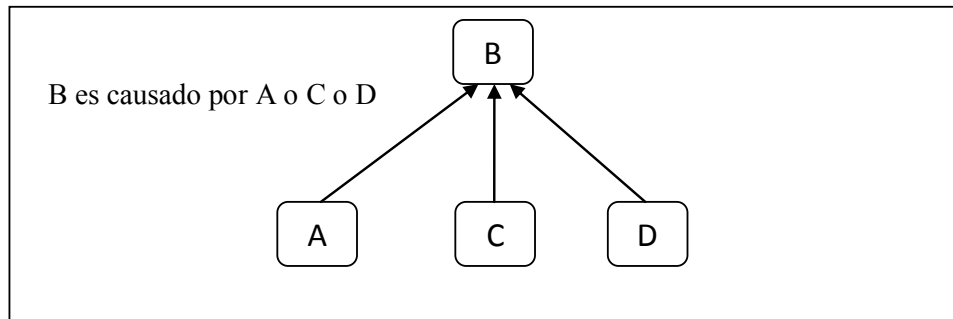


Figura 2.3: Representación de una relación causa-efecto con múltiples causas independientes.
Fuente: Elaboración propia.

Cuando las causas son dependientes entre sí, esto quiere decir, que se requieren múltiples causas para provocar un efecto, las flechas de causalidad son representadas unidas. Un ejemplo se presenta a continuación en figura 2.4:

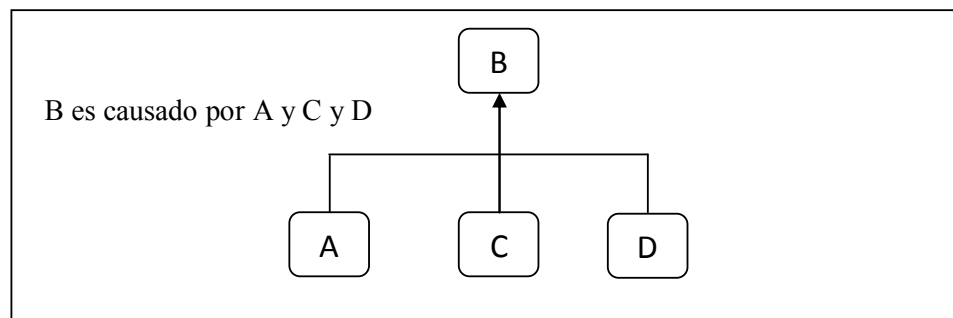


Figura 2.4: Representación de una relación causa-efecto, con múltiples causas dependientes.
Fuente: Elaboración propia.

De esta forma se va desarrollando el árbol hasta llegar a los niveles inferiores que es donde se encuentran las causas raíces, tomando en cuenta siempre justificar el camino correcto hacia la causa raíz con evidencia comprobable para cada causa.

2.1.2 Diagrama de causa y efecto

Según el documento [CPI Toolbox.pdf, Ismith98], un diagrama de causa y efecto (también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa) es una ilustración gráfica de las relaciones entre un resultado dado y todos los factores que juntos trabajaron para producir ese resultado. El cuadro desarrollado sirve para realizar un análisis causa-efecto de la situación, el propósito de este análisis es el de ayudar a un equipo a resolver un problema mediante la identificación de sus posibles causas y llegar a un entendimiento común de los problemas.

El diagrama de causa-efecto se divide en dos componentes principales. El primero es el efecto. El efecto es lo que ha sucedido o lo que está mal. El segundo componente es la causa del problema en cuestión. Para desarrollar un diagrama de causa-efecto, es necesario agrupar las causas por categorías. Hay tres métodos para el desarrollo de las principales categorías de causas:

- 1) Se pueden revisar y adoptar por causas genéricas 4 M, 4P:

4M (manufactura)	4P (servicios)	Otros
Máquinas	Personal	Medio ambiente
Métodos	Provisiones	Políticas
Materiales	Procedimientos	Planta
Mano de obra	Puestos	Dinero

Tabla 2.2: Causas genéricas 4M, 4P y otras.

Fuente: CPI Toolbox, Tutorial de herramientas de calidad.

- 2) Si se trabaja en un proceso, se puede descomponer el proceso en sus principales etapas mediante la creación de un diagrama de flujo. A cada una de las actividades más importantes se le asigna una espina del diagrama de espina de pescado.

- 3) También se pueden intercambiar ideas de posibles causas realizando una lluvia de ideas, después que la lista de lluvia de ideas sea generada, se debe realizar un diagrama de afinidad para la obtención de las categorías generales que se usarán para cada espina del diagrama. Una sesión de lluvia de ideas es útil para minimizar la posibilidad de pasar por alto una o varias posibles causas.

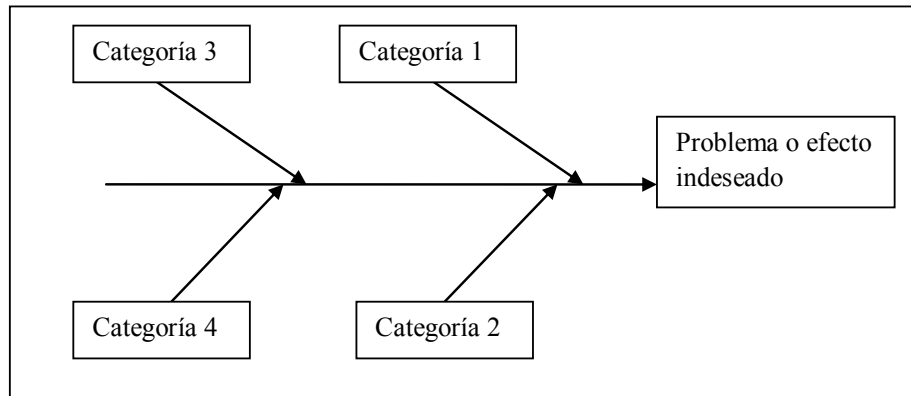


Figura 2.5: Representación de la distribución de las categorías en un diagrama causa-efecto.
Fuente: Elaboración propia.

Proceso

- 1) Se dibuja un diagrama de espina de pescado o causa-efecto en blanco
- 2) Se escribe el enunciado del problema en el cuadro “cabeza”, de la espina de pescado, en la parte derecha.
- 3) Se deben determinar las principales categorías de causas del diagrama que agruparán a las demás causas que se relacionan con el problema planteado.
- 4) Identificar el lugar de las categorías en el diagrama, tomando en cuenta situar la categoría con mayor probabilidad de haber causado el problema, más cercano a la “cabeza” de la espina de pescado.
- 5) A partir de la causa más probable, descomponer esa causa en los factores o sub-causas que provocaron esa causa, preguntando al grupo “por qué” o “cómo” o “qué” ocasionó ese efecto, luego hay que escribir las respuestas a estas preguntas en espinas más pequeñas que provengan de la categoría en que se está trabajando. El objetivo de esta etapa es identificar posibles o más probables causas, basadas en el conocimiento y experiencia de los miembros del equipo.
- 6) Hay que continuar hasta que todas las causas principales o categorías de causas se hayan subdividido como en el paso anterior

- 7) Una vez que todas las causas principales se hayan subdividido en sub-causas, como causas secundarias, terciarias, etc. se deben recopilar las causas más relevantes, esto quiere decir, las causas que se encuentran en los niveles externos y recopilar datos para verificar la causa raíz más probable.

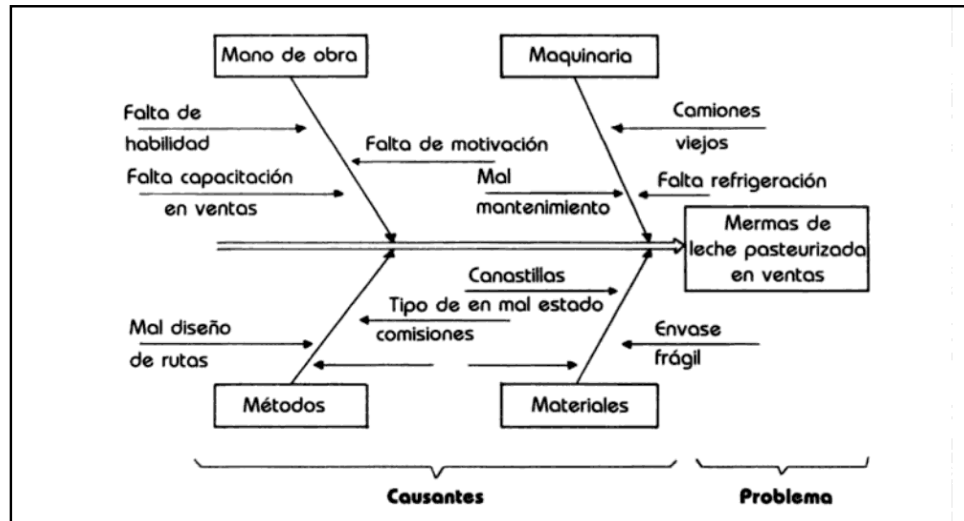


Figura 2.6: Ejemplo diagrama causa-efecto

Fuente: Calidad integral empresarial e institucional. Pág. 34 [Ernesto Mercado Ramírez]

Beneficios

- 1) Clasifica causas dispersas y organiza las relaciones entre ellas
- 2) Obliga a considerar una alta variedad de causas
- 3) Facilita la selección de las causas con mayor influencia

Limitaciones

- 1) En una sola rama se identifican demasiadas causas potenciales.
- 2) No sirve en problemas donde muchas causas se relacionan entre sí.

2.1.3 Árbol de la Realidad Actual (ARA)

El Árbol de la Realidad Actual es uno de los procesos de pensamiento en la Teoría de las Restricciones introducidas por el Dr. Eliyahu M. Goldratt. Es una forma de analizar un sistema y encontrar la causa raíz de sus problemas.

“El Árbol de la Realidad Actual es una estructura lógica, diseñada para representar el estado de la realidad tal como existe en la actualidad en un sistema dado. Refleja la cadena más probable de causas y efectos, dado un conjunto específico de circunstancias. El ARA busca conexiones causa-efecto entre los efectos indeseados en un sistema y las causas que los originan. No considera los límites del sistema, tanto internos como externos. En consecuencia, puede producir una representación fiel de causas y efectos”. [Dettmer97]

El objetivo del ARA es ayudar a aislar lo que se necesita cambiar en cualquier situación. Para ello, identifica los fenómenos con los cuales no se está actualmente satisfecho, mediante el rastreo de los “efectos indeseados” (EI), ahondando en una o más causas básicas hasta alcanzar la causa raíz del problema.

Propósito

Según [Dettmer97], el Árbol de la Realidad Actual está diseñado para alcanzar los siguientes objetivos:

- 1) Proporcionar la base para la comprensión de sistemas complejos.
- 2) Identificar los efectos indeseables exhibidos por un sistema.
- 3) Relacionar los efectos indeseados a través de una cadena lógica de causas y efectos con sus causas raíces.
- 4) Identificar cuando sea posible, una causa raíz principal, es decir, la que eventualmente produce el 70 por ciento o más de los efectos indeseados del sistema.
- 5) Determinar en qué puntos las causas raíces o causa raíz principal están más allá del ámbito de control.
- 6) Aislar los pocos factores causales que deben ser abordados, con el fin de realizar la mejora máxima del sistema.
- 7) Identificar el cambio más simple de hacer que tendrá el mayor impacto positivo en el sistema.

Supuestos

Según [Dettmer97], la eficacia del Árbol de la Realidad Actual se basa en los siguientes supuestos:

- 1) Causa y efecto no es lo mismo que la correlación.
- 2) Todos los sistemas están sujetos a las interdependencias entre sus componentes, es decir, un cambio en un componente producirá cambios colaterales en uno o más de los otros componentes.
- 3) Todos los procesos dentro de un sistema, incluyendo el propio sistema en general, están sujetos a variación.
- 4) La operación de un sistema produce tanto efectos intencionales (deseables) como los no intencionales (deseables o indeseables).
- 5) Los efectos indeseables en un sistema no existen en forma aislada unos de otros.
- 6) Todos los efectos (deseables o indeseables) dentro de un sistema son el resultado de causas raíces que pueden estar varios niveles distanciados de estos efectos.
- 7) Existen supuestos no declarados acerca de la realidad que subyacen en todas las relaciones causa y efecto.
- 8) Los eventos relacionados por causa y efecto verificables pueden repetirse. Otra iteración del ARA debería dar los mismos efectos si no cambian las circunstancias o el sistema.

Proceso

Según [Dettmer97], un ARA puede ser construido por un único gestor o por un equipo. Debido a que la herramienta es subjetiva, y debido a que los problemas de la organización se ven diferentes desde distintas perspectivas, es mejor construir el ARA con un equipo de directivos y trabajadores. Para la construcción del ARA se necesitan fuentes de información, las cuales son:

- 1) El conocimiento personal de los directivos y trabajadores
- 2) Entrevistas con directivos y trabajadores
- 3) Los balances, informes de marketing, informes de operaciones y otros informes organizacionales

4) Entrevistas con clientes y proveedores

A partir de estas fuentes de información se debe elaborar una lista de efectos indeseados los cuales deben pertenecer al sistema bajo análisis. Para que un hecho se considere un efecto indeseado y se pueda incluir en un ARA, se deben cumplir tres condiciones:

- 1) El fenómeno debe existir
- 2) El fenómeno debe ser indeseable
- 3) El fenómeno debe estar bajo el control o influencia de la empresa.

Hay que tener en cuenta que siempre los efectos indeseados deben ser escritos como declaraciones negativas.

Para un análisis más efectivo, se debe orientar la búsqueda a unos 8 a 14 efectos indeseados (E.I.), éstos se pueden obtener mediante una sesión de lluvia de ideas, entrevistas o examen a los documentos e informes de la organización como antes se mencionó. Una vez obtenidos los E.I. y, cuando sea necesario, se debe reducir el número de éstos mediante diagrama de afinidad o eliminando los E.I. menos importantes en relación con los demás de la lista.

Con la lista de los E.I. ya concluida se debe comenzar la construcción del ARA:

- 1) Se deben establecer relaciones causa-efecto entre dos o más E.I. de la lista cuando se pueda.
- 2) Estas relaciones deben estar vinculadas con flechas de causa-efecto. Cuando existan múltiples causas dependientes, se debe describir este fenómeno con flechas que surjan en las causas, pasen por una elipse y lleguen al efecto, esta elipse describe la relación lógica “Y” como se muestra en la figura 2.7.

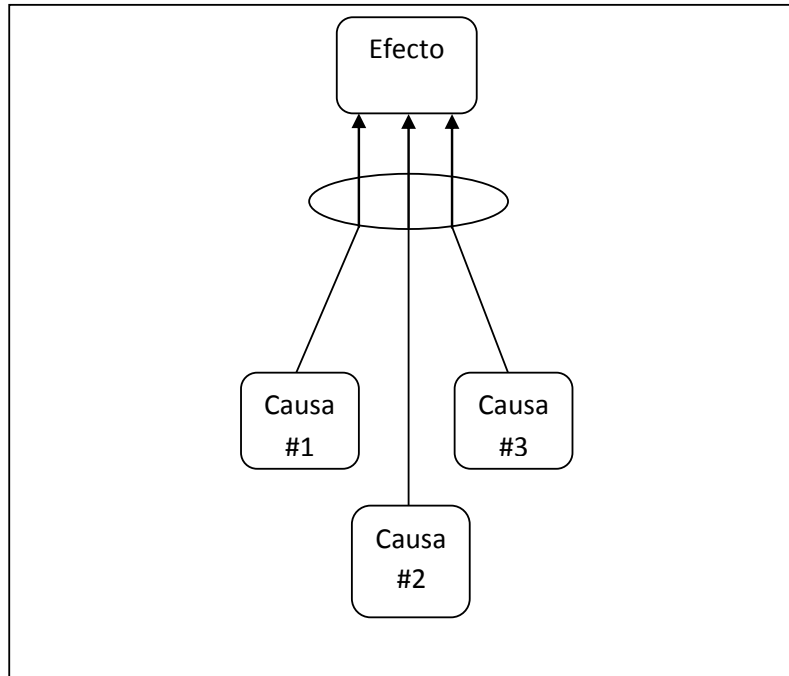


Figura 2.7: Representación de una relación causa-efecto, con múltiples causas dependientes.
Fuente: Goldatt's Theory of Constraints. William Dettmer.

Si ocurre la causa #1 “y” la causa #2 “y” la causa #3, entonces ocurre el efecto. Esto sirve para identificar a las causas que contribuyen, en su conjunto, a lograr uno o varios efectos.

- 3) Con el primer nivel de relaciones causales finalizado, se debe continuar con el segundo nivel de profundidad y agregar los E.I. que son causas de los E.I. que ya están en el diagrama.
- 4) Cuando no se puedan conectar más los E.I. de la lista entre sí, se deben añadir causas adicionales (C.A.) que permitan su conexión para explicar las relaciones entre ellos.
- 5) Se debe continuar el proceso de búsqueda del problema raíz hasta que al final del proceso, en la parte inferior del árbol, se obtenga un pequeño número de causas que no tienen otras causas para explicarlas. Estas causas son las causas raíces del problema, también se puede encontrar la causa raíz principal (C.R.P.) es decir, la causa que provoque el 70% o más de los E.I.

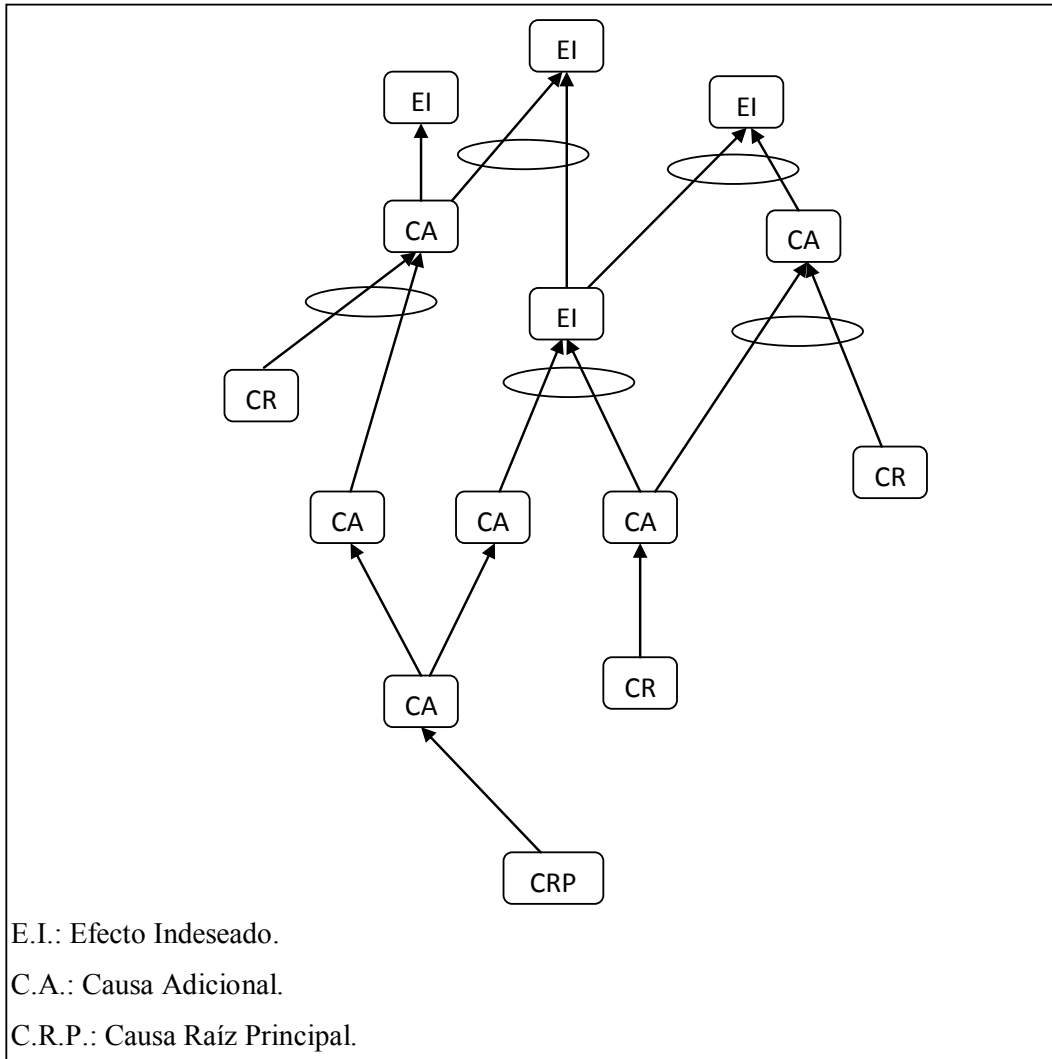


Figura 2.8: Árbol de la realidad actual.
 Fuente: Elaboración propia

2.2 Selección de la metodología

Luego de la identificación y definición de las metodologías existentes para identificar la causa raíz de un problema, se procederá a analizarlas y seleccionar la metodología adecuada para el problema de esta memoria.

Análisis

Como se describió en la definición del problema, este trabajo se basa en la problemática del quiebre de stock en producto terminado de la línea de dulce de membrillo, por lo tanto la metodología que se seleccione debe tener ciertas características como:

- 1) Ser capaz de rastrear la causa raíz de un problema específico.
- 2) Ser capaz de identificar múltiples causas para un efecto.
- 3) Ser capaz de establecer relaciones lógicas “y” y “o” para identificar causas dependientes e independientes respectivamente.
- 4) Ser capaz de detectar las causas más influyentes.
- 5) Presentar un formato claro y fácil de entender incluso cuando existan muchas causas interrelacionadas.

Para la selección de la metodología, estas características serán evaluadas en la tabla 2.3 a través de una matriz de decisión, la cual reflejará cuándo una metodología posee o no las características antes mencionadas.

Características	Metodologías			
	5 Por qué		Diagrama C y E	ARA
	Tabla	Árbol		
Rastree la causa raíz de un problema específico	Sí	Sí	Sí	No
Identifique múltiples causas para un efecto	No	Sí	Sí	Sí
Establezca relaciones lógicas “y” y “o” para identificar causas dependientes e independientes respectivamente	No	Sí	No	Sí
Detecte las causas más influyentes	No	Sí	Sí	Sí
Presente un formato claro y fácil de entender incluso cuando existan muchas causas interrelacionadas	No	Sí	No	Sí

Tabla 2.3: Comparación metodologías

Fuente: Elaboración propia.

Para explicar por qué las metodologías no cumplen con todas las características antes mencionadas, a continuación se efectúa un análisis:

- 1) El propósito del ARA es buscar las causas raíces a partir de una lista de efectos indeseados en un sistema, no a partir de un problema en específico, como es el caso de este trabajo.
- 2) El método de los 5 Por qué usado como tabla sólo se utiliza cuando existe una causa para cada efecto indeseado, por lo tanto, se le hace difícil detectar las causas más influyentes y, por tanto, la verdadera causa raíz.
- 3) El diagrama causa-efecto de Ishikawa no representa situaciones cuando múltiples causas en conjunto provocan un efecto y, a la vez, causas

independientes lo hacen. Por lo tanto cuando existen variadas causas interrelacionadas se hace difícil de entender.

En consecuencia y como lo muestra la matriz de decisión, la metodología de los 5 Por qué aplicada como grafo de árbol o también llamada Árbol de los 5 Por qué, es la que cumple con todas las características necesarias para realizar un efectivo análisis de causa raíz. Por lo tanto, ésta será la metodología escogida para realizar el análisis.

2.3 Aplicación del árbol de los 5 por qué.

Como se mencionó anteriormente, mediante la metodología “entrevista a expertos”, se logra identificar el problema que existía en la empresa Eckart, el cual se manifestó como la inexistencia de una planificación de producción, sin embargo, con el fin de ratificar esta información entregada, se lleva a cabo la utilización de la metodología de los 5 por qué, si bien es cierto la falta de planificación, a los ojos de los expertos consultados, era el problema principal, el cual tenía como consecuencia final los constantes quiebres de stock, también estaban conscientes de que podrían existir otros factores que influyeran en la ocurrencia de estas situaciones, por lo cual era necesario tener una imagen más gráfica de la real influencia de cada una de las causas participantes.

Como primer paso se define el efecto final de todas las posibles causas, que es el quiebre de stock, específicamente en la línea de producción del dulce de membrillo de la empresa, lo cual tenía como causa directa y evidente que, no existían cantidades suficientes de producto terminado para satisfacer la demanda. Esta causa a su vez tenía como respuesta al “Por qué”, de su existencia, básicamente dos causas que eran:

- No se cuenta con una política de control de inventarios.
- No se produce lo necesario.

La primera causa a analizar fue la inexistencia de una política de control de inventario, lo que dio como causa origen la inexistencia de un stock de seguridad para satisfacer la demanda del producto, debido a que no se conocía la rotación de cada producto, fundamentalmente porque no se trabaja con información histórica.

La segunda causa, que correspondía a “No se produce lo necesario” tuvo un desglose causal bastante más abultado que el anterior, ya que acá se concluye como causas probables las siguientes:

- No hay suficiente dotación de trabajadores.
- No existe una correcta planificación de la producción.
- Capacidad de los equipos es insuficiente.

Con respecto a la inadecuada dotación de trabajadores, si bien se menciona como probable causa, debido a que en ocasiones era necesario realizar turnos de emergencia para continuar la producción, esta situación no era frecuente durante el año, siendo catalogada por ellos mismos como hechos aislados.

Referente a la causa de “Capacidad de los equipos es insuficiente”, según el encargado de producción, la capacidad nominal de éstos, no presentaría limitantes al momento de producir, dejando a su vez abierta la posibilidad de que afecte de algún modo, pero que estaría motivado por un problema de gestión, debido a que se recibirían más pedidos de lo que la empresa puede producir en ocasiones puntuales. Sin embargo, al momento de llegar a la causa siguiente, “No existe una correcta planificación de la producción”, se puede observar un gran desglose de causas, que demuestran un evidente conflicto en este ítem, las cuales son:

- No está definido el rol de quien realiza la planificación.
- Se planifica según experiencia
- Se produce en base a la demanda diaria
- No se cuenta con un pronóstico de demanda

A su vez estas causas eran originadas por otras, tales como inexistencia de personal técnico calificado para cumplir el rol de planificación, no se trabaja con información histórica, sistema de información inadecuado a las necesidades de la empresa, junto con otras que se expresan en la figura 2.9.

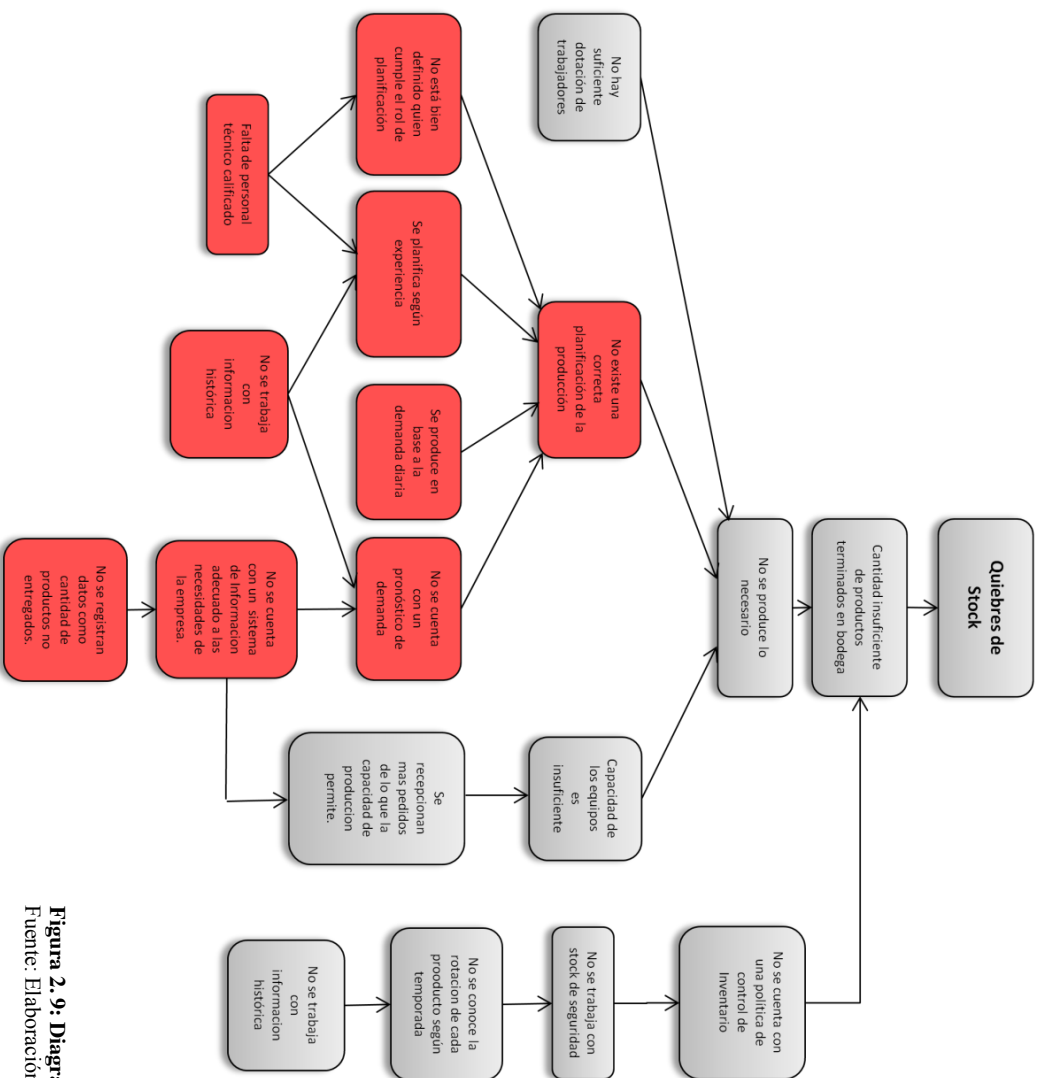


Figura 2. 9: Diagrama Árbol de los 5 Por qué.
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión

En base a lo descrito anteriormente y, a lo manifestado en el árbol de los 5 Por qué, el problema planteado por los expertos queda confirmado y por ende será el problema a resolver en la presente memoria, el cual se refiere a una “incorrecta planificación de la producción”.

2.4 Planificación de la producción y niveles de detalle

Toda organización que trabaja en base a distintos sistemas de producción, se ve sometida a complejas exigencias del mercado, debido a que se deben considerar cada vez más variables con incidencia directa en estos sistemas. Por lo cual cada organización debe conocer de manera precisa distintos aspectos y características, tanto externas como internas que participan en el proceso, las cuales definirán su capacidad de satisfacer las exigencias del mercado al que apunta.

Estos aspectos, que hace algunos años se consideraban como deseables, en la actualidad son vitales para lograr el éxito de una organización. Debido a esto, es necesario desarrollar sistemas de gestión que logren establecer lineamientos adecuados para los sistemas de producción, enfocándose específicamente en la planificación de la producción y sus distintos niveles.

“La planificación de la producción se puede definir como un proceso continuo cuyo objeto es determinar anticipadamente decisiones que permitan optimizar el uso de los recursos productivos” [Boiteux07].

Para realizar una planificación de la producción, se debe considerar de manera ineludible la demanda existente, lo cual es complejo de abordar a partir de un solo nivel, en consecuencia, el proceso de planificación y control de la producción se realiza siguiendo una jerarquización para alcanzar una integración vertical entre los objetivos estratégicos, tácticos y operativos del sistema productivo.

Esta jerarquización de la planificación de la producción, toma en cuenta principalmente dos características, el horizonte temporal de la planificación, y la unidad que es considerada, lo cual se presenta en la figura 2.10.

Horizonte de Planificación Unidad de Planificación

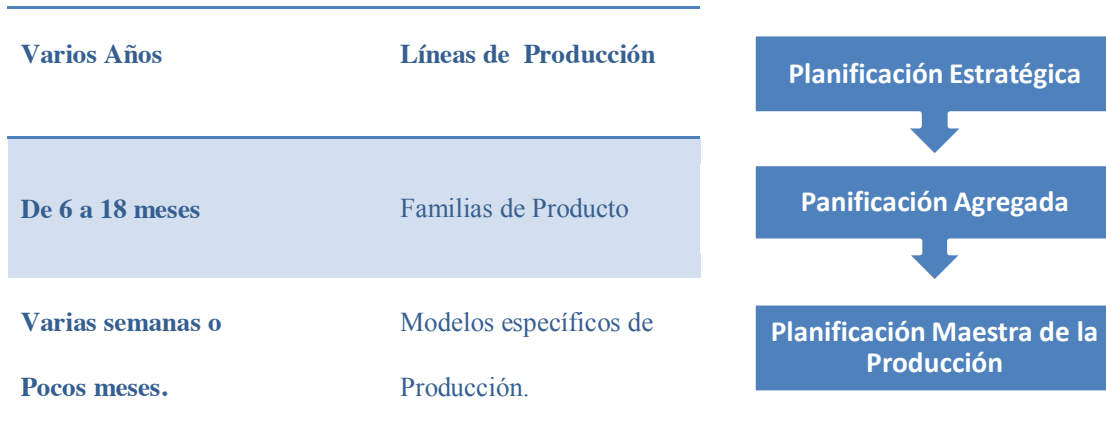


Figura 2.10: Diagrama horizonte planificación.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 2.10, la planificación de la producción se divide en tres etapas, planificación estratégica, planificación agregada, y planificación maestra de la producción, las cuales están distribuidas en un orden jerárquico dependiendo de las características de cada etapa.

2.4.1 Planificación estratégica

La planificación estratégica o a largo plazo, es la fase de la planificación que nace de los objetivos estratégicos de la organización, la cual se genera tomando en cuenta un horizonte temporal superior a un año. En este nivel se establece la capacidad instalada, es decir, instalaciones, proveedores, procesos productivos, etc. con el fin de generar una estrategia que esté dirigida al cumplimiento de metas de la empresa. Dentro de estos objetivos o actividades de planificación se pueden mencionar:

- Desarrollo de Productos
- Modificación de Productos existentes
- Desarrollo y modificación de procesos

- Valoración de necesidades de capacidad
- Análisis de la conveniencia de abrir nuevas instalaciones
- Determinación de cuándo hay que tomar decisiones

2.4.2 Planificación agregada

La planificación agregada o de mediano plazo, es la etapa en la que se concreta la planificación estratégica, ocupando como restricción parámetros como la capacidad disponible establecida en la fase anterior. *“Aquí no se detalla el trabajo día a día, sino que la producción se planifica en periodos de tiempo de meses o quincenas que conforman un horizonte temporal para su desarrollo de 6 a 18 meses”* [Boiteux07], en donde se consideran de manera agregada las unidades a producir, pero en un grado menor al de la planificación estratégica, aquí se consideran familias de productos, con el fin de alcanzar el plan de producción a largo plazo al menor costo posible.

Para llevar a cabo esta planificación es necesario considerar diversas variables de decisión tales como:

- Stock (inventarios)
- Nivel de fuerza laboral
- Nivel de producción
- Subcontratación
- Horas de trabajo

A su vez, es necesario asimilar las restricciones a las cuales está sujeta esta planificación que, como se mencionó anteriormente, dependen directamente de la planificación estratégica, estas restricciones según [Eilon82] se pueden especificar de la siguiente forma:

- Especificaciones del producto, que se refieren a sus características físicas, químicas y de calidad.
- Restricciones técnicas, impuestas por la capacidad de las máquinas y las personas para realizar ciertas tareas.

- Requerimientos del mercado, respecto a las fechas de entrega y a la necesidad de evitar rupturas de stock.
- Aspectos de operación, relacionados con la capacidad y disponibilidad de instalaciones.

2.4.3 Planificación maestra de la producción

En la planificación maestra se establecen unidades más desagregadas, o sea, unidades de productos, para un horizonte temporal semanal. Esta planificación debe ser factible respecto a la capacidad, sobre todo porque se trabaja con un nivel de mayor desagregación, considerando también que, si se cumpliera con dicha capacidad, de igual forma pudiesen ocurrir desajustes semanales, además, esta programación debe ser compatible con el plan agregado de producción establecido en la fase anterior.

El programa maestro debe ser lo suficientemente estable, para que pueda llevarse a cabo, y flexible para atender las pequeñas variaciones de la demanda. Se necesita la estimación de la demanda a corto plazo.

Con los diferentes niveles de planificación ya definidos, se procede a escoger el nivel de planificación que más se ajusta como solución a la problemática planteada en la descripción del problema, y así desarrollarlo para la solución de ésta.

Mediante entrevistas a diferentes expertos de la empresa, se determinó la ausencia de planificación de la producción en sus diferentes niveles, ya que la elaboración de los productos se realiza en función de la demanda diaria, lo que quiere decir que se produce día a día sin prever la demanda futura, lo cual ha originado los quiebres de stock. A causa de esto, la propuesta que se entregará será el primer acercamiento en la planificación, por lo tanto, el nivel escogido para su desarrollo será la planificación a mediano plazo o planificación agregada, de esta manera se elaborará un plan productivo que cumpla con las restricciones de la capacidad instalada y dejará en libertad al jefe de producción para su desarrollo dentro del periodo de planificación, que será de un mes.

2.5 Métodos para el desarrollo de la planificación a mediano plazo

A continuación se presentarán los métodos aplicables para resolver el típico problema de la planificación de la producción a mediano plazo. Estos se pueden dividir en tres categorías: métodos de comparación de alternativas; métodos con regla de decisión y métodos basados en programación lineal.

2.5.1 Métodos de comparación de alternativas

Estos métodos, como su nombre lo indica, sirven para generar y comparar diferentes alternativas de planificación, para luego seleccionar la idónea en función del costo. Para lograr esto se utilizan hojas de cálculo y gráficas las cuales por su sencillez facilitan el contraste entre los distintos planes [Boiteux07].

Según [Render&Heizer04], existen cinco pasos para realizar esta metodología.

1. Determinar la demanda para cada periodo.
2. Determinar la capacidad del tiempo normal, tiempo extra y subcontratado para cada periodo.
3. Encontrar los costos de mano de obra, contratación y despido, así como los costos de mantener inventario.
4. Considerar la política de la compañía que se aplica a los trabajadores o a los niveles de inventario.
5. Desarrollar planes alternativos y estudiar sus costos totales.

En el desarrollo de los planes alternativos se van plasmando diferentes estrategias como: variar la tasa de producción mediante tiempo extra o tiempo ocioso, subcontratar, producir para cubrir la demanda promedio esperada para mantener una fuerza de trabajo constante, producir a una tasa constante y subcontratar la demanda excedente, etc.

Como se puede apreciar este es un método sencillo de usar y permite que quienes planean comparen la demanda proyectada con la capacidad existente. Es de amplia utilidad para evaluar diferentes estrategias, no así para crearlas y obviamente no garantiza un plan óptimo de producción.

2.5.2 Métodos con regla de decisión

Estos son métodos que proporcionan un plan agregado a nivel de producción, de fuerza de trabajo, horas extras, stock, etc. a partir de los datos de pronósticos de demanda, costos, stock actuales, etc. mediante un conjunto de expresiones matemáticas que pueden ser lineales o no [Boiteux07]. Entre estos métodos se encuentran:

Regla de decisión lineal (LDR)

La regla de decisión lineal (LDR por sus siglas en inglés) fue desarrollada por Holt, Modigliani, Muth y Simón (1955) la cual es un aporte al desarrollo de modelos matemáticos para la planificación agregada. Este método se basa en el desarrollo de una función cuadrática de costos asociados a la nómina regular de trabajadores, cambios en la cantidad de producción, stock, horas extras, nuevas contrataciones y despidos, de la cual se obtienen, derivando e igualando a cero para minimizar el costo total, dos reglas de decisión lineal para calcular la tasa de producción y el nivel de la fuerza laboral del siguiente periodo, usando pronósticos agregados de ventas.

Estas reglas de decisión lineal son ecuaciones que están compuestas de una serie de términos con los pronósticos de demanda para un número de periodos futuros, acompañado cada uno por coeficientes constantes, y cada regla tiene en cuenta los niveles actuales de fuerza de trabajo y de stock.

Si bien el método produce resultados óptimos, éstos dependen de que la función de costos sea cuadrática, lo cual con frecuencia no es cierto. Otra limitación del método es que las variables de decisión no están restringidas, y esto es poco representativo de la realidad. [Boiteux07]

Al método básico de la LDR con el tiempo se le agregaron nuevas variantes, como la hecha por Sypkens (1967), el cual identifica a la capacidad de la planta como una variable de decisión además de la fuerza de trabajo y el índice de producción. Chang y Jones (1970) generalizaron este método para aplicarlo tanto a la planificación agregada como detallada, en una situación de múltiples productos y ampliaron el marco conceptual para manejar situaciones en que el inicio y el fin de la producción no pueden verificarse en el mismo

periodo, esto quiere decir que es para productos de gran envergadura tal como aviones, barcos, turbinas de vapor etc. Ambos casos se aplicaron teniendo en cuenta las restricciones mencionadas en el párrafo anterior.

a) **Modelo de coeficientes administrativos**

El modelo de coeficientes administrativos de Bowman (1963), consiste en modelizar directamente el proceso de decisión de las personas que toman decisiones de planificación basándose en su experiencia y desempeño. El modelo supone que el desempeño pasado del planificador ha sido bastante bueno, por lo cual es útil como base para decisiones futuras. La técnica aplica un análisis de regresión de las decisiones anteriores de producción tomadas por los planificadores. La línea de regresión proporciona la relación entre las variables (como demanda y mano de obra) para las decisiones futuras [Render&Heizer04].

Como se mencionó anteriormente, este modelo se basa en la idea de que el planificador conoce su oficio y, por lo tanto, toma decisiones acertadas normalmente pero que, debido a las urgencias y presiones del trabajo, altera a veces el peso de los datos y comete errores en la toma de decisiones[Boiteux07].

2.5.3 Métodos basados en programación lineal

“Cuando un problema de planeación agregada se ve como un problema de asignación de la capacidad de operación para satisfacer la demanda pronosticada, puede plantearse en un formato de programación lineal” [Render&Heizer04]. Este método es apropiado si el costo y las relaciones entre las variables son lineales.

a) **Método del transporte de Bowman**

Según [Render&Heizer04], dentro de los métodos más referenciados se encuentra el método del transporte (1956), el cual propone, a través de una matriz de transportación, alternativas de producción (producción en horas regulares, horas extras y subcontratación) para cada periodo (en la primera

columna) y la misma cantidad de periodos en la primera fila de la matriz, más la capacidad total disponible por tiempo correspondiente (horas regulares, extras y subcontratación). Esta matriz también considera el costo de almacenamiento y el costo de producción. El problema consiste en cómo distribuir la demanda proyectada por periodo en producción por horas regulares, extras o subcontratación. Para resolver este problema se asigna la mayor cantidad posible de producción a la celda de la matriz con el costo menor, sin exceder su capacidad, si aún queda demanda debe asignarse la más posible a la siguiente celda que contenga el costo más bajo, y así sucesivamente. Como resultado se obtiene un plan óptimo que minimiza los costos.

b) Programación lineal

“En los modelos de programación lineal para planificar la producción se busca el plan de producción óptimo para una función objetivo lineal y una serie de restricciones lineales. Los modelos de programación lineal tienen capacidad para manejar un gran número de variables y restricciones y, a diferencia del método del transporte, no se limitan al uso de un plan de capacidad específico” [Krajewsky&Ritzman2000]. Estos modelos suelen utilizarse para determinar los niveles óptimos de inventario, volúmenes de producción, cantidades que deben asignarse a subcontratistas, etc.

Según [Boiteux07], algunas características de los problemas de planificación modelizados a través de programación lineal pueden ser las siguientes:

- a. El horizonte de planificación puede ser de un periodo o de múltiples periodos.
- b. La organización puede producir un solo producto, o múltiples productos que compiten por los mismos recursos.
- c. Los recursos críticos pueden ser uno o múltiples (máquinas, materia prima, dinero, etc.).
- d. En las etapas de fabricación pueden intervenir varios centros de fabricación o sólo uno.
- e. Se puede admitir ruptura de stock o no.
- f. La demanda puede ser conocida o no determinista.

g. La fuerza laboral puede ser fija o variable.

Estas características, pueden variar según el caso particular del problema a tratar.

Como se puede apreciar, el método de programación lineal para la planificación de la producción es el más completo de todos, ya que se adapta a cualquier situación en la problemática de la planificación, siempre y cuando todas las relaciones entre las variables sean lineales.

2.6 Selección del método de planificación

Luego de la identificación y definición de las metodologías para la planificación de la producción, se procederá a analizarlas y seleccionar la metodología adecuada para el problema de este trabajo de título.

Las metodologías basadas en la comparación de alternativas dan una respuesta fácil y rápida al problema de planificación, además, por su simplicidad, son sencillas de comprender, pero tal como se mencionó anteriormente, sirven más para comparar estrategias que para generarlas, por lo tanto no garantizan un plan óptimo de producción.

Las metodologías basadas en reglas de decisión, nos dan un acercamiento matemático hacia la planificación. La LDR y sus variantes, si bien producen resultados óptimos, éstos dependen de que la función de costos sea cuadrática, lo cual con frecuencia no es cierto. Otra limitación del método es que las variables de decisión no están restringidas, y esto es poco representativo de la realidad.

Por otra parte, el modelo de coeficientes administrativos se basa en el buen desempeño pasado del planificador, para así fiarse de este conocimiento y aplicarlo como base para decisiones futuras, lo que no se aplica a la empresa en estudio, ya que no hay un único planificador, no hay un buen desempeño pasado y no existe una planificación a mediano plazo.

Las metodologías basadas en programación lineal ofrecen resultados óptimos y son una gran alternativa para el desarrollo de los planes. En el caso del método del transporte, este es una forma especializada de programación lineal, el cual se limita a alternativas de producción, como son horas regulares, extras y subcontratadas para un plan de capacidad específico, por lo tanto, no admite variaciones para un problema en particular diferente.

En el caso del método de programación lineal en su forma genérica, los autores estudiados la proponen como la metodología más idónea para resolver el problema de la planificación de la producción ya que es capaz de manejar un mayor número de variables de decisión y se adapta a cualquier situación, siempre que los costos y la relación entre las variables sean lineales, el cual es el caso de esta empresa, por lo tanto la metodología seleccionada para el desarrollo de este trabajo será la programación lineal.

Antes de explicar en qué consiste la programación lineal y su desarrollo, se deben calcular los pronósticos de demanda y stock de seguridad para cada uno de los productos de la línea de dulce de membrillo y de esta manera utilizarlos como datos de entrada al modelo, lo que permitirá generar la planificación de la producción.

2.7 Metodologías para realizar pronósticos

Todos los días en las organizaciones se toman decisiones sin saber lo que ocurrirá en el futuro. Se ordenan inventarios sin saber cuánto se venderá, se compran equipos nuevos a pesar de la incertidumbre de la demanda de los productos y se realizan inversiones sin saber las ganancias que tendrán. Ante la incertidumbre, los encargados de operaciones procuran hacer siempre mejores estimaciones de lo que ocurrirá en el futuro. Hacer estimaciones correctas es el principal propósito de pronosticar [Render&Heizer04].

Una definición básica de pronóstico se presenta a continuación:

“Un pronóstico es una predicción de eventos futuros que se utiliza con fines de planificación” [Krajewski&Ritzman2000].

En este contexto, al igual que hay distintos niveles de planificación según su horizonte temporal, también existen distintos niveles de pronósticos según el tiempo correspondiente a la decisión que requiera pronosticarse. Según [Krajewski&Ritzman2000], estos pronósticos pueden ser a corto, mediano y largo plazo, los cuales se presentan a continuación:

- 1) A corto plazo. Este pronóstico abarca de 0 a 3 meses, aquí los profesionales se centran en obtener pronósticos de demanda para productos o servicios individuales. Como se dispone de poco tiempo para reaccionar ante los errores, es necesario que los pronósticos alcancen la mayor precisión posible. El análisis de series de tiempo es el método que se utiliza más frecuentemente.
- 2) A mediano plazo. Este pronóstico abarca entre 3 meses y 2 años futuros y se relaciona con la planificación de la capacidad. Además el nivel de detalle para este pronóstico no es tan grande como el de corto plazo, en este caso se pronostica la demanda total de ventas o el número de unidades por grupo de productos similares. Los métodos causales son los más comunes es este tipo de pronóstico. El análisis de series de tiempo no produce resultados precisos a mediano o largo plazo, porque en él se supone que los patrones existentes van a continuar en el futuro.
- 3) A largo plazo. Este pronóstico abarca más de 2 años y se emplea para planear nuevos productos, ubicación o ampliación de las instalaciones y el I+D.

Sin importar el propósito del sistema para el cual se utilizara el pronóstico, es muy importante comprender algunas de sus características fundamentales [Chapman06]:

- 1) Los pronósticos son casi siempre incorrectos. Lo sustancial es concentrar la atención en “qué tan equivocado esperamos que sea” y en “cómo planeamos darle cabida al error potencial en el pronóstico”.
- 2) Los pronósticos son más precisos para grupos o familias de artículos. Es más fácil desarrollar un buen pronóstico para una línea de productos que para un producto individual, ya que los errores tienden a cancelarse entre sí a medida que se les agrupa.

- 3) Los pronósticos son más precisos cuando se hacen para periodos cortos. En general son menos las perturbaciones potenciales respecto al futuro próximo que pueden impactar la demanda de productos.
- 4) Todo pronóstico debe incluir un error de estimación. Para estar completo, un buen pronóstico contiene tanto una estimación básica como una estimación de su error.

Enfoques de pronósticos

“El objetivo del pronosticador es elaborar un pronóstico útil a partir de la información disponible, aplicando la técnica que resulte apropiada para las diferentes características de la demanda” [Krajewski&Ritzman2000]. En este contexto, existen dos enfoques generales al pronosticar, uno es el análisis cualitativo y el otro, el cuantitativo. El cualitativo o subjetivo incluye aquellos factores como la intuición, experiencias personales y opiniones de expertos, cuando se carece de datos históricos adecuados, como en los casos en que se presenta un nuevo producto o se espera un cambio en la tecnología, de esta forma, las empresas confían en la experiencia y el buen juicio administrativo para generar pronósticos. El método cuantitativo utiliza una variedad de modelos matemáticos que se apoyan en datos históricos o en variables causales para realizar el pronóstico. Según [Krajewski&Ritzman2000], el método cuantitativo se divide en dos modelos, modelos de series de tiempo y modelos causales:

- 1) Modelos de series de tiempo: los modelos de series de tiempo son métodos estadísticos que predicen bajo la suposición de que el patrón de la variable en el pasado habrá de continuar en el futuro. En el análisis se identifican los patrones fundamentales de la demanda que se combinan entre sí para generar el patrón histórico observado, después de lo cual se elabora un modelo capaz de reproducir dicho patrón.
- 2) Modelos causales: los modelos causales se emplean cuando se dispone de datos históricos y la relación entre el factor que se intenta pronosticar y otros factores externos o internos puede identificarse (promociones publicitarias, condiciones económicas, actividad de competidores, decisiones de gobierno, etc.). Los modelos causales son utilizados para prever los puntos de inflexión de la demanda y la elaboración de pronósticos a largo plazo. El método más conocido y utilizado en este modelo es la regresión lineal.

- 3) Los modelos de series de tiempo son los más adecuados para la realización de esta memoria, ya que se cuenta con información histórica de la demanda. Por otro lado, para la realización de un modelo causal es necesario contar con variables independientes que afecten la demanda del producto en estudio, lo cual la empresa no posee y, además, en el día a día el pronosticador no contará con esta información para realizar una adecuada proyección. Es por esto que el análisis se enfocará sólo en los modelos de series de tiempo. A continuación se presentan los métodos más referenciados.

2.7.1 Promedios móviles

Según [Render&Heizer04], el método de promedios móviles usa un número de valores de datos históricos reales para generar un pronóstico. Los promedios móviles son útiles si podemos suponer que la demanda del mercado permanecerá relativamente estable en el tiempo. Un promedio móvil de 4 meses, se encuentra simplemente sumando la demanda de los últimos 4 meses y dividiéndola entre 4. Al concluir cada mes, los datos del mes más reciente se agregan a la suma de los 3 meses anteriores y se elimina el dato del mes más antiguo. Esta práctica tiende a suavizar las irregularidades del corto plazo en las series de datos. Matemáticamente, el promedio móvil simple se expresa como:

Donde n es el número de periodos que comprende el promedio móvil; por ejemplo, 4, 5 o 6 meses, respectivamente, para un promedio móvil de 4, 5 o 6 periodos.

Cuando se presenta una tendencia o patrón, se utilizan ponderaciones para dar más importancia a los valores recientes. Esta práctica permite que las técnicas de pronóstico respondan más rápido a los cambios, ya que puede darse mayor peso a los periodos más recientes. La elección de las ponderaciones es un tanto arbitraria porque no existe una fórmula establecida para determinarlas. Por ello, decidir qué ponderación emplear requiere cierta experiencia. Un promedio móvil ponderado se expresa matemáticamente como:

$$\text{Promedio movil ponderado} = \frac{\sum(\text{ponderación periodo } n)(\text{demanda periodo } n)}{\sum \text{ponderaciones}}$$

Los promedios móviles presentan tres problemas:

- 1) Los promedios móviles no reflejan bien las tendencias. Ya que son promedios, siempre se quedarán en niveles pasados, no predicen los cambios hacia niveles más altos ni más bajos.
- 2) Requieren amplios registros de datos históricos
- 3) Al aumentar el tamaño de n , si bien permite suavizar mejor las fluctuaciones, también resta sensibilidad ante los cambios reales en los datos.

2.7.2 Suavización exponencial simple

Según [Chase09], con frecuencia los datos más recientes de demanda son más indicativos del futuro que aquellos en el pasado más distante, bajo esta premisa (que la importancia de los datos disminuye conforme el pasado se vuelve más distante) el método más lógico y fácil es el de suavización exponencial. Este método proporciona un promedio móvil con un peso exponencial de todos los valores observados con anterioridad. Con frecuencia este método es utilizado cuando los datos no tienen una tendencia predecible hacia arriba o hacia abajo. Para pronosticar mediante este método sólo se necesitan tres piezas de datos: el pronóstico más reciente, la demanda real que ocurrió durante el periodo de pronóstico y una constante de uniformidad (α). Esta constante determina el nivel de uniformidad y la velocidad de reacción a las diferencias entre los pronósticos y las ocurrencias reales ($0 \leq \alpha \leq 1$). El valor de α es fundamental para el análisis, si se desea que las predicciones sean estables y que se suavicen las variaciones aleatorias se requiere de un valor de alfa bajo, por otro lado, si se desea una respuesta rápida a un cambio real, es apropiado un valor de alfa mayor. Según [Hanke&Wichern06], un método para estimar α es mediante un procedimiento iterativo para minimizar el error cuadrático medio (MSE, que se estudia más adelante), aquí se calculan pronósticos utilizando diferentes valores de α y se escoge el valor de α que produzca el error más pequeño para usarlo en la generación futura de pronósticos.

La ecuación para el pronóstico es la siguiente:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (1)$$

donde

F_t = El pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t .

F_{t-1} = El pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo anterior.

A_{t-1} = La demanda real para el periodo anterior.

α = Constante de suavización.

La ecuación establece que el nuevo pronóstico es igual al pronóstico anterior más una porción del error (diferencia entre el pronóstico anterior y demanda real anterior).

Para aplicar la ecuación (1), se debe fijar un pronóstico inicial F . Una manera de fijar el primer pronóstico es tomarlo como la primera observación o promediar las primeras k observaciones.

2.7.3 Suavización exponencial con ajuste de tendencia: método de Holt

La suavización exponencial simple falla en su respuesta a las tendencias, ya que el pronóstico siempre se queda por debajo o atrás de la ocurrencia real. Para solucionar este problema, se debe agregar un ajuste a las tendencias. La idea es calcular un promedio suavizado exponencialmente de los datos y, después, ajustar el retraso positivo o negativo en la tendencia. Para corregir la tendencia, se necesitan dos constantes de suavización, α para el pronóstico exponencialmente suavizado y β para la tendencia. Beta reduce el impacto del error que ocurre entre la realidad y el pronóstico. A la vez beta se asemeja a la constante alfa, ya que un valor elevado de beta responde mejor a los cambios recientes de una tendencia, y uno bajo le da menos peso a estos cambios y suaviza la tendencia actual.

La ecuación para calcular el pronóstico incluido la tendencia (FIT, *forecast including trend*) es:

$$FIT_t = F_t + T_t \quad (2)$$

$$F_t = \alpha(A_{t-1}) + (1 - \alpha)(F_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3)$$

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (4)$$

donde

FIT_t = Pronóstico incluida la tendencia para el periodo t .

F_t = Pronóstico exponencialmente suavizado para el periodo t .

T_t = Tendencia exponencialmente suavizada para el periodo t .

A_{t-1} = Demanda real del último periodo.

F_{t-1} = Pronóstico del último periodo.

T_{t-1} = Tendencia estimada para el último periodo.

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1$).

β = Constante de suavización ($0 \leq \beta \leq 1$).

Al igual que en la suavización exponencial simple, las constantes de suavización α y β pueden seleccionarse de manera subjetiva o mediante la minimización de una medida del error de pronóstico como el MSE. Además se deben determinar los valores iniciales de F y T para las ecuaciones (3) y (4).

2.7.4 Suavización exponencial método de Holt-Winters

Este método es una extensión del método de Holt y es utilizado cuando se presenta un patrón estacional y de tendencia en la serie de tiempo bajo análisis. Este método presenta dos variantes: el método aditivo de Holt-Winters y el método multiplicativo de Holt-Winters. El método aditivo se utiliza para series temporales con variación estacional constante, es decir, cuando la magnitud del cambio estacional no depende del nivel de la serie temporal y el método multiplicativo se aplica en series temporales con variación estacional creciente, es decir, que la magnitud del cambio estacional depende del nivel de la serie temporal.

El método de Holt-Winters es también conocido como método de suavización exponencial triple, ya que en su desarrollo además de suavizar exponencialmente la serie de datos y la tendencia, debe estimar la estacionalidad para el siguiente periodo y por lo tanto utiliza una nueva constante de suavizado.

A continuación se presentan ambos métodos:

Método aditivo

$$E_t = \alpha(Y_t - S_{t-L}) + (1 - \alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) \quad (5)$$

$$T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (6)$$

$$S_t = \delta(Y_t - E_t) + (1 - \delta)S_{t-L} \quad (7)$$

$$\hat{Y}_{t+j} = E_t + jT_t + S_{t-L+j} \quad (8)$$

Método multiplicativo

$$E_t = \alpha\left(\frac{Y_t}{S_{t-L}}\right) + (1 - \alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) \quad (9)$$

$$T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (10)$$

$$S_t = \delta\left(\frac{Y_t}{E_t}\right) + (1 - \delta)S_{t-L} \quad (11)$$

$$\hat{Y}_{t+j} = (E_t + j(T_t))S_{t-L+j} \quad (12)$$

Donde

E_t = Pronóstico exponencialmente suavizado para el periodo t .

Y_t = Valor real de la serie de tiempo para el periodo t .

T_t = Estimación de la tendencia para el periodo t .

S_t = Estimado de estacionalidad para el periodo t .

S_{t-L} = Índice de estacionalidad en el periodo $t - L$.

L = Longitud o duración de la estacionalidad.

j = Cantidad de periodos a pronosticar.

α = Constante de suavización para el pronóstico ($0 \leq \alpha \leq 1$).

β = Constante de suavización para el estimado de tendencia ($0 \leq \beta \leq 1$).

δ = Constante de suavización para el estimado de estacionalidad ($0 \leq \delta \leq 1$).

\hat{Y}_{t+j} = Pronóstico para el periodo j en el futuro.

Según [Hanke&Wichern06], los pesos para las constantes α , β y δ pueden elegirse de forma subjetiva o mediante un criterio de mínimo error de pronósticos, como el MSE. El enfoque más común para determinar estos valores es utilizar un algoritmo de optimización, a fin de encontrar las constantes de suavización óptimas. Además, al igual

que en los métodos anteriores, se deben fijar los valores iniciales de la serie suavizada E_t , la tendencia T_t y los índices de estacionalidad S_t . Un enfoque es fijar el primer estimado de la serie suavizada igual a la primera observación, el estimado de la tendencia igual a cero y los índices estacionales se fijan en 1.0, cada uno. Existen otros métodos para iniciar estos estimados.

2.8 Proceso de selección del método de pronóstico

La precisión general de cualquier método de pronóstico se determina comparando los valores pronosticados con los valores reales u observados, es por esto, que para la selección del método de pronóstico a utilizar, se trabajará con una serie de estadísticos que miden el error para cada uno de ellos. Se escogerá el método que produzca errores relativamente pequeños de forma persistente.

Para calcular el error de pronóstico o residual de cada periodo pronosticado se utiliza la ecuación:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t$$

donde

e_t = Error de pronóstico en el periodo t .

Y_t = Valor real en el periodo t .

\hat{Y}_t = Valor de pronóstico para el periodo t .

A continuación, se presentan los estadísticos que miden el error de pronóstico sugeridos por [Hanke&Wichern06] en su libro “*Pronósticos en los negocios*”:

Un método para evaluar las técnicas de pronósticos utiliza la suma de los errores absolutos. La desviación absoluta media (MAD, del inglés *mean absolute deviation*) mide la precisión del pronóstico al promediar las magnitudes de los errores de pronóstico (valores absolutos). MAD es más útil cuando se quiere medir el error en las mismas unidades que la serie original.

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

El error cuadrático medio (MSE, del inglés *mean squared error*) es otro método, en el cual cada error de pronóstico se eleva al cuadrado, luego se suman y se dividen entre el número de observaciones.

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

En ocasiones, es más útil calcular los errores en términos de porcentajes en lugar de cantidades. El error porcentual absoluto medio (MAPE, del inglés *mean absolute percentage error*) se calcula al encontrar el error absoluto en cada periodo, dividiéndolo entre el valor real observado para ese periodo y luego promediando los errores porcentuales absolutos. El MAPE da una indicación de cuán grandes son los errores en comparación con los valores reales y es útil cuando los valores reales de la serie son grandes.

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

Otro estadístico que se utilizará es el sesgo, éste indica si el método de pronóstico produce estimaciones más altas o más bajas de manera sistemática. En este caso se usa el error porcentual medio (MPE, del inglés *mean percentage error*) que se calcula dividiendo el error de cada periodo por el valor real para dicho periodo y a continuación se promedian estos errores porcentuales. Si el método de pronóstico no tiene sesgo, el MPE producirá un número cercano a cero. Si el resultado es un alto porcentaje negativo, el método sobreestima de forma consistente, y si el resultado es un porcentaje alto positivo, el método subestima consistentemente.

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t}$$

Por último, para verificar si el método escogido por la regla del menor error es el idóneo, los errores de pronóstico deben corresponder a una serie aleatoria, para comprobar esto, se examinará la función de autocorrelación para los residuales.

2.9 Desarrollo y selección de los métodos de pronóstico

Como se mencionó en el apartado “Metodologías para realizar pronósticos”, los métodos a evaluar son: medias móviles, suavización exponencial simple, suavización exponencial con ajuste de tendencia (método de Holt) y suavización exponencial triple (método de Holt-Winters). Para el desarrollo de estos métodos se empleó el software Microsoft Excel 2007, utilizándose los datos de demanda de cada producto de la línea de dulce de membrillo del año 2012 para pronosticar la del año 2013 y, de esta manera, hallar la diferencia entre la demanda real y la pronosticada, para obtener posteriormente los estadísticos del error y así evaluar cada método de pronóstico.

El primer paso fue establecer los pronósticos de partida para los diferentes métodos (excepto medias móviles). El pronóstico inicial se puede establecer como la primera observación del conjunto de datos o como un promedio de estos, para su selección se estableció la regla del menor error, lo que arrojó como resultado fijar el pronóstico inicial como el promedio de la demanda del año 2012.

El segundo paso fue establecer la tendencia inicial para el método de Holt y el método de Holt-Winters, la cual puede ser establecida como cero o como la pendiente de una recta que se ajusta a las primeras observaciones (2012), para este caso se utilizó para decidir la misma regla, del mínimo error, y el resultado fue establecer la tendencia inicial igual a cero en ambos métodos.

Finalmente, se establecieron los índices de estacionalidad inicial para el método de Holt-Winters, los cuales abarcan todo el año 2012, éstos se determinan dividiendo la demanda real del periodo por el pronóstico inicial.

Con los pronósticos, la tendencia y los índices de estacionalidad inicial ya definidos, la siguiente etapa en el desarrollo de los pronósticos fue introducir las fórmulas de cada uno de los métodos de pronóstico en la planilla de cálculo de Excel, aplicando éstas a las demandas de los diez productos de la línea de dulce de membrillo.

En el caso de las medias móviles, se decidió ocupar un promedio de las últimas doce observaciones ya que con un número menor, los errores de pronóstico aumentaban.

Previamente a obtener los pronósticos deseados, se tuvo que determinar el valor de las distintas constantes de suavización α , β y γ para cada uno de sus métodos. El

método para hallar el valor de las constantes fue el sugerido en el libro “Pronósticos en los negocios” de [Hanke&Wichern06], el cual señala que se deben encontrar mediante un algoritmo de optimización para minimizar el error cuadrático medio (MSE), para esto se utilizó la herramienta Solver de Excel.

Con los datos iniciales establecidos, las fórmulas introducidas en las planillas de cálculo y las constantes de suavización preparadas, se procedió a calcular los pronósticos deseados.

En las siguientes páginas se muestra el desarrollo del pronóstico para el producto Dulce de membrillo marca Líder en formato de 1 [kg] (DUMELD10), dispuesto en cajas de 8 [kg] cada una. Los pronósticos para los demás productos se encuentran en el Anexo III (página 121).

Cabe mencionar que la columna “nivel” en la tabla 2.4, 2.52.6 y 2.7, hace referencia al primer parámetro del modelo de pronóstico al cual se ajustan los datos.

Pronóstico método de Holt

PERIODO	DEMANDA (Cajas)	NIVEL	TENDENCIA	PRONOSTICO	ERROR
ene-12	390				
feb-12	390				
mar-12	975				
abr-12	707				
may-12	715				
jun-12	650				
jul-12	1040				
ago-12	1170				
sep-12	1040				
oct-12	1170				
nov-12	546				
dic-12	650	787	0		
ene-13	681	661	0	661	20
feb-13	650	679	0	679	-29
mar-13	975	652	0	652	323
abr-13	780	950	0	950	-170
may-13	705	793	0	793	-88
jun-13	1097	712	0	712	385
jul-13	1545	1067	0	1.067	478
ago-13	1603	1507	0	1.507	96
sep-13	1247	1595	0	1.595	-348
oct-13	1459	1275	0	1.275	184
nov-13	1007	1444	0	1.444	-437
dic-13	943	1042	0	1.042	-99

α	0,9210495	MAD	222	MAPE	20%
β	0	MSE	73727	MPE	0%

Tabla 2.4: Pronóstico para DUMELD10, método de Holt.
Fuente: Elaboración propia.

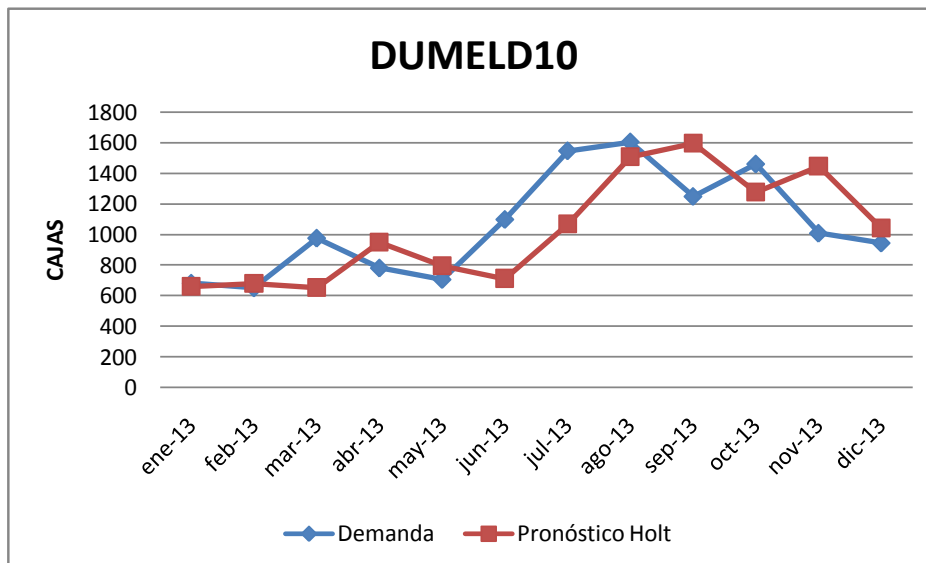


Figura 2.11: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método Holt.
Fuente: Elaboración propia.

Pronóstico método de Holt-Winters

PERIODO	DEMANDA (Cajas)	NIVEL	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRONOSTICO	ERROR
ene-12	390			0,49560521		
feb-12	390			0,49560521		
mar-12	975			1,239013026		
abr-12	707			0,898443291		
may-12	715			0,908609552		
jun-12	650			0,826008684		
jul-12	1040			1,321613894		
ago-12	1170			1,486815631		
sep-12	1040			1,321613894		
oct-12	1170			1,486815631		
nov-12	546			0,693847294		
dic-12	650	787	0	0,826008684		
ene-13	681	812	16,03176983	0,49560521	390	291
feb-13	650	849	29,2290667	0,49560521	410	240
mar-13	975	874	26,73728538	1,239013026	1.088	-113
abr-13	780	900	25,84103051	0,898443291	809	-29
may-13	705	919	21,75874076	0,908609552	841	-136
jun-13	1097	957	32,33394483	0,826008684	777	320
jul-13	1545	997	37,22925965	1,321613894	1.308	237
ago-13	1603	1037	38,41628244	1,486815631	1.538	65
sep-13	1247	1069	34,82828986	1,321613894	1.421	-174
oct-13	1459	1099	31,47420675	1,486815631	1.642	-183
nov-13	1007	1144	40,23869289	0,693847294	784	223
dic-13	943	1183	39,07205926	0,826008684	978	-35

α	0,0429704	MAD	170	MAPE	18%
β	0,6354112	MSE	37602	MPE	7%
γ	0				

Tabla 2.5: Pronóstico para DUMELD10, método de Holt-Winters.

Fuente: Elaboración propia.

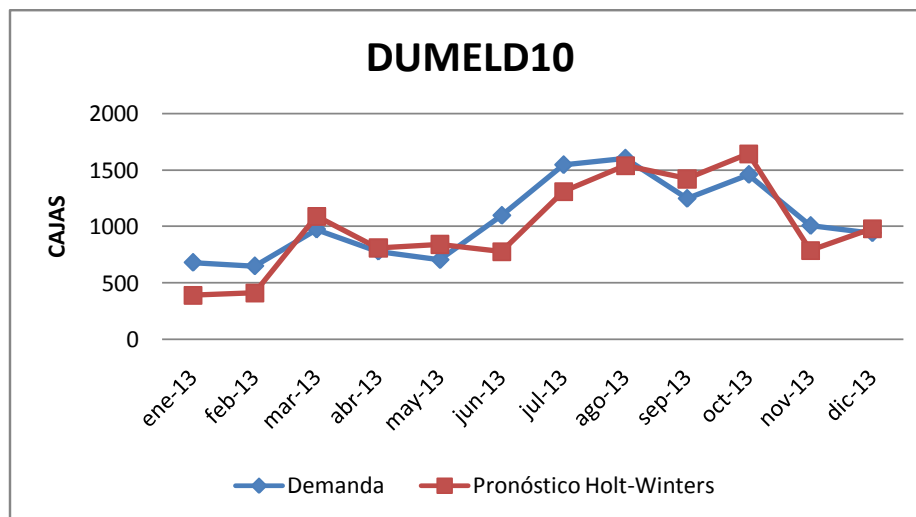


Figura 2.12: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método Holt-Winters.

Fuente: Elaboración propia.

Pronóstico método suavización exponencial simple

PERIODO	DEMANDA (Cajas)	PRONOSTICO	ERROR
ene-12	390		
feb-12	390		
mar-12	975		
abr-12	707		
may-12	715		
jun-12	650		
jul-12	1040		
ago-12	1170		
sep-12	1040		
oct-12	1170		
nov-12	546		
dic-12	650	787	
ene-13	681	661	20
feb-13	650	679	-29
mar-13	975	652	323
abr-13	780	950	-170
may-13	705	793	-88
jun-13	1097	712	385
jul-13	1545	1.067	478
ago-13	1603	1.507	96
sep-13	1247	1.595	-348
oct-13	1459	1.275	184
nov-13	1007	1.444	-437
dic-13	943	1.042	-99

α	0,921049542	MAD	222	MAPE	20%
		MSE	73727	MPE	0%

Tabla 2.6: Pronóstico para DUMELD10, método de Suavización exponencial simple.
Fuente: Elaboración propia.

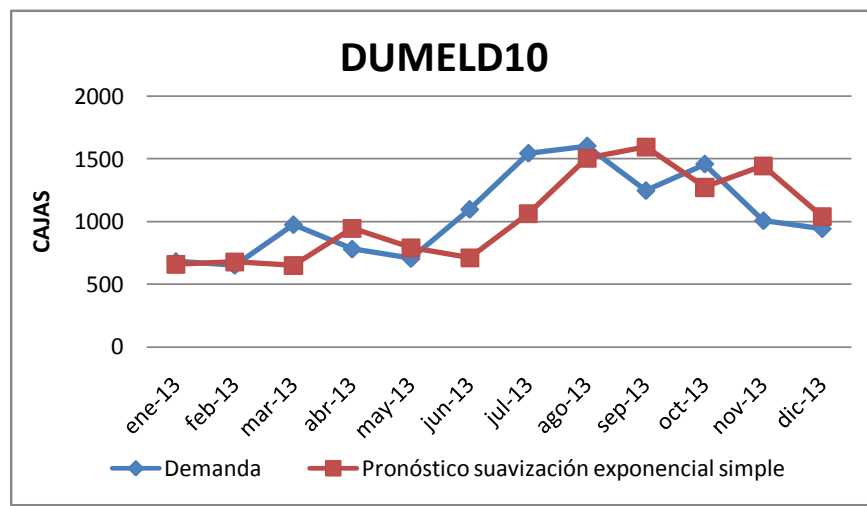


Figura 2.13: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método de Suavización exponencial simple.
Fuente: Elaboración propia.

Pronóstico método de media móvil n=12

PERIODO	DEMANDA (Cajas)	PRONOSTICO	ERROR
ene-12	390		
feb-12	390		
mar-12	975		
abr-12	707		
may-12	715		
jun-12	650		
jul-12	1040		
ago-12	1170		
sep-12	1040		
oct-12	1170		
nov-12	546		
dic-12	650		
ene-13	681	787	-106
feb-13	650	811	-161
mar-13	975	833	142
abr-13	780	833	-53
may-13	705	839	-134
jun-13	1097	838	259
jul-13	1545	875	670
ago-13	1603	917	686
sep-13	1247	954	294
oct-13	1459	971	488
nov-13	1007	995	12
dic-13	943	1.033	-90

MAD	258	MAPE	22%
MSE	116372	MPE	9%

Tabla 2.7: Pronóstico para DUMELD10, método de media móvil n=12.
Fuente: Elaboración propia.

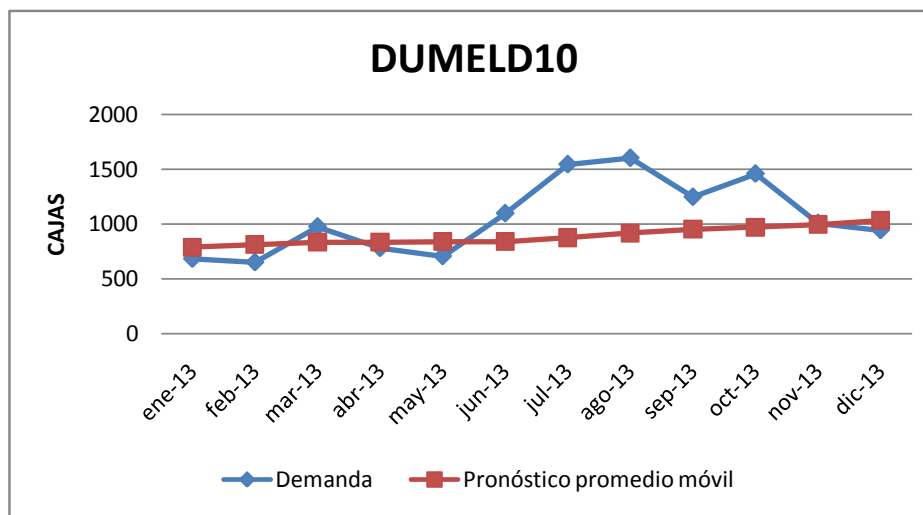


Figura 2.14: Gráfico pronóstico para DUMELD10, método Media móvil n=12.
Fuente: Elaboración propia.

Como se pudo observar, en las tabla 2.4 y 2.6 el método de Holt y el de suavización exponencial simple arrojaron iguales resultados, esto se debe a que Solver entregó el mismo valor para la constante de suavización α en ambos métodos, además esta herramienta entregó un valor de β igual a cero para todos los productos en el método de Holt, lo que provocó que el parámetro de tendencia siempre fuese igual a cero y por lo tanto el pronóstico fuera igual al nivel o primer parámetro de ajuste de datos.

En base a los resultados observados, se puede apreciar que el método de pronóstico de Holt-Winters entregó los mejores resultados para el producto DUMELD10, ya que los estadísticos que midieron su error de pronóstico fueron menores en comparación con los estadísticos de los demás métodos, exceptuando el MPE (sesgo) en el cual el método de Holt y suavización exponencial simple entregaron el mejor resultado (0%), lo que quiere decir que estos métodos no sobreestiman ni subestiman la demanda pero, un 7% de sesgo para el método de Holt-Winters nos indica que es un porcentaje bajo, lo que señala que el método subestima en forma mínima la demanda, lo que no es significativo.

En relación al MAD, el método de Holt-Winters entregó un resultado igual a 170, lo que significa que el pronóstico tiene en promedio un error de 170 cajas de dulce de membrillo. El MSE correspondió a 37.602, este número nos indica el error promedio en *cajas*². El MAPE fue de un 18%, significando que, en promedio, los errores representan un 18% de la demanda real; un porcentaje elevado mostraría que los errores son tan grandes que se acercan a la demanda y, por lo tanto, sería un mal método de pronóstico, por el contrario un porcentaje bajo indicaría lo inverso.

Por lo descrito anteriormente, el método escogido para realizar el pronóstico de demanda en el producto Dulce de membrillo marca Líder de 1 [kg] (DUMELD10) es el método de Holt-Winters.

A continuación se presentan la tabla 2.8 y 2.9, una con todos los estadísticos del error para cada método por producto, y otra, con un resumen de los métodos con el menor error por producto y los métodos seleccionados.

PRODUCTOS	HOLT					HOLT-WINTERS					S. EXPONENCIAL SIMPLE					PROMEDIO MÓVIL n=12				
	MAD	MSE	MAPE	MPE	MAD	MSE	MAPE	MPE	MAD	MSE	MAPE	MPE	MAD	MSE	MAPE	MPE	MAD	MSE	MAPE	MPE
DUME0410	820	993.714	22%	-1%	763	894.476	19%	0%	828	957.870	22%	-3%	841	992.302	22%	-3%				
DUME2516	1.259	2.014.368	21%	-5%	1.417	2.942.015	24%	-12%	1.259	2.014.368	21%	-5%	1.274	2.036.459	22%	-13%				
DUME5008	1.083	2.672.297	20%	1%	948	1.960.241	17%	-3%	1.083	2.672.297	20%	1%	1.075	2.403.061	20%	-1%				
DUMEJB10	284	155.945	16%	-6%	631	579.019	27%	-3%	284	155.945	16%	-6%	253	144.111	15%	-8%				
DUMEJB25	453	365.061	39%	-22%	534	504.013	35%	-11%	453	365.061	39%	-22%	625	537.707	53%	-39%				
DUMEJB50	990	1.282.268	46%	-8%	796	1.073.942	33%	2%	990	1.282.268	46%	-8%	949	1.141.768	46%	-13%				
DUMELD10	222	73.727	20%	0%	170	37.602	18%	7%	222	73.727	20%	0%	258	116.372	22%	9%				
DUMELD25	153	32.598	31%	-3%	215	57.314	51%	-11%	157	37.682	36%	-12%	162	39.082	36%	-10%				
DUMELD50	172	45.592	12%	0%	346	184.826	23%	8%	172	45.592	12%	0%	206	63.034	14%	2%				
DUMELG33	137	32.358	20%	1%	149	34.496	23%	4%	137	32.358	20%	1%	124	33.813	17%	6%				

Tabla 2.8: Estadísticos de error para los diferentes métodos de pronósticos por producto.

Fuente: Elaboración propia.

PRODUCTOS	MÉTODO CON EL MENOR ERROR ESTADÍSTICO			MÉTODO SELECCIONADO
	MAD	MSE	MAPE	
DUME0410	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS
DUME2516	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE
DUME5008	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS
DUMEJB10	PROMEDIO MÓVIL n=12	PROMEDIO MÓVIL n=12	PROMEDIO MÓVIL n=12	PROMEDIO MÓVIL n=12
DUMEJB25	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE	HOLT-WINTERS
DUMEJB50	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS
DUMELD10	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS	HOLT-WINTERS
DUMELD25	HOLT	HOLT	HOLT	HOLT
DUMELD50	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE	S. EXPONENCIAL SIMPLE
DUMELG33	PROMEDIO MÓVIL n=12	S. EXPONENCIAL SIMPLE	PROMEDIO MÓVIL n=12	PROMEDIO MÓVIL n=12

Tabla 2.9: Métodos de pronósticos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, hay ocasiones en que el método de Holt y el de suavización exponencial simple entregan iguales resultados (en páginas anteriores se explicó el porqué), cuando ocurre esto, y ambos muestran los estadísticos del error más bajos que los demás, se decidió escoger el método de suavización exponencial simple.

A continuación se presenta un análisis de la selección:

- Se seleccionó el método de Holt-Winters para el DUME0410 y DUMEJB50 ya que es el método que presenta todos los estadísticos de error más bajos que los del resto. Lo mismo ocurrió en la selección del método de suavización exponencial simple para el DUME2516 y DUMELD50. Esto se repite para la selección del método de Holt en el producto DUMELD25.
- En el caso de los productos DUME5008, DUMEJB10 y DUMELD10, éstos poseen el mismo método como el que tiene el menor error para los estadísticos MAD, MSE y MAPE difiriendo solamente con el MPE, en estos casos se seleccionó el método repetido en 3 de los 4 estadísticos evaluadores ya que la diferencia entre el método con el sesgo óptimo y el método escogido no era significativa. Esto se traduce en la selección del método de Holt-Winters para los productos DUME5008 y DUMELD10 y el de medias móviles para el DUMEJB10.
- En el caso del producto DUMEJB25, se seleccionó el método de Holt-Winters ya que, si bien este método presenta un MAD y MSE mayor que el método de suavización exponencial simple, su MAPE es menor (35% versus 39%), lo que significa que, en promedio, los errores representan un 35% de la demanda real, contra un método de suavización exponencial en que, en promedio, los errores representan un 39% de la demanda real. Además el sesgo en el método de Holt-Winters, es 11 puntos porcentuales menor que el sesgo en el método de suavización exponencial.
- Por último para el producto DUMELG33 se seleccionó el método de medias móviles ya que presenta un MAPE igual a 17% en comparación con el método de suavización exponencial que tiene uno igual 20%, además presenta un error promedio de 124 cajas en comparación con el método de suavización exponencial que tiene uno de 137 cajas.

Como se pudo notar en el análisis, el error estadístico que decidió qué método seleccionar cuando había más de uno que poseía el menor error, fue el MAPE ya que se consideró que el tamaño porcentual de los errores en comparación con la demanda real era más significativo que los demás.

2.10 Idoneidad de los métodos de pronóstico

Una vez que los métodos de pronóstico han sido seleccionados, el siguiente paso es verificar si los métodos son los idóneos para la serie de tiempo correspondiente, para esto, se debe cumplir que los residuales del método correspondan a una serie aleatoria.

Para comprobar si los residuales corresponden a una serie aleatoria, se deben examinar los coeficientes de autocorrelación de éstos, si la serie es aleatoria, las autocorrelaciones para cualquier retraso de tiempo deben ser cercanas a cero, lo que significa, que no hay relación lineal alguna entre las variables. Por el contrario, si las autocorrelaciones son significativamente diferentes de cero entonces la serie no corresponderá a una azarosa.

El método que se aplicó para determinar si las autocorrelaciones eran significativamente diferentes de cero o no, fue el uso del estadístico Q de Ljung-Box. Este estadístico sirve para examinar una secuencia de autocorrelaciones como grupo, de esta manera se puede saber si los primeros n valores de las autocorrelaciones son significativamente distintos de un grupo en el cual todos los n valores son cero. Esta prueba funciona de la siguiente manera, si las autocorrelaciones se obtienen a partir de un proceso aleatorio, la estadística Q tiene una distribución chi cuadrada con m grados de libertad (número de retrasos de tiempo por probarse) menos el número de parámetros estimados en el modelo de pronóstico, de esta manera, el valor de la estadística Q para el número de retrasos realizados puede compararse con la tabla de chi cuadrado a fin de determinar si es mayor de lo que se esperaría bajo la hipótesis nula de que todas las autocorrelaciones del conjunto son cero para el nivel de significancia seleccionado, en este caso 5% o 95% de confianza.

Para el desarrollo de las autocorrelaciones y obtención de las estadísticas Q de Ljung-Box, se utilizó el software estadístico Minitab 16.

A continuación, se muestra el análisis de idoneidad para el método de Holt-Winters en el producto visto anteriormente, vale decir, Dulce de membrillo marca Líder en formato de 1 [kg] (DUMELD10).

En la figura 2.15, se muestran las autocorrelaciones contra los retrasos de tiempo de los errores de pronóstico del método a evaluar, y en la tabla 2.10, el valor de estas autocorrelaciones y el estadístico Q asociado a cada desfase.

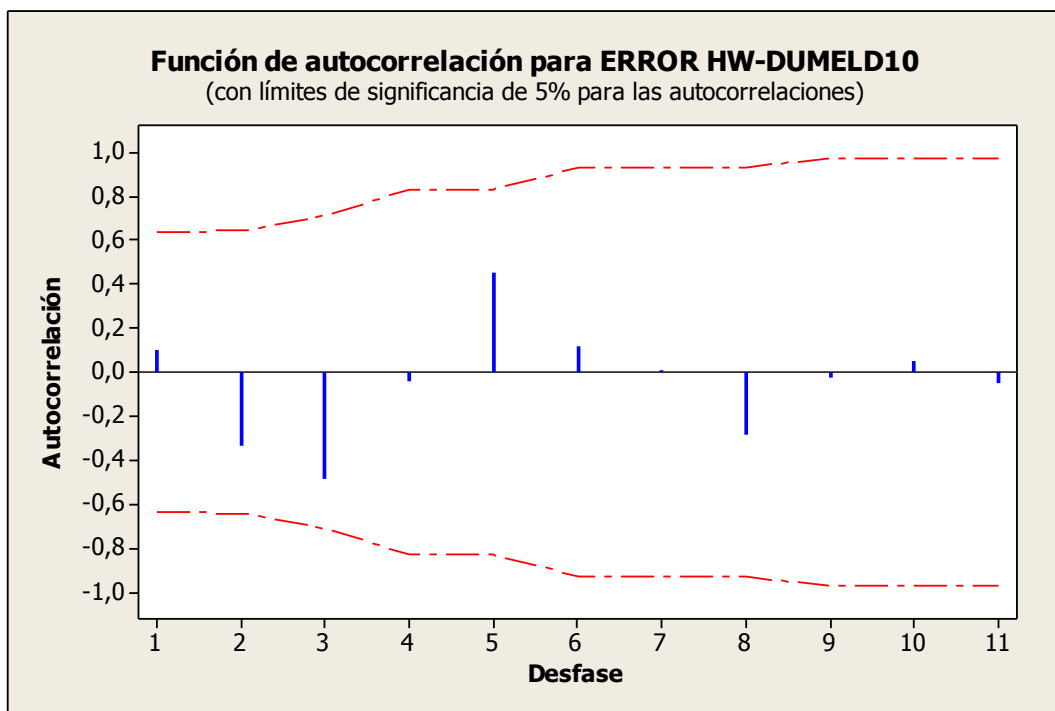


Figura 2.15: Correlograma de los errores de pronóstico del método de Holt-Winters, para el producto DUMELD10.

Fuente: Elaboración propia.

DESFASE	AUTOCORRELACIÓN	LBQ
1	0,096616	0,1426
2	-0,333545	2,0116
3	-0,483600	6,3772
4	-0,044352	6,4185
5	0,452226	11,3267
6	0,115117	11,6977
7	0,011374	11,7021
8	-0,287150	15,1652
9	-0,025052	15,2003
10	0,051453	15,4227
11	-0,053087	15,8962

Tabla 2.10: Valor de las autocorrelaciones y del estadístico Q de Ljung-Box.
Fuente: Elaboración propia.

El correlograma o gráfica de autocorrelaciones muestra dos líneas punteadas de color rojo, éstas representan los límites de confianza de 95%. Se realizaron once retrasos de tiempo y dentro de esos límites están todos los coeficientes de autocorrelación individuales, lo que significa que ninguna autocorrelación, individualmente, es significativamente diferente de cero. Lo que queda por comprobar es si las magnitudes de las 11 autocorrelaciones, consideradas como grupo, son mayores de lo que se esperaría bajo la hipótesis de que no hay autocorrelación en retraso alguno, para saber esto y realizar un análisis más efectivo se utiliza la estadística Q de Ljung-Box.

Como se mencionó anteriormente, si no existe autocorrelación en cualquiera de los retrasos, la estadística Q tiene una distribución chi-cuadrado, en este caso, con un $df = 11 - 3 = 8$, donde df representa los grados de libertad, 11 representa el número de desfases efectuados y 3 representa el número de parámetros estimados en el modelo de Holt-Winters (nivel, tendencia y estacionalidad). Por lo tanto si el valor de Q supera el valor crítico de la distribución chi-cuadrado, en este caso, para 8 grados de libertad y

un 5% de significancia, entonces se rechaza la hipótesis nula de que las autocorrelaciones para los 11 desfases son iguales a cero.

En este caso, el valor de la estadística Q para los 11 desfases es de 15,8962, y de la tabla de chi-cuadrado para 8 grados de libertad y 5% de significancia el valor crítico es 15,5073 (la tabla se encuentra en el Anexo IV, página 131). Puesto que $15,8962 > 15,5073$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las autocorrelaciones para todos los desfases son significativamente diferentes de cero y, por lo tanto, los errores de pronóstico del método de Holt-Winters aplicado al producto DUMELD10 no son aleatorios, lo que significa que existe un patrón subyacente en la serie original que no fue leído por el modelo de pronóstico, lo que nos indica finalmente, que el método no es el más idóneo para esta serie de tiempo.

Esta situación se repitió en dos métodos más, Holt-Winters aplicado al DUME0410 y Holt aplicado al DUMELD25. Si bien en estos casos se concluye que los tres modelos de pronóstico no son los idóneos para su serie de tiempo, se utilizarán de igual forma, debido a que se considera que es la mejor aproximación que se puede realizar a este nivel (utilizando Excel). El método idóneo se podría encontrar a través de la metodología Box-Jenkins (ARIMA) utilizando un software especializado, pero, debido a que la empresa trabaja con Excel, se le ha entregado una solución que se adapta a su contexto y, a la vez, es simple de desarrollar e interpretar. Además, el hecho de haber errado en 3 de los 10 métodos totales nos indica que el trabajo efectuado ha sido efectivo en cuanto a entregar la solución adecuada a la mayoría de los productos. Por otro lado, el objetivo de este trabajo de título es realizar una planificación de la producción a mediano plazo, por lo que, profundizar más y realizar esfuerzos para determinar cuáles serían los métodos de pronóstico adecuados para éstas series de tiempo, escaparía de la meta principal.

En la tabla 2.11 se presentan los resultados de la aleatoriedad de los errores de pronóstico y, por lo tanto, de la idoneidad de los métodos seleccionados, presentando la comparativa entre la estadística Q para los 11 desfases y el valor crítico de la tabla de distribución chi-cuadrado.

Método y producto	Valor Q para los 11 desfases	Valor crítico de la distribución chi-cuadrado	Aleatoriedad en los errores e idoneidad del método
HW-DUME0410	15,7210	15,5073	NO
SES-DUME2516	6,2596	18,3070	SI
HW-DUME5008	6,9649	15,5073	SI
PM-DUMEJB10	6,7229	19,6751	SI
HW-DUMEJB25	12,1166	15,5073	SI
HW-DUMEJB50	12,4556	15,5073	SI
HW-DUMELD10	15,8962	15,5073	NO
H-DUMELD25	24,7617	16,9190	NO
SES-DUMELD50	9,4607	18,3070	SI
PM-DUMELG33	10,2335	19,6751	SI

Tabla 2.11: Resultado de idoneidad de los métodos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

HW: Holt-Winters.

H: Holt.

SES: Suavización exponencial simple.

PM: Promedio móvil.

Por último, se debe mencionar que los pronósticos desarrollados deben ir acompañados de un componente empírico para dar mayor exactitud a las estimaciones de demanda, y así, el proceso de planificación sea más efectivo.

2.11 Cálculo del stock de seguridad

El inventario de seguridad es una protección contra dos situaciones básicamente, la incertidumbre de la demanda de un determinado periodo, la cual puede exceder las provisiones estimadas, o para resguardar el sistema de irregularidades no previstas del entorno.

Para estos casos el stock de seguridad ayuda a disminuir la probabilidad de que se agote el producto y, que se pierdan las ventas por este motivo. Sin embargo, se debe cuidar el nivel de inventario que se pretenda mantener, ya que si bien es cierto, el optar por mantener siempre elevadas cantidades de stock podría asegurar que nunca existiesen quiebres, en la gran mayoría de los casos es inviable, debido al elevado costo de almacenamiento y requerimientos de capacidad.

Por este motivo es necesario plantearse la pregunta de ¿Cuál es el nivel apropiado de inventario de seguridad que se debe mantener?, teniendo siempre en consideración que el objetivo principal es mantener un stock que garantice, que cuando un cliente requiera cierta cantidad de un determinado producto la empresa sea capaz de satisfacer esta necesidad, tratando de disminuir la probabilidad de que esto no ocurra. Esta relación se representa en la figura 2.16.

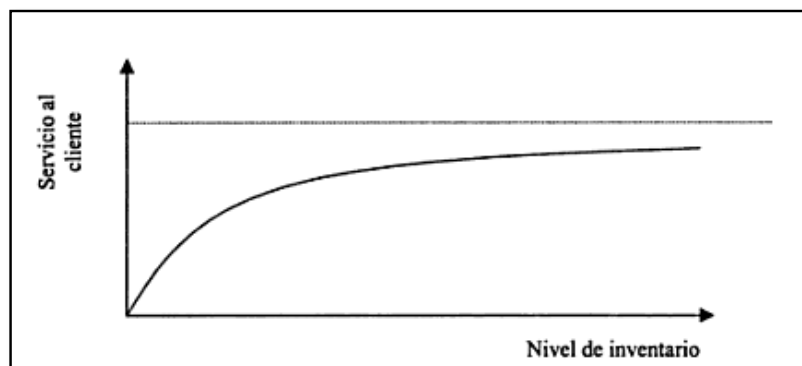


Figura 2.16: Relación entre nivel de inventario y servicio al cliente.

Fuente: Elaboración propia.

2.11.1 Determinación del nivel apropiado de stock de seguridad

Para realizar esta determinación se consideraron dos factores:

- Incertidumbre de la demanda.
- Nivel deseado de disponibilidad del producto.

Con respecto a la incertidumbre en la demanda, sabemos existe una relación directamente proporcional con el nivel de inventario de seguridad, es decir, a medida que la incertidumbre es más alta, mayores serán los niveles de inventario que se requerirán, por lo cual se procederá a la utilización del cálculo de la desviación estándar de la demanda real, con el fin de estimar la componente aleatoria de ésta y disponer de una medida de la incertidumbre presente.

También se requerirá considerar la probabilidad “ P_n ” actual de satisfacer la demanda en un determinado periodo, la cual estará dada por el nivel de servicio que mantiene la empresa en cada uno de sus productos.

La fórmula matemática que se utilizará para realizar el cálculo del stock de seguridad será la siguiente:

$$SS = \sigma * Z$$

Donde

σ = Desviación Estándar de la demanda.

Z = Probabilidad de P_n

P_n = Probabilidad de satisfacer la demanda.

Capítulo 3: Aplicación de la metodología

En este capítulo se aplicará la metodología seleccionada, la cual corresponde a programación lineal. Previamente se hará una introducción a ésta, definiéndola y señalando sus componentes principales como función objetivo, variables de decisión, restricciones, parámetros, etc.

3.1 Programación lineal

Las organizaciones generalmente se enfrentan a la compleja situación de que los recursos son limitados y la demanda de los mismos es, a su vez, muy grande, por lo cual es imprescindible utilizar herramientas que permitan conjugar estos dos conceptos de la manera más eficiente posible. A raíz de esto, es común que las organizaciones recurran a técnicas matemáticas para la resolución de dichos conflictos, siendo una de las posibilidades y, por cierto, la más utilizada debido a su viabilidad y eficiencia en los resultados, la Programación Lineal.

Esta técnica matemática de optimización, tiene sus orígenes en un contexto alejado del área de negocios como se podría suponer, puesto que se crea durante la Segunda Guerra Mundial con fines absolutamente militares, con el fin de dar solución a diversos problemas logísticos que se presentaron en el transcurso de la contienda.

Durante los años treinta dos investigadores el húngaro J. von Neumann y el ruso L.V. Kantorovich, quienes realizaron valiosas contribuciones al desarrollo de esta técnica de optimización, siendo este último reconocido por dirigir sus investigaciones a la aplicación de esta técnica al campo civil, enfocándose principalmente en el análisis de actividades o procesos productivos para la asignación óptima de recursos económicos o factores productivos, tanto al interior de la empresa como a nivel macroeconómico, aplicándola específicamente en la asignación óptima de recursos económicos y a la determinación del plan de crecimiento óptimo de la economía nacional. En 1939 L.V. Kantorovich presenta esta teoría en su libro titulado “Métodos Matemáticos para la organización y la producción”, la desarrolla posteriormente en su trabajo sobre la transferencia de masas en 1942. No obstante a esto, se precisa la fecha de creación oficial en 1947 de la mano de G.B. Dantzing, reconociéndose a este último como el

verdadero creador de la programación lineal, ya que presenta una versión bastante completa y acabada de esta nueva teoría, agregando a lo existente, la incorporación del método Simplex.

3.1.1 Definición

La programación lineal es una técnica de modelado para la optimización, es decir maximizar o minimizar un objetivo, con el fin de lograr tomar decisiones en base a la información que ésta entrega. Según [Krajewsk&Ritzman2000], esta técnica es útil para asignar recursos escasos entre las distintas demandas que compiten por ellos, ayudando a los administradores a encontrar la mejor solución en materia de asignaciones, y les proporciona información sobre el valor de recursos adicionales.

Esta técnica de programación matemática se encuentra situada en el siguiente nivel representado en la figura 3.1.

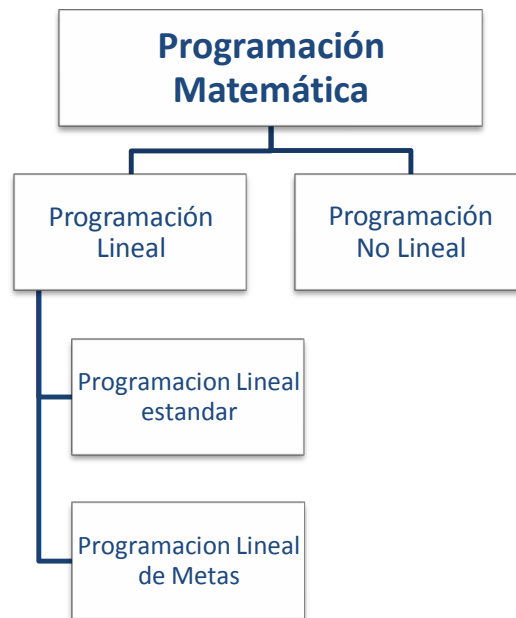


Figura 3.1: Diagrama estructura programación matemática.
Fuente: Elaboración propia.

Esta técnica actualmente es ampliamente utilizada en distintos campos, como por ejemplo, economía, industria, salud, agricultura, transporte y militar entre otras, entregando soluciones tales como:

- Problemas de mezclado
- Programas de fabricación
- Problemas de transporte
- Problemas de almacenamiento
- Formulación de dietas
- Restricciones de presupuesto

Cuando se enuncia matemáticamente cada uno de esos problemas el modelo matemático involucra un gran número de variables y de ecuaciones o inecuaciones. Una solución no sólo debe satisfacer todas las ecuaciones y restricciones, sino también alcanzar un extremo de la función objetivo, por ejemplo máximo beneficio o mínimo costo.

Con la ayuda de la computadora se pueden resolver problemas lineales con cientos de variables y condiciones. Una herramienta muy eficiente es el optimizador “Solver” del Excel.

Métodos

a. Métodos generales:

- Método Gráfico.
- Método Simplex.

b. Métodos especiales:

- Método de Transporte.
- Método de Asignación.
- Método de Kalmarkar.

3.1.2 Conceptos básicos

Para desarrollar la Programación lineal primero es necesario definir un conjunto de características comunes de todos los modelos existentes, junto con suposiciones matemáticas que se aplican a ellos, las cuales se definen de la siguiente forma:

- Función objetivo
- Variables de decisión
- Restricciones
- Región factible
- Parámetros
- Linealidad
- No negatividad

3.1.2.1 Función objetivo

La programación lineal como ya se ha mencionado anteriormente es un proceso de optimización, la cual se expresa matemáticamente con el fin de maximizar, en el caso por ejemplo de ganancias, o valor presente, o de minimizar para el caso los costos o el desperdicio entre otros. Esta función objetivo debe ser única, es decir el objetivo a alcanzar debe ser uno y estar bien definido, entonces esta función proporcionara el sistema de calificaciones mediante el cual se juzgara en qué medida son atractivas las diferentes soluciones [Krajewski&Ritzman2000].

La forma matemática general de la programación lineal se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Máx o Min } Z = C_0 + \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

En donde C_j representa los costos asociados o parámetros de la función objetivo y X_j su correspondiente variable de decisión a determinar.

3.1.2.2 Variables de decisión

Las variables de decisión son aquellas selecciones que están bajo el control de la persona que toma las decisiones, es decir el conjunto de variables cuya magnitud o valor óptimo se desea determinar resolviendo el modelo de programación lineal.

3.1.2.3 Restricciones

Según [Krajewski&Ritzman2000], son limitaciones que restringen las selecciones permisibles para las variables de decisión, las cuales se representan matemáticamente en forma de igualdades o desigualdades (\geq , \leq ó $=$). Una restricción menor o igual (\leq) impone un límite superior a cierta función de las variables de decisión y se emplea con mayor frecuencia para problemas de maximización. Una restricción mayor o igual (\geq), impone un límite inferior a alguna función de las variables de decisión. Por último la restricción igual ($=$), se usa frecuentemente para indicar ciertas relaciones obligatorias, debido a que restringe a la función para que tenga un valor determinado.

Las restricciones en un modelo de Programación lineal pueden clasificarse en los siguientes tipos:

1. Restricciones de capacidad:

Se deben a la cantidad disponible de:

- Equipo
- Espacio
- Mano de obra

2. Restricciones de mercado:

Son límites de la cantidad de producto (bien o servicio) que puede venderse o usarse. Puede ser:

- Inferior
- Superior
- Ambos

3. Restricciones de disponibilidad:

Son límites ocasionados por la escasez de recursos.

- Materias primas.
- Fuerza de trabajo.
- Financiamiento.
- Otros.

4. Restricciones de calidad:

Son restricciones que limitan la mezcla de ingredientes y que, por lo tanto, determinan la calidad de los productos resultantes.

5. Restricciones de equilibrio:

Son restricciones de tecnología de producción o equilibrio de materiales, determinan la salida de un proceso como una función de las entradas, muchas veces con una pérdida por desperdicios.

6. Restricciones de definición:

Son restricciones que definen una variable, muchas veces provienen de definiciones contables.

3.1.2.4 Región factible

Todo problema de programación lineal debe tener una o varias restricciones, las que en su conjunto definen una región factible, la cual representa todas las combinaciones permisibles de las variables de decisión, en la gran mayoría de los casos estas combinaciones son de un número infinitamente grande de soluciones, salvo en casos excepcionales, en los cuales el problema sea tan estrictamente restringido que sólo exista una solución posible o tal vez ninguna.

3.1.2.5 Parámetro

Son conocidos como los coeficientes o constantes dadas, es un valor que la persona a cargo de tomar la decisión no es capaz de controlar, y que no cambiará cuando la solución sea implementada.

3.1.2.6 Linealidad

Que la relación entre las variables tanto en la función objetivo como en las restricciones deba ser lineal, implica proporcionalidad y aditividad entre éstas, es decir no puede haber productos (Ej. X_1X_2) ni potencias (Ej. X_1^3).

3.1.2.7 No negatividad

Esta suposición indica que cada variable de decisión debe ser positiva o cero, por lo cual, para que una formulación de programación lineal sea formalmente correcta, debe mostrar por cada variable una restricción que indique la condición mayor o igual a cero (≥ 0).

Si bien es cierto la programación lineal se basa en la suposición de que las variables de decisión de la función objetivo son continuas, ya sea cantidades fraccionales o números enteros, siendo una suposición realista en el caso que estas variables estén expresadas en horas, dólares u otra medida continua, sin embargo existen casos en que las variables de decisión representan unidades no divisibles como, trabajadores, mesas, camiones etc., donde, en ocasiones, es posible redondear hacia arriba o abajo el resultado obtenido con el fin de obtener una solución razonable que no viole ninguna restricción, de no ser posible, se aplica una técnica más avanzada llamada, programación con enteros. De esta forma podemos clasificar la programación lineal como:

- Programación Lineal entera
- Programación Lineal entera mixta

3.1.3 Construcción del modelo matemático.

A continuación se procederá a la construcción del modelo matemático de programación lineal, con el cual se pretende entregar a la empresa Eckart una propuesta de planificación a mediano plazo de su producción en la línea de dulce de membrillo.

Este modelo entregará una primera aproximación de planificación para la empresa en estudio que, tal como se menciona en el capítulo anterior, en la actualidad carece absolutamente de un mecanismo estructurado para su realización.

Para dar inicio a este proceso, se comenzará por describir el proceso de producción del dulce de membrillo al cual se ajustará el modelo, posteriormente se realizarán supuestos para acotar el problema y simplificarlo, luego se establecerán las variables de decisión, los parámetros del modelo, las restricciones y la función objetivo para luego llevarlo a cabo.

3.1.3.1 Proceso de elaboración del dulce de membrillo

A continuación se presenta la descripción del proceso de elaboración del dulce de membrillo, desarrollado a partir de entrevistas sostenidas con el jefe de producción.

Los datos de tiempo corresponden a valores promedio entregados por dicha persona.

El proceso comienza con el vertido de las materias primas y aditivos a un mezclador horizontal, las materias primas corresponden a pulpa de membrillo, de manzana y azúcar; los aditivos corresponden a ácido cítrico, por sus propiedades como conservante y antioxidante natural, y agar-agar por su poder gelificante, utilizado para espesar y estabilizar los alimentos líquidos. El mezclador tiene una capacidad nominal de 800[kg], cada lote alcanza los 753 [kg] en promedio y el tiempo de mezcla es de 30 minutos. Una vez finalizado este proceso, una bomba extrae el contenido del mezclador y lo envía hacia un concentrador, el cual opera con una camisa se vapor donde la temperatura de trabajo es de 83 ± 3 [°C], además funciona al vacío con una presión de -400 a -450 [mmHg] y cuya capacidad nominal es de 1000 [kg]. El rendimiento promedio de cada lote en el concentrador es de un 90%, el tiempo de cocción es de 30

minutos y el proceso habrá finalizado cuando el concentrado alcance los 64 °Bx (64 gr de azúcar por 100 gr de líquido), lo que se verifica mediante un sistema de muestreo utilizando un refractómetro. Con el concentrado en 64 °Bx, el siguiente paso consiste en abrir la válvula de descarga que se encuentra bajo el concentrador para que el concentrado fluya hacia la marmita de vapor que se encuentra directamente bajo el concentrador. Aquí el producto es enfriado y mantenido a una temperatura de 65 ± 2 [°C] ya que ésta corresponde a la temperatura de envasado, una temperatura menor provocaría que se gelificara el producto y no fluiría fácilmente por el conducto hacia la máquina envasadora. Cuando el concentrado llega a la temperatura indicada en la marmita de vapor, una bomba extrae el producto y comienza a dosificarlo en la tolva de la máquina envasadora que se encuentra bajo la marmita, para que de este modo la máquina envasadora comience a operar. La máquina envasa en formatos de 250, 330, 500 y 1000 [gr], es operada por un maquinista y dos operadoras de empaque, las cuales tienen la labor de depositar el producto envasado en moldes de madera los cuales están divididos por formato. Una vez que los moldes han sido llenados son llevados al área de empaque, donde son dispuestos en anaqueles y deben permanecer allí 24 horas para que se enfríen y así adopten su forma final. Concluido este tiempo, el producto es liberado de los moldes y comienza el proceso de empaque en cajas según formato correspondiente. Posteriormente las cajas pasan por un detector de metales para asegurar que el producto final no contenga elementos peligrosos. Finalmente, las cajas son trasladadas a la bodega de productos terminados para su posterior despacho al cliente.

En la figura 3.2, se muestra el diagrama de proceso para la elaboración del dulce de membrillo.

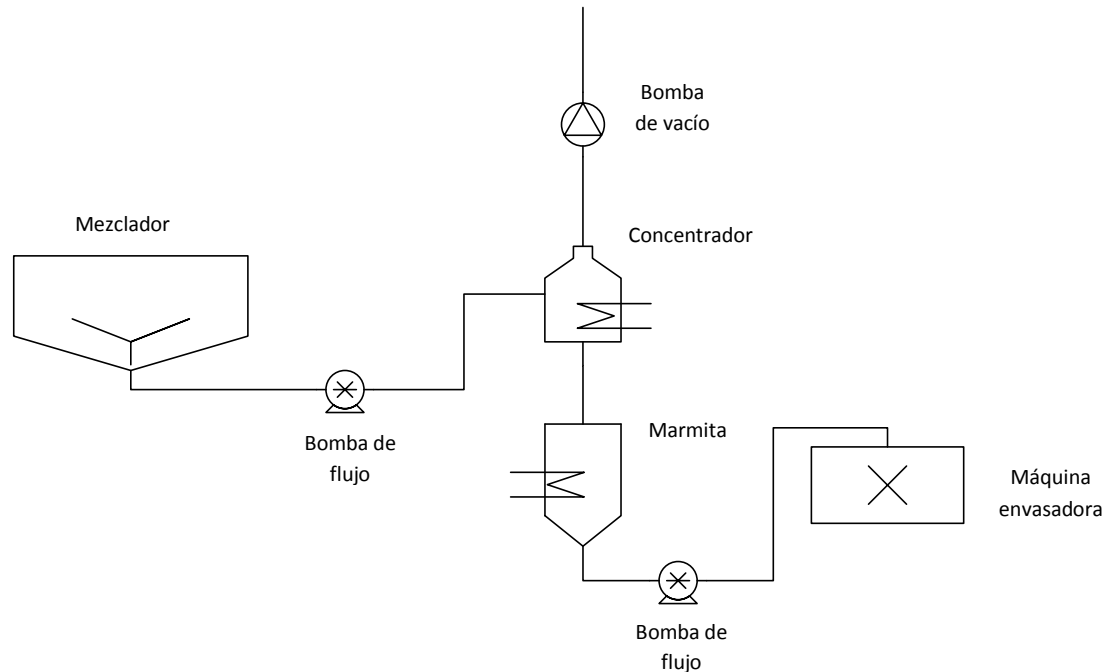


Figura 3.2: Diagrama proceso de elaboración del dulce de membrillo.
Fuente: Elaboración propia

3.1.3.2 Supuestos considerados para la construcción del modelo.

En las siguientes líneas se realizarán un serie de supuestos con el fin de hacer abordable la problemática planteada dentro del campo de aplicación de la presente memoria, pudiendo así obtener valores satisfactorios para tales efectos mediante la aplicación del modelo matemático de programación lineal.

Estos supuestos se definen a continuación:

- Se considerará como metodología de producción, la elaboración de los productos de manera mensual.
- La jornada de trabajo comprende de Lunes a Viernes desde las 6:00hrs hasta las 18:00hrs, incluyendo 1hr de colación, los días Sábado se trabaja de 6:00hrs a 14:00hr considerando 1hr de colación, lo que determina un total de 248 horas de producción mensual.
- Luego del análisis realizado a través de entrevista a expertos, se concluyó que en la historia de la empresa no existía registro de quiebres en cuanto a materia

prima para la producción ni de los insumos necesarios, puesto que en el caso de la materia prima, el stock de pulpa de membrillo componente principal del producto en estudio, se almacenaba cantidad suficiente que cubría la fabricación total durante el periodo anual de fabricación, puesto que se sabe que al ser un producto estacional se deben tomar todas las precauciones en su abastecimiento, lo cual según los expertos involucrados jamás ha presentado inconvenientes. De igual forma ocurre con los demás componentes como azúcar y aditivos, los cuales se manifestó que, al ser productos fáciles de conseguir, no existían quiebres de stock. Para el caso de los insumos como cajas y bilaminado con el cual se envasa el producto en cada uno de sus formatos, por políticas de la empresa se realiza su adquisición al momento que el stock restante alcance para los 4 meses siguientes, tomando en cuenta que el lead time en este caso es de 2 meses desde que se solicita el nuevo stock a su proveedor y su posterior entrega en la empresa; jamás han presentado quiebres que detengan o influyan en el proceso de producción, por lo cual se realizará el supuesto que estos factores no son restrictivos al momento de elaborar el modelo matemático.

- El producto dulce de membrillo light de 330 gr (DUMELG33), no será considerado en el modelo ya que presenta baja demanda y es el único producto que tiene un formato de venta diferente a los demás, 5,28 [kg] por caja, escapándose de la linealidad del modelo.

3.1.3.3 Descripción del modelo

Antes de comenzar la elaboración del modelo es necesario definir las variedades de productos a planificar. Se considerarán “i” tipos de productos elaborados en la línea de dulce de membrillo, por lo cual se tiene que $i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, a su vez se trabajará enfocado a un periodo “j”, el cual está definido por un mes.

En la tabla 3.1 se muestran los productos y sus formatos a considerar:

Producto "i"	Nombre y formato	[kg] por caja
1	DUME0410 (4x1000gr)	4 [kg]
2	DUME2516 (16x250gr)	4 [kg]
3	DUME5008(8x500gr)	4 [kg]
4	DUMEJB10 (4x1000gr)	4 [kg]
5	DUMEJB25 (16x250gr)	4 [kg]
6	DUMEJB50 (8x500gr)	4 [kg]
7	DUMELD10 (8x1000gr)	8 [kg]
8	DUMELD25 (32x250gr)	8 [kg]
9	DUMELD50 (16x500gr)	8 [kg]

Tabla 3.1: Formatos de productos incluidos en la planificación.
Fuente: Elaboración propia.

Se decidió dimensionar la capacidad de la línea de producción en cajas de 4 [kg] ya que los costos son lineales con los formatos de 8 [kg], es por esto que el modelo sólo trabaja en formatos de cajas de 4 [kg]. Posteriormente en el análisis de los resultados, se realiza la equivalencia a los formatos de 8 [kg].

El modelo utiliza como datos iniciales los pronósticos de demanda del capítulo anterior junto con el stock de seguridad y además el inventario inicial del mes a evaluar, en este caso noviembre 2013.

3.1.3.4 Modelo matemático

Como se describió anteriormente el modelo matemático es una herramienta que permite traducir una realidad física en términos matemáticos con el fin de realizar cuantificaciones de distintas situaciones o hechos planteados, para este fin se utilizará la siguiente metodología que consta básicamente de cinco pasos.

1. Identificación de variables de decisión
2. Definición de parámetros
3. Definición de la función objetivo
4. Identificación de las restricciones

5. Elaboración del modelo matemático

3.1.3.4.1 Identificación de variables de decisión.

Las variables de decisión para un modelo matemático corresponden a aquellas que están bajo el control de la persona que está a cargo de la toma de decisiones y, por ende, son las que el modelo de programación lineal pretende determinar en magnitud con el fin de obtener su valor óptimo, por lo cual para el presente caso en estudio, corresponderán a la cantidad de cajas de dulce membrillo que se desea producir por producto “i”, para satisfacer la demanda y proporcionar un nivel de stock de seguridad para el próximo periodo. Esto se expresa de la siguiente forma:

- X_{ij} : Cantidad a producir por producto “i” en el periodo “j” expresado en cajas.
- I_{ij} : Inventario final del producto “i” en el periodo “j” expresado en cajas.

3.1.3.4.2 Definición de parámetros.

Los parámetros definidos para el presente modelo matemático, corresponden a los valores que no varían en función de la variable de decisión, es decir, no son controlados por la persona que toma la decisión de producir. Estos se presentan a continuación:

- CF_i : Costo de fabricación por caja de producto “i”, expresado en pesos/caja.
- CA_i : Costo de almacenamiento por caja de producto “i”, expresado en pesos/caja.
- D_{ij} : Demanda del producto “i” en el periodo “j” expresado en cajas.
- K_j : Capacidad de producción de la línea en el periodo “j”, expresado en cajas/mes.
- I_{ij-1} : Inventario inicial del producto “i” en el periodo “j” expresado en cajas.
- IP_{ij} : Inventario permanente del producto “i” en el periodo “j” expresado en cajas.

3.1.3.4.3 Función objetivo

Para el plan de producción óptimo la función objetivo debe contestar la siguiente pregunta: *¿Cuántas cajas de cada uno de los productos se deben producir y almacenar para satisfacer la demanda y mantener un stock de seguridad que minimice los costos asociados al proceso?* De esta forma la función objetivo denominada C, viene dada por la expresión:

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (CF_i \cdot X_{ij} + CA_i \cdot IP_{ij})$$

3.1.3.4.4 Identificación de restricciones

El modelo matemático tiene en cuenta las limitaciones de capacidad de producción, demanda, stock de seguridad, almacenaje y que, las cantidades a producir e inventariar correspondan a enteros no negativos.

- Restricción de capacidad de producción

La empresa estima una capacidad máxima de 120.000 [kg] mensuales de dulce de membrillo. Como se mencionó anteriormente se decidió trabajar en el formato de 4 [kg] por caja, dando como resultado una capacidad total de 30.000 cajas mensuales.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq 30.000 \quad (\forall i = 1 \dots 9; j = 1)$$

- Restricción de demanda

Los valores de demanda corresponden a los obtenidos a través del pronóstico en el capítulo anterior.

$$I_{ij-1} + X_{ij} - I_{ij} = D_{ij} \quad (\forall i = 1 \dots 9; j = 1)$$

- Restricción de stock de seguridad

Los valores del stock de seguridad fueron calculados y se encuentran en el anexo III (página 121).

$$I_{ij} \geq S.S \quad (\forall i = 1 \dots 9; j = 1)$$

- Restricción de almacenaje

La empresa estima una capacidad de almacenaje destinada a dulce de membrillo de 18.000 cajas.

$$I_{ij} \leq 18.000 \quad (\forall i = 1 \dots 9; j = 1)$$

- Restricción de enteros positivos

Esta restricción hace referencia a que las variables de decisión del modelo no deben ser negativas ni fraccionarias.

$$X_{ij} \in \mathbb{Z} / X_{ij} \geq 0 \quad (\forall i = 1 \dots 9; j = 1)$$

$$I_{ij} \in \mathbb{Z} / I_{ij} \geq 0 \quad (\forall i = 1 \dots 9; j = 1)$$

Capítulo 4: Resultados y análisis

El modelo fue desarrollado a través de la herramienta Solver de Excel, el cual considera 9 variables y 54 restricciones. En la tabla 4.1 se muestra la planilla de Excel con los resultados para el mes de noviembre 2013.

4.1 Noviembre 2013

Restricción de capacidad	
Capacidad Producción (cajas/mes)	30000
Capacidad Bodega (cajas)	18000

	DUMED0410	DUMED2516	DUMED5008	DUMED1010	DUMED1025	DUMED1050	DUMED1010	DUMED1025	DUMED1050	TOTAL
Balance de Inventario	3710	6573	4678	2248	1160	3192	1568	1488	2912	27529
Costos Totales (Pesos/Caja)	3268	3245	3231	3002	3272	3157	5697	6168	5797	36837
Costos de Producción (Pesos/Cajas)	3227	3204	3190	2961	3231	3116	2828	3063,5	2878	27698,5
Costos de Inventario (Pesos/Cajas)	41	41	41	41	41	41	41	41	41	369
Cantidades a Producir	4102	7338	5071	2474	1395	3407	1698	1546	2947	29978
Inventario Inicial	534	977	851	409	300	688	344	262	215	4580
Pronóstico de Demanda	3.710	6.573	4.678	2.248	1.160	3.192	1.568	1.488	2.912	27529
Stock de Seguridad	926	1742	1244	635	535	903	474	320	250	7029
Inventario Final	926	1742	1244	635	535	903	474	320	250	7029
Costo de Producción	\$ 13.237.154	\$ 23.510.952	\$ 16.176.490	\$ 7.325.514	\$ 4.507.245	\$ 10.616.212	\$ 4.801.944	\$ 4.736.171	\$ 8.481.466	\$ 93.393.148
Costo de Inventario	\$ 29.930	\$ 55.740	\$ 42.948	\$ 21.402	\$ 17.118	\$ 32.616	\$ 8.385	\$ 5.966	\$ 4.766	\$ 218.868
Costos Totales	\$ 13.267.084	\$ 23.566.692	\$ 16.219.438	\$ 7.346.916	\$ 4.524.363	\$ 10.648.828	\$ 4.810.329	\$ 4.742.137	\$ 8.486.232	\$ 93.612.016

Tabla 4.1: Modelo de planificación para noviembre 2013.

Fuente: Elaboración propia.

Para dar comienzo al desarrollo del modelo, primero se registraron los datos iniciales, los cuales correspondieron al inventario inicial, stock de seguridad y pronóstico de demanda. Posteriormente se introdujeron los costos de producción e inventario, para luego a través de fórmulas, desarrollar el inventario final y el balance de inventario, entendido como inventario inicial + producción - inventario final. Ya que el modelo está desarrollado sólo en el formato de 4 [kg] por caja, para los productos que se venden en cajas de 8 [kg] (DUMELD10, DUMELD25 y DUMELD50) el pronóstico de

demanda fue multiplicado por 2, al igual que el inventario inicial y el stock de seguridad, por otro lado sus costos de producción fueron reducidos a la mitad.

Con todos los valores y fórmulas introducidas correctamente, se procedió a resolver el modelo en Solver.

Como se puede apreciar, los resultados se encuentran en la fila “Cantidades a Producir” color amarillo de la tabla 4.1. Aquí, las cantidades a producir para los productos que se venden en el formato de 8 [kg] deben ser divididas por dos para su correcta planificación. En la tabla 4.2 se muestran los resultados óptimos hecha esa salvedad.

	DUME0410	DUME2516	DUME5008	DUMEJB10	DUMEJB25	DUMEJB50	DUMELD10	DUMELD25	DUMELD50
Cantidades a producir	4102	7338	5071	2474	1395	3407	849	773	1474

Tabla 4.2: Cantidades óptimas de producción para noviembre 2013.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo también nos entrega información referente al costo asociado a tal producción, el cual asciende a \$93.393.148, además el costo de inventario corresponde \$218.868, éste entendido como el costo asociado al inventario permanente durante el mes, el cual se calculó mediante el promedio del inventario inicial y final. Finalmente el costo total entregado por el modelo equivale a \$93.612.016.

En cuanto a las restricciones de capacidad, el modelo propone una producción total de 29.978 cajas, las que representan el 99,9% de la capacidad productiva de la línea, dejando sin producir 22 cajas debido a la restricción de demanda. Por el lado del almacenamiento, el inventario final alcanzaría las 7.029 cajas dejando una holgura de 10.971 cajas de dulce de membrillo.

Con las cantidades óptimas de producción ya obtenidas, el siguiente paso es realizar un análisis para comparar los quiebres de stock reales ocurridos en noviembre, con los quiebres de stock teóricos si se hubiese utilizado el plan de producción entregado por el modelo en el mismo periodo. A continuación se presenta tabla 4.3, con los valores reales demandados y vendidos en el mes de noviembre por la empresa, con su respectivo porcentaje de quiebre de stock.

Productos	Demanda	Venta	Quiebre(cajas)	Quiebre(%)
DUME0410	5.636	4.827	809	14%
DUME2516	5.030	4.263	767	15%
DUME5008	4.621	3.916	705	15%
DUMEJB10	1.959	1.660	299	15%
DUMEJB25	1.923	1.365	558	29%
DUMEJB50	1.850	1.568	282	15%
DUMELD10	1.007	740	267	27%
DUMELD25	654	404	250	38%
DUMELD50	1.800	1.485	315	18%
TOTAL	24.480	20.228	4.252	17%

Tabla 4.3: Quiebres de stocks reales correspondientes a noviembre 2013.

Fuente: Elaboración propia.

Al sumar la producción óptima por producto entregada por el modelo, con su respectivo inventario inicial, se obtiene la cantidad total disponible para la venta por producto para el mes de noviembre, del mismo modo se procedió a calcular la “Venta teórica”, la cual corresponde a la cantidad de cajas que se hubiesen vendido utilizando el plan de producción propuesto. Esta cantidad fue comparada con el total demandado en el mismo periodo para calcular los quiebres de stock teóricos. En la tabla 4.4 se muestran los resultados.

Productos	Demanda	Disp. a venta	Venta teórica	Quiebre(cajas)	Quiebre(%)	Inv. Final
DUME0410	5.636	4.636	4.636	1.000	18%	0
DUME2516	5.030	8.315	5.030	0	0%	3.285
DUME5008	4.621	5.922	4.621	0	0%	1.301
DUMEJB10	1.959	2.883	1.959	0	0%	924
DUMEJB25	1.923	1.695	1.695	228	12%	0
DUMEJB50	1.850	4.095	1.850	0	0%	2.245
DUMELD10	1.007	1.021	1.007	0	0%	14
DUMELD25	654	904	654	0	0%	250
DUMELD50	1.800	1.581	1.581	219	12%	0
TOTAL	24.480	31.052	23.033	1.447	6%	8.019

Tabla 4.4: Quiebre de Stock e inventario final teórico.

Fuente: Elaboración propia.

En total los quiebres de stock teóricos para el mes de noviembre ascienden a 1.447 cajas, las que representan el 6% de la demanda total. Al efectuarla comparación entre el quiebre de stock real global y el teórico global, se aprecia que éste disminuyó de 4.252 cajas a 1.447, representado porcentualmente de un 17% a un 6%. Esta disminución hubiese ocurrido ya que teóricamente se hubiesen vendido 2.805 cajas más,

lo que hubiese traído como consecuencia haber aumentado su utilidad en \$1.730.382, lo cual representa un aumento del 14,77% para el periodo en evaluación.

En la figura 4.1 se muestra una comparativa entre los quiebres de stock reales y los quiebres de stock teóricos por producto.

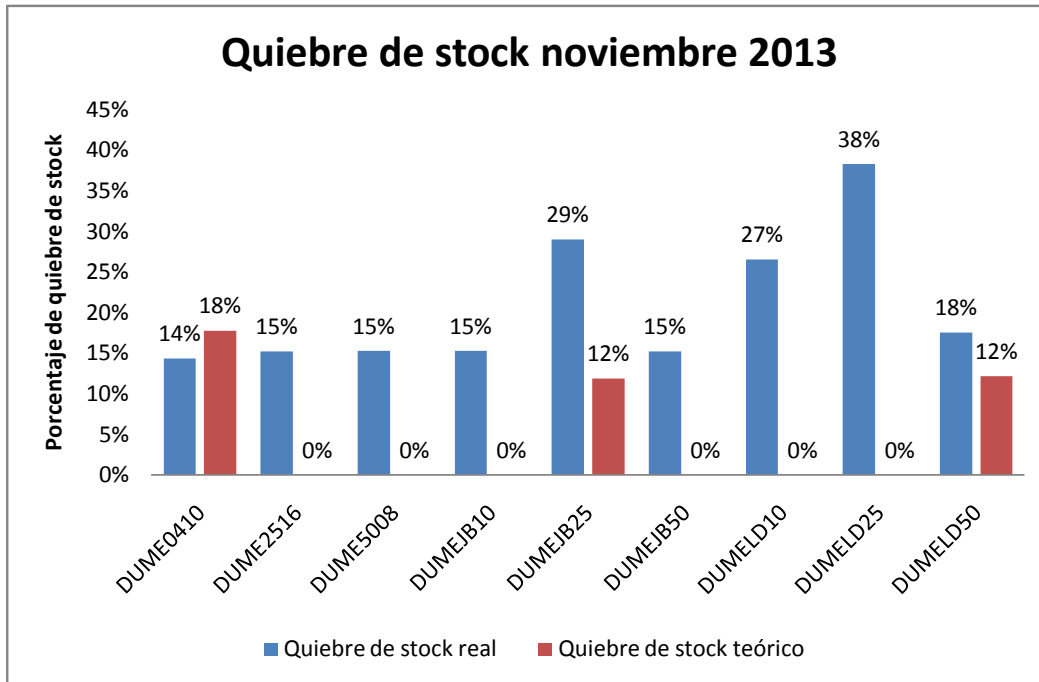


Figura 4.1: Gráfico comparativo, quiebres de stock real v/s teórico noviembre 2013.
Fuente: Elaboración propia.

Gracias al plan productivo otorgado por el modelo, los quiebres de stock se podrían haber asignado a sólo tres productos en vez que a los nueve como ocurrió en realidad, dejando de esta manera seis productos sin quiebres de stock.

Haciendo un análisis de los productos que presentaron quiebre de stock teórico, se puede notar que el producto DUME0410 hubiese aumentado su porcentaje de quiebre, de un 14% real a un 18% teórico, presentando un incremento de 191 cajas no vendidas, esto debido a la aleatoriedad de la demanda. En cuanto al DUMEJB25, éste hubiese presentado una disminución de un 29% real a un 12% teórico, lo que significaría haber vendido 330 cajas más. Por último el producto DUMELD50 hubiese disminuido su porcentaje de quiebre de stock de un 18% real a un 12% teórico, lo que significaría haber vendido 96 cajas adicionales.

Si a las ventas reales se le resta el inventario inicial y se suma el inventario final, se obtienen las cantidades producidas reales, ya que no se posee el dato correspondiente

al inventario final, éste se proyectará para estimar el índice real de utilización de la capacidad de la línea. Ya que el inventario inicial corresponde a 4.580 cajas, se estimará un inventario final que esté en el intervalo de 3.500 a 4.800 cajas, de esta forma la producción real debió haber fluctuado entre 21.777 y 23.077 cajas, lo que equivale a un índice de utilización de la capacidad inserto en el intervalo del 73% al 77%. Esto nos indica que existe un porcentaje entre el 23% y el 27% equivalente a capacidad no utilizada en el mes de noviembre. Gracias al modelo éste porcentaje quedaría cubierto y se aprovecharía casi completamente, ya que el modelo propone una utilización del 99,9% demostrando la optimización de la capacidad productiva en función de la demanda proyectada.

Con todo el análisis ya descrito anteriormente, queda demostrado que el modelo es eficaz en la labor de reducir los quiebres de stock de producto terminado en los productos de la línea de dulce de membrillo, y más eficiente al ser comparado con la metodología utilizada inicialmente por la empresa. Ahora sólo queda por analizar el nivel de sobre stock asociado a la producción sugerida por el modelo, considerando la demanda real ocurrida en noviembre 2013. En la tabla 4.5 se presentan los niveles de sobre stock.

Productos	Inv. final teórico	Stock de seguridad	Inv. Final teórico (%)	Sobre stock	Sobre stock(%)
DUME0410	0	926	0%	0	0%
DUME2516	3.285	1.742	65%	1.543	31%
DUME5008	1.301	1.244	28%	57	1%
DUMEJB10	924	635	47%	289	15%
DUMEJB25	0	535	0%	0	0%
DUMEJB50	2.245	903	121%	1.342	73%
DUMELD10	14	237	1%	0	0%
DUMELD25	250	160	38%	90	14%
DUMELD50	0	125	0%	0	0%
TOTAL	8.019	6.507	33%	3.321	14%

Tabla 4.5: Stock teórico noviembre 2013

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla, el inventario final teórico total asciende a 8.019 cajas de dulce de membrillo, las cuales representan el 44,55% de la capacidad de almacenamiento y el 33% de la demanda total. El stock de seguridad total asciende a 6.507 cajas, las cuales se diferencian de las 7.029 presentadas en el modelo, ya que aquí

se realizó la conversión de las cajas de 4 [kg] a 8 [kg] para los productos DUMELD10, DUMELD25 y DUMELD50. Debido a la aleatoriedad de la demanda hubo algunos productos en los cuales su inventario final no alcanzó el nivel de stock de seguridad sugerido, como es el caso de los productos que presentaron quiebre de stock además del DUMELD10, el cual presentó un inventario final igual a 14 cajas, restándole 223 para alcanzar el nivel estimado.

El sobre stock se calculó al restar el stock de seguridad del inventario final, dando como resultado un total de 3.321 cajas de sobre stock las que representan un 14% de la demanda total. Estas a su vez poseen un costo asociado correspondiente a \$10.850.594, los cuales son parte del costo total entregado por el modelo.

A continuación se procederá a realizar el mismo análisis para el mes de diciembre, utilizando como datos de entrada para este periodo los valores obtenidos en noviembre luego de la aplicación del modelo de planificación, con el fin de proyectar de mejor manera el impacto de nuestra propuesta en el sistema de producción de la empresa.

4.2 Diciembre 2013

En la tabla 4.6 se muestra la planilla de Excel con los resultados para el mes de diciembre 2013.

Restriccion de Capacidad										
Capacidad Prod (CajasxMes)										30000
Capacidad Almacenar Bodega (Cajas)										18000
	DUME0410	DUME2516	DUME5008	DUMEJ810	DUMEJ825	DUMEJ850	DUMELD10	DUMELD25	DUMELD50	TOTAL
Balance de Inventatio	3308	5706	3623	2182	1082	1625	1956	1406	3386	24274
Costos Totales (Pesos/Caja)	3268	3245	3231	3002	3272	3157	5697	6168	5797	36837
Costos de Produccion (Pesos/Cajas)	3227	3204	3190	2961	3231	3116	2828	3063,5	2878	27698,5
Costos de Inventario (Pesos/Cajas)	41	41	41	41	41	41	41	41	41	369
Cantidades a Producir	4234	4163	3566	1893	1617	283	2402	1226	3636	23020
Inventario Inicial	0	3.285	1.301	924	0	2.245	28	500	0	8283
Pronostico de Demanda	3.308	5.706	3.623	2.182	1.082	1.625	1.956	1.406	3.386	24274
Stock de Seguridad	926	1742	1244	635	535	903	474	320	250	7029
Inventario Final	926	1742	1244	635	535	903	474	320	250	7029
Costo de Produccion	\$ 13.663.118	\$ 13.338.252	\$ 11.375.540	\$ 5.605.173	\$ 5.224.527	\$ 881.828	\$ 6.792.856	\$ 3.755.851	\$ 10.464.408	\$ 71.101.553
Costo de Inventario	\$ 18.983	\$ 103.054	\$ 52.173	\$ 31.960	\$ 10.968	\$ 64.534	\$ 5.146	\$ 8.405	\$ 2.563	\$ 297.783
Costos Totales	\$ 13.682.101	\$ 13.441.306	\$ 11.427.713	\$ 5.637.133	\$ 5.235.495	\$ 946.362	\$ 6.798.002	\$ 3.764.256	\$ 10.466.971	\$ 71.399.336

Tabla 4.6: Modelo de planificación para diciembre 2013.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, los resultados se encuentran en la fila “Cantidades a Producir” color amarillo de la figura (anterior). De igual forma que en el análisis de noviembre se realiza la conversión de formatos de cajas de 4[kg] a 8[kg] en los productos DUMELD10, DUMELD25 y DUMELD50. En la tabla 4.7 se presentan los resultados óptimos.

	DUME0410	DUME2516	DUME5008	DUMEJ810	DUMEJ825	DUMEJ850	DUMELD10	DUMELD25	DUMELD50
Cantidades a Producir	4234	4163	3566	1893	1617	283	1201	613	1818

Tabla 4.7: Cantidades óptimas de producción para diciembre 2013.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.6 se puede observar que el modelo estima un costo total de \$71.399.336, considerando una producción de 23.020 cajas de dulce de membrillo. Esta capacidad de producción equivale al 76,7% de la capacidad total disponible, lo que brinda un 23,3% de holgura para hacer frente a la variabilidad de la demanda.

Al igual que en el mes anterior analizado, y de acuerdo a las restricciones del modelo, el inventario final se mantiene en 7.029 cajas de 4 [kg] que equivalen al stock de seguridad calculado, lo cual no sobrepasa la capacidad máxima de almacenamiento en bodega.

A continuación se realizará el análisis comparativo entre los quiebres de stock reales versus los quiebres de stock teóricos si se hubiese utilizado el plan productivo propuesto por el modelo para el mes de diciembre. Ahora se presenta la tabla 4.8, con los valores reales demandados y vendidos en el mes de diciembre por la empresa, con su respectivo porcentaje de quiebre de stock.

Productos	Demanda	Venta	Quiebre(cajas)	Quiebre(%)
DUME0410	3.241	2.875	366	11%
DUME2516	4.571	4.146	425	9%
DUME5008	3.721	3.264	457	12%
DUMEJB10	2.071	1.832	239	12%
DUMEJB25	1.056	945	111	11%
DUMEJB50	1.328	1.157	171	13%
DUMELD10	943	812	131	14%
DUMELD25	556	428	128	23%
DUMELD50	1.769	1.504	265	15%
TOTAL	19.256	16.963	2.293	12%

Tabla 4.8: Quiebres de stocks reales diciembre 2013.
Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el mes pasado, se sumó la producción óptima por producto entregada por el modelo con su respectivo inventario inicial, de esta manera se obtuvo la cantidad total disponible para la venta por producto para el mes de diciembre, además se calculó la venta teórica la cual corresponde a la cantidad de cajas que se hubiesen vendido utilizando el plan de producción propuesto. Esta cantidad fue comparada con el total demandado para calcular los quiebres de stock teóricos. En la tala 4.9 se muestran los resultados.

Productos	Demanda	Disp. a venta	Venta teórica	Quiebre(cajas)	Quiebre(%)	Inv. Final
DUME0410	3.241	4.234	3.241	0	0	993
DUME2516	4.571	7.448	4.571	0	0	2.877
DUME5008	3.721	4.867	3.721	0	0	1.146
DUMEJB10	2.071	2.817	2.071	0	0	746
DUMEJB25	1.056	1.617	1.056	0	0	561
DUMEJB50	1.328	2.528	1.328	0	0	1.200
DUMELD10	943	1.215	943	0	0	272
DUMELD25	556	863	556	0	0	307
DUMELD50	1.769	1.818	1.769	0	0	49
TOTAL	19.256	27.407	19.256	0	0	8.151

Tabla 4.9: Quiebres de stock e inventario final teórico.

Fuente: Elaboración propia.

Al efectuar la comparación entre el quiebre de stock real global y el teórico global, se aprecia que éste disminuyó de 2.293 cajas a 0 cajas, representado porcentualmente de un 12% a un 0%. Ésta disminución hubiese ocurrido ya que, teóricamente hubieran vendido la totalidad de la demanda solicitada, lo que habría traído como consecuencia el haber aumentado su utilidad en \$1.423.483, lo cual representa un aumento del 14,19% para el periodo en evaluación.

En la figura 4.2 se muestra una comparativa entre los quiebres de stock reales y los quiebres de stock teóricos por producto.

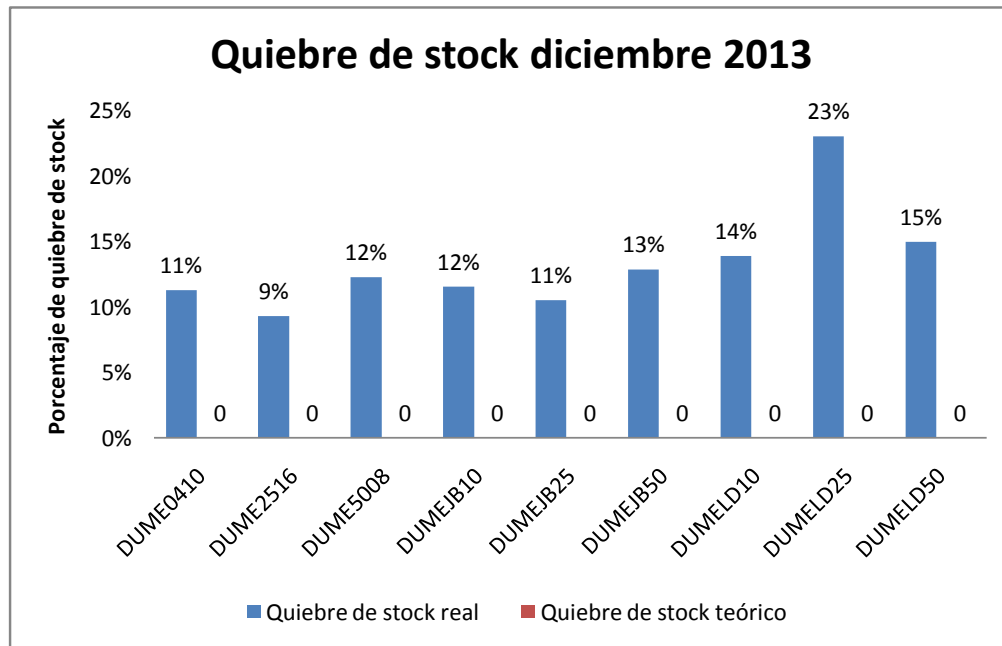


Figura 4.2: Gráfico comparativo, quiebre de stock v/s teórico diciembre 2013.
Fuente: Elaboración propia.

El hecho de presentar en diciembre un fillrate teórico igual al 100% se debe a que se contó con stock de seguridad para cinco de los nueve productos (los demás quebraron o el nivel era insuficientes) y, además, la proyección de demanda fue más acertada ya que ésta presentó un MAD igual a 221 y un MAPE del 10%, en comparación con la de noviembre la cual presentó un MAD igual a 731 y un MAPE igual al 28%. Los indicadores del error de pronóstico del mes de diciembre nos indican que hubo un error promedio de 221 cajas y los errores de pronóstico representaron en promedio el 10% de la demanda real.

Conclusiones

Eckart Alimentos Ltda. ha presentado quiebres de stock en producto terminado en sus tres líneas productivas, mermelada, manjar y dulce de membrillo. Se llegó a determinar que la línea con el mayor porcentaje de quiebres de stock era la de dulce de membrillo, compuesta por diez productos, con un 16% en el año 2012 y un 18% en el año 2013 lo que significó para la empresa utilidades no percibidas del orden de \$26.321.920 y \$34.095.899 respectivamente, además del daño a su imagen corporativa.

A causa de esto, se investigaron métodos y se aplicó el adecuado para identificar la causa raíz que provocaba los reiterados quiebres de stock en la línea de dulce de membrillo, dando como resultado que la causa raíz era la incorrecta planificación de la producción que se efectuaba en la empresa.

Detectado el problema y su causa raíz, la memoria se centró en planificar la producción de la línea de dulce de membrillo para reducir sus quiebres de stock.

Posteriormente se identificó el nivel de planificación a realizar, la planificación a mediano plazo, y se investigaron métodos para desarrollarla, concluyendo que, diseñar un modelo de programación lineal era la metodología idónea para llevar a cabo la planificación.

Ya que para planificar a mediano plazo es necesario estimar la demanda futura, se realizaron pronósticos de demanda, lo que dio como resultado obtener para siete productos, métodos de pronóstico idóneos a sus series de tiempo y en tres, métodos que no eran idóneos debido a que sus errores de pronóstico no eran aleatorios. Además, se estableció un stock de seguridad para cada uno de los productos con el fin de hacer frente a la variabilidad de la demanda, y poder realizar una planificación que considere un factor tan relevante como éste en la misión de reducir los quiebres de stock.

Luego, se diseñó y se simuló el modelo de programación lineal a través de la herramienta Solver de Excel, el cual consideró un horizonte de planeación de un mes y el cual se evaluó para los meses de noviembre y diciembre del año 2013.

La evaluación mencionada entregó como resultado una disminución del quiebre de stock de un 17% a un 6% en el mes de noviembre utilizando un 99,9% de la capacidad productiva, lo que conllevó a aumentar sus utilidades en \$1.730.382

(14,77%) en éste periodo. El resultado para el mes de diciembre fue una disminución del 12% al 0% de quiebre de stock utilizando un 76,7% de la capacidad productiva, lo que se tradujo en un cumplimiento del 100% de sus pedidos y en un aumento equivalente a \$1.423.483 (14,19%) en las utilidades para éste mes. Por lo tanto se concluye que:

- La causa raíz identificada, “incorrecta planificación de la producción”, era la correcta, ya que gracias al dar solución a ésta, los quiebres de stock disminuyeron.
- El modelo de programación lineal propuesto, es eficaz en la labor de reducir los quiebres de stock, ya que disminuyó en un 17% el quiebre de stock de noviembre y en su totalidad el de diciembre, maximizando las utilidades para la empresa.
- Con la capacidad instalada que posee la empresa y un buen método de planificación como el propuesto, Eckart Alimentos Ltda. puede hacer frente a la demanda de sus clientes sin problemas.
- La empresa necesita contar con personal calificado en labores de planificación para lograr aumentar la tasa de fillrate y así sus utilidades.

Además, el logro de cumplir con la totalidad de sus pedidos, consecuentemente proyectaría positivamente la imagen de la empresa ante sus clientes y mercado del rubro, lo que llevaría a un crecimiento en sus ventas y utilidades futuras. Asimismo si se aplicaran modelos de planificación en las demás líneas de producción, se contribuiría a la reducción de los demás quiebres de stock y al mejoramiento continuo de las operaciones.

Comentarios

Al finalizar el presente trabajo de tesis, y luego de validar el modelo de programación lineal propuesto en los meses de noviembre y diciembre 2013, es necesario señalar que su aplicación se hace extensible para los meses que la empresa estime necesario, siendo el único requisito para una eventual validación de un horizonte temporal más amplio, la actualización de los datos de entrada (demanda real, stock de seguridad e inventario inicial) y los quiebres de stock reales para su posterior comparación.

Por último, indicar que al ser una planificación mensual, se deja la libertad al jefe de producción a que continúe su desagregación hacia la planificación maestra y posteriormente a la programación de la producción.

Bibliografía

- Render, Barry; Heizer, Jay, (2004). Principios de administración de operaciones. 5ª ed., México, Pearson educación.
- Krajewski, Lee J.; Ritzman, Larry P., (2000). Administración de operaciones. Estrategia y análisis. 5ª ed., México, Pearson educación.
- Chase, Richard B.; Jacobs, Robert F.; Aquilano, Nicholas J., (2009). Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros. 12ª ed., México, Mc Graw-Hill.
- Hanke, John E.; Wichern, Dean W., (2006). Pronósticos en los negocios. 8ª ed., México, Pearson educación.
- Sondalini, Mike, sin fecha. Understanding how to use the 5-whys for root cause analysis. Disponible en: http://www.lifetime-reliability.com/tutorials/lean-management-methods/How_to_Use_the_5-Whys_for_Root_Cause_Analysis.pdf
- CPI Toolbox, sin fecha. Universidad de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Civil Industrial, asignatura: gestión de la calidad, Tutorial de herramientas de calidad.
- Mercado R., Ernesto, (1991). Calidad integral empresarial e institucional II. capacitación a empleados [En línea]. México, Limusa S.A. Disponible en: http://books.google.cl/books?id=KX1nu2qG2owC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Dettmer, William H., (1997). Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement [En línea]. USA, AQS. Disponible en: http://books.google.cl/books?id=pinJA4-spBAC&printsec=frontcover&dq=theory+of+constraints&hl=es&sa=X&ei=Uo75U_O2JIu_sQTKkoDAAQ&ved=0CCsQ6AEwAg#v=onepage&q=theory%20of%20constraints&f=false
- Boiteux, Orlando D.; Corominas, Albert; Lusa, Amaia, (2007). Estado del arte sobre planificación agregada de la producción [En línea]. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto de organización y control de sistemas industriales. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/eprints/bitstream/2117/747/2/IOC-DT-P-2007-04.pdf>

- Ortiz Triana, Viviana K.; Caicedo Rolón, Álvaro J. “Plan óptimo de producción en una planta embotelladora de gaseosas”. Revista Ingeniería Industrial[En línea], año 11, volumen n°1, p. 69-80. Disponible en:http://www.ici.ubiobio.cl/revista/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=145&&Itemid=15
- Aguirre Ossandón, Alfonso A.; Castañeda Contreras, Bruno A., (2013). Planificación de la producción para la Viña San Esteban. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Valparaíso.

Anexos

Anexo I: Productos Eckart

Línea de Mermeladas

SIGLA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
MEACCI25	ACUENTA CIRUELA 24X250 GR	CAJA
MEACDA25	ACUENTA DAMASCO 24X250 GR	CAJA
MEACDU25	ACUENTA DURAZNO 24X250 GR	CAJA
MEACFR25	ACUENTA FRUTILLA 24X250 GR	CAJA
MEACMO25	ACUENTA MORA 24X250 GR	CAJA
MEDIDA25	LIGHT DAMASCO 24X250 GR	CAJA
MEDIDU25	LIGHT DURAZNO 24X250 GR	CAJA
MEDIFR25	LIGHT FRUTILLA 24X250 GR	CAJA
MEDIMO25	LIGHT MORA 24X250 GR	CAJA
MEEKAL25	ECKART ALCAYOTA 24X250 GR	CAJA
MEEKBAAL	ALCAYOTA PAST.GALON 1X5 KG	GALON
MEEKBACI	CIRUELA PASTEL, GALON 1X5 KG	GALON
MEEKBADA	DAMASCO PASTEL.GALON DE 1X5 KG	GALON
MEEKBADU	DURAZNO PASTEL.GALON 1X5 KG	GALON
MEEKBAFA	FRAMBUESA PASTEL.GALON 1X5 KG	GALON
MEEKBAFR	FRUTILLA PAST.GALON 1X5 KG	GALON
MEEKBAMO	MORA PASTEL.GALON 1X5 KG	GALON
MEEKBANA	NARANJA PASTEL.GALON 1X5 KG	GALON
MEEKCI25	ECKART CIRUELA 24X250 GR	CAJA
MEEKDA25	ECKART DAMASCO 24X250 GR	CAJA
MEEKDU25	ECKART DURAZNO 24X250 GR	CAJA
MEEKFA25	ECKART FRAMBUESA 24X250 GR	CAJA
MEEKFR25	ECKART FRUTILLA 24X250 GR	CAJA
MEEKMO25	ECKART MORA 24X250 GR	CAJA
MEEKNA25	ECKART NARANJA 24X250 GR	CAJA
MEENDAGA	MERM.DAMASCO ENTERO GALON 1X5 KG	GALON
MEENFRGA	MERM.FRUTILLA ENTERA GALON 1X5 KG	GALON
MEFRAL37	MERM.FRASCO ALCAYOTA 370 GR	CAJA
MEFRCI37	MERM.FRASCO CIRUELA 370 GR	CAJA
MEFRDA37	MERM.FRASCO DAMASCO 370 GR	CAJA
MEFRDU37	MERM.FRASCO DURAZNO 370 GR	CAJA
MEFRFR37	MERM.FRASCO FRUTILLA 370 GR	CAJA
MEFRMO37	MERM.FRASCO MORA 370 GR	CAJA
MEFRNA37	MERM.FRASCO NARANJA 370 GR	CAJA
MEFRTECI	MERM.FRASCO CIRUELA TENTO 12X370 GR	CAJA
MEFRTEDA	MERM.FRASCO DAMASCO TENTO 12X370 GR	CAJA
MEFRTEDU	MERM.FRASCO DURAZNO TENTO 12X370 GR	CAJA
MEFRTEFR	MERM.FRASCO FRUTILLA TENTO 12X370 GR	CAJA
MEFRTEMO	MERM.FRASCO MORA TENTO 12X370 GR	CAJA
MEFRTENA	MERM.FRASCO NARANJA TENTO 12X370 GR	CAJA
MELICI25	TIA LIA CIRUELA 24X250 GR	CAJA
MELIDA25	TIA LIA DAMASCO 24X250 GR	CAJA

Línea de Dulce de Membrillo

SIGLA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
DUME0410	D.MEMBRILO 4X1000 GR	CAJA
DUME2516	D.MEMBRILO 16X250 GR	CAJA
DUME5008	D.MEMBRILO 8X500 GR	CAJA
DUMEJB10	D.MEMBRILO JUMBO 4X1000 GR	CAJA
DUMEJB25	D.MEMBRILO JUMBO 16X250 GR	CAJA
DUMEJB50	D.MEMBRILO JUMBO 8X500 GR	CAJA
DUMELD10	D.MEMBRILO LIDER 8X1000 GR	CAJA
DUMELD25	D.MEMBRILO LIDER 32X250 GR	CAJA
DUMELD50	D.MEMBRILO LIDER 16X500 GR	CAJA
DUMELG33	D.MEMBRILO LIGHT 16X330 GR	CAJA

Línea de Manjar

SIGLA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
DULE0250	D. LECHE 32x250 KG	CAJA
DULE0500	D. LECHE 16x500 GR	CAJA
DULE1000	D. LECHE 8x1000 GR	CAJA
DULELD10	D.LECHE LIDER 8X1000 GR	CAJA
DULELD50	D.LECHE LIDER 16X500 GR	CAJA
DULELP40	D.LECHE LIDER POTE 12X400 GR	CAJA
DULEPO40	D.LECHE POTE 12X400 GR	CAJA
DULETP40	D.LECHE POTE TOTTUS 12X400 GR	CAJA
DULETT10	D.LECHE TOTTUS 8X1000 GR	CAJA
DULETT50	D.LECHE TOTTUS 16X500 GR	CAJA

Anexo II: Detalle de venta mensual de cajas por producto

Línea de Dulce de Membrillo 2012

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
DUME0410	2.649	2.331	3.805	2.932	3.629	3.669	3.393	4.180	4.340	3.956	3.603	3.060	41.547
DUME2516	5.645	2.679	7.909	7.261	6.790	6.522	6.878	6.756	8.057	7.069	6.235	3.900	75.701
DUME5008	2.484	2.663	3.826	3.388	3.787	4.279	4.097	3.816	4.983	3.594	3.625	2.956	43.498
DUMEJB10	1.166	1.558	1.891	1.124	2.008	3.220	2.223	2.626	1.491	1.869	1.603	1.633	22.412
DUMEJB25	526	1.884	2.042	1.852	2.567	2.738	2.267	2.599	1.312	1.061	1.121	878	20.847
DUMEJB50	778	892	1.318	618	1.966	2.254	1.643	1.695	1.603	1.426	1.898	1.283	17.374
DUMELD10	390	325	585	650	715	611	845	988	884	975	546	585	8.099
DUMELD25	504	112	336	336	448	336	448	560	420	392	602	336	4.830
DUMELD50	840	600	1.020	840	960	1.020	1.140	1.110	840	1.305	1.050	1.230	11.955
DUMELG33	369	227	597	307	480	480	442	429	468	543	327	463	5.132
TOTAL	15.351	13.271	23.329	19.308	23.350	25.129	23.376	24.759	24.398	22.190	20.610	16.324	251.395

Línea de Dulce de Membrillo 2013

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
DUME0410	1.919	2.888	3.907	3.542	3.422	4.400	3.223	4.623	3.630	4.399	4.827	2.875	43.655
DUME2516	4.413	3.857	5.720	6.824	6.876	7.577	4.749	6.339	4.768	5.766	4.263	4.146	65.298
DUME5008	1.825	3.408	7.261	4.878	5.051	5.975	4.029	4.122	3.745	4.185	3.916	3.264	51.659
DUMEJB10	1.173	1.552	1.624	2.398	2.442	2.028	1.850	1.916	1.387	2.080	1.660	1.832	21.942
DUMEJB25	736	974	1.083	1.179	1.139	1.374	1.229	1.208	578	1.374	1.365	945	13.184
DUMEJB50	778	2.117	1.397	1.511	2.267	2.148	2.023	3.961	1.393	2.777	1.568	1.157	23.097
DUMELD10	507	585	845	715	678	696	903	921	739	1.039	740	812	9.180
DUMELD25	224	336	448	280	280	419	601	307	492	784	404	428	5.003
DUMELD50	930	1.050	1.260	1.065	1.260	795	540	1.140	585	1.020	1.485	1.504	12.634
DUMELG33	357	442	481	444	612	549	678	474	730	386	458	521	6.132
TOTAL	12.862	17.209	24.026	22.836	24.027	25.961	19.825	25.011	18.047	23.810	20.686	17.484	251.784

Línea Mermelada 2012

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
MEACCI25	816	544	952	816	1.020	1.003	1.138	868	1.650	1.914	1.398	1.688	13.807
MEACDA25	1.088	680	1.156	1.020	1.360	1.700	2.380	2.040	2.142	2.584	1.343	2.243	19.736
MEACDU25	1.904	1.836	2.924	2.040	2.856	3.400	4.267	3.184	4.738	4.650	2.963	4.170	38.932
MEACFR25	1.836	748	1.292	1.020	1.292	1.700	1.462	2.958	1.700	2.584	2.210	2.227	21.029
MEACMO25	2.040	1.632	3.604	2.380	3.060	2.108	4.896	3.060	3.740	4.624	3.295	2.952	37.391
MEDIDA25	157	137	172	164	128	153	161	52	233	136	216	173	1.882
MEDIDU25	192	162	234	189	193	161	214	23	278	66	236	212	2.160
MEDIFR25	168	133	142	173	127	142	146	81	200	138	152	112	1.714
MEDIMO25	139	161	248	195	194	177	185	41	253	144	219	186	2.142
MEEKAL25	23	10	15	1	7	15	21	23	11	29	21	31	207
MEEKBAAL	34	38	40	79	81	48	56	68	60	65	76	71	716
MEEKBACI	10	43	15	15	23	-	-	6	10	22	45	5	194
MEEKBADA	59	112	74	83	94	80	84	113	99	114	104	109	1.125
MEEKBADU	24	42	23	10	22	16	11	33	7	7	35	10	240
MEEKBAFA	58	88	54	83	95	62	89	105	77	89	60	82	942
MEEKBAFR	48	42	58	102	52	50	35	47	16	45	12	39	546
MEEKBAMO	21	29	44	1	14	19	-	31	3	32	49	3	246
MEEKBANA	2	5	1	5	2	3	1	4	5	9	-	2	39
MEEKCI25	285	39	97	77	116	196	135	76	61	170	103	238	1.593
MEEKDA25	446	398	142	90	121	306	153	107	121	188	132	256	2.460
MEEKDU25	423	514	126	124	210	321	249	159	189	236	315	347	3.213
MEEKFA25	1	1	20	5	1	9	7	13	11	7	10	27	112
MEEKFR25	80	50	98	57	61	38	65	75	83	56	57	91	811
MEEKMO25	153	81	146	95	115	83	107	97	105	83	92	146	1.303
MEEKNA25	87	110	163	121	161	277	149	145	151	45	56	68	1.533
MEENDAGA	-	-	-	-	-	-	4	4	-	6	15	-	29
MEENFRGA	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-	34
MEFRAL37	36	36	92	36	85	80	62	78	14	39	80	62	700
MEFRCI37	60	62	107	45	77	45	29	25	39	22	21	41	573
MEFRDA37	90	109	168	110	81	127	99	139	68	67	162	109	1.329
MEFRDU37	87	96	104	105	97	77	71	89	67	61	164	56	1.074
MEFRFR37	74	105	142	83	71	51	48	78	65	55	94	66	932
MEFRMO37	181	134	218	123	99	190	145	194	113	75	225	77	1.774
MEFRNA37	61	94	100	89	58	106	73	65	42	29	36	40	793
MEFRTECI	210	-	86	70	14	-	43	14	47	57	30	41	612
MEFRTEDA	104	28	86	70	14	14	99	42	46	72	64	81	720
MEFRTEDU	220	28	42	70	28	-	99	14	60	72	35	52	720
MEFRTEFR	144	56	108	56	34	-	113	28	84	51	72	56	802
MEFRTEMO	140	178	98	28	28	-	141	42	56	142	44	101	998
MEFRTENA	244	76	126	42	14	-	29	14	28	93	16	57	739
MELICI25	1.834	1.793	2.863	2.727	2.623	2.961	2.417	2.504	3.160	3.433	2.620	1.647	30.582
MELIDA25	2.746	2.365	3.596	2.277	2.660	3.278	3.499	3.638	3.445	3.244	2.884	3.047	36.679
TOTAL	16.335	12.795	19.776	14.876	17.388	18.996	22.982	20.377	23.277	25.555	19.785	21.021	233.163

Línea Mermeladas 2013

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
MEACCI25	1.274	1.002	1.266	1.524	1.099	1.400	1.918	1.912	1.457	2.251	2.004	1.906	19.013
MEACDA25	1.768	1.360	1.904	1.156	1.500	2.129	2.470	2.092	2.766	1.948	2.658	2.366	24.117
MEACDU25	3.199	3.137	4.328	2.972	2.534	3.573	3.910	4.450	3.008	6.467	4.620	4.636	46.834
MEACFR25	2.108	1.834	2.516	1.564	2.363	2.312	2.244	2.992	1.496	3.196	3.128	2.703	28.456
MEACMO25	3.458	2.234	4.133	1.896	3.318	3.248	3.524	4.066	2.634	4.948	4.270	3.980	41.709
MEDIDA25	86	115	167	149	134	132	153	162	165	200	91	155	1.709
MEDIDU25	137	180	196	128	158	204	181	293	189	189	203	219	2.277
MEDIFR25	69	88	112	118	104	76	91	145	102	172	71	123	1.271
MEDIMO25	132	236	297	147	187	249	104	191	221	276	217	226	2.483
MEEKAL25	26	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
MEEKBAAL	37	81	63	65	111	95	89	99	96	130	108	108	1.082
MEEKBACI	17	5	8	15	6	14	3	20	5	10	8	11	122
MEEKBADA	65	80	88	88	119	132	109	127	91	114	94	107	1.214
MEEKBADU	11	19	8	7	14	23	9	10	12	11	4	9	137
MEEKBAFA	41	94	59	109	66	83	87	123	72	97	126	105	1.062
MEEKBAFR	45	55	5	53	8	22	6	80	6	3	12	25	320
MEEKBAMO	16	8	2	31	30	4	59	22	6	15	19	16	228
MEEKBANA	1	7	-	6	2	7	8	16	1	1	16	9	74
MEEKCI25	99	149	169	147	74	140	135	175	94	218	170	164	1.734
MEEKDA25	166	163	179	150	107	161	183	210	113	249	162	184	2.027
MEEKDU25	185	280	263	254	270	251	343	267	212	481	312	318	3.436
MEEKFA25	-	-	32	14	15	12	11	14	7	9	29	15	158
MEEKFR25	47	32	61	50	89	58	31	49	41	78	58	57	651
MEEKMO25	62	60	95	81	100	79	81	75	84	130	75	91	1.013
MEEKNA25	34	201	295	158	41	224	212	200	75	329	39	161	1.969
MEENDAGA	-	-	2	2	-	5	7	4		6	5	5	36
MEENFRGA	-	-	2	-	-	24	7	2			8	5	48
MEFRAL37	31	46	43	48	72	52	69	76	31	106	59	68	701
MEFRCI37	23	14	19	21	29	23	20	48	21	51	34	39	342
MEFRDA37	53	171	25	59	93	83	98	128	93	134	116	118	1.171
MEFRDU37	47	145	24	17	14	56	54	75	53	98	121	96	800
MEFRFR37	65	38	54	43	70	58	53	94	58	95	75	72	775
MEFRMO37	69	193	82	41	108	114	135	115	105	168	95	107	1.332
MEFRNA37	23	99	48	50	48	78	45	91	28	123	69	97	799
MEFRTECI	84	42	378	112	-	14	126	5	91	80	56	32	1.020
MEFRTEDA	140	280	252	-	-	1	-	2	-	29	2	30	736
MEFRTEDU	70	195	219	168	-	42	322	84	42	42	84	85	1.353
MEFRTEFR	111	78	296	154	30	183	168	72	112	102	140	134	1.580
MEFRTEMO	138	207	310	154	57	280	56	198	56	239	84	134	1.913
MEFRTENA	95	229	70	140	84	14	70	71	98	71	230	198	1.370
MELICI25	2.088	1.366	1.787	1.239	1.341	1.234	1.396	1.499	1.232	1.626	1.432	1.566	17.806
MELIDA25	2.403	2.135	4.731	2.816	3.363	2.843	3.445	3.568	2.816	3.309	3.822	3.567	38.818
TOTAL	18.523	16.668	24.588	15.946	17.758	19.732	22.032	23.922	17.789	27.801	24.926	24.042	253.727

Línea Manjar 2012

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
DULE0250	570	2.066	2.421	3.099	3.702	1.607	1.986	3.157	2.012	2.371	954	163	24.108
DULE0500	1.699	250	615	1.450	1.450	1.056	1.065	956	1.154	681	808	172	11.356
DULE1000	636	546	770	1.228	756	805	1.301	848	873	509	698	736	9.706
DULELD10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DULELD50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DULELP40	1.350	1.300	2.600	1.450	2.300	2.640	2.150	2.710	1.940	2.330	1.550	1.400	23.720
DULEPO40	251	284	526	508	534	622	735	575	373	326	417	258	5.409
DULETP40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78	223	106	407
DULETT10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	712	167	897
DULETT50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	296	214	525
TOTAL	4.506	4.446	6.932	7.735	8.742	6.730	7.237	8.246	6.352	6.328	5.658	3.216	76.128

Línea Manjar 2013

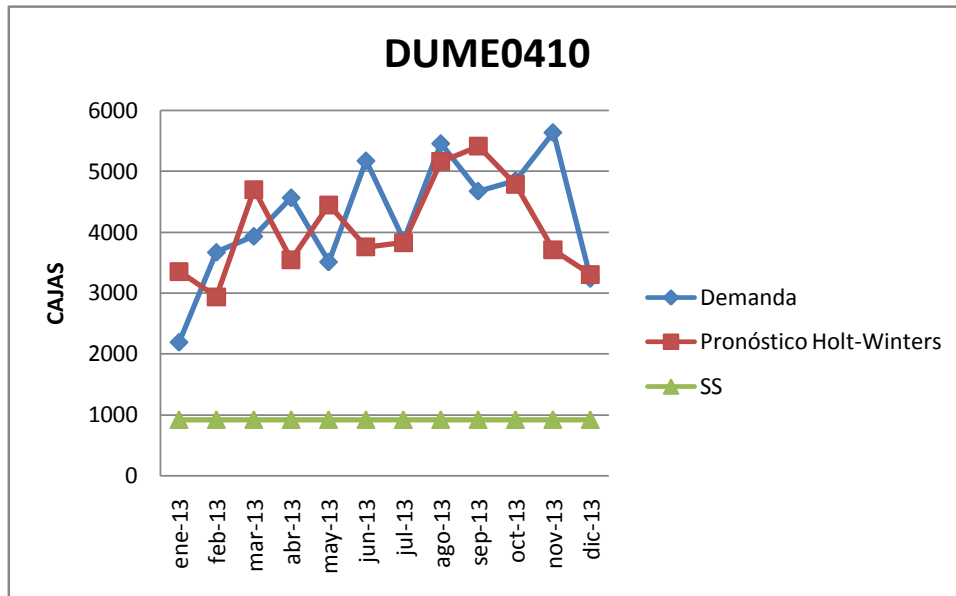
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
DULE0250	638	1.666	2.636	2.254	2.514	1.757	2.185	2.706	1.125	2.105	1.153	1.461	22.200
DULE0500	1.151	76	610	1.123	1.202	991	579	816	897	798	608	768	9.619
DULE1000	467	399	1.170	653	525	573	790	848	594	484	491	523	7.517
DULELD10	-	-	-	-	-	396	662	555	623	554	745	641	4.176
DULELD50	-	-	-	-	-	296	145	281	258	274	404	312	1.970
DULELP40	1.350	1.550	2.200	1.450	2.540	2.018	2.012	2.100	1.321	2.440	1.450	1.737	22.168
DULEPO40	486	169	369	409	385	587	608	466	251	516	446	404	5.096
DULETP40	7	63	108	129	77	148	134	211	139	210	140	163	1.529
DULETT10	37	93	303	306	117	284	279	284	214	235	141	197	2.490
DULETT50	4	42	65	108	69	81	80	84	47	145	88	93	906
TOTAL	4.140	4.058	7.461	6.432	7.429	7.131	7.474	8.351	5.469	7.761	5.666	6.299	77.671

Anexo III: Tablas de Pronósticos y Stock de seguridad por producto.

DUME0410. Método:Holt-Winters

PERIODO	DEMANDA	NIVEL	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRONOSTICO	ERROR	SS	
ene-12	3359				0,823317946		925	
feb-12	2941				0,72086278		925	
mar-12	4700				1,152007843		925	
abr-12	3547				0,86939826		925	
may-12	4449				1,090485722		925	
jun-12	3758				0,921116059		925	
jul-12	3828				0,938273622		925	
ago-12	5164				1,265737979		925	
sep-12	5411				1,326279668		925	
oct-12	4783				1,172351812		925	
nov-12	3710				0,909350872		925	
dic-12	3308	4080	0		0,810817435		925	
ene-13	2196	4080	0		0,823317946	3.359	-1163	925
feb-13	3670	4080	0		0,72086278	2.941	729	925
mar-13	3933	4080	0		1,152007843	4.700	-767	925
abr-13	4566	4080	0		0,86939826	3.547	1019	925
may-13	3513	4080	0		1,090485722	4.449	-936	925
jun-13	5172	4080	0		0,921116059	3.758	1414	925
jul-13	3866	4080	0		0,938273622	3.828	38	925
ago-13	5455	4080	0		1,265737979	5.164	291	925
sep-13	4674	4080	0		1,326279668	5.411	-737	925
oct-13	4848	4080	0		1,172351812	4.783	65	925
nov-13	5636	4080	0		0,909350872	3.710	1926	925
dic-13	3241	4080	0		0,810817435	3.308	-67	925

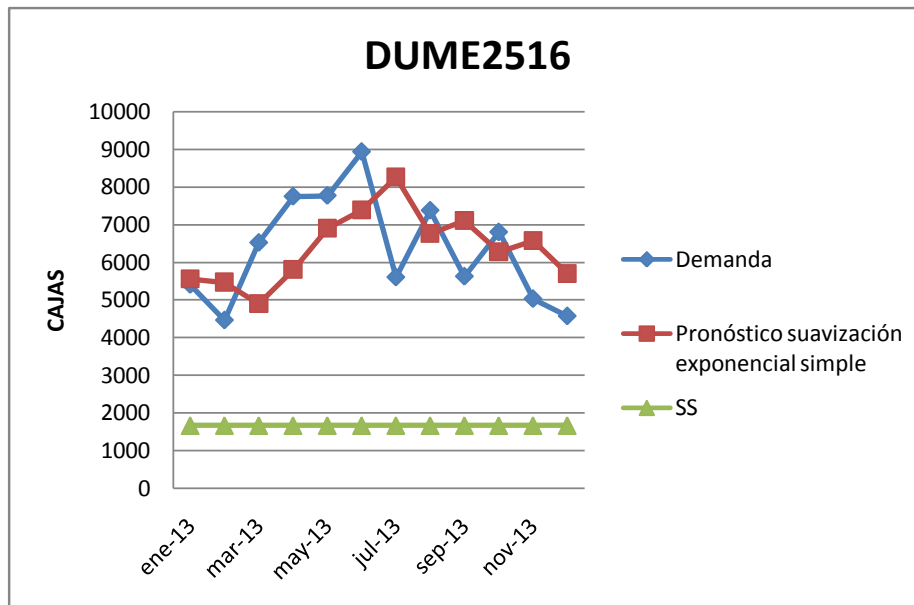
α	0	MAD	763	NIVEL SERVICIO	0,85
β	0	MSE	894.476	PROVABILIDAD	1,036433389
γ	0	MAPE	19%	DESV.ESTAND	892,4885399
		MPE	0%	SS	925



DUME2516. Método: Suavización exponencial simple

PERIODO	DEMANDA	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	6747			1671
feb-12	3161			1671
mar-12	9333			1671
abr-12	8173			1671
may-12	7203			1671
jun-12	7181			1671
jul-12	7537			1671
ago-12	7291			1671
sep-12	9077			1671
oct-12	7834			1671
nov-12	7108			1671
dic-12	4378	7.085		1671
ene-13	5407	5.563	-156	1671
feb-13	4462	5.475	-1013	1671
mar-13	6523	4.906	1617	1671
abr-13	7752	5.815	1937	1671
may-13	7774	6.904	870	1671
jun-13	8941	7.393	1548	1671
jul-13	5604	8.263	-2660	1671
ago-13	7380	6.768	612	1671
sep-13	5626	7.112	-1486	1671
oct-13	6804	6.277	527	1671
nov-13	5030	6.573	-1543	1671
dic-13	4571	5.706	-1135	1671

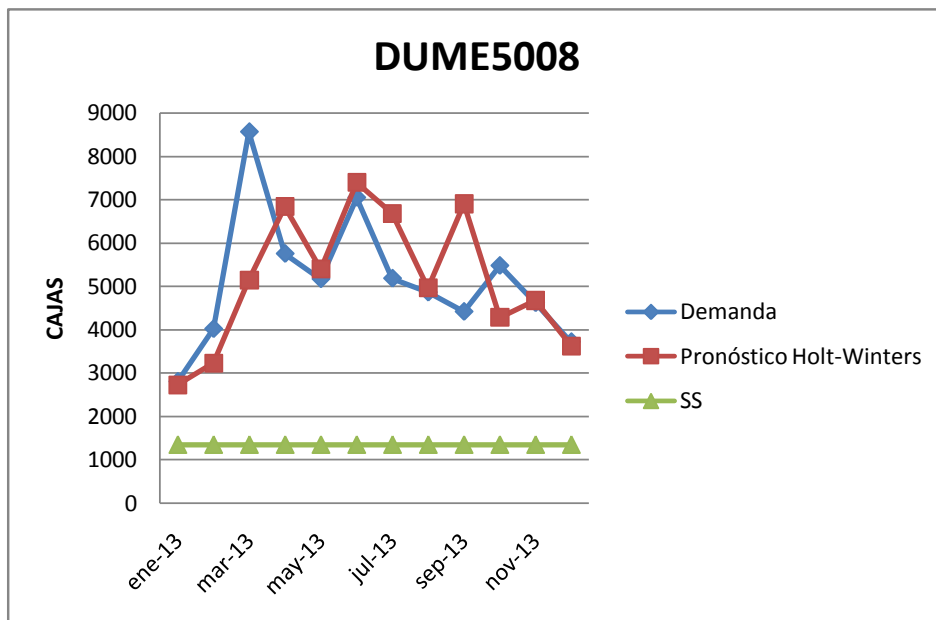
α	0,562259067	MAD	1.259	NIVEL SERVICIO	0,85
		MSE	2.014.368	PROVABILIDAD	1,036433389
		MAPE	21%	DESV.ESTAND	1612,408854
		MPE	-5%	SS	1671



DUME5008. Método: Holt-Winters

PERIODO	DEMANDA	NIVEL	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	2732			0,639399358			1351
feb-12	3189			0,746355985			1351
mar-12	4515			1,056619141			1351
abr-12	4471			1,04639624			1351
may-12	3844			0,899652684			1351
jun-12	5382			1,259607373			1351
jul-12	4983			1,16622511			1351
ago-12	4184			0,979226542			1351
sep-12	5880			1,37614563			1351
oct-12	4482			1,048970689			1351
nov-12	4278			1,001109353			1351
dic-12	3334	4273	0	0,780291896			1351
ene-13	2804	4331	0	0,639399358	2.732	72	1351
feb-13	4021	4875	0	0,746355985	3.232	789	1351
mar-13	8568	6539	0	1,056619141	5.151	3417	1351
abr-13	5756	6005	0	1,04639624	6.843	-1087	1351
may-13	5172	5873	0	0,899652684	5.402	-230	1351
jun-13	7051	5731	0	1,259607373	7.398	-347	1351
jul-13	5186	5070	0	1,16622511	6.684	-1498	1351
ago-13	4864	5017	0	0,979226542	4.965	-101	1351
sep-13	4419	4088	0	1,37614563	6.904	-2485	1351
oct-13	5480	4673	0	1,048970689	4.288	1192	1351
nov-13	4621	4643	0	1,001109353	4.678	-57	1351
dic-13	3721	4708	0	0,780291896	3.623	98	1351

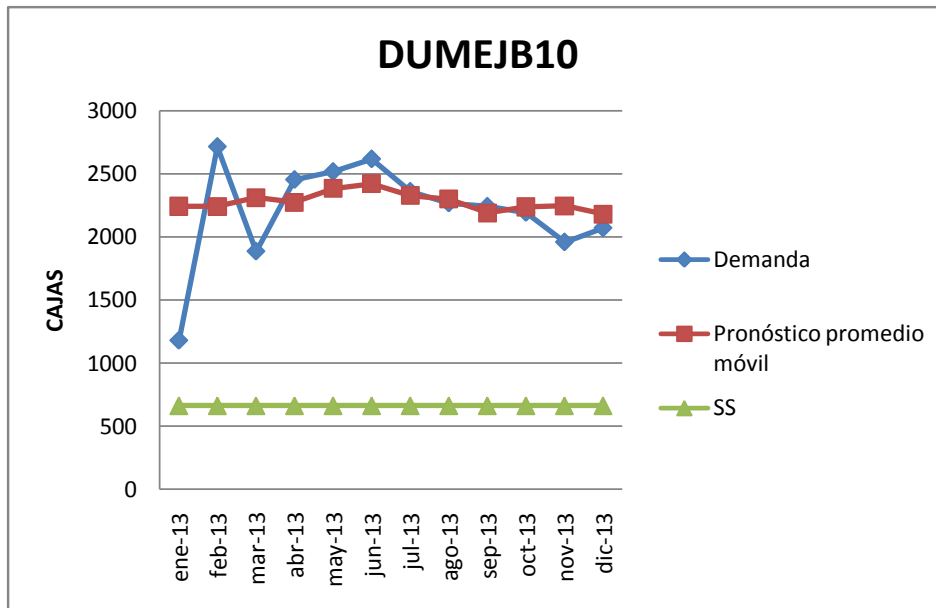
α	0,514644664	MAD	948	NIVEL SERVICIO	0,85
β	0	MSE	1.960.241	PROVABILIDAD	1,03643339
γ	0	MAPE	17%	DESV.ESTAND	1303,25807
		MPE	-3%	SS	1351



DUMEJB10. Método: Promedio móvil

PERIODO	DEMANDA	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	1196			662
feb-12	1874			662
mar-12	2326			662
abr-12	1144			662
may-12	2071			662
jun-12	3738			662
jul-12	2693			662
ago-12	3581			662
sep-12	1666			662
oct-12	2092			662
nov-12	2746			662
dic-12	1789			662
ene-13	1179	2.243	-1064	662
feb-13	2716	2.242	474	662
mar-13	1886	2.312	-426	662
abr-13	2454	2.275	179	662
may-13	2518	2.384	134	662
jun-13	2618	2.422	197	662
jul-13	2361	2.328	33	662
ago-13	2268	2.301	-33	662
sep-13	2242	2.191	51	662
oct-13	2193	2.239	-46	662
nov-13	1959	2.248	-289	662
dic-13	2071	2.182	-111	662

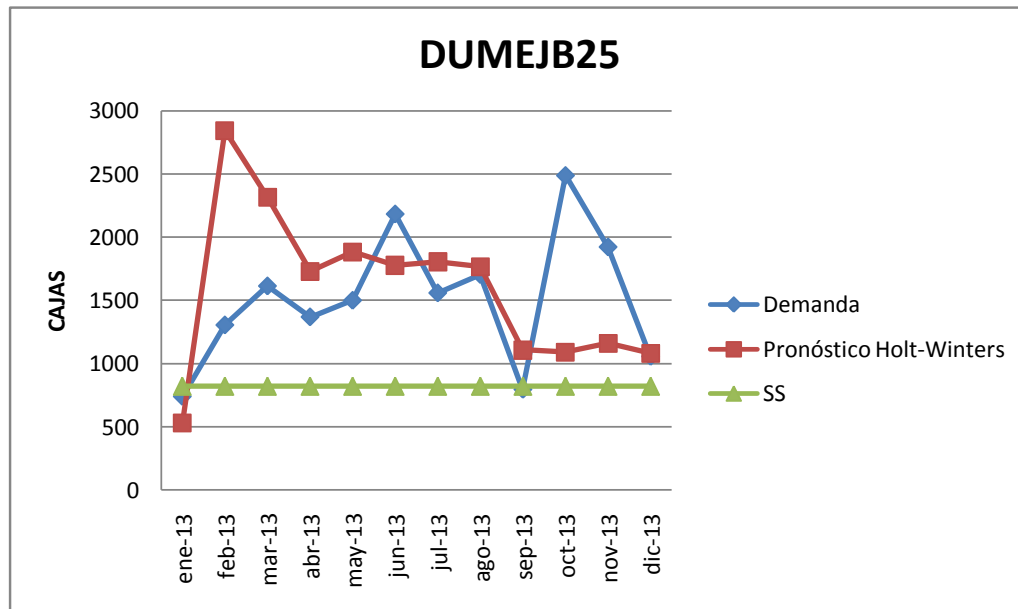
MAD	253	NIVEL SERVICIO	0,85
MSE	144.111	PROVABILIDAD	1,036433389
MAPE	15%	DESV.ESTAND	638,6850608
MPE	-8%	SS	662



DUMEJB25. Método:Holt-Winters.

PERIODO	DEMANDA	NIVEL	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	531			0,236666171			821
feb-12	2331			1,03892438			821
mar-12	2726			1,214975487			821
abr-12	2455			1,094191056			821
may-12	3024			1,34779379			821
jun-12	3224			1,436933591			821
jul-12	2903			1,29386421			821
ago-12	3075			1,370524439			821
sep-12	1966			0,876244243			821
oct-12	2298			1,024216313			821
nov-12	1422			0,633783985			821
dic-12	969	2244	0	0,431882335			821
ene-13	739	2737	0	0,236666171	531	208	821
feb-13	1305	1906	0	1,03892438	2.843	-1538	821
mar-13	1614	1582	0	1,214975487	2.316	-702	821
abr-13	1369	1396	0	1,094191056	1.731	-362	821
may-13	1500	1237	0	1,34779379	1.882	-382	821
jun-13	2184	1396	0	1,436933591	1.778	406	821
jul-13	1559	1289	0	1,29386421	1.806	-247	821
ago-13	1704	1263	0	1,370524439	1.766	-62	821
sep-13	795	1063	0	0,876244243	1.107	-312	821
oct-13	2489	1830	0	1,024216313	1.089	1400	821
nov-13	1923	2506	0	0,633783985	1.160	763	821
dic-13	1056	2472	0	0,431882335	1.082	-26	821

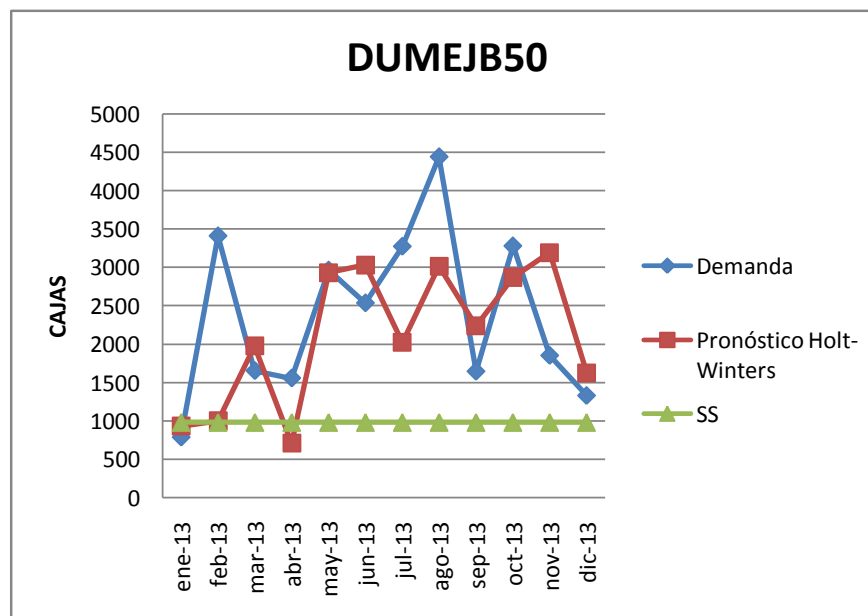
α	0,561211852	MAD	534	NIVEL SERVICIO	0,85
β	0	MSE	504.013	PROVABILIDAD	1,036433389
γ	0	MAPE	35%	DESV.ESTAND	792,4933399
		MPE	-11%	SS	821



DUMEJB50. Método:Holt-Winters

PERIODO	DEMANDA	NIVEL	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	928			0,495412011			981
feb-12	1003			0,535450698			981
mar-12	1807			0,964665414			981
abr-12	653			0,348603495			981
may-12	2575			1,374661562			981
jun-12	2660			1,419889262			981
jul-12	1788			0,954522281			981
ago-12	2599			1,387473941			981
sep-12	1892			1,009797022			981
oct-12	2456			1,311133513			981
nov-12	2713			1,448332745			981
dic-12	1405	1873	0	0,750058056			981
ene-13	786	1861	0	0,495412011	928	-142	981
feb-13	3408	2047	0	0,535450698	997	2411	981
mar-13	1652	2033	0	0,964665414	1.974	-322	981
abr-13	1556	2133	0	0,348603495	709	847	981
may-13	2962	2134	0	1,374661562	2.932	30	981
jun-13	2535	2120	0	1,419889262	3.030	-495	981
jul-13	3271	2173	0	0,954522281	2.023	1248	981
ago-13	4438	2216	0	1,387473941	3.015	1423	981
sep-13	1644	2191	0	1,009797022	2.237	-593	981
oct-13	3277	2204	0	1,311133513	2.873	404	981
nov-13	1850	2166	0	1,448332745	3.192	-1342	981
dic-13	1328	2150	0	0,750058056	1.625	-297	981

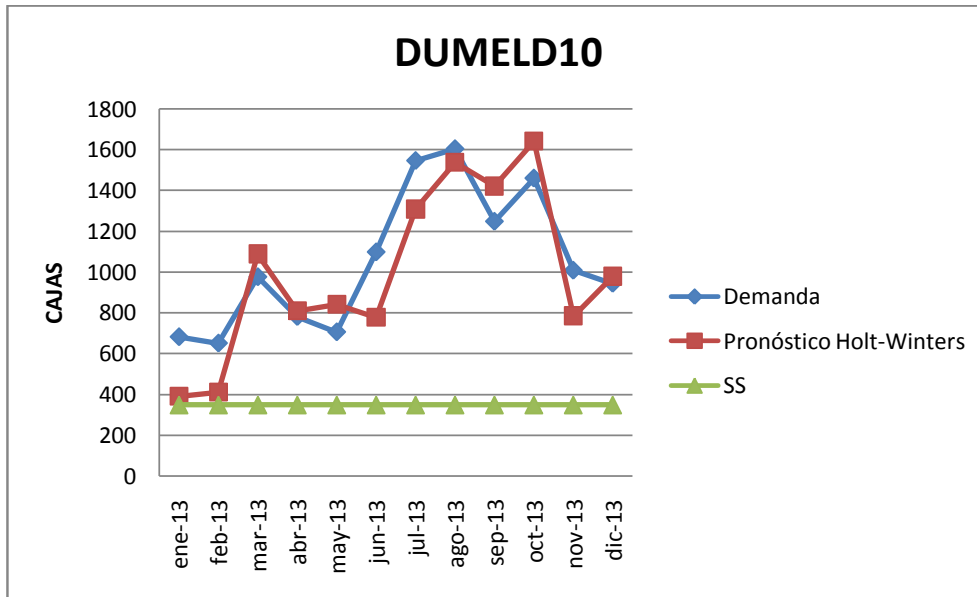
α	0,041152514	MAD	796	NIVEL SERVICIO	0,85
β	0	MSE	1.073.942	PROVABILIDAD	1,036433389
γ	0	MAPE	33%	DESV.ESTAND	946,396177
		MPE	2%	SS	981



DUMELD10. Método:Holt-Winters

PERIODO	DEMANDA	NIVEL	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	390			0,49560521			347
feb-12	390			0,49560521			347
mar-12	975			1,239013026			347
abr-12	707			0,898443291			347
may-12	715			0,908609552			347
jun-12	650			0,826008684			347
jul-12	1040			1,321613894			347
ago-12	1170			1,486815631			347
sep-12	1040			1,321613894			347
oct-12	1170			1,486815631			347
nov-12	546			0,693847294			347
dic-12	650	787	0	0,826008684			347
ene-13	681	812	16,03176983	0,49560521	390	291	347
feb-13	650	849	29,2290667	0,49560521	410	240	347
mar-13	975	874	26,73728538	1,239013026	1.088	-113	347
abr-13	780	900	25,84103051	0,898443291	809	-29	347
may-13	705	919	21,75874076	0,908609552	841	-136	347
jun-13	1097	957	32,33394483	0,826008684	777	320	347
jul-13	1545	997	37,22925965	1,321613894	1.308	237	347
ago-13	1603	1037	38,41628244	1,486815631	1.538	65	347
sep-13	1247	1069	34,82828986	1,321613894	1.421	-174	347
oct-13	1459	1099	31,47420675	1,486815631	1.642	-183	347
nov-13	1007	1144	40,23869289	0,693847294	784	223	347
dic-13	943	1183	39,07205926	0,826008684	978	-35	347

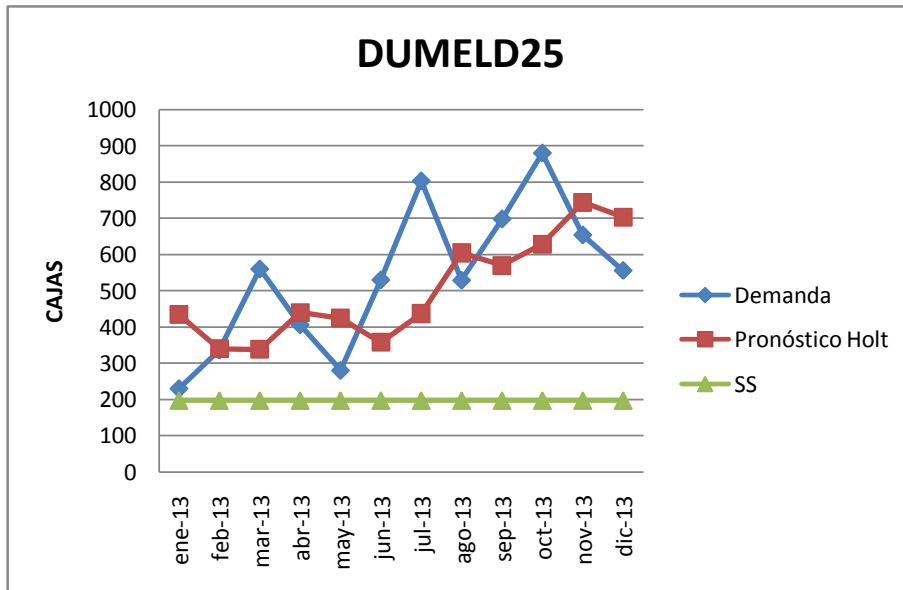
α	0,042970409	MAD	170	NIVEL SERVICIO	0,85
β	0,635411192	MSE	37.602	PROVABILIDAD	1,036433389
γ	0	MAPE	18%	DESV.ESTAND	335,2112221
		MPE	7%	SS	347



DUMELD25. Método:Holt

PERIODO	DEMANDA	NIVEL	TENDENCIA	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	560					197
feb-12	112					197
mar-12	460					197
abr-12	624					197
may-12	653					197
jun-12	336					197
jul-12	448					197
ago-12	643					197
sep-12	672					197
oct-12	581					197
nov-12	784					197
dic-12	336	517	0			197
ene-13	230	434	0	434	-204	197
feb-13	336	341	0	341	-5	197
mar-13	560	338	0	338	222	197
abr-13	406	440	0	440	-34	197
may-13	280	424	0	424	-144	197
jun-13	530	358	0	358	172	197
jul-13	803	437	0	437	366	197
ago-13	529	605	0	605	-76	197
sep-13	698	570	0	570	128	197
oct-13	880	629	0	629	251	197
nov-13	654	744	0	744	-90	197
dic-13	556	703	0	703	-147	197

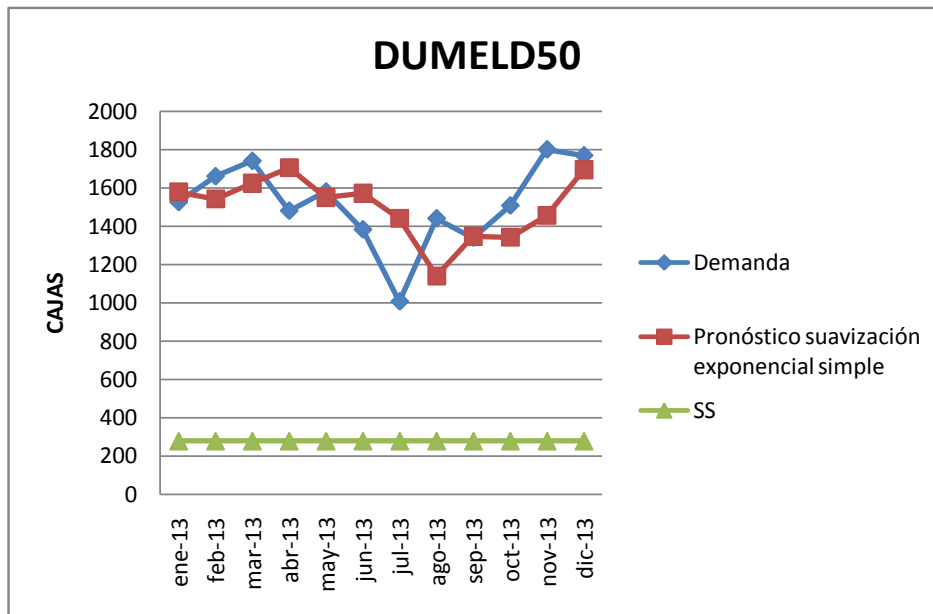
α	0,458511603	MAD	153	NIVEL SERVICIO	0,85
β	0	MSE	32.598	PROVABILIDAD	1,03643339
		MAPE	31%	DESV.ESTAND	190,440332
		MPE	-3%	SS	197



DUMELD50. Método: Suavización exponencial simple.

PERIODO	DEMANDA	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	1137			278
feb-12	780			278
mar-12	1380			278
abr-12	1196			278
may-12	960			278
jun-12	1405			278
jul-12	1480			278
ago-12	1452			278
sep-12	1392			278
oct-12	1674			278
nov-12	1110			278
dic-12	1700	1.306		278
ene-13	1525	1.578	-53	278
feb-13	1660	1.541	119	278
mar-13	1740	1.623	117	278
abr-13	1480	1.704	-224	278
may-13	1580	1.549	31	278
jun-13	1382	1.571	-189	278
jul-13	1006	1.440	-434	278
ago-13	1440	1.141	299	278
sep-13	1339	1.347	-8	278
oct-13	1507	1.342	165	278
nov-13	1800	1.456	344	278
dic-13	1769	1.693	76	278

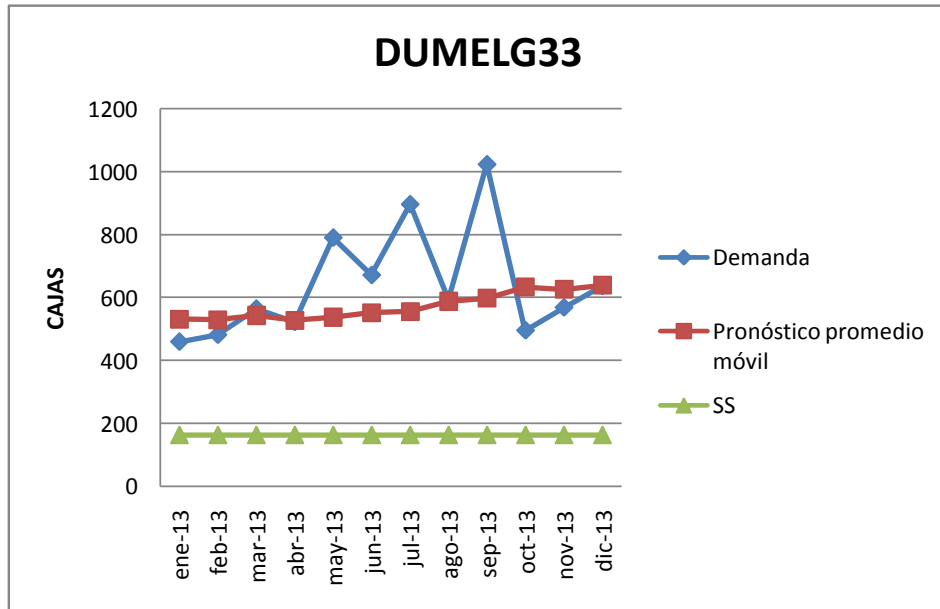
α	0,689939707	MAD	172	NIVEL SERVICIO	0,85
		MSE	45.592	PROVABILIDAD	1,03643339
		MAPE	12%	DESV.ESTAND	267,847174
		MPE	0%	SS	278



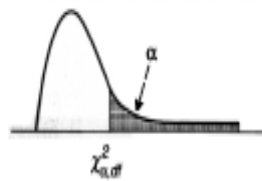
DUMELG33. Método: Promedio móvil

PERIODO	DEMANDA	PRONOSTICO	ERROR	SS
ene-12	483			163
feb-12	314			163
mar-12	748			163
abr-12	405			163
may-12	618			163
jun-12	625			163
jul-12	507			163
ago-12	478			163
sep-12	586			163
oct-12	587			163
nov-12	419			163
dic-12	602			163
ene-13	459	531	-72	163
feb-13	481	529	-48	163
mar-13	564	543	21	163
abr-13	522	528	-6	163
may-13	790	537	253	163
jun-13	671	552	119	163
jul-13	896	556	341	163
ago-13	593	588	5	163
sep-13	1023	598	426	163
oct-13	495	634	-139	163
nov-13	568	626	-58	163
dic-13	636	639	-3	163

MAD	124	NIVEL SERVICIO	0,85
MSE	33.813	PROVABILIDAD	1,036433389
MAPE	17%	DESV.ESTAND	157,5616511
MPE	6%	SS	163



Anexo IV: Valores críticos de la distribución Chi-Cuadrado χ^2



df	Probability									
	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	0.455	0.708	1.074	1.642	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879	12.116
2	1.386	1.833	2.408	3.219	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597	15.202
3	2.366	2.946	3.665	4.642	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838	17.730
4	3.357	4.045	4.878	5.989	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860	19.997
5	4.351	5.132	6.064	7.289	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750	22.105
6	5.348	6.211	7.231	8.558	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548	24.103
7	6.346	7.283	8.383	9.803	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278	26.018
8	7.344	8.351	9.524	11.030	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955	27.868
9	8.343	9.414	10.656	12.242	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589	29.666
10	9.342	10.473	11.781	13.442	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188	31.420
11	10.341	11.530	12.899	14.631	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757	33.137
12	11.340	12.584	14.011	15.812	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300	34.821
13	12.340	13.636	15.119	16.985	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819	36.478
14	13.339	14.685	16.222	18.151	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319	38.109
15	14.339	15.733	17.322	19.311	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801	39.719
16	15.338	16.780	18.418	20.465	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267	41.308
17	16.338	17.824	19.511	21.615	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718	42.879
18	17.338	18.868	20.601	22.760	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156	44.434
19	18.338	19.910	21.689	23.900	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582	45.973
20	19.337	20.951	22.775	25.038	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997	47.498
21	20.337	21.991	23.858	26.171	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401	49.011
22	21.337	23.031	24.939	27.301	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796	50.511
23	22.337	24.069	26.018	28.429	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181	52.000
24	23.337	25.106	27.096	29.553	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559	53.479
25	24.337	26.143	28.172	30.675	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928	54.947
26	25.336	27.179	29.246	31.795	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290	56.407
27	26.336	28.214	30.319	32.912	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645	57.858
28	27.336	29.249	31.391	34.027	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993	59.300
29	28.336	30.283	32.461	35.139	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336	60.735
30	29.336	31.316	33.530	36.250	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672	62.162
35	34.336	36.475	38.859	41.778	46.059	49.802	53.203	57.342	60.275	69.199
40	39.335	41.622	44.165	47.269	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766	76.095
45	44.335	46.761	49.452	52.729	57.505	61.656	65.410	69.957	73.166	82.876
50	49.335	51.892	54.723	58.164	63.167	67.505	71.420	76.154	79.490	89.561
60	59.335	62.135	65.227	68.972	74.397	79.082	83.298	88.379	91.952	102.695
70	69.334	72.358	75.689	79.715	85.527	90.531	95.023	100.425	104.215	115.578
80	79.334	82.566	86.120	90.405	96.578	101.879	106.629	112.329	116.321	128.261
90	89.334	92.761	96.524	101.054	107.565	113.145	118.136	124.116	128.299	140.782
100	99.334	102.946	106.906	111.667	118.498	124.342	129.561	135.807	140.169	153.167
120	119.334	123.289	127.616	132.806	140.233	146.567	152.211	158.950	163.648	177.603
140	139.334	143.604	148.269	153.854	161.827	168.613	174.648	181.840	186.847	201.683
160	159.334	163.898	168.876	174.828	183.311	190.516	196.915	204.530	209.824	225.481
180	179.334	184.173	189.446	195.743	204.704	212.304	219.044	227.056	232.620	249.048
200	199.334	204.434	209.985	216.609	226.021	233.994	241.058	249.445	255.264	272.423