

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

PROPUESTA DEL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCTOS LÍQUIDOS NO ESTÉRILES

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presenta el bachiller:

Eddy Santiago Pacoricuna Cabrera

ASESOR: Dr. Miguel Mejía Puente

Lima, septiembre de 2013

RESUMEN

La presente tesis presenta una aplicación de la investigación de operaciones utilizando algoritmos de programación lineal entera mixta por metas, con el objetivo de obtener un programa de producción para la línea de líquidos no estériles en la empresa de estudio. Este objetivo se logra a través del desarrollo y resolución del modelo, así mismo, del análisis comparativo de los resultados con el método actual de programación en la empresa de estudio. Por otro lado, con la finalidad de mejorar la velocidad del proceso de envasado se analiza el ahorro generado por la propuesta de implementación de una línea automática para las operaciones envasado y acondicionado.

La programación de la producción consiste principalmente en definir cuánto y cuándo se llevarán a cabo los procesos de fabricación, envasado y acondicionado de cada lote de un producto para un mes o periodo de producción.

La tesis se organizó en cuatro capítulos, que definen el marco teórico, el estudio del caso, el plan de mejoras, y las conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo 1, se desarrolla el marco teórico, y se muestra el resumen, la formulación y conclusiones de tres casos de estudio en los que se utilizó la programación lineal como mejora de proceso.

En el capítulo 2, se desarrolla el estudio del caso en el que se presentan la descripción de la empresa, el análisis del sistema productivo y la descripción de los principales problemas.

En el capítulo 3, se desarrolla el plan de mejoras, en el que se presenta la metodología a seguir, la propuesta de implementación de una línea automática, el desarrollo del modelo matemático y análisis de resultados, y, por último, se realiza la evaluación económica.

Finalmente en el capítulo 4, se redactan las conclusiones y recomendaciones.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida.

A mi madre Odilvia, por su amor constante.

A mi padre Felipe, por ser el mejor ejemplo de perseverancia.

Y a mis hermanas Yubi, Oddy y Yulissa, por ser parte de mi vida.

Que siempre sigamos unidos.



AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de esta tesis y de manera especial a mi asesor el Dr. Miguel Mejía por su valorada ayuda.



INDICE GENERAL

| | |
|--|------------|
| INDICE DE TABLAS | V |
| INDICE DE GRAFICOS..... | VII |
| INDICE DE CUADROS..... | IX |
| CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1 Caso práctico de Cuadros | 3 |
| 1.1.1 Resumen del problema de Cuadros | 3 |
| 1.1.2 Formulación del modelo de Cuadros | 4 |
| 1.1.3 Conclusiones del modelo de Cuadros | 11 |
| 1.2 Caso práctico de Munhoz & Morabito..... | 11 |
| 1.2.1 Resumen del problema de Munhoz & Morabito | 12 |
| 1.2.2 Formulación del problema de Munhoz & Morabito..... | 14 |
| 1.2.3 Conclusiones del problema de Munhoz & Morabito | 19 |
| 1.3 Caso práctico de Mayo..... | 19 |
| 1.3.1 Resumen del problema de Mayo | 19 |
| 1.3.2 Formulación del modelo de mayo..... | 22 |
| 1.3.3 Resultados y conclusiones del modelo de Mayo..... | 29 |
| CAPÍTULO 2 ESTUDIO DEL CASO..... | 31 |
| 2.1 Descripción de La Empresa..... | 31 |
| 2.1.1 Visión, Misión y Valores..... | 32 |
| 2.1.2 Estructura Organizacional | 33 |
| 2.1.3 Clientes | 36 |
| 2.2 Análisis del sistema productivo | 37 |
| 2.2.1 Productos | 37 |
| 2.2.2 Tipología del sistema de producción..... | 39 |
| 2.2.3 Principales procesos | 40 |
| 2.2.4 Situación actual de los principales procesos..... | 45 |
| 2.3 Descripción de los problemas..... | 52 |
| 2.3.1 Aplicación de Brainstorming | 52 |
| 2.3.2 Aplicación de análisis causa-efecto..... | 54 |
| CAPÍTULO 3 PLAN DE MEJORAS..... | 57 |
| 3.1 Metodología a seguir..... | 57 |

| | | |
|--|--|------------|
| 3.2 | Línea automática de dosificado, tapado y etiquetado | 57 |
| 3.3 | Modelación del programa de producción | 61 |
| 3.3.1 | Formulación del modelo | 61 |
| 3.3.2 | Resultados del modelo | 88 |
| 3.4 | Evaluación económica | 98 |
| 3.4.1 | Impacto económico de la línea automática | 98 |
| 3.4.2 | Impacto económico del modelado | 99 |
| 3.4.3 | Resumen del análisis económico | 102 |
| CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 103 |
| 4.1 | Conclusiones..... | 103 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 104 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 106 |
| ANEXO 1. Cotización de la línea automática..... | | 107 |
| ANEXO 2. Resumen del modelo | | 109 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1. Equivalencia de las variables intermedias | 26 |
| Tabla 2.1. Escala de calificación..... | 53 |
| Tabla 3.1. Velocidad de dosificado por presentación | 59 |
| Tabla 3.2. Política de stocks | 62 |
| Tabla 3.3. Duración de operación por lote. | 68 |
| Tabla 3.4. Relación de productos controlados | 75 |
| Tabla 3.5. Cantidad de materia prima por lote de producto..... | 75 |
| Tabla 3.6. Productos con TL mayor a 10,000 unid..... | 79 |
| Tabla 3.7. Cantidad de envases por lote de producto | 79 |
| Tabla 3.8. Precio de venta y costos de operación por lote de producto | 83 |
| Tabla 3.9. Costo de mezclado de producción en lote campaña | 84 |
| Tabla 3.10. Programa de producción del mes de enero 2013..... | 89 |
| Tabla 3.11. Programa de producción del mes de febrero 2013..... | 90 |
| Tabla 3.12. Programa de producción del mes de marzo 2013 | 91 |
| Tabla 3.13. Programa de producción del mes de abril 2013 | 92 |
| Tabla 3.14. Programa de producción del mes de mayo 2013 | 93 |
| Tabla 3.15. Comparación de resultados | 94 |
| Tabla 3.16. Nivel de atención obtenido por el modelo..... | 94 |
| Tabla 3.17. Comparación resultados de cada cliente..... | 95 |
| Tabla 3.18. Inventario inicial de materia prima en cada mes..... | 95 |
| Tabla 3.19. Inventario utilizado de materia prima en cada mes..... | 96 |
| Tabla 3.20. Inventario final de materia prima en cada mes | 96 |
| Tabla 3.21. Inventario inicial de envases en cada mes | 97 |
| Tabla 3.22. Inventario utilizado de envases en cada mes | 97 |
| Tabla 3.23. Inventario final de envases en cada mes | 98 |
| Tabla 3.24. Costo de adquisición e implementación de la línea automática..... | 99 |
| Tabla 3.25. Ahorro mensual en horas-hombre (h-h) | 99 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3.26. Requerimientos técnicos y condiciones de mercado | 100 |
| Tabla 3.27. Ratios Lp/Do y U/Lp de la situación actual de la empresa | 100 |
| Tabla 3.28. Ratios Lp/Do y U/Lp obtenidos por el modelo | 101 |
| Tabla 3.29. Resultados proyectados para la empresa | 101 |
| Tabla 3.30. Resultados proyectados para el modelo | 101 |
| Tabla 3.31. Análisis costo-beneficio de las mejoras | 102 |



INDICE DE GRAFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1.1. Proceso general de zumos de naranja | 12 |
| Gráfico 1.2. Balance de inventario de bases..... | 16 |
| Gráfico 1.3. Balance de inventarios de en el almacén interno..... | 17 |
| Gráfico 1.4. Balance de inventarios de en el almacén externo..... | 17 |
| Gráfico 2.1. Cadena de abastecimiento de La Empresa | 32 |
| Gráfico 2.2. Organigrama de La Planta..... | 34 |
| Gráfico 2.3. Productos por línea de producción de La Planta | 38 |
| Gráfico 2.4. Productos líquidos no estériles por cliente y por forma | 38 |
| Gráfico 2.5. Diagrama de flujo del proceso principal | 40 |
| Gráfico 2.6. DFD, diagrama hijo proceso 1 | 42 |
| Gráfico 2.7. DFD, diagrama hijo proceso 3 | 43 |
| Gráfico 2.8. Comparación del número de lotes fabricados vs planificados..... | 46 |
| Gráfico 2.9. Utilidades obtenidas en los meses de enero a mayo 2013. | 47 |
| Gráfico 2.10. Comparación de secuencia no optimizada vs optimizada..... | 51 |
| Gráfico 2.11. Principales problemas y la puntuación asignada | 53 |
| Gráfico 2.12. Análisis de Pareto..... | 54 |
| Gráfico 2.13. Se pierde oportunidad de obtener más ingresos..... | 55 |
| Gráfico 2.14. Hay una falta de optimización en el proceso de fabricación..... | 55 |
| Gráfico 2.15. El proceso de envasado restringe el uso de tanques..... | 56 |
| Gráfico 3.1. Dosificadora semiautomática Daumaq DL1 | 58 |
| Gráfico 3.2. Línea automática-operaciones principales..... | 60 |
| Gráfico 3.3. Ejemplo de programación de lotes de jarabes | 69 |
| Gráfico 3.4. Ejemplo de programación de lotes de suspensiones | 69 |
| Gráfico 3.5. Fechas límites de fabricación en jarabes | 70 |
| Gráfico 3.6. Fechas límites de fabricación en suspensiones..... | 70 |
| Gráfico 3.7. Ejemplo de programación de lote campaña..... | 71 |
| Gráfico 3.8. Fechas límites de fabricación en lotes campaña..... | 71 |

Gráfico 3.9. Fechas límites de envasado en jarabes.....77

Gráfico 3.10. Fechas límites de envasado en suspensiones.....77

Gráfico 3.11. Fechas límites de envasado en lotes campaña77

Gráfico 3.12. Fechas límites de acondicionado en jarabes80

Gráfico 3.13. Fechas límites de acondicionado en suspensiones81

Gráfico 3.14. Fechas límites de acondicionado en lotes campaña.....81



INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1.1. Dígitos utilizados en el modelo de Cuadros..... | 4 |
| Cuadro 1.2. Parámetros utilizados en el modelo de Cuadros | 4 |
| Cuadro 1.3. Variables de decisión utilizadas en el modelo de Cuadros | 5 |
| Cuadro 1.4. Terminología utilizada en la industria cítrica. | 13 |
| Cuadro 1.5. Dígitos utilizados en el modelo de Munhoz & Morabito | 14 |
| Cuadro 1.6. Datos utilizados en el modelo de Munhoz & Morabito | 14 |
| Cuadro 1.7. Variables de decisión del problema..... | 15 |
| Cuadro 1.8. Dígitos utilizados en el modelo de Mayo | 22 |
| Cuadro 1.9. Parámetros utilizados en el modelo de Mayo | 23 |
| Cuadro 1.10. Variables de decisión utilizadas en el modelo de Mayo | 24 |
| Cuadro 1.11. Variables intermedias a utilizar en el modelo de Mayo | 24 |
| Cuadro 2.1. Clasificación de los clientes de La Planta | 36 |
| Cuadro 2.2. Formas farmacéuticas por cada línea de producción | 37 |
| Cuadro 2.3. Productos líquidos no estériles que elabora La Planta | 39 |
| Cuadro 2.4. Cuadro comparativo de los tipos de configuraciones..... | 40 |
| Cuadro 2.5. Nivel de cumplimiento del plan de producción..... | 45 |
| Cuadro 2.6. Cantidad de días del mes en los que no se fabricaron. | 48 |
| Cuadro 2.7. Horas hombre de envasado de enero a mayo del 2013. | 50 |
| Cuadro 3.1. Horas utilizadas en el envasado y acondicionado. | 59 |
| Cuadro 3.2. Cantidad de operarios antes y luego de la propuesta..... | 60 |
| Cuadro 3.3. Registro de ventas mensuales de tres productos | 62 |
| Cuadro 3.4. Ejemplo del plan proyectado | 63 |
| Cuadro 3.3. Plan proyectado de enero a mayo del 2013. | 64 |
| Cuadro 3.4. Stock inicial de materia prima y envases..... | 66 |
| Cuadro 3.5. Ingresos de insumos previstos de febrero a mayo..... | 67 |
| Cuadro 3.6. Calendario usado para la programación..... | 87 |
| Cuadro 3.7. Resumen del calendario..... | 87 |

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se titula “Propuesta del programa de producción de la línea de productos líquidos no estériles”.

El estudio se realiza en una empresa farmacéutica que se encuentra en un periodo de crecimiento debido a la conformación de la cadena de abastecimiento desde la producción hasta la venta retail de productos genéricos y de marca que ha formado. Debido a la competitividad en el sector en el que se encuentra, la empresa requiere optimizar sus procesos para poder atender a la mayor cantidad de productos que le generan demanda.

La tesis presentada tiene como objetivo mejorar los procesos de la empresa de estudio a través de dos propuestas de mejora para la línea de producción de líquidos no estériles. La primera mejora tiene que ver con la adquisición e implementación de una línea de dosificado, tapado y etiquetado automática que reduce los costos de horas-hombre en los procesos de envasado y acondicionado, y la segunda mejora se basa en el desarrollo de un modelo matemático que nos permite obtener un programa de producción que determine la secuencia óptima de los procesos productivos tal que genere ahorro en los costos productivos, incremente el nivel de atención de la demanda e incremente las utilidades.

Para el desarrollo de la tesis, el estudio se organiza en cuatro capítulos.

El capítulo 1, contiene el marco teórico en el que se desarrolla la presente tesis. En este capítulo se muestran el caso de estudio de un laboratorio farmacéutico, de una empresa de importaciones de zumos de naranja y de una empresa textil. En cada caso se utilizó la programación lineal como mejora del proceso.

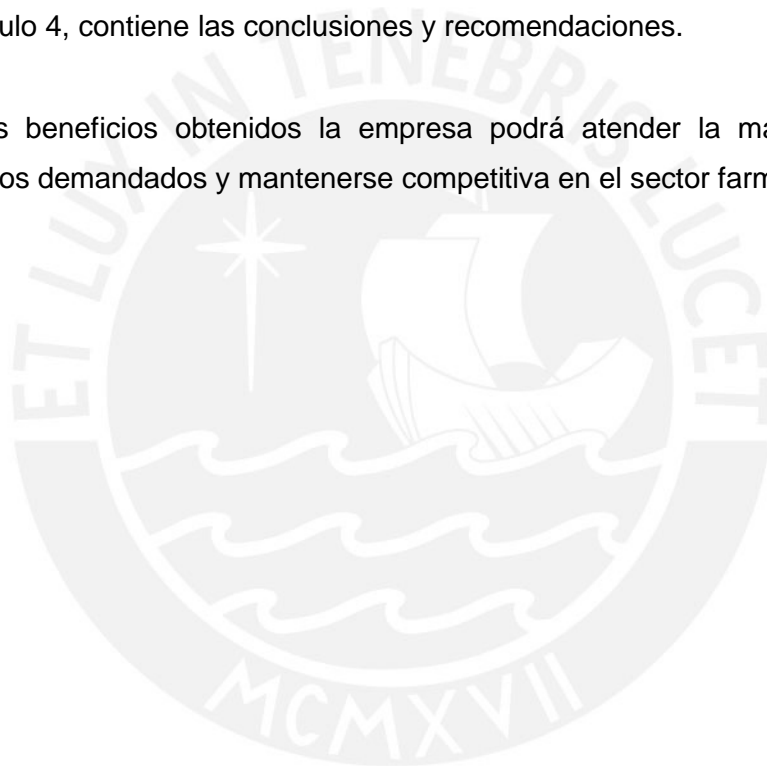
El capítulo 2, contiene el desarrollo del estudio del caso de la empresa. Para ello, el capítulo se ha dividido en tres secciones. En la primera se hace una descripción de la empresa haciendo referencia a su estructura organizacional y sus principales clientes, en la segunda, se realiza un análisis del sistema productivo haciendo referencia sus productos, su tipología de producción, sus principales procesos y la

situación actual; y, en la tercera, se describen los principales problemas de la empresa aplicándose las herramientas de *brainstorming* y análisis causa-efecto.

El capítulo 3, contiene el desarrollo del plan de mejoras. Aquí se presenta la metodología a seguir, luego, se desarrolla la propuesta de mejora de la adquisición e implementación de una línea automática, después, se realiza la modelación en el que se presenta la formulación del modelo y el análisis de los resultados para un periodo de cinco meses, y, finalmente, se realiza la evaluación económica de las mejoras planteadas.

El capítulo 4, contiene las conclusiones y recomendaciones.

Con los beneficios obtenidos la empresa podrá atender la mayor cantidad de productos demandados y mantenerse competitiva en el sector farmacéutico.



CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

Las empresas manufactureras tienen mucho interés por conocer herramientas que ayuden a mejorar sus procesos de tal manera que puedan optimizarlo y así obtener mejores resultados para su beneficio y de sus clientes. A continuación, se exponen tres casos de aplicación de programación lineal en los procesos productivos que ayudaron a optimizar el uso de los recursos disponibles.

1.1 Caso práctico de una empresa farmacéutica

En este caso se presenta una aplicación de programación lineal en una empresa del sector farmacéutico. La empresa se dedica a fabricar productos estériles y no estériles desde la manufactura hasta el acondicionado final. El presente inciso se dividirá en tres partes. Para empezar, se relata un breve resumen del problema; luego, se explica la formulación del modelo; y finalmente, se exponen las conclusiones más importantes de la investigación.

1.1.1 Resumen del problema de una empresa farmacéutica

Cuadros (2006) aplicó programación lineal entera mixta por metas para determinar el plan de producción mensual de un laboratorio farmacéutico en las líneas de productos esterilizados, no esterilizados y manufactura de envases. El laboratorio atiende al sector público y sector privado. La línea de productos esterilizados ofertaba treinta y nueve productos, mientras que la línea de productos no esterilizados, once productos. Por parte de los envases, estos eran conformados por diez tipos de envases. El proceso general de la manufactura de sus productos está conformado por el pesado, mezclado, envasado y acondicionado, mientras que en la manufactura de envases, pesado, mezclado, soplado e inyectado. El margen de contribución de los productos variaba de acuerdo al tipo de cliente que se atiende y el tamaño de lote del pedido. El laboratorio atendía alrededor de 300 pedidos mensuales y para poder atenderlos, la empresa incurría en horas extras, especialmente, en la línea de fabricación de envases. El modelo propuesto por Cuadros (2006) busca maximizar la utilidad de los pedidos, minimizar los

costos de producción de envases y mantener un determinado grupo de inventario para atender necesidades futuras.

1.1.2 Formulación del modelo de PL de una empresa farmacéutica

Dígitos usados: En el cuadro 1.1 se listan los dígitos utilizados para la formulación del modelo matemático.

Cuadro 1.1. Dígitos utilizados en el modelo de Cuadros

| Dígito | Denota | Valores |
|--------|---|------------------|
| i | producto | $i=1, \dots, 50$ |
| j | cliente | $j=1, \dots, 13$ |
| k | materia prima para manufactura del producto | $k=1, \dots, 35$ |
| h | materia prima para manufactura de envases | $h=1, 2$ |
| m | envase | $m=1, \dots, 10$ |
| d | día | $d=1, \dots, 31$ |
| g | desviación en la restricción meta | $g=0, \dots, 5$ |

Fuente: Cuadros (2006)

Elaboración propia

Parámetros del modelo: En el cuadro 1.2 se listan los parámetros utilizados para la formulación del modelo matemático y su respectiva descripción.

Cuadro 1.2. Parámetros utilizados en el modelo de Cuadros

| Siglas | Descripción | Unidad |
|-------------|--|----------------|
| d_{ij} | pedidos del producto i del cliente j | unidades |
| dp_{ij} | pedidos pendientes del producto i del cliente j | unidades |
| p_{ij} | precio unitario del producto i destinada el cliente j | soles/unidades |
| c_i | costo unitario del producto i en horario diurno | soles/unidades |
| chh_i | costo unitario del producto i en horario extra | soles/unidades |
| pif_i | valor que permite priorizar la fabricación del producto i destinado al almacén de productos terminados | soles/unidades |
| pmp | valor que permite priorizar la fabricación de envases en horario diurno | - |
| vc_i | valor de conversión del producto i (gramos = unidades, mililitros = unidades) | - |
| $xapt_i$ | inventario inicial del producto i | unidades |
| $yampi_k$ | inventario inicial de la materia prima k | g |
| cm_{axf} | capacidad máxima diaria de producción de productos que se envasan en frascos en horario diurno | unidades |
| cm_{axt} | capacidad máxima diaria de producción de productos que se envasan en tubos en horario diurno | unidades |
| cm_{afhh} | capacidad máxima diaria de producción de productos que se envasan en frascos en horario extra | unidades |
| cm_{athh} | capacidad máxima diaria de producción de productos que se envasan en tubos en horario extra | unidades |

| Siglas | Descripción | Unidad |
|-----------------------|--|--------------|
| Tf | velocidad de envasado de productos en frascos | min/unidades |
| Tt | velocidad de envasado de productos en tubos | min/unidades |
| Taf | velocidad de embalado de productos en frascos | min/unidades |
| Tat | velocidad de embalado de productos en tubos | min/unidades |
| Tacon | tiempo disponible diario en proceso de embalado en horario diurno | min |
| Thacon | tiempo disponible diario en proceso de embalado en horario extra | min |
| eampi _h | inventario inicial de materia prima h | kg |
| vc _m | variable de conversión del producto m (gramos = unidades) | - |
| ets _{qm} | velocidad de la máquina de soplado q para producir el producto m | min/unidades |
| etsenva _q | tiempo disponible de la máquina de soplado q en horario diurno | min |
| etshenva _q | tiempo disponible de la máquina de soplado q en horario extra | min |
| eti _{qm} | velocidad de la máquina de inyección q para producir el producto m | min/unidades |
| etienva _q | tiempo disponible de la máquina de inyección q en horario diurno | min |
| etihenva _q | tiempo disponible de la máquina de inyección q en horario extra | min |
| eapti _m | inventario inicial de productos de envase tipo m | unidades |

Fuente: Cuadros (2006)
Elaboración propia

Variables de decisión: En el cuadro 1.3 se listan las variables de decisión utilizadas para la formulación del modelo matemático y su respectiva descripción.

Cuadro 1.3. Variables de decisión utilizadas en el modelo de Cuadros

| Siglas | Descripción | Unidad |
|---------------------------------|---|----------|
| x _{ij} | cantidad producida de producto i destinada al cliente j (horario diurno) | unidades |
| xhh _{ij} | cantidad producida de producto i destinada al cliente j (horario extra) | unidades |
| z _d | decisión de producir el producto i el día d | - |
| vap _{ij} | cantidad vendida de producto i destinado al cliente j (pedidos pendientes) | unidades |
| va _{ij} | cantidad vendida de producto i destinado al cliente j (pedidos del mes analizado) | unidades |
| xap _{tf} _i | inventario final de producto i | unidades |
| xap _{ti} _{ij} | inventario inicial de producto i destinada al cliente j | unidades |
| y _{ki} | cantidad de gramos de materia prima k destinada a la fabricación del producto i | g. |
| efrascad | frascos de alta densidad necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etapafad | tapas de alta densidad para frascos necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etaponad | tapones de alta densidad necesarios para proceso de envasado | unidades |

| Siglas | Descripción | Unidad |
|-----------------|---|----------|
| efrascbd | frascos de baja densidad necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etapafbd | tapas de baja densidad para frascos necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etaponbd | tapones de baja densidad necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etubosad | tubos de alta densidad necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etubosbd | tubos de baja densidad necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etapatad | tapas de alta densidad para tubos necesarios para proceso de envasado | unidades |
| etapatbd | tapas de baja densidad para tubos necesarios para proceso de envasado | unidades |
| e _{hm} | cantidad de kilogramos de materia prima h de envases destinadas a fabricar los productos de envase tipo m | kg |
| e _m | cantidad de producto m a producir en horario diurno | unidades |
| eh _m | cantidad de producto m a producir en horario extra | unidades |
| Aetiq | Etiquetas necesarias | unidades |
| Acaja | Cajas necesarias | unidades |

Fuente: Cuadros (2006)

Elaboración propia

Función objetivo

$$\text{Min } Z = M_1 * U_1 + M_2 * U_2 + M_3 * U_3 + M_4 * U_4 + M_5 * U_5 + M_6 * U_6 \quad (1)$$

La función objetivo general minimiza las desviaciones de seis objetivos que se describen a continuación por orden de prioridad:

M₁: Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos pendientes de instituciones públicas.

M₂: Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos de instituciones públicas demandados en el mes de estudio.

M₃: Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos pendientes de cadenas de farmacias, mayoristas y pequeñas farmacias.

M₄: Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos de cadenas de farmacias, mayoristas y pequeñas farmacias demandados en el mes estudiado.

M_5 : Minimizar la producción de material de envase para reducir costos en esta línea.

M_6 : Maximizar el grupo de productos terminados que se deben tener en inventario.

Restricciones de metas

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos pendientes de instituciones públicas

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^2 (p_{ij} * vap_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^2 (c_i * x_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^2 (ch_{ij} * x_{hh_{ij}}) + U_1 - V_1 = 1000000 \quad (2)$$

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos de instituciones públicas demandados en el mes estudio

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^2 (p_{ij} * vap_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^2 (c_i * x_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^2 (ch_{ij} * x_{hh_{ij}}) + U_2 - V_2 = 1000000 \quad (3)$$

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos pendientes de cadenas de farmacias y distribuidores

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=3}^{13} (p_{ij} * vap_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=3}^{13} (c_i * x_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=3}^{13} (ch_{ij} * x_{hh_{ij}}) + U_3 - V_3 = 1000000 \quad (4)$$

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los pedidos de cadenas de farmacias, mayoristas y doctores particulares demandados en el mes estudiado

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=3}^{13} (p_{ij} * vap_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=3}^{13} (c_i * x_{ij}) - \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=3}^{13} (ch_{ij} * x_{hh_{ij}}) + U_4 - V_4 = 1000000 \quad (5)$$

Minimizar la producción de productos de la línea de envases para reducir costos en esta línea

$$\sum_{m=1}^{10} (e_m + pmp * eh_{hm}) - V_5 = 0 \quad (6)$$

Maximizar el grupo de productos terminados que se deben tener en inventario

$$\sum_{m=1}^{10} (pif_i * x_{ap_{tf}_i}) + U_6 - V_6 = 1000000 \quad (7)$$

Restricciones estructurales

- Línea de manufactura del producto

Atención de la demanda.- La suma del inventario inicial de cada producto (i) destinada al cliente (j) y las cantidades de los productos (i) obtenidos en ambos turnos para (j) no deben exceder a la cantidad demandada de (i) por el cliente (j).

$$xpt_{ij} + x_{ij} + xhh_{ij} \leq d_{ij} \quad \forall i=1, \dots, 50. \quad \forall j=1, \dots, 13. \quad (8)$$

Relación entre los productos fabricados y los pedidos atendidos.- La cantidad de inventario inicial y la producción obtenida (en ambos turnos) del producto (i) destinado al cliente (j) debe ser igual a la suma de la cantidad que se vende y la cantidad pendiente por atender al cliente (j) en el mes presente.

$$xpt_{ij} + x_{ij} + xhh_{ij} - va_{ij} - vap_{ij} = 0 \quad \forall i=1, \dots, 50. \quad \forall j=1, \dots, 13. \quad (9)$$

Atención de los pedidos que están pendientes de entrega.

$$vap_{ij} \leq dp_{ij} \quad \forall i=1, \dots, 50. \quad \forall j=1, \dots, 13. \quad (10)$$

Disponibilidad de materia prima.- La cantidad de materia prima destinada a la fabricación de los productos que lo requieren debe ser menor o igual a la cantidad de materia prima existente en el inventario inicial.

$$\sum_{i=1}^{50} y_{ki} \leq yamp_{ik} \quad \forall k=1, \dots, 32. \quad (11)$$

Disponibilidad de producto terminado.- El inventario inicial de cada producto (i) destinado a todos los clientes (j) no debe exceder a la cantidad de producto existente en el inventario al inicio del periodo.

$$\sum_{j=1}^{13} xpt_{ij} \leq xapt_i \quad \forall i=1, \dots, 50. \quad (12)$$

Balance entre materias primas y productos terminados.-

$$y_{ki} = \left[\sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + xhh_{ij}) + xapt_{ij} \right] * vc_i \quad \forall k=1, \dots, 32. \quad \forall i=1, \dots, 50. \quad (13)$$

Fabricación de un solo un tipo de producto por día en cada área: estéril y no estéril.- Se utilizan variables binarias z_{id}

$$\sum_{i=1}^{50} z_{id} = 1 \quad \forall d=1, \dots, 23. \quad \forall_i: \text{productos estériles.} \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{50} z_{id} \leq 1 \quad \forall d=24, \dots, 31. \quad \forall_i: \text{productos estériles.} \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{50} z_{id} = 1 \quad \forall d=1, \dots, 23. \quad \forall_i: \text{productos no estériles.} \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^{50} z_{id} \leq 1 \quad \forall d=24, \dots, 31. \quad \forall_i: \text{productos no estériles.} \quad (17)$$

Producción mínima y máxima (considera productos estériles y no estériles).-

Se utilizan los datos de $cm_{\max f}$, $cm_{\max t}$, $cm_{\max fh}$ y $cm_{\max th}$ para restringir los límites máximos de envasado de cada producto en (18), (20), (22) y (24). Así mismo, en (19), (21), (23) y (25), todos los datos $cm_{\max f}$, $cm_{\max t}$, $cm_{\max fh}$ y $cm_{\max th}$ toman el valor de 1 para fijar la producción mínima.

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{ij}) + x_{\text{ptf}_i} - cm_{\max f} * \sum_{d=1}^{31} z_{id} \leq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en frascos.} \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{ij}) + x_{\text{ptf}_i} - \sum_{d=1}^{31} z_{id} \geq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en frascos.} \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{ij}) + x_{\text{ptf}_i} - cm_{\max t} * \sum_{d=1}^{31} z_{id} \leq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en tubos.} \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{ij}) + x_{\text{ptf}_i} - \sum_{d=1}^{31} z_{id} \geq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en tubos.} \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{hh_{ij}}) - cm_{\max fh} * \sum_{d=1}^{31} z_{id} \leq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en frascos.} \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{hh_{ij}}) - \sum_{d=1}^{31} z_{id} \geq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en frascos.} \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{hh_{ij}}) - cm_{\max th} * \sum_{d=1}^{31} z_{id} \leq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en tubos.} \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^{13} (x_{hh_{ij}}) - \sum_{d=1}^{31} z_{id} \geq 0 \quad \forall_i: \text{productos envasados en tubos.} \quad (25)$$

Requerimientos de envases (proceso de envasado).-

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{sefrascad} \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{sefrascbd} \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setapafad} \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setapafbd} \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setubosad} \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setubosbd} \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setaponad} \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setaponbd} \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setapatad} \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{\text{ptf}_i}) \leq \text{setapatbd} \quad (35)$$

Capacidad del proceso de embalado

$$Taf^* \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{apft_i}) + Tat^* \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{apft_i}) \leq tacon^* \sum_{i=1}^{50} \sum_{d=1}^{31} z_{id} \quad (36)$$

$$Taf^* \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} x_{hh_i} + Tat^* \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} x_{hh_i} \leq thacon^* \sum_{i=1}^{50} \sum_{d=1}^{31} z_{id} \quad (37)$$

Requerimiento de material de embalado

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{apft_i}) \leq aetiq \quad (38)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^{13} (x_{ij} + x_{hh_{ij}} + x_{apft_i}) \leq sacaja \quad (39)$$

- Línea de productos de envase

Disponibilidad de materia prima

$$\sum_{m=1}^{10} e_{hm} \leq eampi_h \quad \forall h=1, \dots, 5. \quad (40)$$

Balance entre materias primas y productos terminados

$$e_{hm} = (e_{hm} + e_{hh_{hm}}) * v_{c_m} \quad \forall h=1, \dots, 5. \quad \forall m=1, \dots, 10. \quad (41)$$

Capacidad del proceso de soplado

$$\sum_{m=1}^{10} (e_m * ets_{qm}) \leq setsenva_q * \sum_{i=1}^{50} \sum_{d=1}^{31} z_{id} \quad \forall q=1, \dots, 3. \quad (42)$$

$$\sum_{m=1}^{10} (e_{hh_m} * ets_{qm}) \leq setshenva_q * \sum_{i=1}^{50} \sum_{d=1}^{31} z_{id} \quad \forall q=1, \dots, 3. \quad (43)$$

Capacidad del proceso de inyección

$$\sum_{m=1}^{10} (e_m * eti_{qm}) \leq etienva_q * \sum_{i=1}^{50} \sum_{d=1}^{31} z_{id} \quad \forall q=1, \dots, 3. \quad (44)$$

$$\sum_{m=1}^{10} (e_{hh_m} * eti_{qm}) \leq etihenva_q * \sum_{i=1}^{50} \sum_{d=1}^{31} z_{id} \quad \forall q=1, \dots, 3. \quad (45)$$

Relación entre los productos fabricados y los productos requeridos para el proceso de envasado

$$e_1 + e_{hh_1} + e_{apt_1} = e_{frascad} \quad (46)$$

$$e_2 + e_{hh_2} + e_{apt_2} = e_{frascbd} \quad (47)$$

$$e_3 + e_{hh_3} + e_{apt_3} = e_{tapafad} \quad (48)$$

$$e_4 + e_{hh_4} + e_{apt_4} = e_{tapafbd} \quad (49)$$

$$e_5 + e_{hh_5} + e_{apt_5} = e_{tubosad} \quad (50)$$

$$e_6 + e_{hh_6} + e_{apt_6} = e_{tubosbd} \quad (51)$$

$$e_7 + e_{hh_7} + e_{apt_7} = e_{taponad} \quad (52)$$

$$e_8 + e_{hh_8} + e_{apt_8} = e_{taponbd} \quad (53)$$

$$e_9 + ehh_9 + eapti_9 = etapatad \quad (54)$$

$$e_{10} + ehh_{10} + eapti_{10} = etapatad \quad (55)$$

1.1.3 Conclusiones del modelo de PL de una empresa farmacéutica

Cuadros (2006) llegó a las siguientes conclusiones:

- El modelo permitió obtener el inventario de materias primas y productos terminados para las líneas de producción de estériles y no estériles, además de los tiempos improductivos y la utilización de recursos.
- El modelo le generó un programa de producción estableciendo horas diurnas y horas extras de producción.
- En términos cuantitativos, el modelo le permitió obtener una utilidad adicional de S/. 62 188 con respecto utilidad del programa establecido por la empresa; además, se pudo llegar a incrementar el nivel de atención de la demanda de 82.6% a 92.3%.
- El modelo le permite a través de análisis de sensibilidad, simular diferentes escenarios generados por ajustes en precios y capacidades de recursos.

1.2 Caso práctico de una fábrica de zumos de naranja

El siguiente caso presenta la aplicación de programación lineal en una empresa dedicada a la fabricación de zumo de naranja congelado que se exporta por vía marítima. Munhoz & Morabito (2001) presentan un modelo de programación lineal en el que buscan apoyar a las decisiones tácticas y operacionales en los procesos de mezcla, almacenamiento y distribución. Este inciso inicia con un breve resumen del problema; luego, se explicará la formulación del modelo; y finalmente, se exponen las conclusiones más importantes de la investigación.

1.2.1 Resumen del problema de una fábrica de zumos de naranja

El proceso general de la obtención de zumos de naranja se muestra en el gráfico 1.1. El modelo propuesto contempla los procesos de mezcla, almacenamiento y distribución. El zumo congelado de naranja (producto) se obtiene a partir de la mezcla de “zumos base” (base) que contienen características fisicoquímicas propias. Las características relevantes se muestran en el cuadro 1.4. Al combinarse diferentes bases se obtendrán productos con características fisicoquímicas particulares (*brix*, *ratio* y variedad).

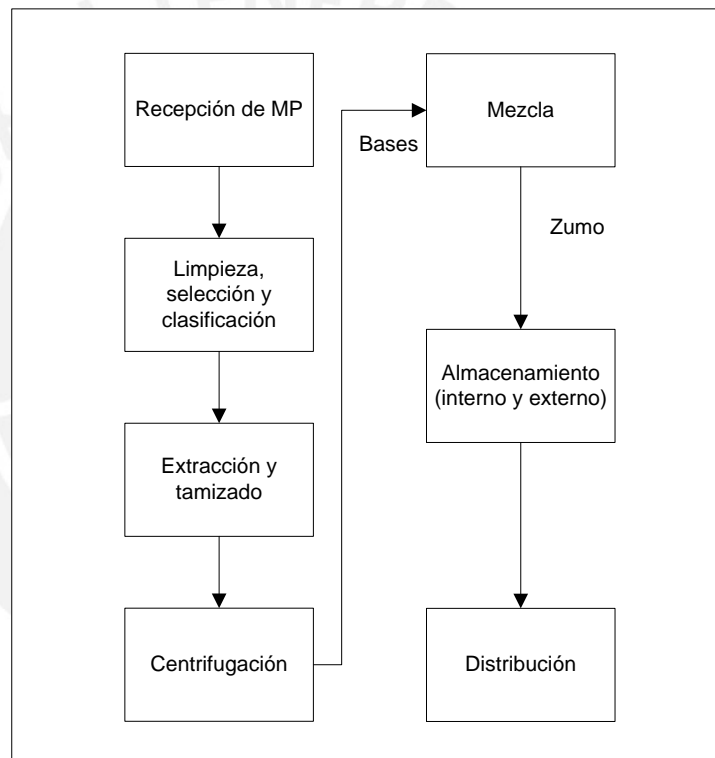


Gráfico 1.1. Proceso general de zumos de naranja
Fuente: Munhoz & Morabito (2001)
Elaboración propia

Para obtener una base existen variedades de frutos que se utilizan como materia prima pero el que más abunda y es menos costosa se llama *Hamlim*. Este factor también es tomado en cuenta para cumplir con las características que debe tener el producto.

Cuadro 1.4. Terminología utilizada en la industria cítrica.

| | |
|---------------|--|
| Caja de Fruta | Unidad de peso equivalente a 40.8 kilos o 90 libras |
| <i>Brix</i> | Se refiere al porcentaje de sólidos o azúcares y ácidos presente en el zumo. Se mide con un instrumento llamado refractómetro. |
| Acidez | Porcentaje de los sólidos ácidos presente en el zumo. |
| <i>Ratio</i> | Es la relación entre <i>Brix</i> /acidez y corresponde al grado de maduración y calidad del zumo. |
| Variedad | Las variedades de <i>Pêra</i> , <i>Natal</i> y <i>Valência</i> son las más indicadas para la industrialización. Sin embargo, la variedad de <i>Hamlin</i> , madura mucho más rápido y es de bajo costo; aunque no se recomienda exceder la cantidad de esta variedad porque disminuye la calidad del producto. |

Fuente: Munhoz & Morabito (2001)

Elaboración propia

El producto obtenido de la mezcla puede ser almacenado de dos formas: a granel o en tambores. Cada uno representa un costo distinto. Los productos obtenidos a partir de la mezcla, se almacenan en un sistema de almacenamiento interno dentro de la fábrica y cuando el producto se debe enviar al cliente, se transporta hacia un almacén externo que se encuentra cerca del punto de embarcación. Sin embargo, por restricción de capacidad del almacén interno, la empresa puede hacer uso de su almacén externo para almacenar sus productos hasta que estos sean requeridos.

El modelo pretende responder preguntas como cuánto, cuándo, cómo (granel o tambor) y en dónde almacenar el producto, respetando las restricciones de capacidad de mezcla y almacenamiento. Asimismo, plantea minimizar los costos de mezclado y obtener características mínimas que cumplan con los niveles de calidad del producto ofertado.

Este modelo fue planteado considerando una sola planta, y un solo almacén externo; sin embargo, el modelo puede ser fácilmente extendido para manejar varias plantas, aumentar ubicaciones externas y cada una en diferentes costos de operación.

1.2.2 Formulación del modelo de PL de una fábrica de zumos de naranja

Dígitos usados: En el cuadro 1.5 se listan los dígitos utilizados para la formulación del modelo matemático.

Cuadro 1.5. Dígitos utilizados en el modelo de Munhoz & Morabito

| Dígito | Denota |
|--------|--|
| j | base |
| p | producto |
| i | sistema de almacenamiento interno (i=1: granel, i=2: tambor) |
| e | sistema de almacenamiento externo (e=1: granel, e=2: tambor) |
| t | periodo |

Fuente: Munhoz & Morabito (2001)
Elaboración propia

Datos del modelo: En el cuadro 1.6 se listan los datos utilizados para la formulación del modelo matemático.

Cuadro 1.6. Datos utilizados en el modelo de Munhoz & Morabito

| Siglas | Descripción | Unidad |
|-------------|---|----------------|
| B_t | Capacidad de mezcla en la fábrica en el periodo t | Ton/periodo |
| AB^i | Capacidad de inventario i de la fábrica | Ton |
| AT^e | Capacidad de inventario externo e | Ton |
| $RATB_j$ | Ratio promedio de la base j | |
| $RATP_p$ | Ratio mínimo del producto p | |
| CB_j^i | Costo de mezclar la base j del almacén de bases para obtener productos que serán llevados al sistema de almacenamiento interno i. | \$/ton |
| CT_p^{ie} | Costo de transportar el producto p desde el sistema de almacenamiento interno k hacia el sistema de almacenamiento externo l. | \$/ton |
| HB_j | Costo de almacenamiento de la base j en el almacén de bases. | \$/ton/periodo |
| HPF_p^i | Costo de almacenamiento del producto p en el sistema de almacenamiento interno i | \$/ton/periodo |
| HPE_p^e | Costo de almacenamiento del producto p en el sistema de almacenamiento externo e | \$/ton/periodo |
| PR_{jt} | Toneladas de base j obtenidas en el periodo t | ton |
| D_{pt}^e | Demanda del producto p en el periodo t | ton |
| $PERC_t$ | Porcentaje de base tipo <i>Hamlim</i> adicionada al producto en el periodo t | - |
| TXF^i | Costo de almacenar el producto p en el sistema de almacenamiento interno i. | \$/ton |
| TXE_p^e | Costo de almacenar el producto p en el sistema de almacenamiento externo e. | \$/ton |

Fuente: Munhoz & Morabito (2001)
Elaboración propia

Variables de decisión: En la cuadro 1.7 se listan las variables de decisión utilizadas para la formulación del modelo matemático y su respectiva descripción.

Cuadro 1.7. Variables de decisión del problema

| Notación | Descripción |
|----------------|--|
| XB_{jpt}^i | Toneladas de base j tomadas del almacén de bases para ser utilizadas en la obtención del producto p en el periodo t. El producto p obtenido es llevado al sistema de almacenamiento interno i. |
| XT_{pt}^{ie} | Toneladas del producto p transportados del sistema de almacenamiento interno i hacia el sistema de almacenamiento externo e, en el periodo t. |
| EB_{jt} | Toneladas de base j existente en el almacén de bases al final del periodo t. |
| EPF_{pt}^i | Toneladas del producto p en el sistema de almacenamiento interno i al final del periodo t. |
| EPE_{pt}^e | Toneladas del producto p en el sistema de almacenamiento externo e al final del periodo t. |
| F | Suma total del costo de mezcla, costo de almacenamiento y costo financiero para el horizonte de planeamiento. |

Fuente: Munhoz & Morabito (2001)

Elaboración propia

Función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Min } F = & \sum_t \sum_k \sum_j \sum_p CB_j^i * XB_{jpt}^i + \sum_t \sum_k \sum_j \sum_p CT_p^{ie} * XT_{pt}^{ie} \\ & + \sum_t \sum_j HB_j * EB_{jt} + \sum_t \sum_i \sum_p HPF_p^i * EPF_{pt}^i + \sum_t \sum_l \sum_p HPE_p^e * EPE_{pt}^e \\ & + \sum_t \sum_i \sum_p TXF^i (EPF_{pt}^i + EPE_{pt}^e) + \sum_t \sum_l \sum_p TXE_p^e * EPE_{pt}^e \end{aligned} \quad (1)$$

La función objetivo a ser minimizada es la sumatoria de costos siguientes:

-Costo de mezclar las toneladas de base j tomadas del almacén de bases para la obtención del producto p que será llevado al sistema de almacenamiento interno i, en el periodo t.

$$\sum_t \sum_i \sum_j \sum_p CB_j^i * XB_{jpt}^i$$

-Costo de transportar el producto p desde el sistema de almacenamiento interno i hacia el sistema de almacenamiento externo e, en el periodo t. Si se transporta de i=1 a e=2 o de i=2 a e=1 el costo unitario incluye un costo adicional por cambio de embalaje.

$$\sum_t \sum_i \sum_j \sum_p CT_p^{ie} * XT_{pt}^{ie}$$

-Costo de almacenar toneladas de base j en el almacén de bases que quedaron al final del periodo t, costo de almacenar toneladas del producto p en el sistema de almacenamiento interno i al final del periodo t y costo de almacenar toneladas del producto p en el sistema de almacenamiento externo e al final del periodo t.

$$\sum_t \sum_j HB_j * EB_{jt} + \sum_t \sum_i \sum_p HPF_p^i * EPF_{pt}^i + \sum_t \sum_i \sum_p HPE_p^e * EPE_{pt}^e$$

-Costo de almacenar toneladas del producto p que quedan al final del periodo t en los sistemas de almacenamiento internos i y externos e.

$$\sum_t \sum_i \sum_p TXF^i * EPF_{pt}^i + \sum_t \sum_e \sum_p TXE_p^e * EPE_{pt}^e$$

Restricciones estructurales

Restricciones de actualización de stocks de bases y productos en cada periodo.

$$EB_{jt} = EB_{j(t-1)} + PR_{jt} - \sum_i \sum_p XB_{jpt}^i \quad \forall j, t \quad (2)$$

$$EPF_{pt}^i = EPF_{p(t-1)}^i + \sum_j XB_{jpt}^i - \sum_e XT_{pt}^{ie} \quad \forall i, p, t \quad (3)$$

$$EPE_{pt}^e = EPE_{p(t-1)}^e + \sum_i XT_{pt}^{ie} - D_{pt}^e \quad \forall e, p, t \quad (4)$$

En los gráficos 1.2, 1.3 y 1.4 se muestran de manera gráfica las restricciones (2), (3) y (4) respectivamente.

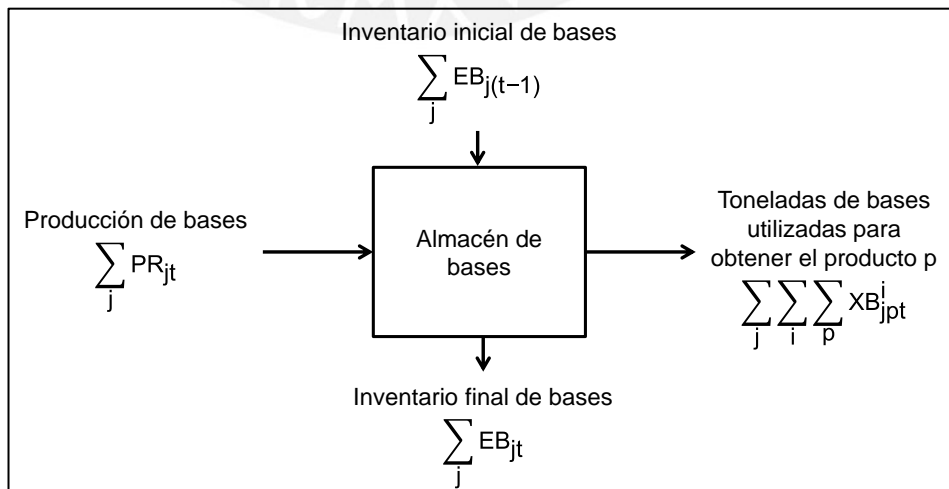


Gráfico 1.2. Balance de inventario de bases

Fuente: Munhoz & Morabito (2001)

Elaboración propia

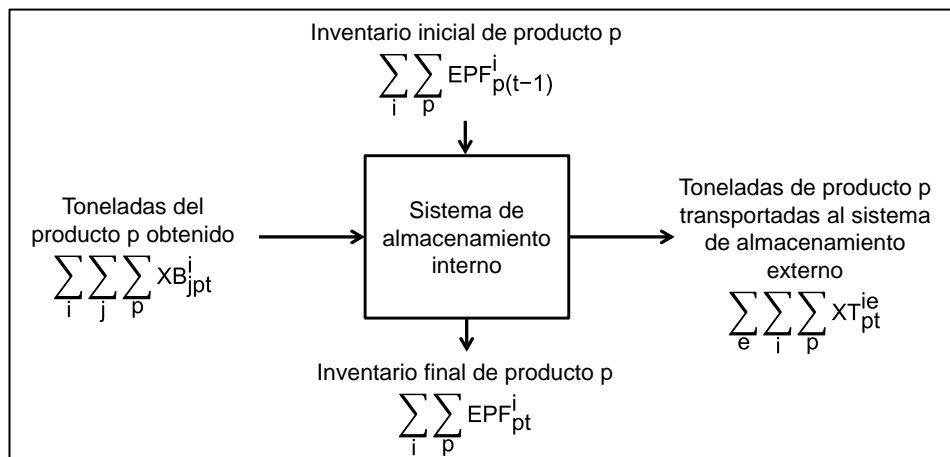


Gráfico 1.3. Balance de inventarios de en el almacén interno
Fuente: Munhoz & Morabito (2001)
Elaboración propia

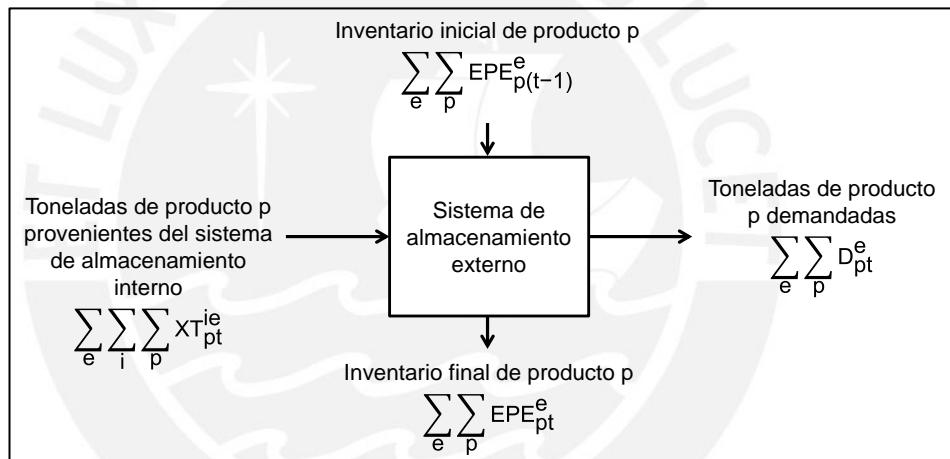


Gráfico 1.4. Balance de inventarios de en el almacén externo
Fuente: Munhoz & Morabito (2001)
Elaboración propia

Restricciones limitantes de ratios

$$\sum_j (RATB_j * XB_{jpt}^i) \leq (RATP_p + 0,8) * \sum_j XB_{jpt}^i \quad \forall i, p, t \quad (5)$$

$$\sum_j (RATB_j * XB_{jpt}^i) \geq RATP_p * \sum_j XB_{jpt}^i \quad \forall i, p, t \quad (6)$$

Las ecuaciones (5)-(6) son típicas de los problemas de mezcla, en donde es preciso determinar las toneladas de base j que deben ser combinadas, para así obtener un producto con determinadas especificaciones. La ecuación (5) establece el límite superior $(RATP_p + 0,8)$ para un ratio del producto p, mientras que la ecuación (6) establece el límite inferior $(RATP_p)$.

Restricción de adición de base tipo Hamlin en la mezcla por lugar, periodo y producto.

$$XB_{\text{Hamlin}^i \text{pt}}^i = \text{PERC}_t \sum_j XB_{j\text{pt}}^i \quad \forall i, p, t \quad (7)$$

La restricción (7) tiene la misma característica que las restricciones anteriores (5)-(6). En este caso se establece un porcentaje (PERC_t) de base de sumo del tipo $j=\text{"hamlin"}$ que debe ser adicionado al producto p en cada periodo t .

Restricciones de capacidad de los sistemas de almacenamiento interno y externo.

$$\sum_j EB_{jt} + \sum_p EPF_{pt}^{\text{"granel"}} \leq AB^{\text{"granel"}} \quad \forall t \quad (8)$$

$$\sum_p EPF_{pt}^{\text{"tambor"}} \leq AB^{\text{"tambor"}} \quad \forall t \quad (9)$$

$$\sum_p EPE_{pt}^e \leq AT^e \quad \forall e, t \quad (10)$$

La ecuación (8) establece que la suma de los stocks de las bases y productos a granel en los tanques de la fábrica ($i=\text{"granel"}$) al final del periodo t no pueden exceder la capacidad $AB^{\text{"granel"}}$. La ecuación (9) establece que los stocks de productos en tambor en las cámaras frías de la fábrica ($i=\text{"tambor"}$) al final del periodo t no pueden exceder AB^i , y la ecuación (10) establece que los stocks externos de productos ($e=\text{"granel"}$ o "tambor") al final del periodo t no pueden exceder la capacidad AT^e .

Restricción de capacidad de mezcla.

$$\sum_i \sum_j \sum_p XB_{j\text{pt}}^i \leq B_t \quad \forall t \quad (11)$$

La ecuación (11) establece la cantidad máxima de sumo B_t que puede ser mezclada en cada periodo t .

El modelo de programación lineal (1)-(11), junto con las restricciones de no negatividad de las variables, fueron codificados en el lenguaje GAMS (*General Algebraic Modeling System*) y resuelto con un microcomputador.

1.2.3 Conclusiones del modelo de PL de una fábrica de zumos de naranja

Munhoz & Morabito (2001) llegaron a las siguientes conclusiones:

- Con base a los resultados que se obtuvieron de una prueba para 51 periodos, 8 tipos bases de zumo, 7 tipos de productos requeridos, 2 sistemas de almacenes internos (tanque y tambor) y 2 sistemas de almacenes externos (tanque y tambor), los autores verificaron que el modelo propuesto se comporta de manera satisfactoria convirtiéndose en una herramienta efectiva para el análisis de costos de mezcla y distribución.
- Además, este tipo de modelo se puede extender fácilmente a la simulación de escenarios alterando los parámetros como capacidad de mezcla, capacidad de almacenamiento en cada forma (granel o tambor) y en cada lugar (interno o externo), costos de mezcla, costos de almacenamiento y costos de distribución, con el fin de tomar decisiones del tipo estratégicas.

1.3 Caso práctico de una empresa textil

En este caso se presenta la aplicación de programación lineal en una empresa textil en los procesos de hilandería, tejeduría y teñido. El objetivo de este modelo es la maximización de utilidades a través de un diseño apropiado del flujo productivo en sus procesos de transformación de la materia prima. Este inciso inicia con un breve resumen del problema, luego se expone la formulación del modelo y finalmente, se exponen las conclusiones importantes de la investigación.

1.3.1 Resumen del problema de una empresa textil

El modelo presentado por Mayo (2005) se enfoca en el estudio de los módulos de Manejo de Hilo, Tintorería, Tejeduría y Ventas. Cada módulo busca sus propios objetivos que se describen a continuación:

Módulo de Manejo de Hilos

Los hilos se generan a partir del algodón y serán utilizados como urdimbre y trama durante el módulo de tejeduría. La cantidad y calidad del hilo que se debe abastecer al módulo de tejeduría dependerán de la tela cruda que se quiera obtener.

La empresa cuenta con cinco fuentes de abastecimiento de hilo: las líneas Anillos (HA) y las líneas Open-End (HO) son de su propia hilandería, la línea de Anillos provienen de una hilandería asociada llamada Hilandería Incaica (HI), otra fuente es su propio inventario de hilo y por último los proveedores externos. Las tres líneas de producción HA, HO y HI tienen una capacidad limitada de producción y los inventarios de la empresa son finitos, pero la compra de hilo es una alternativa inagotable.

Durante la transformación del algodón a hilo se tienen mermas debido a la pelusa que se escapa al aire y a fibras de mala calidad que son separadas por la maquinaria. Por ello, se utiliza para cada hilo requerido y, en cada línea, un factor de calidad que refleje el porcentaje de algodón que será convertido en hilo al final del proceso.

Las fuentes de abastecimiento de hilo obedecen al siguiente orden:

1. Inventario
2. La producción en HA o HO
3. La producción en HI
4. Compra a terceros.

En este módulo, los objetivos son determinar cuántos kilos de cada hilo se obtendrán en las líneas disponibles HA, HO y HI, cuánto se consumirá del inventario y cuánto se comprará a terceros.

Módulo de Tejeduría

Antes del tejido en sí, existe un proceso previo denominado “pre-tejido”. En este proceso se produce urdimbre a partir del hilo a través de las operaciones de urdido y engomado. También ocurren distorsiones en la longitud que se asume de un valor de estiramiento fijo del 2.5% para todas las urdimbres.

La restricción del módulo de pre-tejido es la capacidad de las máquinas determinada por el número de días a considerar, el número de máquinas y la eficiencia de éstas. El tiempo que consume cada lote o partida de urdimbre en cada máquina se calcula conociendo la longitud de la partida y la velocidad de cada máquina en el proceso.

Luego de obtener la urdimbre en el pre-tejido, el proceso continúa con el tejido. En este proceso, los telares cruzan la urdimbre (hilos colocados verticalmente) con la trama (hilos colocados horizontalmente) para obtener la tela cruda. Actualmente, la empresa cuenta con ocho modelos de telares y cada una con sus propias características técnicas.

El requerimiento de urdimbre del módulo de tejeduría para obtener un artículo de tela cruda se calculará considerando la cantidad de metros a producir del artículo y el encogimiento que la urdimbre sufre durante el proceso de tejido. En este módulo los objetivos son determinar cuántos metros de cada artículo de tela cruda se deben tejer en los telares y cuántos telares de cada modelo se utilizarán durante el periodo de planificación.

Módulo de Tintorería

A este módulo ingresa la tela cruda que se transforma en tela terminada. La principal restricción en el módulo de tintorería es el número de horas disponibles en cada máquina durante el periodo de análisis.

La tela cruda requerida por este módulo es provista por el módulo de tejeduría, ya sea produciéndola o retirándola del almacén de artículos

crudos. En este módulo, el objetivo es determinar el nivel de producción de telas terminadas.

Módulo de Ventas

En el módulo de ventas se ingresa toda la información de los pedidos existentes de telas terminada en el periodo de análisis. Cada pedido se identifica de la siguiente forma: código de tela + cantidad pedida + precio. La empresa maneja dos tipos de sistema: MTS (*Make to stock*) y MTO (*Make to order*).

La tela terminada requerida es provista de por el módulo de tintorería o del almacén de telas terminadas. El modelo tiene como objetivo determinar en qué porcentaje se producirá para almacenar (MTS) y en qué porcentaje se producirá para atender los pedidos (MTO).

1.3.2 Formulación del modelo de PL de una empresa textil

Dígitos usados: En el cuadro 1.8 se listan los dígitos utilizados para la formulación del modelo matemático.

Cuadro 1.8. Dígitos utilizados en el modelo de Mayo

| Dígito | Denota | Valores |
|--------|---------------------|-------------------|
| i | tela terminada | $i=1, \dots, 376$ |
| j | tela cruda | $j=1, \dots, 190$ |
| k | hilo | $k=1, \dots, 20$ |
| t | telares | $t=1, \dots, 8$ |
| m | máquinas en general | |
| o | pedidos | $o=1, \dots, 659$ |

Fuente: Mayo (2005)
Elaboración propia

Parámetros del modelo: En el cuadro 1.9 se listan los parámetros utilizados para la formulación del modelo matemático y su respectiva descripción.

Cuadro 1.9. Parámetros utilizados en el modelo de Mayo

| Siglas | Descripción | Unidad |
|--------------------|--|---------------|
| Car _i | Código del artículo con el cual se fabrica la tela i | - |
| CM _k | Compra máxima a terceros de hilo k para el periodo | kg |
| CP _o | Cantidad de tela solicitada en pedido o | m |
| CV _i | Costo variable de la tela i | \$/m |
| DIAS | Número de días a considerar dentro del periodo | días |
| EHA _m | Eficiencia de máquina m en HA | % |
| EHI _m | Eficiencia de máquina m en HI | % |
| EHO _m | Eficiencia de máquina m en HO | % |
| ENCT _j | Encogimiento del artículo j durante el tejido | % |
| ENT _i | Encogimiento de la tela i en la tintorería | % |
| EP _m | Eficiencia de máquina m en pretejido | % |
| ETEL _{jt} | Eficiencia de telares t tejiendo artículo j | % |
| ETI _m | Eficiencia de máquina m en tintorería | % |
| FCHA _k | Factor de calidad para hilo k en HA (100% - mermas) | % |
| FCHI _m | Factor de calidad para hilo k en HI (100% - mermas) | % |
| FCHO _k | Factor de calidad para hilo k en HO (100% - mermas) | % |
| IIA _j | Inventario inicial del artículo j en el periodo | m. |
| IIH _k | Inventario inicial del hilo k en el periodo | kg |
| IIT _i | Inventario inicial de la tela i en el periodo | m. |
| IMA _j | Inventario mínimo del artículo j para el final del periodo | m. |
| IMH _k | Inventario mínimo del hilo k para el final del periodo | kg |
| IMT _i | Inventario mínimo de la tela i para el final del periodo | m. |
| NHA _m | Número de máquinas m en HA | - |
| NHI _m | Número de máquinas m en HI | - |
| NHO _m | Número de máquinas m en HO | - |
| NP _m | Número de máquinas m en pretejido | - |
| NTEL _{jt} | Número de telas de artículo j que se tejen a la vez en telar t | - |
| NTE _t | Número de telares t en la tejeduría | - |
| NTI _m | Número de máquinas m en tintorería | - |
| PLE _j | Número de plegadores de urdimbre que utiliza el artículo j | - |
| PP _o | Precio de venta de la tela en el pedido o | \$/m |
| RQTR _{jk} | Requerimiento de hilo k como trama por metro de artículo j | g/m |
| RQR _{jk} | Requerimiento de hilo k como urdimbre por metro de artículo j | g/m |
| TELP _o | Tela pedida en el pedido o | - |
| TPED _o | Tipo de pedido del pedido o | - |
| TPTR _j | Total de pasadas por pulgada en trama de artículo j | Pasadas/pulg. |
| VEHA _{mk} | Número de veces que pasa el hilo k por la máquina m de HA | - |
| VEHI _{mk} | Número de veces que pasa el hilo k por la máquina m de HI | - |

| Siglas | Descripción | Unidad |
|--------------------|---|--------|
| VEHO _{mk} | Número de veces que pasa el hilo k por la máquina m de HO | - |
| VELT _t | Velocidad de operación de los telares t | rpm |
| VEPR _{jm} | Número de veces que pasa el artículo j por máquina m en pretejido | - |
| VETI _{im} | Número de veces que la tela i pasa por máquina m en tintorería | - |
| VHA _{mk} | Velocidad de producción de hilo k en máquina m de HA | kg/h |
| VHI _{mk} | Velocidad de producción de hilo k en máquina m de HI | kg/h |
| VHO _{mk} | Velocidad de producción de hilo k en máquina m de HO | kg/h |
| VPR _{jm} | Velocidad de artículo j en máquina m de HI | m/min |
| VTI _{im} | Velocidad de la tela i en máquina m en tintorería | m/min |

Fuente: Mayo (2005)
Elaboración propia

Variables de decisión: En el cuadro 1.10 se listan las variables de decisión utilizadas para la formulación del modelo matemático y su respectiva descripción.

Cuadro 1.10. Variables de decisión utilizadas en el modelo de Mayo

| Siglas | Descripción | Unidad |
|--------------------|---|--------|
| COH _k | Compra de hilo k en el periodo | kg |
| NAT _o | Nivel de atención del pedido o | % |
| NTEA _{jt} | Número de telares modelo t tejiendo el artículo j | - |
| PNHA _k | Producción neta de hilo k en HA | kg |
| PNHI _k | Producción neta de hilo k en HI | kg |
| PNHO _k | Producción neta de hilo k en HO | kg |
| PTET _i | Producción de tela i en el periodo | |

Fuente: Mayo (2005)
Elaboración propia

Variables intermedias: En el cuadro 1.11 se listan las variables de decisión utilizadas para la formulación del modelo matemático y su respectiva descripción.

Cuadro 1.11. Variables intermedias a utilizar en el modelo de Mayo

| Siglas | Descripción | Unidad |
|-------------------|--|--------|
| CHIN _k | Consumo de hilo del inventario de TEXTILES S.A. | kg |
| CIAR _j | Consumo de artículo j de inventario de tejeduría | m |
| CITE _i | Consumo de inventario de tela i de la tintorería | m |
| HDHA _m | Horas disponibles en el periodo en máquinas m de HA | h |
| HDHI _m | Horas disponibles en el periodo en máquinas m de HI | h |
| HDHO _m | Horas disponibles en el periodo en máquinas m de HO | h |
| HDP _m | Horas disponibles en el periodo en máquinas m de pretejido | h |

| Siglas | Descripción | Unidad |
|-------------|---|--------|
| $HDTI_m$ | Horas disponibles en el periodo en máquinas m de tintorería | h |
| IFA_j | Inventario final del artículo j en el periodo | m |
| IFH_k | Inventario final del hilo k en el periodo | kg |
| IFT_i | Inventario final de tela i en el periodo | m |
| MP_o | Margen por metro al atender pedido o | \$/m |
| NTU_t | Número de telares t al utilizar en el periodo | - |
| $PBHA_k$ | Producción bruta de hilo k en HA | kg |
| $PBHI_k$ | Producción bruta de hilo k en HI | kg |
| $PBHO_k$ | Producción bruta de hilo k en HO | kg |
| PST_i | Producción de tela terminada i para stock en el periodo | m |
| PTA_j | Producción del artículo j en el periodo | m |
| $PTEA_{jt}$ | Producción del artículo j en telares t durante el periodo | m |
| $RCET_i$ | Requerimiento de crudo a la entrada de tintorería para tela i | m |
| $RPHT_k$ | Requerimiento total de hilo k para trama | kg |
| $RPHU_k$ | Requerimiento total de hilo k para urdimbre | kg |
| $RQHT_{jk}$ | Requerimiento de hilo k como trama para artículo j | kg |
| $RQHU_{jk}$ | Requerimiento de hilo k como urdimbre para artículo j | kg |
| $RQPR_j$ | Requerimiento de pre-tejido para producir el artículo j | m |
| RCT_j | Requerimiento total de artículo j para tintorería | m |
| RTH_k | Requerimiento total de hilo k para el periodo | kg |
| $TMHA_{mk}$ | Tiempo dedicado por la máquina m de HA a producir hilo k | h |
| $TMHI_{mk}$ | Tiempo dedicado por la máquina m de HI a producir hilo k | h |
| $TMHO_{mk}$ | Tiempo dedicado por la máquina m de HO a producir hilo k | h |
| TMP_{jm} | Tiempo dedicado por máquina m de pre-tejido a producir artículo j | h |
| $TMTI_{im}$ | Tiempo utilizado en máquina m para producir tela terminada i | h |
| $UTMHA_m$ | Tiempo total utilizado en la máquina m de HA | h |
| $UTMHI_m$ | Tiempo total utilizado en la máquina m de HI | h |
| $UTMHO_m$ | Tiempo total utilizado en la máquina m de HO | h |
| $UTMP_m$ | Tiempo total utilizado por la máquina m de pretejido | h |
| $UTMT_m$ | Tiempo total utilizado por la máquina m de tintorería | h |
| VOP_o | Volumen a atender del pedido o | m |
| VTA_i | Ventas de tela i en el periodo | m |

Fuente: Mayo (2005)
Elaboración propia

Las variables intermedias han sido clasificadas de la siguiente manera:

- Directo datos, son variables que se pueden calcular a partir de datos a través de una función matemática.
- Directo VD, son variables que dependen directamente de alguna variable de decisión.
- Indirecto VD, son variables que dependen indirectamente de alguna variable de decisión.

Para el modelo, se crearon 2 funciones especiales:

Sumar si

SUMARSI (Bn, m, An)=Sumatoria de todos los An, talque Bn=m

Si no cero

SINOCERO(A, B)=A/B, si B>0

SINOCERO(A, B)=0, si B=0

En la tabla 1.1 se muestra la equivalencia de las variables intermedias

Tabla 1.1. Equivalencia de las variables intermedias

| Siglas | Descripción |
|----------------------|--|
| HDHA _m | 24*DIAS*NHA _m *EHA _m |
| HDHI _m | 24*DIAS*NHI _m *EHI _m |
| HDHO _m | 24*DIAS*NHO _m *EHO _m |
| HDP _m | 24*DIAS*NP _m *EP _m |
| HDTI _m | 24*DIAS*NTI _m *ETI _m |
| MP _o | PP _o -CV(TELP _o) |
| CHIN _k | RTH_k - PNHA_k - PNHO_k - PNHI_k - COHI_k |
| CITE _i | VTA_i + PST_i - PTET_i |
| IFH _k | IIH _q -CHIN _k |
| NTU _t | SUM _j (NTEA _{jt}) |
| PBHA _k | PNHA_k/FCHA_k |
| PBHI _k | PNHI_k/FCHI_k |
| PBHO _k | PNHO_k/FCHO_k |
| PTEA _{jt} | 36.576*DIAS*NTEA _{jt} *VELT _t /TPTR _j *NTEL _{jt} *ETEL _{jt} |
| RCET _i | PTET_i/ENT_i |
| VOP _o | CP _o *NAT _o |
| CIAR _j | RTC_j-PTA_j |
| IFA _j | IIA _j -CIAR _j |
| IFT _i | II _T _i -CITE _i +PST _i |
| PST _i *4 | SUMARSI(TELP _o ,i,VOP _o) |
| PTA _j | SUM _t (PTEA _{jt}) |
| RPHT _k | SUM _t (RQHT _{jk}) |
| RPHU _k | SUM _t (RQHU _{jk}) |
| RQHT _{jk} | PTA_j*RQTR_{jk}/1000 |
| RQHU _{jk} | PTA_j*RQUR_{jk}/1000 |
| RQPR _j | PTA_j/ENCT_j |
| RTC _j | SUMARSI(CAR _{i,j} ,RCET _i) |
| RTH _k | RPHT_k+RPHU_k |
| TMHA _{mk} | SINOCERO(VEHA _{mk} ,VHA _{mk})*PBHA _k |
| TMHI _{mk} | SINOCERO(VEHI _{mk} ,VHI _{mk})*PBHI _k |
| TMHO _{mk} | SINOCERO(VEHO _{mk} ,VHO _{mk})*PBHO _k |
| TMP _{jm} *1 | SINOCERO(VEPR _{jm} ,VPR _{jm})*RQPR _j /1.025/60 |

| Siglas | Descripción |
|----------------|--|
| $TMP_{jm} * 2$ | $SINOCERO(VPR_{jm}, VPR_{jm}) * RQPR_j / \frac{1.025}{60} * PLE_j$ |
| $TMTI_{im}$ | $SINOCERO(VETI_{im}, VTI_{im}) * RCET_i / 60$ |
| $UTMHA_m$ | $SUM_k(TMHA_{mk})$ |
| $UTMHI_m$ | $SUM_k(TMHI_{mk})$ |
| $UTMHO_m$ | $SUM_k(TMHO_{mk})$ |
| $UTMP_m$ | $SUM_k(TMP_{jm})$ |
| $UTMT_m$ | $SUM_k(TMTI_{im})$ |
| $VTA_i * 3$ | $SUMARSI(TELP_{o,i}, VOP_o)$ |

Fuente: Mayo (2005)
Elaboración propia

Dónde: XYZ:Dato XYZ:VI XYZ:VD

- *1 En el caso de engomadoras
- *2 En el caso de urdidoras
- *3 Utilizando pedidos de clientes
- *4 Utilizando pedidos de stock

Metas del Modelo

La primera prioridad es la maximización de utilidades. Se calculó las utilidades sumando el producto de la cantidad de tela vendida por el margen de contribución.

La segunda prioridad es obtener un diseño apropiado del flujo productivo. En la tintorería y tejeduría se le da prioridad a la producción frente al consumo de inventarios. En el módulo de manejo de hilo se le da prioridad en orden de importancia al consumo de inventario del almacén de hilo de la empresa, luego a la producción en la línea HA o HO, después a la producción en HI y finalmente a la compra de hilo a terceros.

La función objetivo utilizará coeficientes (M1, M2, etc.) diferenciados para reflejar el orden de prioridad de los diferentes objetivos. A continuación se presenta la formulación del modelo de PL:

Función Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & M1 * \sum (MP_o * VOP_o) - M2 * \sum CIAR_j \\ & - M3 * \sum COHI_k - M4 * \sum PNHI_k - M5 * \sum (PNHA_k + PNHO_k) \end{aligned}$$

Dónde:

M1: Minimizar las utilidades antes de cubrir costos fijos

M2: Minimizar el consumo de inventarios de artículos crudos (equivalente a maximizar la producción)

M3: Minimizar la compra de hilo a terceros

M4: Minimizar la producción de hilo en Hilandería Incaica

M5: Minimizar la producción de hilo en las líneas propias (Anillos y Open End)

Restricciones estructurales

Capacidad de la maquinaria (HA, HO, HI, pretejido, tintorería y tejeduría).- Para cada caso, el número de horas a utilizar en el periodo es menor o igual que el número de horas disponibles. En el caso de la tejeduría, el número de telares a utilizar de un modelo determinado es menor o igual al número total disponible.

$$UTMHA_m \leq HDHA_m \quad (2)$$

$$UTMHO_m \leq HDHO_m \quad (3)$$

$$UTMHI_m \leq HDHI_m \quad (4)$$

$$UTMP_m \leq HDP_m \quad (5)$$

$$UTMT_m \leq HDTI_m \quad (6)$$

$$NTU_t \leq NTE_t \quad (7)$$

Programación de telares.- La asignación de telares a la producción de artículos es entera, es decir, un telar no puede cambiar de artículo durante el periodo a ser programado.

$$NTEA_{jt} \rightarrow \text{ENTERO} \quad (8)$$

Atención de pedidos.- El nivel de atención de los pedidos está en el intervalo [0%-100%]. Considerando que la empresa tiene un pedido que no puede

satisfacer totalmente negocia con el cliente para que le acepte la cantidad de tela obtenida.

$$\text{NAT}_o \leq 1 \quad (9)$$

Restricciones de consumo de inventarios (tintorería, tejeduría y HT).- Primero, el consumo de la tela del inventario (CITE_i) es menor o igual que la cantidad que había en inventario inicialmente (IIT_i) (11). Segundo, los inventarios finales de tela, artículos e hilo son mayor o igual que los inventarios mínimos definidos (dato) (12)-(14). Si no se definen inventarios mínimos, el mínimo es cero.

$$\text{CITE}_i \geq 0 \quad (10)$$

$$\text{CITE}_i \leq \text{IIT}_i \quad (11)$$

$$\text{IFT}_i \geq \text{IMT}_i \quad (12)$$

$$\text{IFA}_j \geq \text{IMA}_j \quad (13)$$

$$\text{IFH}_k \geq \text{IMH}_k \quad (14)$$

Compra de hilo a terceros.- Para cada hilo, la cantidad que se le compra a terceros es menor o igual que la cantidad máxima permitida (dato). Si no se define un máximo, éste se asume como infinito.

$$\text{COHI}_k \leq \text{CM}_k \quad (15)$$

Equivalencias de las variables.- En el modelo se colocan todas las equivalencias mostradas en la tabla 1.1.

Rango de existencia

$$\text{NAT}_o \geq 0 \quad \text{PTET}_i \geq 0 \quad \text{NTEA}_{it} \geq 0 \quad \text{PNHA}_k \geq 0$$

$$\text{PNHO}_k \geq 0 \quad \text{PNHI}_k \geq 0 \quad \text{COHI}_k \geq 0$$

1.3.3 Conclusiones del modelo de PL de una empresa textil

- Con el modelo propuesto las utilidades se hubieran incrementado 7.5% en promedio por cada mes en comparación con los resultados reales obtenidos por la empresa.

- El modelo desarrollado planifica la producción de la empresa en función de siete clases de variables de decisión:
 1. La primera clase (NATo) es el nivel de atención de cada uno de los pedidos. Estas variables determinaron qué porcentaje de las cantidades de producto solicitadas en cada pedido fueron atendidas. Con esto queda definida la cantidad de tela terminada que se necesita entregar en el periodo.
 2. La segunda clase de variables (PTETi) determinaron la producción en el periodo de cada tipo de tela, lo cual le permite calcular también la cantidad de tela que se disponga del almacén para cumplir con los pedidos. En base a la producción de tela terminada se calcula el requerimiento de tela cruda.
 3. La tercera clase de variables (NTEAjt) determinaron la asignación de los telares a la producción de los distintos artículos. Al igual que en el caso anterior, se calcula por diferencia el consumo de inventario de artículos crudos.
 4. Las otras cuatro clases de variables (PNHAK, PNHOk, PNHIk, COHIk) determinaron la producción en las líneas HA y HA, la producción en HI y la compra de hilo a terceros, respectivamente. En función de esas variables se determinó el consumo de hilo del inventario de la empresa
- Mayo (2005) también menciona que además de determinar la programación óptima de la producción, el modelo ofrece distintas aplicaciones de ingeniería como calcular indicadores sobre los productos y las máquinas, de simulación, como analizar el impacto que tendría sobre las utilidades un cambio en la maquinaria o evaluar los nuevos desarrollos de la empresa, ya que, al ingresar los datos técnicos y comerciales de una nueva tela, el modelo podría determinar si su producción es o no es conveniente respecto a las múltiples alternativas que se manejan.

CAPÍTULO 2 ESTUDIO DEL CASO

El presente capítulo se divide en tres secciones. En la primera, se realiza la descripción actual de la empresa de estudio. En la segunda sección se presenta un análisis del sistema productivo de La Planta y se da a conocer los principales procesos. En la tercera sección, se realiza una descripción de los principales problemas que serán objeto de estudio de la presente tesis.

2.1 Descripción de La Empresa

El Grupo S.A. (La Empresa en adelante) es una empresa farmacéutica comprometida con la salud, el bienestar y la seguridad de las personas. Fue fundada en el año 1953 como una empresa importadora, comercializadora y distribuidora de productos farmacéuticos; en el año 1962, la dirección forma en la ciudad de Lima la primera unidad de negocio denominada “Distribuidora” la cual se encarga de almacenar y distribuir productos farmacéuticos; más adelante inauguran siete sucursales en provincia. En el año 1990, se adquiere a “La Planta”, una unidad de negocio que cuenta con maquinaria especializada en la fabricación, envasado y acondicionado de productos farmacéuticos. Desde entonces, La Empresa empezó a distribuir todo lo que producía. Luego, con el objetivo de promocionar y comercializar sus productos deciden crear la unidad de negocio “Líneas Propias”, la cual se encarga de posicionar el producto en las farmacias, boticas, cadenas de boticas, centros hospitalarios, clínicas, y en el sector público. Esta unidad de negocio representaba a laboratorios reconocidos en todo el mundo y aprovechaban su posicionamiento como estrategia para generar más valor a La Empresa. En el año 2006, La Empresa adquiere la unidad de negocio “Retail”, la cual estaba conformada por una cadena de boticas instaladas en todo el territorio nacional. Actualmente, se cuenta con 340 boticas en todo el Perú a las cuales abastece con los productos que La Planta fabrica. De esta forma, La Empresa ha logrado construir una cadena de valor sanitaria desde la producción, distribución, comercialización y mercadeo de productos farmacéuticos.



Gráfico 2.1. Cadena de abastecimiento de La Empresa
Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

2.1.1 Visión, Misión y Valores

En esta sección se dará a conocer la visión, misión y valores de La Empresa; así mismo, se hará un breve comentario de cada uno de ellos.

Visión: “Ser una organización líder y exitosa que democratiza la salud, contribuye al mejorar la calidad de vida y el bienestar de toda la comunidad”.

Comentario: La base filosófica de La Empresa se encuentra en el crecimiento y expansión, por lo que, en los últimos, años ha enfocado todos sus esfuerzos en la obtención y crecimiento de unidades de negocio. Por ejemplo, la última unidad creada fue “Retail”, en la que se ha propuesto abrir más locales en todo el país; y así también impulsar las ventas mediante servicio *delivery* y promociones. Con esto busca mantenerse entre las tres líderes del mercado.

Misión: “Contribuir con la salud, bienestar y seguridad de las personas y organizaciones a nivel nacional e internacional diseñando, elaborando, y comercializando productos y servicios innovadores y de calidad, logrando cumplir nuestro compromiso con la sociedad, brindar seguridad y desarrollo a nuestros colaboradores, así como rentabilidad a nuestros inversionistas”

Comentario: Para lograr el liderazgo y el éxito en la comunidad, La Empresa se ha integrado hacia atrás mediante la adquisición de la “Planta” y la integración hacia adelante mediante la adquisición de “Retail”. Estas unidades le permitirán obtener mejores resultados que contribuyan a su misión.

Valores: Los valores más difundidos son los siguientes:

- “Trabajo en Equipo”. Uno de los objetivos a largo plazo de La Empresa es ser líder y para lograr esto debe trabajar en equipo. Por eso, cada mes se reúnen los representantes de cada unidad de negocio para tratar sobre los resultados obtenidos del mes y coordinar los cambios necesarios que estén acordes a su estrategia que los guiarán en los siguientes meses.
- “Vocación de Servicio”. Los colaboradores de La Empresa se esfuerzan por comprender las necesidades de sus clientes y así generar mayor valor agregado a sus productos que ofrece La Empresa.
- “Innovación”. La Empresa pone en práctica las nuevas ideas propuestas para mejorar en sus servicios y sus procesos. Un buen ejemplo, es la implementación de un sistema ERP, el cual le ayudará a integrar a sus unidades de negocio.

El presente trabajo de tesis se enfocará en La Planta, unidad de negocio que se encarga de la fabricación, envasado y acondicionado de los productos farmacéuticos. Por esta razón, el resto de este capítulo y los siguientes se enfocarán solamente en esta unidad de negocio.

2.1.2 Estructura Organizacional

La Planta presenta una estructura organizacional tipo funcional como se muestra en el gráfico 2.2.

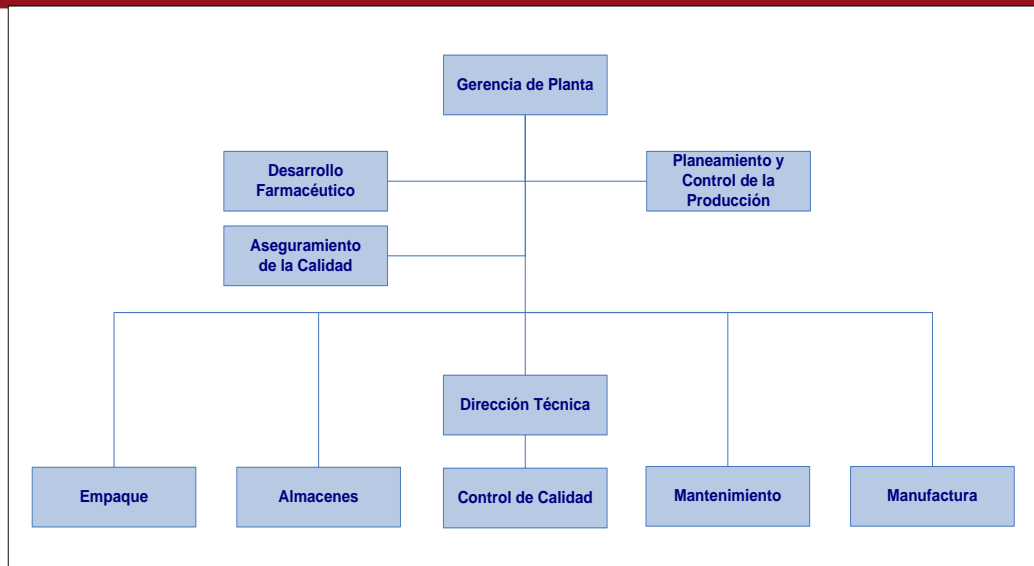


Gráfico 2.2. Organigrama de La Planta

Fuente: La Empresa (2013)

Elaboración propia

Según se muestra en el organigrama, las áreas funcionales que componen La Planta son los siguientes:

Desarrollo Farmacéutico.- Se encarga del análisis de los pilotos de productos nuevos desde la fabricación hasta el envasado. Las características son enviadas por el área comercial y en aceptación con la Dirección Técnica y Gerencia de Planta llevan a cabo las fabricaciones piloto requeridas. Asimismo, el área se responsabiliza de la evaluación de fórmulas y diseño de hojas de ruta para los nuevos productos.

Planeamiento y Control de la Producción (PCP).- El área de PCP funciona como la médula espinal de La Planta ya que en esta área se realizan los planes de producción, se colocan los pedidos de insumos, y se realiza el seguimiento de las líneas de producción de La Planta. También está a cargo de realizar el programa de producción e informar al área comercial sobre las fechas de entrega de los productos.

Aseguramiento de la Calidad: Se encarga de realizar la inspección al sobre técnico, el cual contiene documentación importante como la orden de trabajo, instrucciones de fabricación, reporte de insumos consumidos, reporte de horas utilizadas, hojas de resultados de análisis y el registro de

firmas con el fin de asegurar que se está cumpliendo con los procedimientos establecidos. El sobre técnico se emite junto con la orden de trabajo y fluye por las áreas de producción para ser firmadas por cada jefe de área hasta finalmente ser entregadas al área de aseguramiento que se encargará de revisar cada documento.

Almacenes: El área de almacenes se encarga de recepcionar, almacenar, despachar y llevar el control de los insumos, materiales y productos que se encuentran en los almacenes de La Planta.

Manufactura: Es la encargada de realizar la fabricación del producto. Este proceso transforma la materia prima en producto a granel que es almacenado en los recipientes indicados. La jefatura de manufactura dispone de personal especializado y supervisores. Las áreas están estrictamente libres de contaminación para obtener productos con el nivel de calidad requerida.

Empaque: El granel proveniente de la fabricación se traslada al área de empaque en donde se realizan los trabajos de envasado y acondicionado. Al finalizar con el acondicionado, la jefatura de empaque se encarga de emitir la documentación requerida en el sobre técnico y luego el producto obtenido es trasladado al almacén de cuarentena.

Mantenimiento: Esta área se encarga de brindar el servicio de reparación y mantenimiento a las instalaciones, maquinarias y demás equipos. También tiene como función contactar con mano de obra externa en caso de ser necesario y encargarse de las nuevas instalaciones.

Control de Calidad: El área de calidad se encarga de realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos a los productos fabricados, envasados y acondicionados. Su objetivo principal es evitar que un producto de mala calidad llegue al consumidor final.

De acuerdo a la estructura de la organización y por disposición de la gerencia, el área de PCP es la encargada de hacer las coordinaciones con todas las jefaturas para el cumplimiento del plan de producción.

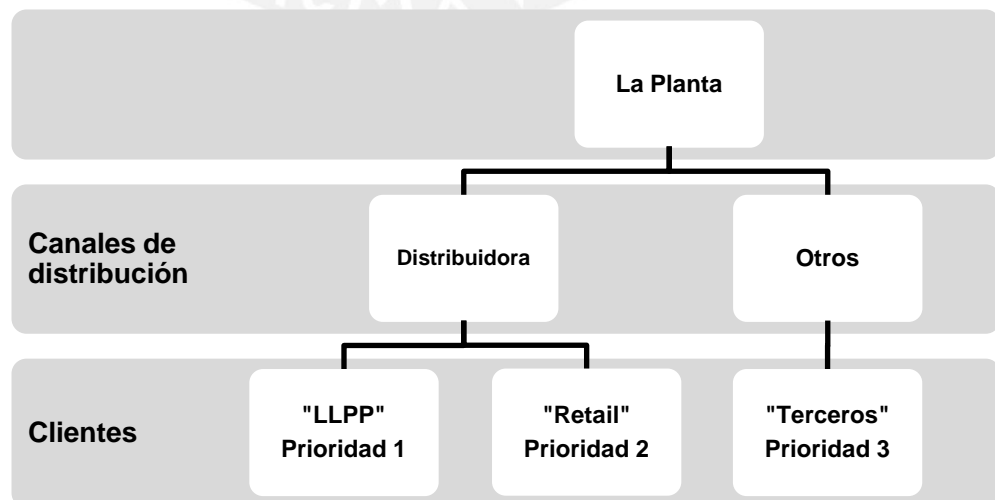
2.1.3 Clientes

Según la cadena de abastecimiento de La Empresa, el principal cliente de La Planta es la “Distribuidora”, la cual se encarga de distribuir los productos a los diferentes canales de venta. Sin embargo, los requerimientos de la “Distribuidora” provienen de dos unidades de negocio: la primera de la unidad de “Líneas Propias” (LLPP en adelante) y la segunda de la unidad de “Retail”. Cada unidad tiene su propia cartera de productos, sus propios precios y márgenes de contribución.

Por otra parte, La Planta también tiene como clientes a empresas que denominaremos los “Terceros” que solicitan el servicio de fabricación, envasado y acondicionado para que luego ellos se encarguen de la comercialización.

En el cuadro 2.1 se puede apreciar los dos canales de distribución identificados, los clientes principales y la prioridad de atención que se le ha asignado a cada uno según la política de la Empresa.

Cuadro 2.1. Clasificación de los clientes de La Planta



Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

La creación de sus cuatro unidades de negocio que ha adquirido la Empresa, especialmente “Retail”, le ha generado un incremento considerable en la demanda de sus productos, y buscar la mejora de los niveles de atención de sus pedidos y eficiencia de utilización de sus recursos. Este y otros puntos más se estudiarán en la siguiente sección de este capítulo.

2.2 Análisis del sistema productivo

En esta sección se dará a conocer los productos, la tipología del sistema productivo y la descripción de los procesos principales desde la planificación hasta la obtención del producto terminado.

2.2.1 Productos

Los productos se dividen por su forma farmacéuticas, en La Planta tienen identificado cuatro grupos o líneas de producción: sólidos, líquidos no estériles, líquidos estériles y semisólidos. En cada línea de producción se encuentra más de una forma farmacéutica tal como se presenta en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Formas farmacéuticas por cada línea de producción

| Sólidos | Líquidos no estériles | Líquidos estériles | Semisólidos |
|---|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Tabletas Capsulas Grageas Polvos | Jarabes Suspensiones | Inyectables Oftálmicos | Cremas Supositorios Óvulos |

La Empresa (2013)
Elaboración propia

La clasificación se determina de esa manera ya que cada grupo se fabrica en áreas independientes y cada área cuenta con máquinas y equipos necesarios para llevar a cabo las operaciones que se indiquen en la orden de trabajo. La cantidad de productos que se distribuye en los cuatro grupos suman en total 237 productos. En el gráfico 2.3 se distribuyen la cantidad de productos por línea de producción y por el tipo de cliente.

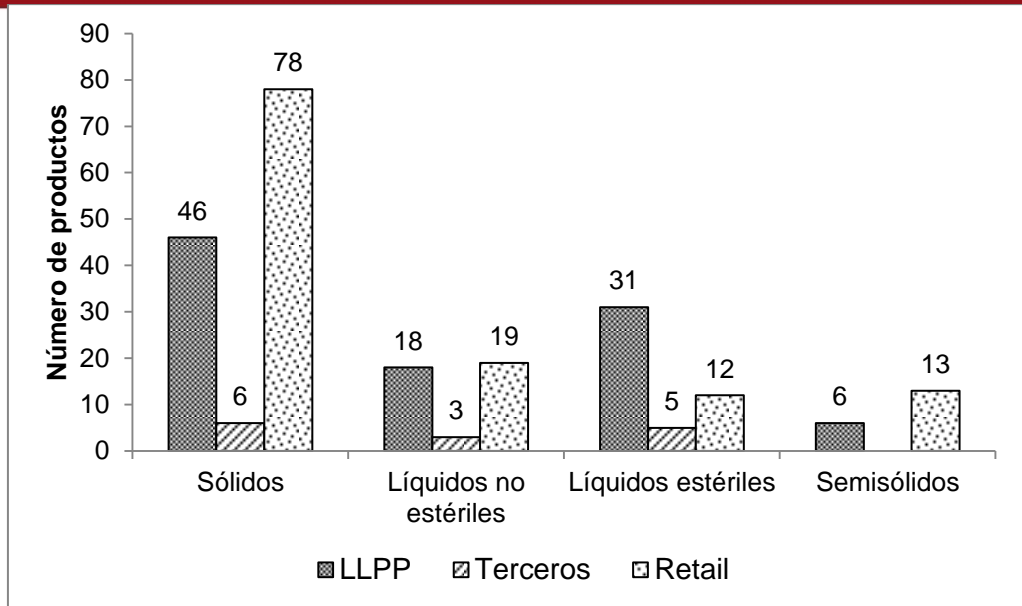


Gráfico 2.3. Productos por línea de producción de La Planta
Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

La presente tesis se enfocará en la línea de los productos líquidos no estériles. En esta línea se cuenta con un total de 40 productos distribuidos en 31 productos de la forma farmacéutica jarabes y 9 productos de la forma farmacéutica suspensiones. En el gráfico 2.4 se muestra la agrupación de los productos por cliente y luego por forma farmacéutica en la línea de líquidos no estériles.

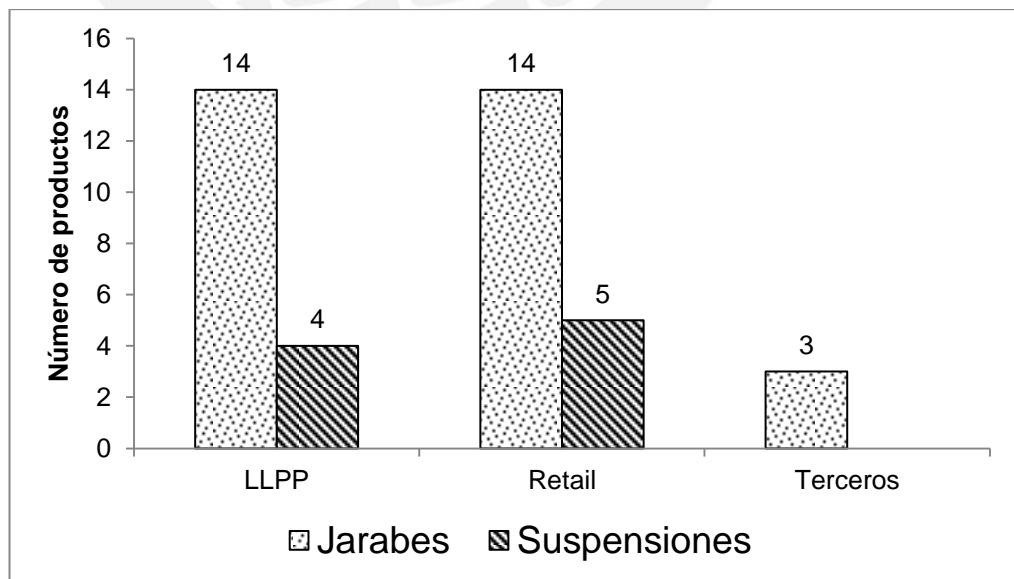


Gráfico 2.4. Productos líquidos no estériles por cliente y por forma
Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

En el cuadro 2.3 se muestra la lista completa de los productos. Son 31 productos de la forma farmacéutica jarabes y 9 productos de la forma farmacéutica suspensiones.

Cuadro 2.3. Productos líquidos no estériles que elabora La Planta

| Producto | Presentación | Cliente | Producto | Presentación | Cliente |
|-----------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|
| Jarabe 1 | 15 ml | Retail | Jarabe 21 | 60 ml | Retail |
| Jarabe 2 | 15 ml | Retail | Jarabe 22 | 60 ml | Retail |
| Jarabe 3 | 15 ml | Retail | Jarabe 23 | 120 ml | Terceros |
| Jarabe 4 | 15 ml | Retail | Jarabe 24 | 30 ml | PyC |
| Jarabe 5 | 10 ml | Terceros | Jarabe 25 | 80 ml | PyC |
| Jarabe 6 | 10 ml | Terceros | Jarabe 26 | 30 ml | PyC |
| Jarabe 7 | 60 ml | PyC | Jarabe 27 | 20 ml | PyC |
| Jarabe 8 | 60 ml | PyC | Jarabe 28 | 10 ml | PyC |
| Jarabe 9 | 60 ml | PyC | Jarabe 29 | 15 ml | PyC |
| Jarabe 10 | 90 ml | PyC | Jarabe 30 | 15 ml | PyC |
| Jarabe 11 | 100 ml | PyC | Jarabe 31 | 30 ml | PyC |
| Jarabe 12 | 100 ml | PyC | Suspensión 1 | 150 ml | PyC |
| Jarabe 13 | 60 ml | Retail | Suspensión 2 | 60 ml | PyC |
| Jarabe 14 | 60 ml | Retail | Suspensión 3 | 60 ml | PyC |
| Jarabe 15 | 60 ml | Retail | Suspensión 4 | 180 ml | PyC |
| Jarabe 16 | 10 ml | Retail | Suspensión 5 | 100 ml | Retail |
| Jarabe 17 | 60 ml | Retail | Suspensión 6 | 60 ml | Retail |
| Jarabe 18 | 60 ml | Retail | Suspensión 7 | 150 ml | Retail |
| Jarabe 19 | 60 ml | Retail | Suspensión 8 | 60 ml | Retail |
| Jarabe 20 | 90 ml | Retail | Suspensión 9 | 50 ml | Retail |

Fuente: La Empresa (2013)

2.2.2 Tipología del sistema de producción

La tipología del sistema de producción de La Planta, según el cuadro 2.4, se ajusta a una producción por lotes por cuatro características principales. En primer lugar, el inicio de la fabricación es posible sólo si se tiene la Orden de Trabajo, es decir, existe un pedido (por el área de planeamiento) que solicita el producto para despacharlo al cliente. En segundo lugar, La Planta solo cuenta con tres clientes “LLPP”, “Retail” y los “Terceros”. En tercer lugar, la variedad de productos está conformada por 40 diferentes productos, lo cual es considerado relativamente alto. Y por último, la demanda en el sector farmacéutico es fluctuante, lo que hace difícil obtener un pronóstico de fabricación firme en un plazo mayor a 6 meses.

En cuanto a la flexibilidad, La Planta es capaz de mantenerse eficaz y eficiente cuando la variabilidad adopta la forma de nuevos productos y mano de obra; en cambio, lo contrario ocurre cuando la variabilidad adopta la forma de la demanda.

Cuadro 2.4. Cuadro comparativo de los tipos de configuraciones.

| Configuración | Demanda | Productos | Flexibilidad | Participación del cliente |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|---------------------------|
| Continua | Muy estable | Estándar | Inflexible | Mercado masivo |
| Línea | Estable | Muy Variable | Baja | Pocos |
| Batch | Fluctuante | Variable por OT | Media | Pocos |
| Taller a medida | Poca | A medida | Alta | Individual |
| Proyecto | No frecuente | Único | Alta | Individual |

Fuente: J.A.D. Machuca y otros (1995)
Elaboración propia

2.2.3 Principales procesos

El sistema de producción actual se puede resumir en el DFD que se presenta en el gráfico 2.5. Aquí se muestra el flujo de datos e informaciones que se obtienen en el proceso de planeamiento, logística y despacho.

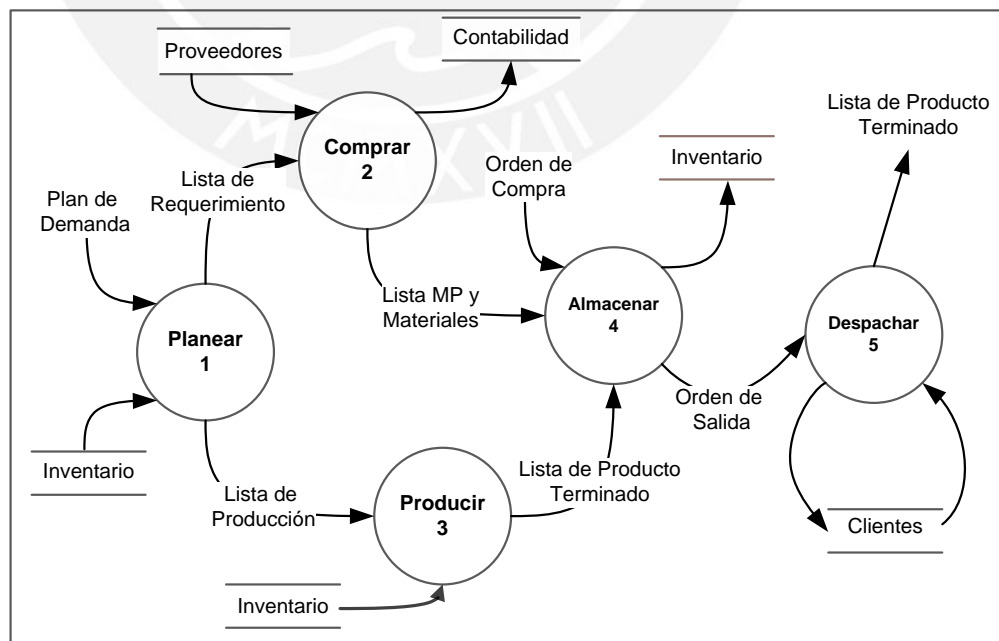


Gráfico 2.5. Diagrama de flujo del proceso principal

Fuente: La Empresa (2013)

Elaborado en base a Miranda (2010)

Como se puede apreciar en el DFD del proceso principal, las áreas involucradas son planeamiento, marketing, logística, producción, almacenes, despacho y contabilidad. Dado que el estudio se basará en las áreas de planeamiento y producción que corresponden al proceso Planear y Producir, procesos 1 y 3 respectivamente, a continuación se explicará el proceso de planeamiento y el proceso de producción.

a) Planear

La empresa tiene como política la producción constante respecto a plan proyectado de producción obtenido a partir del plan de demanda informado por el área de marketing. El plan proyectado o pronóstico es determinado para cada uno de los 40 productos y sirve como dato de entrada para La Planta para saber en qué mes se tiene que producir, cuántos lotes, y qué recursos y materiales se van a necesitar ya sea materia prima, material de envasado o material de acondicionado-. En el gráfico 2.6 se presentan los sub-procesos y archivos dentro del proceso Planear.

➤ Proceso 1.1

Como se explicaba anteriormente, uno de los datos de entrada es el plan de demanda, por lo tanto el jefe de planeamiento proyecta la producción y requerimiento de materiales dentro de los próximos 6 meses.

➤ Proceso 1.2

El equipo de planeamiento se encarga de verificar la cantidad en inventario de materiales que pueda existir en el almacén. Con dicha información y el pronóstico de producción hacen una lista de requerimientos al área de compras. En el sistema ERP se colocan las *solpeds*¹ de materiales y también se indican la fecha aproximada en la que se necesitará.

➤ Proceso 1.3

También el equipo de planeamiento se encarga de verificar la cantidad en inventario de productos en proceso y productos terminados que se

¹ Solicitudes de pedido en entorno SAP que cada usuario realiza. Contienen, ítems, cantidades, precios y proveedor seleccionado. Tomado de "Casos de operaciones". Centrum Católica. Lima: McGraw-Hill, p6. Año 2012

encuentran en los almacenes. Para luego determinar la lista de productos que se necesitan fabricar en el mes.

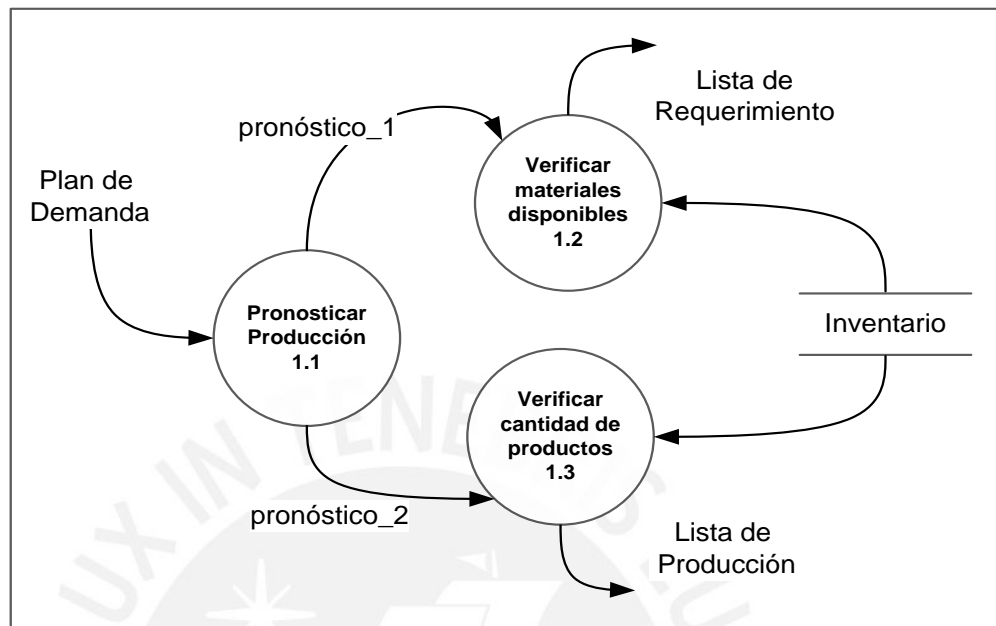


Gráfico 2.6. DFD, diagrama hijo proceso 1
Fuente: La Empresa (2013)
Elaborado en base a Miranda (2010)

El proceso Planear finaliza cuando se entregan las listas respectivas al área de compras y al área de producción.

b) Producir

Una vez que se reciben las ordenes de trabajo y luego de que el área de almacén dispense los insumos requeridos (materia prima, materiales de envasado y materiales de acondicionado), el área de producción se encarga de fabricar, envasar y acondicionar los lotes de los productos solicitados por el área de planeamiento. En el gráfico 2.7 se muestran los sub-procesos y archivos dentro del proceso Producir.

➤ Proceso 3.1

En este proceso se realiza la fabricación de un lote del producto, el cual consiste en mezclar en un tanque la materia prima y excipientes de acuerdo a las cantidades indicadas en la orden de trabajo (OT). Se usa un agitador automático para ayudar a que la mezcla sea homogénea. Luego, se utiliza un equipo filtrador para retener las impurezas. Una vez

terminado este proceso, se entrega la documentación del lote fabricado al área de aseguramiento de la calidad para su información y registro. Paralelamente también se comprueba la calidad y las especificaciones del lote fabricado por el área de control de calidad. El producto permanece almacenado en el tanque de mezcla hasta el momento que se tenga que envasar.

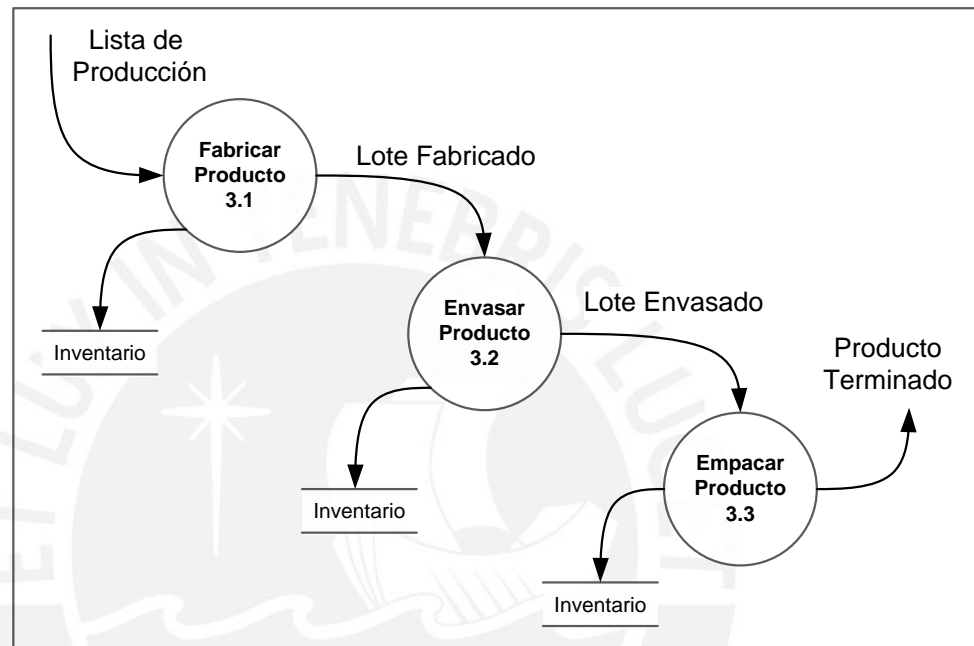


Gráfico 2.7. DFD, diagrama hijo proceso 3
Fuente: La Empresa (2013)
Elaborado en base a Miranda (2010)

Solo los productos del tipo de forma farmacéutica suspensiones requieren un periodo de reposo después de la operación de mezclado. Por lo general, estos productos se fabrican en dos días, en el primer día se realiza la mezcla y al día siguiente se procede con la filtración. Por el contrario, en el caso de los jarabes las operaciones de mezclado y filtrado se realizan en el mismo día.

Los equipos utilizados en la fabricación son los siguientes:

- Marmita de vapor de agua.
- Tanque de mezcla
- Agitador para la mezcla.

- Equipo Filtrador.

➤ Proceso 3.2

El envasado consiste en dosificar el producto en los frascos en la cantidad indicada por la OT. Para este proceso se usa una máquina envasadora semiautomática. En la misma área de envasado se encuentra una línea de operarios encargados de colocar las tapas, enroscar las tapas, secar los frascos y colocarlos en las bandejas de almacenamiento. Una vez terminado, se entrega la documentación del lote envasado al área de aseguramiento de la calidad para su información y registro. Paralelamente también se comprueba la calidad y las especificaciones del lote envasado por el área de control de calidad. Los frascos permanecen en las bandejas hasta el momento que se tenga que acondicionar.

Los equipos utilizados en el envasado son los siguientes:

- Envasadora semiautomática.
- Balanza.
- Mesa de trabajo.
- Bandejas de almacenamiento.

➤ Proceso 3.3

Finalmente se realiza el acondicionado o empacado del lote envasado. El acondicionado consiste en colocar los frascos en las cajas de presentación final. Estas cajas son codificadas con el número de lote del producto² indicado en la OT. Este proceso se lleva a cabo en una faja transportadora que facilita el recorrido de los frascos hacia los operarios. Una vez terminado, se entrega la documentación del producto terminado al área de aseguramiento de la calidad para su información y registro. El lote del producto se entrega en pallets al almacén bajo la condición de lote en cuarentena.

² El número de lote está compuesto de 6 dígitos y tiene la siguiente forma XYYZZZX, donde XX representa los dos últimos dígitos del año de fabricación, YY representa al mes de fabricación, y ZZZ es un número correlativo. Por ejemplo, 1010523 indica al lote número 052 que se fabricó en el mes de enero del año 2013

Los equipos utilizados en el acondicionado son los siguientes:

- Faja de acondicionado.
- Pallets.

Una vez concluido con el proceso Producir, el lote completo de producto terminado queda a la espera de la liberación por parte del área de aseguramiento de la calidad. La liberación consiste en dar la aprobación al lote del producto de acuerdo a la documentación consignada en el sobre técnico. Luego de que se da la aprobación, inmediatamente el área de planeamiento confirma la entrega al cliente.

2.2.4 Situación actual de los principales procesos

A continuación, se realiza una descripción de la situación actual de los procesos que se llevan a cabo en las áreas de planeamiento y producción.

a) Planeamiento

Según indicó el jefe de planeamiento, uno de los problemas que se presenta en el área es que no pueden cumplir con las fabricaciones del plan de producción. En las estadísticas mostradas en el cuadro 2.5, se puede visualizar que en promedio solo se cumplió con el 64 % del plan hasta mayo del 2013. En el mes de febrero solo se cumplió con el 20% debido a que la línea estuvo por 19 días inoperativa debido a los trabajos de mantenimiento que se llevaban a cabo.

Cuadro 2.5. Nivel de cumplimiento del plan de producción

| Periodo | Ene-13 | Feb-13 | Mar-13 | Abr-13 | May-13 | Total |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Lotes Planificados | 28 | 20 | 21 | 21 | 18 | 108 |
| Lotes Fabricados | 16 | 4 | 14 | 21 | 14 | 68 |
| %Cumplimiento | 57% | 20% | 67% | 100% | 78% | ▼64% |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

El jefe de planeamiento explica que la capacidad teórica se mide en la cantidad de lotes que se pueden fabricar en el mes. Dado que se cuenta con productos del tipo jarabes, que toman un día en fabricarse, y también del tipo suspensiones, que toman dos días en fabricarse, exactamente no se puede definir una capacidad real, por lo que consideran un estimado de 22 días disponibles al mes; y tomando como dato que para todos los productos se fabrica un lote al día se estima que se puede fabricar 22 lotes al mes. Según lo explicado por el jefe de producción, no se consideran los 8 días restantes del mes debido a que estos se utilizan para cubrir los días que faltan para la fabricación de las suspensiones y otras eventualidades que se presenten.

Asimismo, el jefe de planeamiento, indica que cada lote que se deja de fabricar pasa como pendiente al siguiente mes, lo cual se refleja en un incremento de la demanda de lotes del siguiente mes. En el gráfico 2.8, en la línea superior se muestra la evolución de lotes pendientes por fabricar a inicio de cada mes.

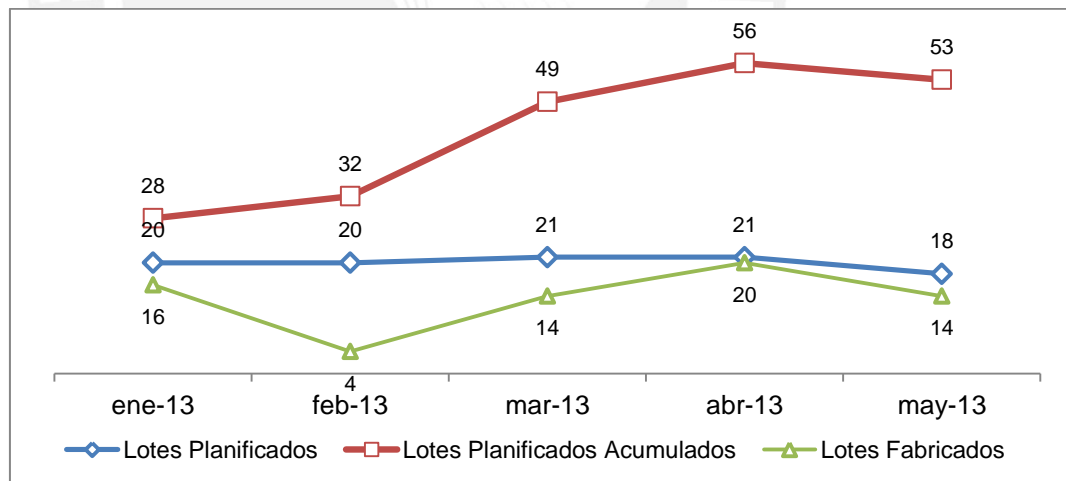


Gráfico 2.8. Comparación del número de lotes fabricados vs planificados.
Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

La línea media en el gráfico 2.8 representa al plan de producción que se proyectó para los meses de enero a mayo del 2013. Es importante resaltar que la proyección se hace como mínimo cuatro meses antes del mes de fabricación ya que se requiere comprar las materias primas y estas tienen un *lead time* de cuatro meses aproximadamente.

La línea inferior representa los lotes fabricados al final de cada mes. Sin embargo, a inicios del año ya se tenían 8 lotes pendientes por fabricar del mes de diciembre del 2012, los que sumados a los 20 lotes que se habían planificado para enero hacían un total de 28 lotes por fabricar en ese mes. Conforme se iba pasando de un mes a otro, se iba incrementando la cantidad demandada de lotes por fabricar. Al finalizar el mes de abril del 2013 se tenían 35 lotes por fabricar sumados a los 18 lotes que se tenían proyectados fabricar en ese mes nos da un total de 53 lotes por fabricar en el mes de mayo y la línea de producción ya se encontraba saturada.

Según explica el jefe de planeamiento, es difícil modificar el plan de producción debido a las urgencias que tienen los clientes por recibir sus productos y también porque con este documento están involucradas las compras de materia prima, compras de materiales de envasado y acondicionado.

Asimismo, al dejar de fabricar un producto claramente se reflejaba en una disminución en las utilidades de La Planta como se muestra en el gráfico 2.9. La gerencia de La Planta explica que en la última reunión con la gerencia general se estimaba que para este año las utilidades en la línea de líquidos no estériles deben superar los 650 mil soles que lo lograron en el año 2012.

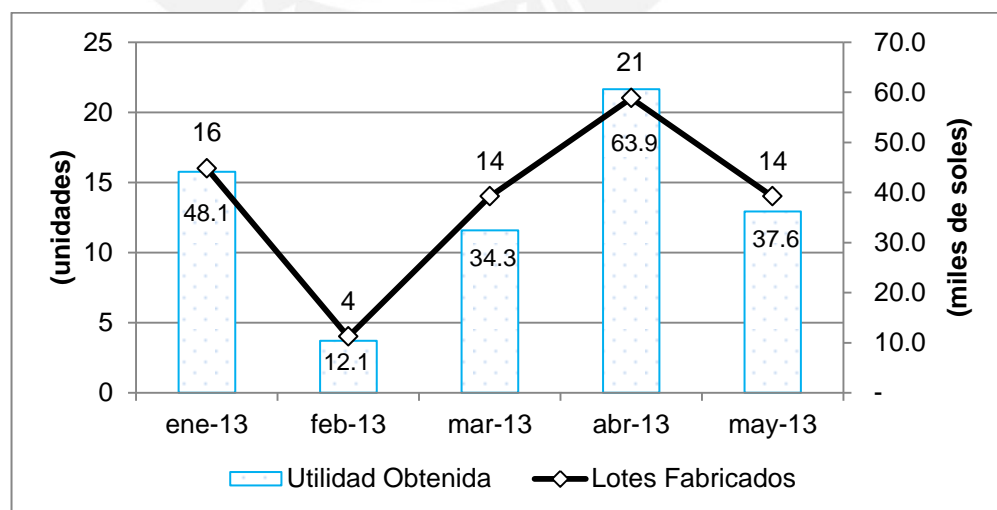


Gráfico 2.9. Utilidades obtenidas en los meses de enero a mayo 2013.

Fuente: La Empresa (2013)

Elaboración propia

b) Producción

Por parte de producción, se entrevistó a los jefes de manufactura y empaque encargados de las áreas de fabricación y envasado respectivamente. Según explican los jefes de producción, el plan no es suficiente ya que no toma en cuenta la disponibilidad de los insumos ni la disponibilidad de recursos suficientes. Se ha dejado de fabricar porque no se contaban con los insumos disponibles en el momento de iniciar la fabricación. Asimismo, se ha dejado de fabricar porque el tanque de mezcla requerido en el que se almacenó el producto fabricado aún sigue en cola a la espera de que se inicie su proceso de envasado.

En el cuadro 2.6 se indica la cantidad de días en los que no se fabricaron productos para los meses de enero a mayo del 2013. En total no se fabricaron en 56 días, pero restando los días en el que no se fabricó a causa de los trabajos de mantenimiento y días no laborables que suma 38 días, se obtiene que se dejaron de fabricar en 18 días a causa de que no se contaban con todos los insumos disponibles o que no se contaba con los tanques de mezcla desocupados.

Cuadro 2.6. Cantidad de días del mes en los que no se fabricaron.

| Periodo | Ene-13 | Feb-13 | Mar-13 | Abr-13 | May-13 | Total |
|---------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Lotes Fabricados | 16 | 4 | 14 | 20 | 14 | 68 |
| Días utilizados | 22 | 5 | 22 | 27 | 19 | 95 |
| Días disponibles | 24 | 9 | 26 | 30 | 24 | 113 |
| Días no utilizados | 9 | 23 | 9 | 3 | 12 | 56 |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

El jefe de manufactura indica que los insumos que se requieren se encuentran en La Planta pero no se pueden utilizar porque están en condición de cuarentena. Cuando un insumo llega a La Planta, inmediatamente ingresa al almacén de cuarentena para que sean inspeccionados por el personal de control de calidad. Según nos dio a conocer el jefe de control de calidad, la política de inspección de insumos se basa en lo siguiente: “el primero que llega es el primero que se inspecciona”;

y nos explica que se debe cumplir de esa manera porque el pago a los proveedores está sujeto a la aprobación de los insumos que les abastecen.

En cuanto a la disponibilidad de los tanques de mezcla, esta restricción se genera cuando hay productos en espera para ingresar al área de envasado. Mientras el producto continúa almacenado en el tanque, este equipo no se podrá utilizar hasta que el área de empaque realice el proceso de envasado. El jefe del área de envasado indica que su proceso depende de la presentación (en mililitros) del producto que se tiene que envasar y de la disponibilidad de operarios capacitados en este proceso. De todos los operarios, solo tres son fijos en el área y están entrenados en este proceso, los que faltan se completan de otras líneas de producción pero no tienen la habilidad suficiente por lo que el proceso se vuelve muy lento. Sin embargo, para que el área de manufactura pueda disponer del tanque, tiene que asignar más personal al área de envasado incurriendo en más horas-hombre e inclusive en sobretiempos.

La jornada laboral de las áreas de producción es de 8 horas/día por 5 días a la semana. Las horas extras se distribuyen en 3 horas diarias en los días de semana y 8 horas diarias para los sábados y domingos. En el área de empaque se trabaja en doble turno por la cantidad de productos existentes en todas las líneas de producción que tiene La Planta.

Se consultó con los jefes de producción sobre las horas-hombre incurridas en este mismo lapso de tiempo e inclusive las horas extras. El jefe de manufactura indica que las horas extras en la fabricación son casi inevitables por la naturaleza del producto. Hay productos que necesitan pasar más tiempo en agitación para que la mezcla pueda homogeneizarse, esto sumado a la indicación de que una vez empezado la fabricación no puede detenerse hasta que se culminen todas las operaciones, hacen que se tenga que incurrir necesariamente en horas-extras en el área de fabricación. En cambio, el jefe de empaque indica que existen horas extras en el área de envasado por el motivo de que este proceso es lento y no se han logrado automatizar todas las operaciones. La operación de dosificado (llenado del líquido al envase) es semiautomática y la máquina marca el ritmo; en cambio, la actividad de colocar y cerrar las tapas son totalmente

manuales por lo que los operarios marcan el ritmo. Así también, el riesgo de que la máquina de envasado esté mal calibrada y dosifique menos o más cantidad de líquido no permite acelerar el proceso. Cuando se detecta un error en el volumen de dosificado, se debe paralizar toda la línea de envasado y volver a calibrar la máquina. De esta manera, el ritmo del proceso de envasado es variable y como el proceso no puede detenerse una vez que ha empezado, se tiene que incurrir en horas-extras para terminar todo el lote. En el cuadro 2.7 se pueden visualizar las horas normales y horas extras incurridas durante el envasado en los cinco primeros meses del año 2013.

Cuadro 2.7. Horas hombre de envasado de enero a mayo del 2013.

| Periodo | Ene-13 | Feb-13 | Mar-13 | Abr-13 | May-13 | Total |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Horas normales | 623 | 222 | 559 | 901 | 533 | 2,838 |
| Horas extras | 269 | 134 | 138 | 463 | 224 | 1,228 |
| Total por mes | 892 | 356 | 698 | 1,364 | 756 | 4,066 |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

Finalmente, los jefes de producción explican que cuando el área de planeamiento tiene una urgencia por entregar un producto, les obligan a modificar las secuencias de producción previstas y no se logra optimizar los procesos. El jefe de manufactura indica que se puede optimizar los procesos cuando se fabrica en campaña; es decir, cuando se fabrican dos lotes consecutivos del mismo producto y del tipo suspensiones. Según explica el jefe de manufactura, con la producción en campaña la fabricación de dos lotes del mismo producto suspensiones se realizaría 3 días y no en 4 días. Con esto se ahorraría un día para poder fabricar un lote de un producto del tipo jarabe.

En el gráfico 2.10 se puede esquematizar un ejemplo de cómo se optimizaría el proceso con la fabricación en campaña. Se tienen 4 lotes de productos, de los cuales hay 2 lotes del mismo producto y son del tipo suspensiones. En la secuencia no optimizada se ve que los dos lotes del mismo producto no se fabrican en forma consecutiva y el resultado es que nos toma 4 días (días 1, 2, 4 y 5) en fabricar ambos lotes. En cambio, en la

secuencia optimizada se junta los dos lotes y se reduce el tiempo de fabricación en solo 3 días (días 1, 2 y 3).

| Secuencia no optimizada | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| Proceso | día 1 | día 2 | día 3 | día 4 | día 5 | día 6 |
| Fabricación | Suspensión 1 Lote 1 | Suspensión 1 Lote 1 | Jarabe 1 Lote 1 | Suspensión 1 Lote 2 | Suspensión 1 Lote 2 | Jarabe 2 Lote 1 |

| Secuencia optimizada | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|
| Proceso | día 1 | día 2 | día 3 | día 4 | día 5 | día 6 |
| Fabricación | Suspensión 1 Lote 1 y Lote 2 | Suspensión 1 Lote 1 y Lote 2 | Suspensión 1 Lote 1 y Lote 2 | Jarabe 1 Lote 1 | Jarabe 2 Lote 1 | Jarabe 3 Lote 1 |

Gráfico 2.10. Comparación de secuencia no optimizada vs optimizada.
Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

El jefe del área de envasado indica que si logrará envasar un lote de producto por día, no generarían cuellos de botella que ocasionan restricciones al área de manufactura por la disponibilidad de tanques. Además si se logrará reducir el tiempo del proceso de envasado, los operarios podrían apoyar en las otras líneas de producción que se están volviendo críticas.

En resumen, en los dos procesos vistos se ha encontrado lo siguiente:

- El nivel de cumplimiento del plan depende de una correcta programación de las fabricaciones y los envasados. Hasta el momento La Planta solo ha cumplido con el 64% del plan por lo que se está dejando de percibir ingresos en la línea de productos no estériles.
- No es suficiente tener el plan de producción, sino que hace falta un programa que contemple la disponibilidad de los insumos requeridos tal manera que solo se programen los que tengan todos los insumos completos (materia prima y envases) evitándose dejar de fabricar por este motivo.

- El plan que se ha estado manejando no contempla los trabajos preventivos de mantenimiento, lo cual a los jefes de producción no les permite garantizar la disponibilidad de todos los días para poder fabricar.
- Actualmente la política de secuenciación está basada en las urgencias de entrega de producto que se establecen con los clientes. Este hecho hace que se pierdan oportunidad de optimizar los procesos adecuadamente.
- El proceso de envasado es muy lento y requiere la disponibilidad de varios operarios. Logrando automatizar las operaciones se podría disponer de estos operarios a otras líneas de producción que lo necesitan.
- Estos puntos descritos serán tomados en cuenta como objetivos a mejorar en el siguiente capítulo.

2.3 Descripción de los problemas

Una vez que hemos descrito y analizado los principales procesos procedemos a encontrar los principales problemas. Para realizar esto utilizaremos las herramientas de *brainstorming* y análisis causa-efecto.

2.3.1 Aplicación de *Brainstorming*

Para identificar los problemas más relevantes que afectan a la línea de producción de líquidos no estériles se utilizó la herramienta de *brainstorming* o lluvia de ideas.

Se seleccionó a un grupo de personas con experiencia en la línea de producción de líquidos no estériles, entre ellos, el jefe del área de manufactura, el jefe del área de empaque, un operario de manufactura, un operario de empaque y el jefe de planeamiento. Se procedió a realizar una lluvia de ideas del tipo no estructurado en un lapso de 25 minutos. En consenso con todo el grupo, se eliminó las duplicaciones y los problemas no importantes. Luego, para seleccionar los problemas más significativos, cada integrante procedió a calificar de acuerdo a un puntaje de 0 a 4. Dándole el

valor de 4 al problema con impacto muy alto, 3 al problema con impacto alto, 2 al problema con impacto regular, 1 al problema con impacto bajo y 0 al problema con impacto muy bajo, según el punto de vista de cada integrante.

Tabla 2.1. Escala de calificación

| Grado de impacto | Puntuación |
|------------------|------------|
| Muy alto | 4 |
| Alto | 3 |
| Regular | 2 |
| Bajo | 1 |
| Muy bajo | 0 |

Elaboración propia

Luego, se obtuvo el porcentaje de cada problema tomando como total la sumatoria de los puntajes. A la vez, se añadió una columna con el porcentaje acumulado para obtener el 30% de los problemas vitales que hacen que se originen el 62% de los efectos. Este valor nos sirve para realizar el análisis Pareto. Los resultados se pueden ver en los gráficos 2.11 y 2.12.

| ID | Principales problemas encontrados. | Jefe de Manufactura | Jefe de Empaque | Operario de Manufactura | Operario de Empaque | Jefe de Planeamiento | sumatoria | % | % acumulado |
|--------------|--|---------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|----------------------|-----------|-------------|-------------|
| A | Se pierde oportunidad de obtener más ingresos. | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 20 | 22% | 22% |
| B | Hay una falta de optimización en el proceso de fabricación. | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 19 | 21% | 43% |
| C | El proceso de envasado restringe el uso de tanques. | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 17 | 19% | 62% |
| D | Las actividades de mantenimiento (correctivo) paralizan la producción. | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 8 | 9% | 70% |
| E | La demora en las inspecciones de calidad retrasa la entrega del producto. | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 6 | 7% | 77% |
| F | No se cuenta con equipos independientes en cada área. | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 5 | 5% | 82% |
| G | Urgencias en la entrega de productos afectan la normalidad de los procesos. | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5% | 88% |
| H | Se utiliza tiempo en exceso para la limpieza de las áreas de fabricación y envasado | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 4% | 92% |
| I | La desinfección de frascos y tapas puede ser evitado comprando materiales asépticos. | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 4 | 4% | 97% |
| J | No se puede fabricar a falta de materiales aprobados para envasar el producto. | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3% | 100% |
| Total | | | | | | | 91 | 100% | |

Gráfico 2.11. Principales problemas y la puntuación asignada
Elaboración propia

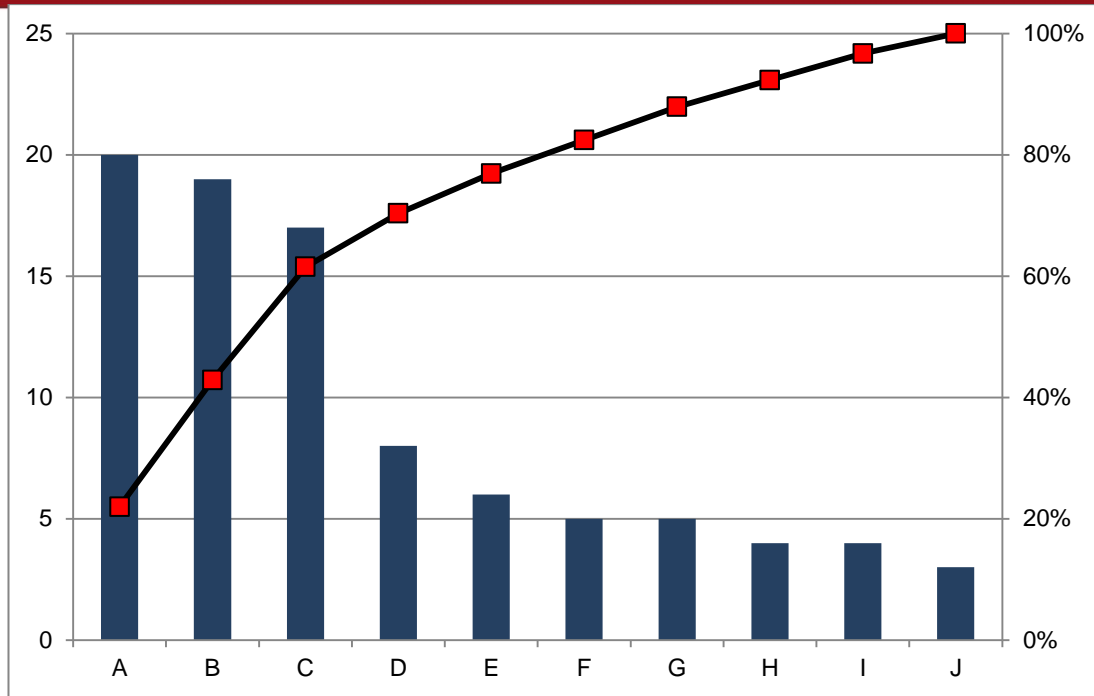


Gráfico 2.12. Análisis de Pareto
Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de causa y efectos de los siguientes problemas:

- Se pierde oportunidad de obtener más ingresos.
- Hay una falta de optimización en el proceso de fabricación.
- El proceso de envasado restringe el uso de tanques.

2.3.2 Aplicación de análisis causa-efecto.

Se realizó un análisis causa-efecto para cada uno de los puntos obtenidos por el análisis de Pareto. Mediante este análisis podremos determinar los principales factores que pueden estar vinculados a cada uno de los problemas escogidos. En este análisis también participaron los jefes de cada área, dos operarios y el jefe de planeamiento.

Los resultados se pueden ver en los gráficos 2.13, 2.14 y 2.15.

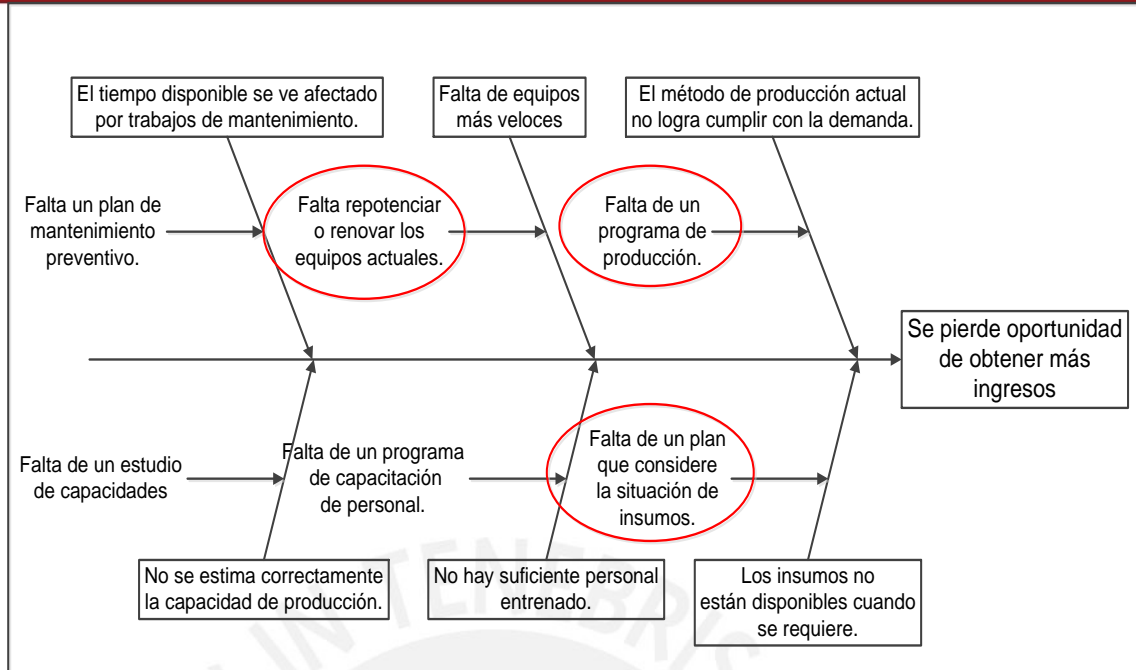


Gráfico 2.13. Se pierde oportunidad de obtener más ingresos.
Elaboración propia

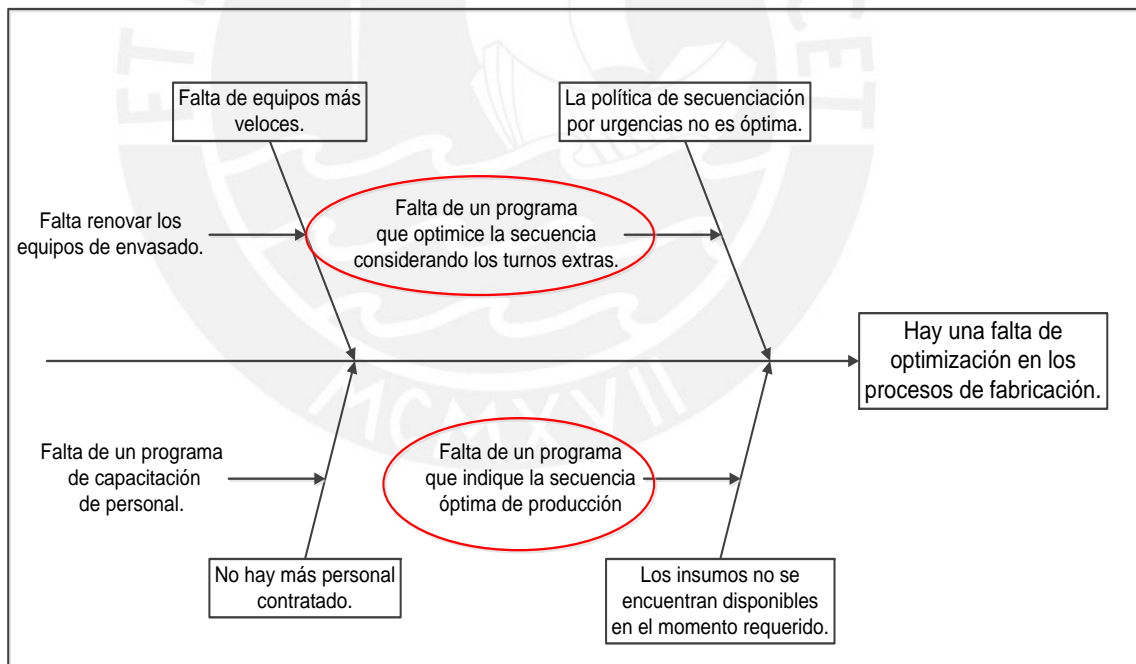


Gráfico 2.14. Hay una falta de optimización en el proceso de fabricación.
Elaboración propia

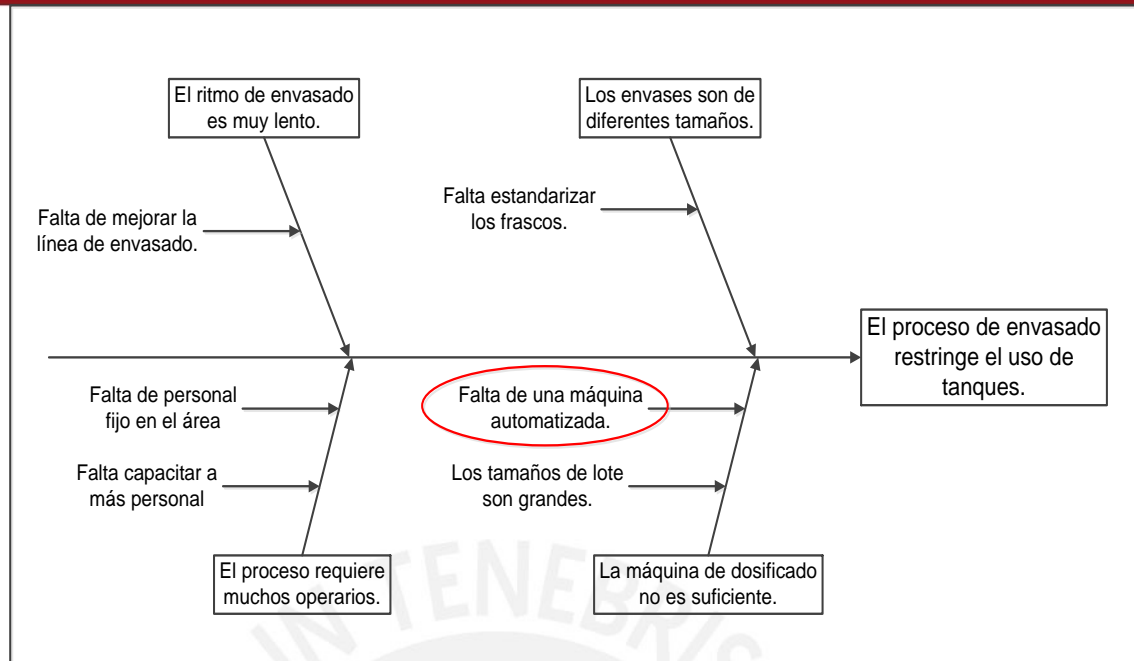


Gráfico 2.15. El proceso de envasado restringe el uso de tanques.
Elaboración propia

De los tres gráficos de análisis causa-efecto, se han tomado los siguientes factores como propuesta de mejora a realizar en el siguiente capítulo de la tesis.

- Obtener un programa de producción que optimice la secuencia considerando los turnos extras (sábados y domingos) y los insumos disponibles.
- Renovar los equipos de envasado tal que el proceso de envasado sea más eficiente en todos los productos y que el nivel de producción se restrinja por la disponibilidad de los tanques.

CAPÍTULO 3 PLAN DE MEJORAS

En el presente capítulo se describirán las mejoras propuestas para los principales problemas detectados en la línea de producción de líquidos no estériles. Además, se evalúa la factibilidad económica de tales propuestas.

3.1 Metodología a seguir

Se propondrán dos mejoras para solucionar los problemas antes detectados. Primero, se realizará una mejora en el proceso de envasado mediante la implementación de una línea automática que reduzca el *lead time* del proceso en menos de un día por cada lote de producto. Luego, con la primera mejora implementada, se elaborará un programa de producción mensual con el apoyo de un modelo de programación lineal entera mixta por metas, el cual nos ayudará a encontrar una secuencia óptima de producción tal que podamos maximizar las utilidades y mejorar la utilización de los recursos disponibles.

En las siguientes secciones se describirá la mejora realizada en el proceso de envasado y también el desarrollo del programa de producción con el objetivo de optimizar los procesos e incrementar los ingresos en la línea de líquidos no estériles.

3.2 Línea automática de dosificado, tapado y etiquetado

Para llevar a cabo el estudio, se escogió el producto llamado suspensión 37 como el más representativo por su alta demanda.

Las operaciones de los procesos de envasado y acondicionado que trataremos son los siguientes: dosificado, tapado y etiquetado. El dosificado se viene realizando en la máquina dosificadora de líquidos semiautomática Daumaq Modelo DL1 que se muestra en el gráfico 3.1. Antes de operar la máquina primero se debe esterilizar las partes que están en contacto con el producto, luego se regula el volumen de dosificado y, finalmente, se conecta la manguera

al tanque que contiene el producto fabricado. Una vez preparada la máquina, se pone en marcha, y se va colocando los frascos de dos en dos en los émbolos dosificadores mientras la máquina va llenando el envase con el producto. La velocidad de dosificado varía de acuerdo con la presentación del producto (mayor para 15ml y menor para 180ml). Actualmente, el negocio oferta 12 presentaciones que se detallan en la tabla 3.1.



Gráfico 3.1. Dosificadora semiautomática Daumaq DL1
Fuente: www.daumaq.com.ar

Antes del dosificado, hay un operario que se encarga de alimentar los envases colocándolos al alcance del operario que manipula la máquina. Luego de llenar el líquido en el frasco, hay un operario que se encarga de realizar una inspección visual a cada frasco para verificar el nivel de dosificado. Después, un operario coloca las tapas a los frascos, dos operarios se encargan de darle el torque para cerrar la tapa, un operario se dedica a secar los frascos que se han mojado y finalmente un operario coloca los frascos en bandejas.

Una vez concluido con envasar todo el lote del producto, los operarios realizan la limpieza del área de envasado, de la máquina, del tanque y los demás equipos utilizados. Las bandejas que contienen los frascos se envían al área de acondicionado.

En el área de acondicionado la primera actividad que se realiza es la de pegar las etiquetas en los envases. Para realizar esto, un operario debe alimentar los envases que se encuentran en las bandejas, dos operarios se encargan de

pegar las etiquetas y un tercer operario realiza la inspección visual y limpia los frascos.

Tabla 3.1. Velocidad de dosificado por presentación

| Presentación (mililitros) | Velocidad dosificado (unid/min) | Cantidad de productos |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 10 | 40 | 4 |
| 15 | 40 | 6 |
| 20 | 38 | 1 |
| 30 | 38 | 3 |
| 50 | 36 | 1 |
| 60 | 34 | 15 |
| 80 | 30 | 1 |
| 90 | 30 | 2 |
| 100 | 28 | 3 |
| 120 | 28 | 1 |
| 150 | 26 | 2 |
| 180 | 22 | 1 |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

En todas estas operaciones mencionadas han intervenido un total de doce operarios por turno trabajando de manera secuencial. En el cuadro 3.1 se muestra las horas de proceso y horas-hombre incurridas en cada proceso para el producto suspensión 37.

Cuadro 3.1. Horas utilizadas en el envasado y acondicionado.

| Producto: Tamaño de lote: Mes: Abril | Suspensión 37 5,717 unidades Lote: 01 | Horas Operación | Horas Hombre |
|--|---|-----------------|--------------|
| Proceso de envasado: dosificado y tapado. | | 6.25 | 50.00 |
| Proceso de acondicionado: etiquetado. | | 8.25 | 33.00 |
| Proceso total | | 14.5 | 83.00 |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

El proceso de envasado tuvo una duración de 6.25 horas que multiplicado por el número de 8 personas nos da un total de 50 horas-hombre. El proceso de acondicionado tomó 8.25 horas que multiplicado por un número de 4 personas nos da un total de 33 horas-hombre.

Para lograr una reducción significativa de tiempo en ambos procesos, se sugiere la adquisición de una línea automática del proveedor VC Seraming S.R.L. cuya cotización se encuentra en el Anexo 1. Esta línea realiza las operaciones principales de dosificado, tapado y etiquetado, tal como se muestra en el gráfico 3.2. Con esta línea solo se necesita cuatro operarios que se encarguen del monitoreo y control en las tres operaciones que realiza. Según las especificaciones dadas por el proveedor, esta línea es capaz de procesar 5,760 unidades en una hora. Es decir, puede llenar, tapar y etiquetar un lote del producto suspensión 37 en una hora.

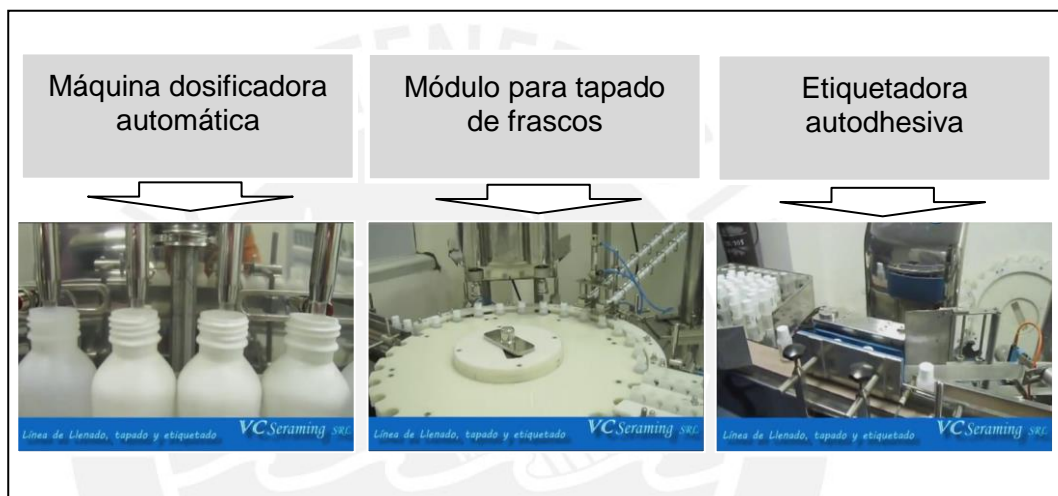


Gráfico 3.2. Línea automática-operaciones principales
Fuente: VC Seraming S.R.L (2013)

Considerando los cuatro operarios trabajando una hora en las operaciones de dosificado, tapado y etiquetado, solo se necesitarían 4 horas-hombre para procesar un lote del producto suspensión 37. En el cuadro 3.2 se muestra la cantidad de operarios antes y luego de la propuesta.

Cuadro 3.2. Cantidad de operarios antes y luego de la propuesta

| Operación | Proceso | Antes | Luego |
|--------------|---------------|-------|-------|
| Dosificado | Envasado | 8 | 4 |
| Etiquetado | Acondicionado | 4 | |
| Tapado | | | |
| Total | | 12 | 4 |

Fuente: La Empresa (2013)

La línea de automática es muy flexible en cuanto al nivel de dosificado. Tiene la capacidad de envasar desde 5ml hasta 500ml por cada émbolo y fácilmente se

adapta a todas las presentaciones de todos los productos con que cuenta La Planta. Asimismo, la preparación y limpieza de esta máquina toman aproximadamente una hora que es el mismo tiempo que se demora en preparar la máquina actual.

3.3 Modelación del programa de producción

El plan proyectado que actualmente se aplica en el área de planeamiento está realizado según la política de stocks por coberturas que implica fabricar los productos con un bajo nivel de stock. Por este motivo, el plan proyectado no permite optimizar los procesos de producción en la línea, y tampoco permite ahorrar en costos extras en el que se incurren para cumplir con las urgencias.

Para mitigar este inconveniente se plantea realizar un modelo de programación lineal entera mixta por metas que nos indique cuántos lotes de cada producto fabricar y en qué días se deben realizar para atender la demanda en el plan proyectado considerando la capacidad de La Planta; los insumos disponibles en el almacén y la prioridad de atención a los clientes tal que se pueda maximizar el nivel de ingresos con un impacto positivo en el nivel cumplimiento del plan proyectado.

3.3.1 Formulación del modelo

En los últimos cinco meses, La Planta tuvo un nivel de cumplimiento promedio de los pedidos del 64%. Esto sugiere aprovechar más los recursos para mejorar el nivel y así obtener más utilidades. Para tal fin, el área de planificación, en coordinación con las demás áreas, deben diseñar un programa de producción que le indique los productos que se fabricarán a lo largo del mes considerando las restricciones que se presentan en los procesos de planificación y producción.

En las siguientes líneas se explicará los procesos planificación y producción, y en forma paralela se irá desarrollando el modelo matemático.

Proceso de planificación

La empresa cuenta con una política de stocks para cada cliente en base a coberturas. La cobertura es un ratio que indica la cantidad de meses que el stock actual podrá atender la demanda. En la tabla 3.2 se puede apreciar la política de stock para cada cliente. Por ejemplo, para los productos del cliente “LLPP”, se debe tener como mínimo stock para 4 meses. En caso de que este ratio sea 3.8 (menor a 4.0), se demandará producir más lotes para poder alcanzar la cobertura de 4.0.

Tabla 3.2. Política de stocks

| Cliente | Cobertura de stock mínima |
|----------------|----------------------------------|
| LLPP | 4.0 meses |
| Retail | 3.0 meses |
| Terceros | 2.5 meses |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

También se cuenta con un registro de venta mensual para cada producto. En el cuadro 3.3 se muestra el registro de ventas de los seis últimos meses para tres productos representativos en cada tipo de cliente. En cada producto se obtiene un promedio de venta mensual que servirá como dato para realizar el plan proyectado. Por ejemplo en el producto Jarabe 25, el dato de venta mensual promedio de los últimos seis meses es de 4,162 unidades.

Cuadro 3.3. Registro de ventas mensuales de tres productos

| Cliente | Producto | Jul-12 | Ago-12 | Set-12 | Oct-12 | Nov-12 | Dic-12 | Venta promedio |
|----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| LLPP | Jarabe 25 | 1,713 | 2,651 | 3,807 | 6,501 | 5,641 | 4,658 | 4,162 |
| Retail | Suspensión 06 | 4,767 | 4,050 | 5,691 | 6,374 | 7,104 | 6,925 | 5,819 |
| Terceros | Jarabe 05 | 3,126 | 3,750 | 4,562 | 3,958 | 5,101 | 5,213 | 4,285 |

Fuente: La Empresa (2013)

Con la cobertura de stock mínima por cada cliente, la venta mensual promedio el responsable de planificación realiza un plan de producción proyectado para el primer semestre. Por ejemplo, en el cuadro 3.4, el Jarabe 25 cuenta con 10,002 unidades como stock a inicial al mes de enero del

2013, lo que equivale a tener una cobertura de 2.4 meses. Para cumplir con la política de stock, se planifica producir 2 lotes en el mes de enero que equivalen a 12,252 unidades. Si a esto se le resta la venta mensual promedio, se proyecta que al final del mes de enero quedará 18,092 unidades en stock, lo que equivale a tener 4.3 meses de cobertura. La ecuación para determinar la cobertura es la siguiente:

$$\text{Cobertura} = \frac{\text{Stock del producto (unidades)}}{\text{Venta mensual promedio (unidades)}}$$

Cuadro 3.4. Ejemplo del plan proyectado

| Datos | | | | Planificación | | Resultados proyectados | |
|---------------|--------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------|------------------------|-----------|
| Producto | Tamaño de lote STD | Stock inicial ene-13 | Venta promedio | #lotes a fabricar | Unidades | Stock final ene-13 | Cobertura |
| Jarabe 25 | 6,126 | 10,002 | 4,162 | 2 | 12,252 | 18,092 | 4.3 |
| Suspensión 06 | 5,717 | 6,542 | 5,819 | 3 | 17,151 | 17,875 | 3.1 |
| Jarabe 05 | 19,602 | 9,950 | 8,083 | 1 | 19,602 | 21,469 | 2.7 |

Fuente: La Empresa (2013)

De este modo, se tendrá una lista de lotes de productos demandados en el mes que el responsable de producción deberá obtener en el mes. Dada la limitada capacidad, habrá productos que no se podrán realizar por lo que quedarán como pendiente a realizarse en el mes siguiente.

De acuerdo a la política de stocks de la empresa, cada cliente que es dueño del producto tendrá una prioridad de atención. En el modelo utilizaremos a P_1 que indicará la prioridad del cliente 1, P_2 que indicará la prioridad del cliente 2 y P_3 que indicará la prioridad del cliente 3. Aquí el cliente 1 representa a “LLPP”, el cliente 2 representa a “Retail”, y el cliente 3 representa a “Terceros”, y la relación de los tres clientes es

$$P_1 \gg P_2 \gg P_3$$

En el cuadro 3.3, se aprecia la cantidad de lotes demandados en el plan proyectado de producción de enero a mayo del 2013 obtenido a inicios del mes de enero. Como el periodo tomado para efectos de la modelación será de un mes, sea $JabD_i$ la cantidad de lotes del jarabe i que se demandan en

el mes y $SusD_j$ la cantidad de lotes de la suspensión j que se demandan en el mes, en donde $i=1, \dots, 31$ y $j=1, \dots, 9$.

Cuadro 3.3. Plan proyectado de enero a mayo del 2013.

| Producto | Unid STD x lote | Ene-13 | Feb-13 | Mar-13 | Abr-13 | May-13 |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jarabe1 | 12,545 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe2 | 6,534 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe3 | 6,534 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe4 | 9,801 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe5 | 19,602 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| Jarabe6 | 7,841 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe7 | 14,702 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Jarabe8 | 14,702 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe9 | 4,901 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Jarabe10 | 5,445 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe11 | 4,901 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe12 | 4,901 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Jarabe13 | 5,717 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Jarabe14 | 5,881 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe15 | 1,634 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe16 | 9,801 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe17 | 4,901 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Jarabe18 | 8,168 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Jarabe19 | 5,717 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Jarabe20 | 9,801 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Jarabe21 | 14,702 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe22 | 14,702 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe23 | 4,901 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Jarabe24 | 11,761 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Jarabe25 | 6,126 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| Jarabe26 | 4,901 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarabe27 | 2,450 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Jarabe28 | 9,801 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Jarabe29 | 12,545 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| Jarabe30 | 13,068 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Jarabe31 | 2,940 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Suspensión 1 | 2,352 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Suspensión 2 | 5,717 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Suspensión 3 | 5,717 | 2 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| Suspensión 4 | 1,906 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Suspensión 5 | 3,430 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Suspensión 6 | 5,717 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| Suspensión 7 | 2,352 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| Suspensión 8 | 5,717 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Suspensión 9 | 6,861 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Total lotes | | 28 | 20 | 21 | 21 | 14 |

Fuente: La Empresa (2013)

Dado que no siempre se podrá atender la cantidad demanda de lotes, sea $JabP_i$ cantidad de lotes del jarabe i que se producen en el mes, $SusP_j$ cantidad de lotes de la suspensión j que se producen en el mes, $JabNP_i$ cantidad de lotes del jarabe i que se dejan de producir en el mes y $SusNP_j$

cantidad de lotes de la suspensión j que se dejan de producir en el mes, en donde $i=1, \dots, 31$ y $j=1, \dots, 9$. Esto nos ayudará a saber la cantidad de lotes que estamos produciendo y la cantidad de lotes que dejamos de producir con lo cual construimos las siguientes restricciones:

$$\text{JabP}_i + \text{JabNP}_i = \text{JabD}_i \quad ; \quad \forall i=1, \dots, 31. \quad (1)$$

$$\text{SusP}_j + \text{SusNP}_j = \text{SusD}_j \quad ; \quad \forall j=1, \dots, 9. \quad (2)$$

Tener en cuenta que la cantidad de lotes que se dejan de producir en el mes de enero JabNP_i y SusNP_j se adicionarán a la demanda de lotes del mes de febrero y lo mismo para los siguientes meses.

Para iniciar la producción de cualquier producto, el responsable de producción verifica la disponibilidad de los insumos. El insumo principal que se utiliza en el proceso de fabricación es la materia prima; en el proceso de envasado, los envases y en el proceso de acondicionado, las cajas. Según indica el jefe de planeamiento, las materias primas y los envases tienen un *lead time* muy significativo: cuatro meses para el primero y dos meses para el segundo. En el caso de las cajas, estos tienen un *lead time* de una semana por lo que para la elaboración del programa no se considera como insumo crítico.

En el cuadro 3.4 se muestran el stock de materia prima y envases a inicios del mes de enero siendo este el primer mes a modelar. En el modelo sea MPo_w la cantidad de kilogramos de materia prima w que existen al inicio del mes y ENO_z la cantidad de unidades de envases z que existe al inicio del mes. De igual manera sea MPU_w la cantidad de kilogramos de materia prima w utilizados en la producción del mes, ENU_z la cantidad de unidades de envases z utilizados en la producción del mes, MPf_w la cantidad de kilogramos de materia prima w que queda al final del mes y ENf_z la cantidad de unidades de envases z que quedan al final del mes, en donde $w=1, \dots, 25$ y $z=1, \dots, 26$. Estos se usarán en las siguientes restricciones:

$$\text{MPU}_w + \text{MPf}_w = \text{MPo}_w \quad ; \quad \forall w=1, \dots, 25. \quad (3)$$

$$\text{ENU}_z + \text{ENf}_z = \text{ENO}_z \quad ; \quad \forall z=1, \dots, 26 \quad (4)$$

Cuadro 3.4. Stock inicial de materia prima y envases

| Materia prima | | Envases | |
|---------------|------------|---------|-------------|
| Código | Cantidad | Código | Cantidad |
| MP1 | 230 kg | ENV1 | 0 unid |
| MP2 | 20 kg | ENV2 | 0 unid |
| MP3 | 60 kg | ENV3 | 6,850 unid |
| MP4 | 200 kg | ENV4 | 10,250 unid |
| MP5 | 12 kg | ENV5 | 24,599 unid |
| MP6 | 0 kg | ENV6 | 3,787 unid |
| MP7 | 3.828 kg | ENV7 | 18,294 unid |
| MP8 | 268.801 kg | ENV8 | 14,307 unid |
| MP9 | 37.547 kg | ENV9 | 991 unid |
| MP10 | 20 kg | ENV10 | 6,463 unid |
| MP11 | 13.176 kg | ENV11 | 20,512 unid |
| MP12 | 0.643 kg | ENV12 | 25,016 unid |
| MP13 | 13.176 kg | ENV13 | 5,323 unid |
| MP14 | 89.093 kg | ENV14 | 7,901 unid |
| MP15 | 4.293 kg | ENV15 | 23,272 unid |
| MP16 | 0.286 kg | ENV16 | 0 unid |
| MP17 | 18.367 kg | ENV17 | 0 unid |
| MP18 | 0.562 kg | ENV18 | 15,064 unid |
| MP19 | 52.258 kg | ENV19 | 14,067 unid |
| MP20 | 487.1 kg | ENV20 | 3,450 unid |
| MP21 | 153.53 kg | ENV21 | 12,329 unid |
| MP22 | 0.075 kg | ENV22 | 32,698 unid |
| MP23 | 9.58 kg | ENV23 | 9,105 unid |
| MP24 | 136.753 kg | ENV24 | 3,365 unid |
| MP25 | 53.741 kg | ENV25 | 9,308 unid |
| | | ENV26 | 0 unid |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

Al final de cada mes modelado, los valores de los parámetros MPf_w y ENf_z que representan al stock final de materia prima y envases respectivamente, se asignarán a los parámetros MPo_w y ENo_z siendo estos los valores iniciales de stock de insumos existente del siguiente periodo. Además, en el cuadro 3.5 se muestra los nuevos ingresos previstos de materia prima y envases para los meses de enero a mayo del 2013. Para considerarlos en el modelo, estos valores se suman directamente a los valores de MPo_w y ENo_z . Por ejemplo si en el mes de enero el stock final de MP09 fue de 10kg, entonces el valor del stock inicial de MP09 para febrero será de 10kg, y si además existe un ingreso de 50 kg para el mes de febrero, entonces el stock inicial de MP09 del mes de febrero será de 60kg. Recordar que estos

valores son parámetros por lo que el programador deberá introducirlos al modelo manualmente.

Cuadro 3.5. Ingresos de insumos previstos de febrero a mayo

| Código insumo | Feb-13 | Mar-13 | Abr-13 | May-13 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|
| MP07 | | 14 kg | | |
| MP08 | | 340 kg | | |
| MP09 | 50 kg | | | 200 kg |
| MP14 | 150 kg | | | 150 kg |
| MP18 | 1 kg | | | 1 kg |
| MP20 | | | 480 kg | |
| MP21 | | 100 kg | | |
| MP22 | 5 kg | | | |
| MP23 | | | 20 kg | |
| MP25 | | | 100 kg | |
| ENV05 | | 42000 unid | | 42000 unid |
| ENV06 | 10000 unid | 8000 unid | | |
| ENV07 | | 36000 unid | 12000 unid | |
| ENV08 | | | 23000 unid | |
| ENV11 | | 25000 unid | | |
| ENV12 | | 15000 unid | | |
| ENV13 | | | 6000 unid | 6000 unid |
| ENV14 | 3000 unid | 8000 unid | | 4600 unid |
| ENV15 | 5670 unid | | | 13000 unid |
| ENV17 | 5966 unid | | | |
| ENV18 | | 25000 unid | | 12500 unid |
| ENV19 | | 13700 unid | | |
| ENV20 | | | 3000 unid | |
| ENV21 | | | 10000 unid | |
| ENV22 | 30000 unid | | 40000 unid | |
| ENV23 | | | 3150 unid | 3150 unid |
| ENV24 | | 1500 unid | | |
| ENV25 | | | 12000 unid | |
| ENV26 | | 7500 unid | | |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

Los procesos principales de producción en la línea de líquidos no estériles son fabricación, envasado y acondicionado. En cada lote de producto los procesos se realizan de forma consecutiva, uno tras otro.

- Proceso de fabricación

El proceso de fabricación está compuesto por dos operaciones principales: mezclado y filtrado. Primero se realiza la operación de mezclado y luego la operación de filtrado; ambas operaciones se realizan en la misma área de fabricación por lo que solo se puede realizar una operación a la vez. En el modelo se utilizaron las siguientes variables binarias:

M_dJ_i : decisión de mezclar en el día d un lote del jarabe i , donde $i=1, \dots, 31$.

F_dJ_i : decisión de filtrar en el día d un lote del jarabe i , donde $i=1, \dots, 31$.

M_dS_j : decisión de mezclar en el día d un lote de la suspensión j , donde $j=1, \dots, 9$.

F_dS_j : decisión de filtrar en el día d un lote de la suspensión j , donde $j=1, \dots, 9$.

El rango del dígito d se definirá más adelante.

Tabla 3.3. Duración de operación por lote.

| Tipo de Producto | Operación | Tiempo |
|--|-----------|----------|
| Jarabe | Mezclado | 0.5 días |
| | Filtrado | 0.5 días |
| Total duración del <i>lead time</i> de fabricación | | 1 día |
| Suspensión | Mezclado | 1 día |
| | Filtrado | 1 día |
| Total duración del <i>lead time</i> de fabricación | | 2 días |

Fuente: La Empresa (2013)

Elaboración propia

El tiempo de duración de cada operación se muestra en la tabla 3.3. El *lead time* del proceso de fabricación se mide en días por lote y difiere según el tipo de producto que se va a procesar (jarabe o suspensión). En caso de fabricar un lote de jarabe, las actividades de mezclado y filtrado se realizarán en el mismo día, por lo que el proceso de fabricación tendrá un *lead time* de un día por cada lote de jarabe. En caso de que se fabrique un lote de suspensión, las actividades de mezclado y filtrado se realizarán en dos días consecutivos, por lo que el proceso de fabricación tendrá un *lead time* de dos días por cada lote de suspensión. En los gráficos 3.3 y 3.4 se

muestra un ejemplo de programación de lotes de jarabes y un ejemplo de programación de lotes de suspensiones respectivamente.

| Operación | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 |
|-----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|
| Mezclado | M_1J_3 | M_2J_8 | M_3J_{10} | M_4J_{15} | M_5J_3 | M_6J_{10} |
| Filtrado | M_1J_3 | M_2J_8 | M_3J_{10} | M_4J_{15} | M_5J_3 | M_6J_{10} |

Gráfico 3.3. Ejemplo de programación de lotes de jarabes
Elaboración propia

| Operación | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Mezclado | M_1S_5 | - | M_2S_8 | - | M_5S_5 | - |
| Filtrado | - | F_2S_5 | - | F_2S_8 | - | F_6S_5 |

Gráfico 3.4. Ejemplo de programación de lotes de suspensiones
Elaboración propia

Para efectos de la contabilización, un lote de producto se considera como lote fabricado del mes de contabilizado si su operación de mezclado y filtrado se realizan en el mismo periodo. De esta manera, se tendrá que definir los límites de fechas de fabricación para cada tipo de producto. Para esto, utilizamos la sigla td_m para denotar al total de días que existen en el mes m . Los valores de m son 1=enero, 2=febrero, 3= marzo, 4= abril y 5= mayo; de esta manera, $td_1=31$, $td_2=28$, $td_3=31$, $td_4=30$ y $td_5=31$. Entonces, para que cualquier lote de un jarabe sea contabilizado dentro del mes, la fecha más temprana para mezclar y filtrar un lote de jarabe es el primer día del mes y la fecha más tardía es el día td_m (ver gráfico 3.5); por otra parte, para que cualquier lote de una suspensión sea contabilizado dentro del mes, la fecha más temprana que puede mezclar es el primer día y la fecha más temprana que se puede filtrar es el segundo día, en cambio, la fecha más tardía que se puede mezclar es el día td_m-1 (penúltimo día) y la fecha más tardía que se puede filtrar es el día td_m (ver gráfico 3.6). De este modo, el rango de valores del dígito d para las variables M_dJ_i y F_dS_j será $d=1, \dots, td_m$, para M_dS_j , $d=1, \dots, td_m-1$ y para F_dS_j , $d=2, \dots, td_m$.

| Operación | Día 1 | Día 2 | ... | Día td_{m-1} | Día td_m |
|-----------|----------|----------|-----|----------------------|------------------|
| Mezclado | M_1J_3 | M_2J_8 | ... | $M_{td_{m-1}}J_{19}$ | $M_{td_m}J_{10}$ |
| Filtrado | M_1J_3 | M_2J_8 | ... | $M_{td_{m-1}}J_{19}$ | $M_{td_m}J_{10}$ |

Gráfico 3.5. Fechas límites de fabricación en jarabes
Elaboración propia

| Operación | Día 1 | Día 2 | ... | Día td_{m-1} | Día td_m |
|-----------|----------|----------|-----|-------------------|---------------|
| Mezclado | M_1S_5 | - | ... | $M_{td_{m-1}}S_7$ | - |
| Filtrado | - | F_2S_5 | ... | - | $F_{td_m}S_7$ |

Gráfico 3.6. Fechas límites de fabricación en suspensiones
Elaboración propia

La capacidad de La Planta para el proceso de fabricación depende de la disponibilidad del área. En el modelo se define el parámetro dia_d que toma el valor de 1 si el área de fabricación está disponible para trabajar en el día d , y 0 en caso contrario, donde $d=1, \dots, td_m$. Los valores de dia_d serán 0 en los días feriados y cuando el área se encuentre en mantenimiento. Este valor lo define el programador y es dato de entrada para el modelo.

Dado que para cada lote de un jarabe se pueden realizar las operaciones de mezclado y filtrado en el mismo día, la decisión de programarlo solo dependerá de la disponibilidad del área, o sea del valor que previamente se ha definido para dia_d . En este caso elaboramos las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^{31} M_d J_i \leq dia_d ; \forall d=1, \dots, td_m. \quad (a)$$

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i \leq dia_d ; \forall d=1, \dots, td_m. \quad (b)$$

Para el caso de las suspensiones la fabricación de cada lote se debe realizar en dos días; sin embargo, se puede utilizar la producción en campaña que es un caso especial de la operación de mezclado cuando se programan, de forma consecutiva, dos lotes de un mismo producto del tipo suspensión. El *lead time* de fabricación para dos lotes consecutivos de suspensiones es cuatro días, pero con la producción en campaña el *lead time* se puede reducir a tres días. Ver gráfico 3.7.

| Operación | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 |
|-----------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| Mezclado | M ₁ S ₅ M ₁ S ₅ | - | - | M ₄ S ₈ | - | Libre |
| Filtrado | - | F ₂ S ₅ | F ₃ S ₅ | | F ₅ S ₈ | - |

Gráfico 3.7. Ejemplo de programación de lote campaña
Elaboración propia

En el gráfico 3.7 se han programado las operaciones de fabricación para 3 lotes de suspensiones (2 lotes de la suspensión 5 y 1 lote de la suspensión 8). Las posibles secuencias de fabricación han sido las siguientes:

- Secuencia 1: suspensión 5 – suspensión 5 – suspensión 8;
- Secuencia 2: suspensión 5 – suspensión 8 – suspensión 5;
- Secuencia 3: suspensión 8 – suspensión 5 – suspensión 5;

Si tomamos la secuencia “a” o la secuencia “c” podríamos realizar la fabricación de los dos lotes de la suspensión 5 en 3 días (la secuencia “a” se muestra en el gráfico 3.7), pero si tomamos la secuencia “b” (mostrado en el gráfico 3.4) la fabricación de los dos lotes de la suspensión 5 se realizarían en 4 días necesariamente. El primer lote de la producción en campaña sigue el proceso normal ya que se mezcla en el primer día y se filtra en el segundo día, en cambio, el segundo lote (lote campaña) se mezcla en el primer día y se filtra en el tercer día.

Para que un lote campaña sea contabilizado dentro del mes, este debe ser fabricado (mezclado y filtrado) en el mismo mes, por lo que su fecha más temprana de mezclado es el primer día del mes y su fecha más temprana de filtrado, el tercer día del mes; en cambio, la fecha más tardía del mezclado es td_m-2 y del filtrado, td_m . Ver gráfico 3.8.

| Operación | Día 1 | Día 2 | Día 3 | ... | Día td_m-2 | Día td_m-1 | Día td_m |
|-----------|--|-------------------------------|-------------------------------|-----|--|---|---|
| Mezclado | M ₁ S ₅ M ₁ S ₅ | - | - | ... | M _{td_m-2} S ₂ M _{td_m-2} S ₂ | - | - |
| Filtrado | - | F ₂ S ₅ | F ₃ S ₅ | ... | | F _{td_m-1} S ₂ | F _{td_m} S ₂ |

Gráfico 3.8. Fechas límites de fabricación en lotes campaña
Elaboración propia

La ventaja de la producción en campaña radica en que se cuenta con disponibilidad de tanques de mezclado suficientes para realizar la operación de dos lotes en forma paralela. Empero, los dos lotes deben ser necesariamente del mismo producto para evitar la contaminación cruzada³.

Con la opción de la producción en campaña, se volvió a definir M_dS_j y F_dS_j , y se crearon las siguientes variables binarias:

M_dS_{1j} : decisión de mezclar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $d=1, \dots, t_{d_m}-1$; $j=1, \dots, 9$.

M_dS_{2j} : decisión de mezclar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $d=1, \dots, t_{d_m}-2$; $j=1, \dots, 9$.

F_dS_{1j} : decisión de filtrar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $d=2, \dots, t_{d_m}$; $j=1, \dots, 9$.

F_dS_{2j} : decisión de filtrar en el día d un segundo lote consecutivo de la suspensión j

Donde $d=3, \dots, t_{d_m}$; $j=1, \dots, 9$.

Al igual que los jarabes la decisión de mezclar y fabricar solo dependerá de la disponibilidad del área, o sea del valor de que se ha definido para dia_d . Tomando en cuenta que para las suspensiones solo se puede realizar una operación al día, las restricciones de capacidad de mezclado y filtrado para las suspensiones tienen la siguiente forma:

Mezclado

$$\text{Sin lote campaña: } \sum_{j=1}^9 M_dS_{1j} \leq dia_d \quad ; \quad \forall d=1, \dots, t_{d_m}-1. \quad (c)$$

$$\text{Con lote campaña: } \sum_{j=1}^9 M_dS_{2j} \leq dia_d \quad ; \quad \forall d=1, \dots, t_{d_m}-2. \quad (d)$$

Filtrado

$$\text{Sin lote campaña: } \sum_{j=1}^9 F_dS_{1j} \leq dia_d \quad ; \quad \forall d=2. \quad (e)$$

$$\text{Con lote campaña: } \sum_{j=1}^9 F_dS_{1j} + \sum_{j=1}^9 F_dS_{2j} \leq dia_d \quad ; \quad \forall d=3, \dots, t_{d_m}. \quad (f)$$

³ Contaminación cruzada: Contaminación de materia prima producto intermedio, o producto terminado, con otra materia prima o producto durante la producción. Tomado del Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de Productos Farmacéuticos. DIGEMID, 1999.

En la práctica los jarabes y las suspensiones se programan conjuntamente por lo que el programador deberá decidir entre ambos. De acuerdo a esto, unimos las restricciones (a), (b), (c), (d), (e) y (f) y la convertimos en las siguientes restricciones:

Disponibilidad de capacidad en el proceso de mezclado sin lote campaña

$$\sum_{i=1}^{31} M_d J_i + \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq dia_d ; \forall d=1, \dots, td_m-1. \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{31} M_d J_i \leq dia_d ; \forall d=td_m. \quad (6)$$

Disponibilidad de capacidad en el proceso de mezclado con lote campaña

$$\sum_{j=1}^9 M_d S_{2j} \leq dia_d ; \forall d=1, \dots, td_m-2. \quad (7)$$

Disponibilidad de capacidad en el proceso de filtrado sin lote campaña

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i \leq dia_d ; \forall d=1. \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i + \sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} \leq dia_d ; \forall d=2. \quad (9)$$

Disponibilidad de capacidad en el proceso de filtrado con lote campaña

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i + \sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 F_d S_{2j} \leq dia_d ; \forall d=3, \dots, td_m. \quad (10)$$

Para asegurarnos que el modelo realice la programación de la producción en campaña de manera correcta elaboramos las siguientes restricciones:

Relación entre el mezclado de dos lotes que se producen en campaña. Si se mezcla en el día d un lote campaña de la suspensión j " $M_d S_{2j}$ ", entonces se mezcla en el día d un lote de la misma suspensión j " $M_d S_{1j}$ ".

$$M_d S_{2j} - M_d S_{1j} \leq 0 ; \forall d=1, \dots, td_m-2. \quad \forall j=1, \dots, 9. \quad (11)$$

Relación entre el filtrado de dos lotes que se producen en campaña. Si se filtra en el día $d+1$ un segundo lote campaña de la suspensión j " $F_d S_{2j}$ ", entonces se filtra en el día d un lote de la suspensión j " $F_d S_{1j}$ ".

$$F_{(d+1)} S_{2j} - F_d S_{1j} \leq 0 ; \forall d=2, \dots, td_m-1; \quad \forall j=1, \dots, 9. \quad (12)$$

Luego, para asegurarnos de que en la fabricación de suspensiones solo se realice una operación de mezclado o filtrado al día se elaboran las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq 1 ; \forall d=2. \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 F_d S_{2j} + \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq 1 ; \forall d=3, \dots, td_m-1. \quad (14)$$

De igual modo, para asegurarnos de que el modelo realice la programación en la secuencia correcta programando primero el mezclado y luego el filtrado se realizan las siguientes restricciones:

Relación entre el proceso de mezclado y filtrado de jarabes

$$F_d J_i - M_d J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31; \forall d=1, \dots, td_m. \quad (15)$$

$$M_d J_i - F_d J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31; \forall d=1, \dots, td_m. \quad (16)$$

Relación entre el proceso de mezclado y filtrado de suspensiones sin lotes campaña

$$F_{(d+1)} S_{1j} - M_d S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=1, \dots, td_m-1. \quad (17)$$

$$M_d S_{1j} - F_{(d+1)} S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=1, \dots, td_m-1 \quad (18)$$

Relación entre el proceso de mezclado y filtrado de suspensiones de lotes campaña

$$F_{(d+2)} S_{2j} - M_d S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=1, \dots, td_m-2. \quad (19)$$

$$M_d S_{2j} - F_{(d+2)} S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=1, \dots, td_m-2. \quad (20)$$

Otra restricción importante proviene de la característica de los productos controlados. Estos productos se fabrican con insumos cuya utilización es controlada por DIGEMID (Dirección General de Medicamentos, Insumos y Drogas). De tal forma que el día que se requiera fabricar un producto controlado, se necesita contar con la presencia de un personal de DIGEMID para que supervise las cantidades que se van a utilizar del insumo. Debido a que los trámites a realizarse para lograr que el personal de DIGEMID pueda supervisar el inicio de la fabricación dura alrededor de 17 a 19 días, la jefatura de manufactura sugiere que estos productos se programen a partir del día 20 de cada mes. Los productos controlados se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Relación de productos controlados

| ID | Producto | Presentación | Tamaño de lote |
|-----|-----------|--------------|----------------|
| J3 | Jarabe 3 | 15 ml | 6,534 unid |
| J7 | Jarabe 7 | 60 ml | 14,702 unid |
| J8 | Jarabe 8 | 60 ml | 14,702 unid |
| J18 | Jarabe 18 | 60 ml | 8,168 unid |
| J21 | Jarabe 21 | 60 ml | 14,702 unid |
| J22 | Jarabe 22 | 60 ml | 14,702 unid |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

De acuerdo a la política actual para la programación de los productos controlados se elabora la siguiente restricción:

$$M_d J_i = 0 \quad ; \quad \forall d=1, \dots, 19; \quad \forall i=3, 7, 8, 18, 21, 22. \quad (21)$$

Por otra parte, la cantidad de materia prima en kilogramos que le corresponde a cada lote del producto se muestra en la tabla 3.5. Se cuenta con 25 tipos de materia prima para los 40 productos existentes por lo que un tipo de materia prima puede utilizarse en más de un producto.

Tabla 3.5. Cantidad de materia prima por lote de producto

| ID | Código de materia prima | Cantidad (kg/lote) | ID | Código de materia prima | Cantidad (kg/lote) |
|-----|-------------------------|--------------------|-----|-------------------------|--------------------|
| J1 | MP01 | 56.50 | J21 | MP07 | 1.96 |
| J2 | MP02 | 0.52 | J22 | MP07 | 1.96 |
| J3 | MP03 | 3.09 | J23 | MP14 | 30.60 |
| J4 | MP04 | 15.00 | J24 | MP15 | 1.89 |
| J5 | MP05 | 1.00 | J25 | MP09 | 11.90 |
| J6 | MP06 | 1.00 | J26 | MP16 | 4.00 |
| J7 | MP07 | 1.96 | J27 | MP17 | 1.25 |
| J8 | MP07 | 1.96 | J28 | MP08 | 16.28 |
| J9 | MP08 | 55.34 | J29 | MP18 | 0.20 |
| J10 | MP09 | 18.18 | J30 | MP18 | 0.19 |
| J11 | MP10 | 0.55 | J31 | MP19 | 9.69 |
| J12 | MP10 | 0.55 | S1 | MP20 | 33.98 |
| J13 | MP02 | 0.37 | S2 | MP21 | 14.80 |
| J14 | MP11 | 1.08 | S3 | MP21 | 29.60 |
| J15 | MP12 | 0.10 | S4 | MP22 | 0.35 |
| J16 | MP08 | 16.28 | S5 | MP23 | 0.36 |
| J17 | MP08 | 55.34 | S6 | MP24 | 7.35 |
| J18 | MP03 | 3.09 | S7 | MP20 | 33.98 |
| J19 | MP04 | 11.20 | S8 | MP25 | 14.00 |
| J20 | MP13 | 2.78 | S9 | MP25 | 28.00 |

Fuente: La Empresa (2013)

Para determinar la cantidad de materia prima utilizada en cada lote de producto se define a v_{cmjab_i} como el factor de conversión de lote a materia

prima para un lote del jarabe y $vcmsus_j$ factor de conversión de lote a materia prima para un lote de la suspensión j , y se elabora la siguiente restricción:

$$MPU_w = vcmjab_i * JabP_i + vcmsus_j * SusP_j; \quad \forall w=1, \dots, 25; \quad \forall i=1, \dots, 31; \quad \forall j=1, \dots, 9. \quad (22)$$

Finalmente para contabilizar la cantidad de lotes producidos en el mes, se utilizan las variables de decisión de mezclado M_dJ_i , M_dS_{1j} , M_dS_{2j} ya que estas inician la fabricación. Se elaboran las siguientes restricciones:

$$JabP_i - \sum_{d=1}^{30} M_dJ_i = 0; \quad \forall i=1, \dots, 31. \quad (23)$$

$$SusP_j - \sum_{d=1}^{td_m-1} M_dS_{1j} - \sum_{d=1}^{td_m-2} M_dS_{2j} = 0; \quad \forall j=1, \dots, 9. \quad (24)$$

Concluido con las operaciones de mezclado y filtrado, se termina con el proceso de fabricación en el área de manufactura. El siguiente proceso es el envasado, el cual se realiza en el área de empaque.

- Proceso de envasado

El proceso de envasado está compuesto por las operaciones de dosificado, taponado, limpieza de frascos y almacenamiento de frascos en bandejas; y todas se realizan simultáneamente. En el modelo se utilizaron las siguientes variables binarias:

E_dJ_i : decisión de envasar en el día d un lote del jarabe i

Donde $d=2, \dots, td_m+1$; $i=1, \dots, 31$.

E_dS_{1j} : decisión de envasar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $d=3, \dots, td_m+1$; $j=1, \dots, 9$.

E_dS_{2j} : decisión de envasar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $d=4, \dots, td_m+1$; $j=1, \dots, 9$.

A diferencia de la fabricación, las fechas más tempranas para el proceso de envasado son $d=2$ para los lotes de jarabes, $d=3$ para los lotes de suspensiones de producción normal y $d=4$ para los lotes campaña de las suspensiones; la fecha más tardía es $d=td_m+1$ para cualquier producto. Ver en los gráficos 3.9, 3.10 y 3.11.

| Operación | Día 1 | Día 2 | ... | Día td_m | Día td_m+1 |
|-----------|----------|----------|-----|------------------|--------------------|
| Mezclado | M_1J_3 | | ... | $M_{td_m}J_{19}$ | |
| Filtrado | M_1J_3 | | ... | $M_{td_m}J_{19}$ | |
| Envasado | | E_2J_3 | | | $E_{td_m+1}J_{19}$ |

Gráfico 3.9. Fechas límites de envasado en jarabes
Elaboración propia

| Operación | Día 1 | Día 2 | Día 3 | ... | Día td_{m-1} | Día td_m | Día td_m+1 |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-----|----------------------|------------------|--------------------|
| Mezclado | M_1S_{15} | | | ... | $M_{td_{m-1}}S_{12}$ | - | |
| Filtrado | | F_2S_{15} | | ... | - | $F_{td_m}S_{12}$ | |
| Envasado | | | E_3S_{15} | ... | | | $E_{td_m+1}S_{12}$ |

Gráfico 3.10. Fechas límites de envasado en suspensiones
Elaboración propia

| Operación | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | ... | Día td_{m-2} | Día td_{m-1} | Día td_m | Día td_m+1 |
|-----------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-----|--|------------------|------------------|--------------------|
| Mezclado | M_1S_{15} M_1S_{25} | - | - | | ... | $M_{td_{m-2}}S_{12}$ $M_{td_{m-2}}S_{22}$ | - | - | |
| Filtrado | - | F_2S_{15} | F_2S_{25} | | ... | | $F_{td_m}S_{12}$ | $F_{td_m}S_{22}$ | |
| Envasado | | | E_3S_{15} | E_3S_{15} | ... | | | $E_{td_m}S_{12}$ | $E_{td_m+1}S_{22}$ |

Gráfico 3.11. Fechas límites de envasado en lotes campaña
Elaboración propia

La capacidad de La Planta para el proceso de envasado depende de la disponibilidad del área, o sea del valor de que el programador defina para dia_d . El *lead time* del proceso de acondicionado se mide en días por lote y es un día por cada lote de jarabe y un día por cada lote de suspensión. De este modo, si $dia_d=1$ solo podemos realizar el envasado de un lote en cada día. En el modelo, se elaboran las siguientes restricciones:

Disponibilidad de capacidad en el proceso de envasado sin lote campaña

$$\sum_{i=1}^{31} E_d J_i \leq \text{dia}_d ; \forall d=2. \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^{31} E_d J_i + \sum_{j=1}^9 E_d S_{1j} \leq \text{dia}_d ; \forall d=3. \quad (26)$$

Disponibilidad de capacidad en el proceso de envasado con lote campaña

$$\sum_{i=1}^{31} E_d J_i + \sum_{j=1}^9 E_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 E_d S_{2j} \leq \text{dia}_d ; \forall d=4, \dots, \text{td}_m + 1. \quad (27)$$

Así mismo, para asegurar que el proceso de envasado de un lote que se realiza en el día $d+1$ sea consecutivo a la operación de filtrado del mismo que se realiza en el día d , se elaboran las siguientes restricciones:

Relación entre el proceso de filtrado y envasado de un lote de un jarabe

$$E_{(d+1)} J_i - F_d J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31; \forall d=1, \dots, \text{td}_m. \quad (28)$$

$$F_d J_i - E_{(d+1)} J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31; \forall d=1, \dots, \text{td}_m. \quad (29)$$

Relación entre el proceso de filtrado y envasado de un lote de una suspensión

$$E_{(d+1)} S_{1j} - F_d S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=2, \dots, \text{td}_m. \quad (30)$$

$$F_d S_{1j} - E_{(d+1)} S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=2, \dots, \text{td}_m. \quad (31)$$

Relación entre el proceso de filtrado y envasado de un lote campaña de suspensión

$$E_{(d+1)} S_{2j} - F_d S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=3, \dots, \text{td}_m. \quad (32)$$

$$F_d S_{2j} - E_{(d+1)} S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=3, \dots, \text{td}_m. \quad (33)$$

El jefe del área ha sugerido que se evite programar en días consecutivos, es decir en día d y día $d+1$, dos productos cuyo tamaño de lote (TL) exceda las 10,000 unidades, por restricciones de capacidad de las bandejas de almacenamiento. En la tabla 3.6 se muestran los productos que exceden las 10,000 unidades en tamaño de lote.

Tabla 3.6. Productos con TL mayor a 10,000 unid

| ID | Descripción | Presentación | Tamaño de lote |
|-----|-------------|--------------|----------------|
| J1 | Jarabe 1 | 15 ml | 12,545 unid |
| J5 | Jarabe 5 | 10 ml | 19,602 unid |
| J7 | Jarabe 7 | 60 ml | 14,702 unid |
| J8 | Jarabe 8 | 60 ml | 14,702 unid |
| J21 | Jarabe 21 | 60 ml | 14,702 unid |
| J22 | Jarabe 22 | 60 ml | 14,702 unid |
| J24 | Jarabe 24 | 30 ml | 11,761 unid |
| J29 | Jarabe 29 | 15 ml | 12,545 unid |
| J30 | Jarabe 30 | 15 ml | 13,068 unid |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

Para asegurar que se cumpla lo descrito en el anterior párrafo, se elabora la siguiente restricción:

$$E_d J_3 + E_d J_7 + E_d J_8 + E_d J_{18} + E_d J_{21} + E_d J_{22} + E_{d+1} J_3 + E_{d+1} J_7 + E_{d+1} J_8 + E_{d+1} J_{18} + E_{d+1} J_{21} + E_{d+1} J_{22} \leq 0 ; \forall d=2, \dots, t_{d_m} \quad (34)$$

A cada lote le corresponde una cantidad de frascos igual al tamaño de lote más un 2% por los frascos defectuosos. Se cuenta con 26 tipos de envase para los 40 productos existentes por lo que un tipo de frasco puede utilizarse para más de un producto. La lista producto-envase se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Cantidad de envases por lote de producto

| ID | Código de envase | Cantidad (unid/lote) | ID | Código de envase | Cantidad (unid/lote) |
|-----|------------------|----------------------|-----|------------------|----------------------|
| J1 | ENV01 | 12,796 | J21 | ENV07 | 14,996 |
| J2 | ENV02 | 6,665 | J22 | ENV07 | 14,996 |
| J3 | ENV03 | 6,665 | J23 | ENV13 | 4,999 |
| J4 | ENV04 | 9,997 | J24 | ENV14 | 11,996 |
| J5 | ENV05 | 19,994 | J25 | ENV15 | 6,248 |
| J6 | ENV06 | 7,998 | J26 | ENV16 | 4,999 |
| J7 | ENV07 | 14,996 | J27 | ENV17 | 2,499 |
| J8 | ENV07 | 14,996 | J28 | ENV06 | 9,997 |
| J9 | ENV08 | 4,999 | J29 | ENV18 | 12,796 |
| J10 | ENV09 | 5,554 | J30 | ENV19 | 13,329 |
| J11 | ENV10 | 4,999 | J31 | ENV20 | 2,999 |
| J12 | ENV10 | 4,999 | S1 | ENV21 | 2,399 |
| J13 | ENV08 | 5,832 | S2 | ENV22 | 5,832 |
| J14 | ENV07 | 5,998 | S3 | ENV22 | 5,832 |
| J15 | ENV08 | 1,666 | S4 | ENV23 | 1,944 |
| J16 | ENV06 | 9,997 | S5 | ENV12 | 3,499 |
| J17 | ENV08 | 4,999 | S6 | ENV22 | 5,832 |
| J18 | ENV07 | 8,331 | S7 | ENV24 | 2,399 |
| J19 | ENV11 | 5,832 | S8 | ENV25 | 5,832 |
| J20 | ENV12 | 9,997 | S9 | ENV26 | 6,998 |

Fuente: La Empresa (2013)

Para determinar la cantidad de envases utilizados por cada lote de producto se define a v_{cesus_j} factor de conversión de lote a envases para un lote de la suspensión j y v_{cejab_i} como factor de conversión de lote a envases para un lote del jarabe i y se utiliza la siguiente restricción:

$$ENU_z = v_{cejab_i} * JabP_i + v_{cesus_j} * SusP_j; \quad \forall w=1, \dots, 25. \quad \forall i=1, \dots, 31. \quad \forall j=1, \dots, 9. \quad (35)$$

Después de envasar el producto, continúa el proceso de acondicionado.

- Proceso de acondicionado

El proceso de acondicionado está compuesto por las operaciones de pegado de etiqueta y colocación del producto en cajas de presentación para venta; y todas se realizan simultáneamente. En el modelo se utilizaron las siguientes variables binarias:

$A_d J_i$: decisión de acondicionar en el día d un lote del jarabe i

Donde $d=3, \dots, t_{d_m}+2$; $i=1, \dots, 31$.

$A_d S_{1j}$: decisión de acondicionar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $d=4, \dots, t_{d_m}+2$; $j=1, \dots, 9$.

$A_d S_{2j}$: decisión de acondicionar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $d=5, \dots, t_{d_m}+2$; $j=1, \dots, 9$.

Las fechas más tempranas para el proceso de acondicionado son $d=3$ para los lotes de jarabes, $d=4$ para los lotes de suspensiones de producción normal y $d=5$ para los lotes de suspensiones de producción en campaña; las fechas más tardías es $d=t_{d_m}+2$ para cualquier producto. Ver en los gráficos 3.12, 3.13 y 3.14.

| Operación | Día 2 | Día 2 | ... | Día $t_{d_m}+1$ | Día $t_{d_m}+2$ |
|---------------|-----------|-----------|-----|------------------------|------------------------|
| Envasado | $E_2 J_3$ | | | $E_{t_{d_m}+1} J_{19}$ | |
| Acondicionado | | $A_3 J_3$ | | | $E_{t_{d_m}+2} J_{19}$ |

Gráfico 3.12. Fechas límites de acondicionado en jarabes
Elaboración propia

| Operación | Día 2 | Día 3 | Día 4 | ... | Día td_m | Día td_m+1 | Día td_m+2 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-----|------------------|--------------------|--------------------|
| Filtrado | F_2S_{15} | | | ... | $F_{td_m}S_{12}$ | - | |
| Envasado | | E_3S_{15} | | ... | - | $E_{td_m+1}S_{12}$ | |
| Acondicionado | | | A_4S_{15} | ... | | | $A_{td_m+2}S_{12}$ |

Gráfico 3.13. Fechas límites de acondicionado en suspensiones
Elaboración propia

| Operación | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | ... | Día td_m-1 | Día td_m | Día td_m+1 | Día td_m+2 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Filtrado | F_2S_{15} | F_3S_{25} | | | ... | $F_{td_m-1}S_{12}$ | $F_{td_m}S_{22}$ | | |
| Envasado | | E_3S_{15} | E_4S_{25} | | ... | | $E_{td_m}S_{12}$ | $E_{td_m+1}S_{22}$ | |
| Acondicionado | | | A_4S_{15} | A_5S_{25} | ... | | | $A_{td_m+1}S_{12}$ | $A_{td_m+2}S_{22}$ |

Gráfico 3.14. Fechas límites de acondicionado en lotes campaña
Elaboración propia

Del mismo modo que en los procesos anteriores, el acondicionado de un lote dependerá de la disponibilidad del área, o sea del valor de que se ha definido para dia_d . El *lead time* del proceso de acondicionado se mide en días por lote y es un día por cada lote de jarabe y un día por cada lote de suspensión. De este modo, si $dia_d = 1$ solo podemos realizar el acondicionado de un lote en cada día. En el modelo, se elaboran las siguientes restricciones:

Disponibilidad de capacidad en el proceso de acondicionado sin lotes campaña

$$\sum_{i=1}^{31} A_d J_i \leq 1 ; \forall d=3. \quad (36)$$

$$\sum_{i=1}^{31} A_d J_i + \sum_{j=1}^9 A_d S_{1j} \leq 1 ; \forall d=4. \quad (37)$$

Disponibilidad de capacidad en el proceso de acondicionado con lotes campaña

$$\sum_{i=1}^{31} A_d J_i + \sum_{j=1}^9 A_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 A_d S_{2j} \leq 1 ; \forall d=5, \dots, td_m+2. \quad (38)$$

Así mismo, para asegurar que el proceso de acondicionado de un lote que se realiza en el día $d+1$ sea consecutivo al proceso de envasado del mismo que se realiza en el día d , se elaboran las siguientes restricciones:

Relación entre el proceso de envasado y acondicionado de un lote de un jarabe

$$A_{(d+1)}J_i - E_d J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31; \forall d=2, \dots, td_m+1. \quad (39)$$

$$E_d J_i - A_{(d+1)} J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31; \forall d=2, \dots, td_m+1. \quad (40)$$

Relación entre el proceso de envasado y acondicionado de un lote de una suspensión

$$A_{(d+1)}S_{1j} - E_d S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=3, \dots, td_m+1. \quad (41)$$

$$E_d S_{1j} - A_{(d+1)} S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=3, \dots, td_m+1. \quad (42)$$

Relación entre el proceso de envasado y acondicionado de un lote campaña de una suspensión

$$A_{(d+1)}S_{2j} - E_d S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=4, \dots, td_m+1. \quad (43)$$

$$E_d S_{2j} - A_{(d+1)} S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9; \forall d=4, \dots, td_m+1. \quad (44)$$

Los estructura de costos para el caso se dividen en cuatro partes: costo de mezclado, costo de filtrado, costo de envasado y costo de acondicionado. El costo se incurre solo cuando se programa un lote de producto y varía de acuerdo al día en el que se programe. Si el proceso se programa en día de semana (lunes a viernes) entonces el costo es de turno normal, en cambio, si el proceso se programa un fin de semana (sábado o domingo), entonces el costo será de turno extra. Los turnos extras se pueden evitar, pero por la alta demanda existente, se deben aprovechar de manera que se utilicen los turnos extras para procesar los productos más rentables. En la tabla 3.8, se muestra el precio de venta de cada producto y los costos de cada proceso en turno normal (TN) y turno extra (TE) para un lote de cada producto. Estos datos son variables no controladas del modelo y para efectos de la programación se definen los siguientes parámetros:

P_{vjabi} : precio de venta del jarabe i

Donde $i=1, \dots, 31$.

P_{vsusj} : precio de venta de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$.

$C_{pm_d J_i}$: costo de mezclar en el día d un lote del jarabe i

Donde $i=1, \dots, 31; d=1, \dots, td_m$.

$Cpm_d S_{1j}$: costo de mezclar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=1, \dots, td_m-1$.

$Cpm_d S_{2j}$: costo de mezclar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=1, \dots, td_m-2$.

$Cpf_d J_i$: costo de filtrar en el día d un lote del jarabe i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=1, \dots, td_m$.

$Cpf_d S_{1j}$: costo de filtrar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=2, \dots, td_m$.

$Cpf_d S_{2j}$: costo de filtrar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=3, \dots, td_m$.

$Cpe_d J_i$: costo de envasar en el día d un lote del jarabe i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=2, \dots, td_m+1$.

$Cpe_d S_{1j}$: costo de envasar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=3, \dots, td_m+1$.

$Cpe_d S_{2j}$: costo de envasar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=4, \dots, td_m+1$.

$Cpa_d J_i$: costo de acondicionar en el día d un lote del jarabe i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=3, \dots, td_m+2$.

$Cpa_d S_{1j}$: costo de acondicionar en el día d un lote de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=4, \dots, td_m+2$.

$Cpa_d S_{2j}$: costo de acondicionar en el día d un lote campaña de la suspensión j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=5, \dots, td_m+2$.

Tabla 3.8. Precio de venta y costos de operación por lote de producto

| ID | PV (S/.) | Mz Tn (S/.) | Mz Te (S/.) | Fr Tn (S/.) | Fr Te (S/.) | En Tn (S/.) | En Te (S/.) | Ac Tn (S/.) | Ac Te (S/.) |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| J1 | 24,086 | 7,025 | 7,728 | 3,011 | 3,312 | 4,014 | 4,415 | 6,022 | 6,624 |
| J2 | 3,450 | 1,006 | 1,107 | 432 | 475 | 575 | 633 | 862 | 948 |
| J3 | 14,584 | 4,254 | 4,679 | 1,823 | 2,005 | 2,431 | 2,674 | 3,645 | 4,010 |
| J4 | 18,936 | 5,523 | 6,075 | 2,367 | 2,604 | 3,156 | 3,472 | 4,734 | 5,207 |
| J5 | 41,400 | 13,173 | 13,832 | 5,645 | 5,927 | 7,527 | 7,903 | 11,291 | 11,856 |
| J6 | 7,417 | 2,360 | 2,478 | 1,012 | 1,063 | 1,349 | 1,416 | 2,022 | 2,123 |
| J7 | 35,504 | 10,806 | 11,670 | 4,631 | 5,001 | 6,175 | 6,669 | 9,261 | 10,002 |
| J8 | 34,152 | 10,394 | 11,226 | 4,455 | 4,811 | 5,939 | 6,414 | 8,909 | 9,622 |
| J9 | 14,709 | 4,477 | 4,835 | 1,918 | 2,071 | 2,558 | 2,763 | 3,837 | 4,144 |
| J10 | 43,018 | 13,092 | 14,139 | 5,612 | 6,061 | 7,481 | 8,079 | 11,222 | 12,120 |
| J11 | 17,865 | 5,437 | 5,872 | 2,331 | 2,517 | 3,107 | 3,356 | 4,660 | 5,033 |
| J12 | 17,020 | 5,180 | 5,594 | 2,220 | 2,398 | 2,960 | 3,197 | 4,440 | 4,795 |
| J13 | 16,740 | 4,883 | 5,371 | 2,092 | 2,301 | 2,790 | 3,069 | 4,185 | 4,604 |

| ID | PV (S/.) | Mz Tn (S/.) | Mz Te (S/.) | Fr Tn (S/.) | Fr Te (S/.) | En Tn (S/.) | En Te (S/.) | Ac Tn (S/.) | Ac Te (S/.) |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| J14 | 14,184 | 4,137 | 4,551 | 1,773 | 1,950 | 2,364 | 2,600 | 3,546 | 3,901 |
| J15 | 8,880 | 2,590 | 2,849 | 1,110 | 1,221 | 1,480 | 1,628 | 2,220 | 2,442 |
| J16 | 23,640 | 6,895 | 7,585 | 2,955 | 3,251 | 3,940 | 4,334 | 5,910 | 6,501 |
| J17 | 15,701 | 4,579 | 5,037 | 1,963 | 2,159 | 2,617 | 2,879 | 3,925 | 4,318 |
| J18 | 20,778 | 6,060 | 6,666 | 2,598 | 2,858 | 3,463 | 3,809 | 5,194 | 5,713 |
| J19 | 14,407 | 4,202 | 4,622 | 1,801 | 1,981 | 2,401 | 2,641 | 3,602 | 3,962 |
| J20 | 26,698 | 7,787 | 8,566 | 3,337 | 3,671 | 4,450 | 4,895 | 6,674 | 7,341 |
| J21 | 35,107 | 10,240 | 11,264 | 4,388 | 4,827 | 5,851 | 6,436 | 8,777 | 9,655 |
| J22 | 36,695 | 10,703 | 11,773 | 4,587 | 5,046 | 6,116 | 6,728 | 9,173 | 10,090 |
| J23 | 15,255 | 4,854 | 5,097 | 2,080 | 2,184 | 2,774 | 2,913 | 4,160 | 4,368 |
| J24 | 39,359 | 11,979 | 12,937 | 5,134 | 5,545 | 6,845 | 7,393 | 10,267 | 11,088 |
| J25 | 40,295 | 12,264 | 13,245 | 5,256 | 5,676 | 7,008 | 7,569 | 10,511 | 11,352 |
| J26 | 15,328 | 4,665 | 5,038 | 2,000 | 2,160 | 2,666 | 2,879 | 3,998 | 4,318 |
| J27 | 21,359 | 6,501 | 7,021 | 2,786 | 3,009 | 3,715 | 4,012 | 5,571 | 6,017 |
| J28 | 23,895 | 7,272 | 7,854 | 3,117 | 3,366 | 4,156 | 4,488 | 6,233 | 6,732 |
| J29 | 35,058 | 10,670 | 11,524 | 4,573 | 4,939 | 6,097 | 6,585 | 9,145 | 9,877 |
| J30 | 26,450 | 8,050 | 8,694 | 3,450 | 3,726 | 4,600 | 4,968 | 6,900 | 7,452 |
| J31 | 49,334 | 15,015 | 16,216 | 6,435 | 6,950 | 8,580 | 9,266 | 12,869 | 13,899 |
| S1 | 15,365 | 4,676 | 5,050 | 2,005 | 2,165 | 2,672 | 2,886 | 4,008 | 4,329 |
| S2 | 20,250 | 6,163 | 6,656 | 2,642 | 2,853 | 3,522 | 3,804 | 5,282 | 5,705 |
| S3 | 24,262 | 7,384 | 7,975 | 3,165 | 3,418 | 4,219 | 4,557 | 6,329 | 6,835 |
| S4 | 11,922 | 3,628 | 3,918 | 1,556 | 1,680 | 2,073 | 2,239 | 3,110 | 3,359 |
| S5 | 13,955 | 4,070 | 4,477 | 1,745 | 1,920 | 2,326 | 2,559 | 3,488 | 3,837 |
| S6 | 15,917 | 4,642 | 5,106 | 1,990 | 2,189 | 2,653 | 2,918 | 3,979 | 4,377 |
| S7 | 15,130 | 4,413 | 4,854 | 1,891 | 2,080 | 2,522 | 2,774 | 3,782 | 4,160 |
| S8 | 18,936 | 5,523 | 6,075 | 2,367 | 2,604 | 3,156 | 3,472 | 4,734 | 5,207 |
| S9 | 23,464 | 6,844 | 7,528 | 2,933 | 3,226 | 3,911 | 4,302 | 5,865 | 6,452 |

Ji: jarabe i, Sj: suspensión j, Mz: mezclar, Fr: filtrar, En: envasar, Ac: acondicionar

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

En el caso de que se realice la producción en campaña, existe un ahorro que se reflejaría en la disminución de los costos de mezclado. Los nuevos costos para el lote campaña se muestran en la tabla 3.9. Estos valores se almacenan en el parámetro $Cpm_d S_{2j}$ definido anteriormente.

Tabla 3.9. Costo de mezclado de producción en lote campaña

| ID | Mz Tn (S/.) | Mz Te (S/.) | Ahorro Tn (S/.) | Ahorro Te (S/.) |
|-----------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| S1 lote 2 | 4,208 | 4,545 | 468 | 505 |
| S2 lote 2 | 5,547 | 5,990 | 616 | 666 |
| S3 lote 2 | 6,646 | 7,178 | 738 | 797 |
| S4 lote 2 | 3,265 | 3,526 | 363 | 392 |
| S5 lote 2 | 3,663 | 4,029 | 407 | 448 |
| S6 lote 2 | 4,178 | 4,595 | 464 | 511 |
| S7 lote 2 | 3,972 | 4,369 | 441 | 485 |
| S8 lote 2 | 4,971 | 5,468 | 551 | 607 |
| S9 lote 2 | 6,160 | 6,775 | 684 | 753 |

Fuente: La Empresa (2013)

Para la definición de la función objetivo se considera las siguientes formas:

La suma de costos de producción:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{producción} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{mezclar} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{filtrar} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{envasar} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{acondicionar} \end{array} \right)$$

El ingreso obtenido por la venta:

$$\text{(Ingresos)} = \left(\begin{array}{c} \text{Precio venta} \\ \text{de un lote} \\ \text{de jarabe} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{c} \text{Cantidad de} \\ \text{lotes de} \\ \text{jarabe} \\ \text{producidos} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Precio venta} \\ \text{de un lote} \\ \text{de suspensión} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{c} \text{Cantidad de} \\ \text{lotes de} \\ \text{suspensión} \\ \text{producidos} \end{array} \right)$$

La utilidad obtenida:

$$\text{(Utilidad)} = \text{(Ingresos)} - \text{(Costo de producción)}$$

Para el caso de estudio se busca obtener un programa de producción que indique el día en que se realizará el mezclado, filtrado, envasado y acondicionado de los productos tal que se logre obtener la máxima utilidad por cada lote de producto. Para esto se tiene que tener en cuenta la prioridad de atención de los clientes y, además, la demanda, los insumos disponibles y la disponibilidad de días de fabricación que se tienen a lo largo del mes. De acuerdo a esto se plantea la función objetivo siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = P_1 * U_1 + P_2 * U_2 + P_3 * U_3$$

Los objetivos por orden de prioridad son los siguientes:

1. Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los productos del cliente LLPP.
2. Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los productos del cliente Retail.
3. Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los productos del cliente Terceros

En donde: $P_1 \gg P_2 \gg P_3$

Además, para cada cliente se busca lo siguiente:

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los productos del cliente LLPP.

$$\begin{aligned} & (Pvjab_i * JabP_i) + (Pvsus_j * SusP_j) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpm_d J_i * M_d J_i) - \sum_{d=1}^{td_m-1} (Cpm_d S_{1j} * M_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=1}^{td_m-2} (Cpm_d S_{2j} * M_d S_{2j}) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpf_d J_i * F_d J_i) - \sum_{d=2}^{td_m} (Cpf_d S_{1j} * F_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=3}^{td_m} (Cpf_d S_{2j} * F_d S_{2j}) - \sum_{d=2}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * E_d J_i) - \sum_{d=3}^{td_m+1} (Cpe_d S_{1j} * E_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=4}^{td_m+1} (Cpe_d S_{2j} * E_d S_{2j}) - \sum_{d=3}^{td_m+2} (Cpa_d J_i * A_d J_i) - \sum_{d=4}^{td_m+2} (Cpa_d S_{1j} * A_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=5}^{td_m+2} (Cpa_d S_{2j} * A_d S_{2j}) + U_1 - V_1 = M; \forall i=7, \dots, 12, 24, \dots, 31; \forall j=1, \dots, 4.. \end{aligned}$$

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los productos del cliente Retail.

$$\begin{aligned} & (Pvjab_i * JabP_i) + (Pvsus_j * SusP_j) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpm_d J_i * M_d J_i) - \sum_{d=1}^{td_m-1} (Cpm_d S_{1j} * M_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=1}^{td_m-2} (Cpm_d S_{2j} * M_d S_{2j}) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpf_d J_i * F_d J_i) - \sum_{d=2}^{td_m} (Cpf_d S_{1j} * F_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=3}^{td_m} (Cpf_d S_{2j} * F_d S_{2j}) - \sum_{d=2}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * E_d J_i) - \sum_{d=3}^{td_m+1} (Cpe_d S_{1j} * E_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=4}^{td_m+1} (Cpe_d S_{2j} * E_d S_{2j}) - \sum_{d=3}^{td_m+2} (Cpa_d J_i * A_d J_i) - \sum_{d=4}^{td_m+2} (Cpa_d S_{1j} * A_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=5}^{td_m+2} (Cpa_d S_{2j} * A_d S_{2j}) + U_2 - V_2 = M; \forall i=1, \dots, 4, 13, \dots, 22; \forall j=5, \dots, 9. \end{aligned}$$

Maximizar la utilidad sin costos fijos considerando únicamente los productos del cliente Terceros

$$\begin{aligned} & (Pvjab_i * JabP_i) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpm_d J_i * M_d J_i) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpf_d J_i * F_d J_i) - \sum_{d=2}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * E_d J_i) \\ & - \sum_{d=3}^{td_m+2} (Cpa_d J_i * A_d J_i) + U_3 - V_3 = M; \forall i=5, 6, 23. \end{aligned}$$

Para la programación se toma en cuenta el calendario del área de fabricaciones que se muestra en el cuadro 3.6. En el calendario se consideran 7 días a la semana; desde el día lunes hasta el viernes se trabajan como turno normal, y los días sábados y domingos se trabajan como turno extra.

Cada mes cuenta con número determinado de días para fabricar (td_m). En el calendario se han tachado los días en que el área de fabricaciones no está operativa por trabajos de mantenimiento y feriados no laborables. En el cuadro 3.7 se muestra un resumen del calendario.

Cuadro 3.6. Calendario usado para la programación

| Mes | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M | J | V | S | D | Mes |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|
| Enero | - | 4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | |
| | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | |
| | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Febrero |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | |
| Marzo | 25 | 26 | 27 | 28 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Abril |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | |
| Mayo | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | - | - | |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

Cuadro 3.7. Resumen del calendario

| Mes de fabricación | Total de días en el mes | Días operativos en turno normal | Días operativos en turno extra |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Enero-2013 | 31 | 16 | 8 |
| Febrero-2013 | 28 | 7 | 2 |
| Marzo-2013 | 31 | 18 | 8 |
| Abril-2013 | 30 | 22 | 8 |
| Mayo-2013 | 31 | 18 | 6 |

Fuente: La Empresa (2013)
Elaboración propia

Finalmente, se describen los supuestos clave de este caso:

- El periodo de estudio del modelo será de cinco meses los cuales comprende a enero, febrero, marzo, abril y mayo del 2013. Cada mes cuenta con un determinado número de días operativos divididos en días de turno normal y turno extra.
- El inventario de insumos disponibles (materia prima y envases) es dato de entrada y se verifica en el sistema de stock de inventarios con el que cuenta La Planta, antes del inicio de cada mes.

- La materia prima que se considera en el modelo es el principio activo, ya que es el principal componente de cada producto.
- La demanda de productos se encuentra en el plan de producción y es dato de entrada para la programación. Los productos que no se fabriquen se acumulan para el siguiente periodo.
- El mezclado, filtrado, envasado y acondicionado se realizan de manera consecutiva y de acuerdo a *lead time* de cada proceso.
- Los costos de materia prima, mano de obra directa (operarios) e indirecta (supervisores) se considerarán como costos variables que solo se incurren si se toma la decisión de procesar un lote de producto. El ahorro considerado en la operación de mezclado de suspensión debido a la producción en campaña fueron calculados mediante el juicio de los operarios y supervisores considerando a la mano de obra como la principal fuente de ahorro.
- El orden de prioridad de atención a los clientes se basa en la cobertura determinada para cada uno. El cliente que requiere la mayor cobertura en sus productos es aquel que tiene la mayor prioridad.

En el Anexo 2 se muestra un resumen del modelo matemático.

3.3.2 Resultados del modelo

Se realizó la modelación para los meses de enero hasta mayo del 2013 obteniéndose una utilidad total de S/.73,081.00 por encima de los resultados reales de la empresa en el mismo periodo de producción y, además, se logró producir 15 lotes más que la empresa. Los programas propuestos para los meses de enero a mayo del 2013 se muestran en las tablas 3.10 a 3.14, mientras que los resultados se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.10. Programa de producción del mes de enero 2013

| Mes de Enero, 2013 | | | OPERACIONES | | | | |
|--------------------|-----|----|-------------|-------|-------|-----|-----|
| Fecha | | | M1 | M2 | F | E | A |
| 01/01/13 | mar | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 02/01/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 03/01/13 | jue | TN | J23 | | J23 | | |
| 04/01/13 | vie | TN | S6 | | | J23 | |
| 05/01/13 | sáb | TE | | | S6 | | J23 |
| 06/01/13 | dom | TE | J9 | | J9 | S6 | |
| 07/01/13 | lun | TN | J29 | | J29 | J9 | S6 |
| 08/01/13 | mar | TN | J20 | | J20 | J29 | J9 |
| 09/01/13 | mié | TN | J31 | | J31 | J20 | J29 |
| 10/01/13 | jue | TN | S7 | | | J31 | J20 |
| 11/01/13 | vie | TN | | | S7 | | J31 |
| 12/01/13 | sáb | TE | S3 | | | S7 | |
| 13/01/13 | dom | TE | | | S3 | | S7 |
| 14/01/13 | lun | TN | J25 | | J25 | S3 | |
| 15/01/13 | mar | TN | J25 | | J25 | J25 | S3 |
| 16/01/13 | mié | TN | J13 | | J13 | J25 | J25 |
| 17/01/13 | jue | TN | J19 | | J19 | J13 | J25 |
| 18/01/13 | vie | TN | S8 | | | J19 | J13 |
| 19/01/13 | sáb | TE | | | S8 | | J19 |
| 20/01/13 | dom | TE | J30 | | J30 | S8 | |
| 21/01/13 | lun | TN | J5 | | J5 | J30 | S8 |
| 22/01/13 | mar | TN | J3 | | J3 | J5 | J30 |
| 23/01/13 | mié | TN | J4 | | J4 | J3 | J5 |
| 24/01/13 | jue | TN | J8 | | J8 | J4 | J3 |
| 25/01/13 | vie | TN | S6 | S6 | | J8 | J4 |
| 26/01/13 | sáb | TE | | | S6 | | J8 |
| 27/01/13 | dom | TE | | | S6 | S6 | |
| 28/01/13 | lun | TN | INOP. | INOP. | INOP. | S6 | S6 |
| 29/01/13 | mar | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | S6 |
| 30/01/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 31/01/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |

Turno normal (TN), Turno extra (TE).
Operaciones: Mezclado (M), Filtrado (F), Envasado (E), Acondicionado (A), Inoperativo (INOP).
*M1: Producción normal de un lote.
**M2: Mezclado de un segundo lote (producción en campaña).

Elaboración propia

Tabla 3.11. Programa de producción del mes de febrero 2013

| Mes de Febrero, 2013 | | | OPERACIONES | | | | |
|----------------------|-----|----|-------------|-------|-------|-----|-----|
| Fecha | | | M1* | M2** | F | E | A |
| 01/02/13 | vie | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 02/02/13 | sáb | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 03/02/13 | dom | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 04/02/13 | lun | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 05/02/13 | mar | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 06/02/13 | mié | TN | J25 | | J25 | | |
| 07/02/13 | jue | TN | J27 | | J27 | J25 | |
| 08/02/13 | vie | TN | S6 | S6 | | J27 | J25 |
| 09/02/13 | sáb | TE | | | S6 | | J27 |
| 10/02/13 | dom | TE | | | S6 | S6 | |
| 11/02/13 | lun | TN | J19 | | J19 | S6 | S6 |
| 12/02/13 | mar | TN | J20 | | J20 | J19 | S6 |
| 13/02/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | J20 | J19 |
| 14/02/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | J20 |
| 15/02/13 | vie | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 16/02/13 | sáb | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 17/02/13 | dom | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 18/02/13 | lun | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 19/02/13 | mar | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 20/02/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 21/02/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 22/02/13 | vie | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 23/02/13 | sáb | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 24/02/13 | dom | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 25/02/13 | lun | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 26/02/13 | mar | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 27/02/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 28/02/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |

Turno normal (TN), Turno extra (TE).
Operaciones: Mezclado (M), Filtrado (F), Envasado (E), Acondicionado (A), Inoperativo (INOP).
*M1: Producción normal de un lote.
**M2: Mezclado de un segundo lote (producción en campaña).

Elaboración propia

Tabla 3.12. Programa de producción del mes de marzo 2013

| Mes de Marzo, 2013 | | | OPERACIONES | | | | |
|--------------------|-----|----|-------------|-------|-------|-----|-----|
| Fecha | | | M1* | M2** | F | E | A |
| 01/03/13 | vie | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 02/03/13 | sáb | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 03/03/13 | dom | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 04/03/13 | lun | TN | J24 | | J24 | | |
| 05/03/13 | mar | TN | J5 | | J5 | J24 | |
| 06/03/13 | mié | TN | J29 | | J29 | J5 | J24 |
| 07/03/13 | jue | TN | J28 | | J28 | J29 | J5 |
| 08/03/13 | vie | TN | S6 | S6 | | J28 | J29 |
| 09/03/13 | sáb | TE | | | S6 | | J28 |
| 10/03/13 | dom | TE | | | S6 | S6 | |
| 11/03/13 | lun | TN | J5 | | J5 | S6 | S6 |
| 12/03/13 | mar | TN | S7 | | | J5 | S6 |
| 13/03/13 | mié | TN | | | S7 | | J5 |
| 14/03/13 | jue | TN | J29 | | J29 | S7 | |
| 15/03/13 | vie | TN | S4 | S4 | | J29 | S7 |
| 16/03/13 | sáb | TE | | | S4 | | J29 |
| 17/03/13 | dom | TE | | | S4 | S4 | |
| 18/03/13 | lun | TN | S9 | | | S4 | S4 |
| 19/03/13 | mar | TN | | | S9 | | S4 |
| 20/03/13 | mié | TN | J7 | | J7 | S9 | |
| 21/03/13 | jue | TN | J19 | | J19 | J7 | S9 |
| 22/03/13 | vie | TN | S5 | S5 | | J19 | J7 |
| 23/03/13 | sáb | TE | | | S5 | | J19 |
| 24/03/13 | dom | TE | | | S5 | S5 | |
| 25/03/13 | lun | TN | J18 | | J18 | S5 | S5 |
| 26/03/13 | mar | TN | S6 | | | J18 | S5 |
| 27/03/13 | mié | TN | | | S6 | | J18 |
| 28/03/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | S6 | |
| 29/03/13 | vie | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | S6 |
| 30/03/13 | sáb | TE | J12 | | J12 | | |
| 31/03/13 | dom | TE | J30 | | J30 | J12 | |
| 01/04/13 | lun | TN | S8 | | | J30 | J12 |
| 02/04/13 | mar | TN | | | S8 | | J30 |

Turno normal (TN), Turno extra (TE).
Operaciones: Mezclado (M), Filtrado (F), Envasado (E), Acondicionado (A), Inoperativo (INOP).
*M1: Producción normal de un lote.
**M2: Mezclado de un segundo lote (producción en campaña).

Elaboración propia

Tabla 3.13. Programa de producción del mes de abril 2013

| Mes de Abril, 2013 | | | OPERACIONES | | | | |
|--------------------|-----|----|-------------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| Fecha | | | M1* | M2** | F | E | A |
| 01/04/13 | lun | TN | S8 | | | J30 ⁽¹⁾ | J12 ⁽²⁾ |
| 02/04/13 | mar | TN | | | S8 | | J30 ⁽¹⁾ |
| 03/04/13 | mié | TN | J16 | | J16 | S8 | |
| 04/04/13 | jue | TN | S3 | | | J16 | S8 |
| 05/04/13 | vie | TN | | | S3 | | J16 |
| 06/04/13 | sáb | TE | S3 | | | S3 | |
| 07/04/13 | dom | TE | | | S3 | | S3 |
| 08/04/13 | lun | TN | S6 | S6 | | S3 | |
| 09/04/13 | mar | TN | | | S6 | | S3 |
| 10/04/13 | mié | TN | | | S6 | S6 | |
| 11/04/13 | jue | TN | J9 | | J9 | S6 | S6 |
| 12/04/13 | vie | TN | S4 | S4 | | J9 | S6 |
| 13/04/13 | sáb | TE | | | S4 | | J9 |
| 14/04/13 | dom | TE | | | S4 | S4 | |
| 15/04/13 | lun | TN | J13 | | J13 | S4 | S4 |
| 16/04/13 | mar | TN | J20 | | J20 | J13 | S4 |
| 17/04/13 | mié | TN | J31 | | J31 | J20 | J13 |
| 18/04/13 | jue | TN | J23 | | J23 | J31 | J20 |
| 19/04/13 | vie | TN | S4 | S4 | | J23 | J31 |
| 20/04/13 | sáb | TE | | | S4 | | J23 |
| 21/04/13 | dom | TE | | | S4 | S4 | |
| 22/04/13 | lun | TN | J22 | | J22 | S4 | S4 |
| 23/04/13 | mar | TN | J25 | | J25 | J22 | S4 |
| 24/04/13 | mié | TN | J17 | | J17 | J25 | J22 |
| 25/04/13 | jue | TN | S3 | | | J17 | J25 |
| 26/04/13 | vie | TN | | | S3 | | J17 |
| 27/04/13 | sáb | TE | S3 | | | S3 | |
| 28/04/13 | dom | TE | | | S3 | | S3 |
| 29/04/13 | lun | TN | S8 | | | S3 | |
| 30/04/13 | mar | TN | | | S8 | | S3 |
| 01/05/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | S8 | |
| 02/05/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | S8 |

Turno normal (TN), Turno extra (TE).
Operaciones: Mezclado (M), Filtrado (F), Envasado (E), Acondicionado (A), Inoperativo (INOP).
*M1: Producción normal de un lote.
**M2: Mezclado de un segundo lote (producción en campaña).
(1) y (2) vienen de marzo 2013.

Elaboración propia

Tabla 3.14. Programa de producción del mes de mayo 2013

| Mes de Mayo, 2013 | | | OPERACIONES | | | | |
|-------------------|-----|----|-------------|-------|-------|-----|-----|
| Fecha | | | M1* | M2** | F | E | A |
| 01/05/13 | mié | TN | INOP. | INOP. | INOP. | S8 | |
| 02/05/13 | jue | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | S8 |
| 03/05/13 | vie | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 04/05/13 | sáb | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 05/05/13 | dom | TE | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 06/05/13 | lun | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 07/05/13 | mar | TN | INOP. | INOP. | INOP. | | |
| 08/05/13 | mié | TN | J25 | | J25 | | |
| 09/05/13 | jue | TN | S1 | | | J25 | |
| 10/05/13 | vie | TN | | | S1 | | J25 |
| 11/05/13 | sáb | TE | S1 | | | S1 | |
| 12/05/13 | dom | TE | | | S1 | | S1 |
| 13/05/13 | lun | TN | S6 | S6 | | S1 | |
| 14/05/13 | mar | TN | | | S6 | | S1 |
| 15/05/13 | mié | TN | | | S6 | S6 | |
| 16/05/13 | jue | TN | S1 | | | S6 | S6 |
| 17/05/13 | vie | TN | | | S1 | | S6 |
| 18/05/13 | sáb | TE | S1 | | | S1 | |
| 19/05/13 | dom | TE | | | S1 | | S1 |
| 20/05/13 | lun | TN | J19 | | J19 | S1 | |
| 21/05/13 | mar | TN | J29 | | J29 | J19 | S1 |
| 22/05/13 | mié | TN | J5 | | J5 | J29 | J19 |
| 23/05/13 | jue | TN | S1 | | | J5 | J29 |
| 24/05/13 | vie | TN | | | S1 | | J5 |
| 25/05/13 | sáb | TE | S1 | | | S1 | |
| 26/05/13 | dom | TE | | | S1 | | S1 |
| 27/05/13 | lun | TN | J14 | | J14 | S1 | |
| 28/05/13 | mar | TN | J5 | | J5 | J14 | S1 |
| 29/05/13 | mié | TN | J25 | | J25 | J5 | J14 |
| 30/05/13 | jue | TN | J23 | | J23 | J25 | J5 |
| 31/05/13 | vie | TN | J27 | | J27 | J23 | J25 |
| 01/06/13 | sáb | TE | | | | J27 | J23 |
| 02/06/13 | dom | TE | | | | | J27 |

Turno normal (TN), Turno extra (TE).
Operaciones: Mezclado (M), Filtrado (F), Envasado (E), Acondicionado (A), Inoperativo (INOP).
*M1: Producción normal de un lote.
**M2: Mezclado de un segundo lote (producción en campaña).

Elaboración propia

Tabla 3.15. Comparación de resultados

| Año 2013 | Resultados de la empresa | | Resultados del modelo | |
|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Tipo de cliente | Lotes Producidos | Utilidad Obtenida | Lotes Producidos | Utilidad Obtenida |
| Enero | 16 | S/.48,063 | 20 | S/.63,123 |
| Febrero | 4 | S/.12,143 | 6 | S/.19,554 |
| Marzo | 14 | S/.34,341 | 20 | S/.68,172 |
| Abril | 21 | S/.63,901 | 21 | S/.66,613 |
| Mayo | 14 | S/.37,621 | 17 | S/.51,688 |
| Total | 69 | S/.196,069 | 84 | S/.269,150 |

Elaboración propia

El incremento en la producción de lotes ha tenido un efecto positivo en el nivel de atención de demanda. Según las propuestas del modelo para los meses de estudio, el nivel de atención ha tenido un incremento de 64% a 78%. En la tabla 3.16 se aprecia el nivel de atención obtenido en cada mes de producción.

Tabla 3.16. Nivel de atención obtenido por el modelo

| Periodo | Ene-13 | Feb-13 | Mar-13 | Abr-13 | May-13 | Total |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Lotes Planificados | 28 | 20 | 21 | 21 | 18 | 108 |
| Lotes Producidos | 20 | 6 | 20 | 21 | 17 | 84 |
| %Cumplimiento | 71% | 30% | 95% | 100% | 94% | 78% |

Elaboración propia

El modelo también nos proporciona la cantidad de lotes producidos y la utilidad obtenida de cada cliente. Así mismo, nos proporciona el inventario de materia prima y envases existentes al inicio del mes (considerando los datos de ingresos previstos brindado por el área de logística), el inventario de materia prima y envase utilizados, y el inventario de materia prima y envase al final del mes. La comparación de resultados por cada cliente se muestra en la tabla 3.17, mientras que los resultados de inventarios se muestran en las tablas 3.18 a 3.23.

Tabla 3.17. Comparación resultados de cada cliente

| Año 2013 | | Resultados de la empresa | | Resultados del modelo | |
|-------------------------|----------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Mes | Cliente | Lotes producidos | Utilidad obtenida | Lotes producidos | Utilidad obtenida |
| Enero | LLPP | 8 | S/.28,621 | 8 | S/.31,521 |
| | Retail | 6 | S/.15,232 | 10 | S/.26,659 |
| | Terceros | 2 | S/.4,210 | 2 | S/.4,943 |
| Subtotal enero | | 16 | S/.4,8063 | 20 | S/.63,123 |
| Febrero | LLPP | 2 | S/.7,620 | 2 | S/.7,596 |
| | Retail | 2 | S/.4,523 | 4 | S/.11,958 |
| | Terceros | 0 | S/.0 | 0 | S/.0 |
| Subtotal febrero | | 4 | S/.12,143 | 6 | S/.19,554 |
| Marzo | LLPP | 9 | S/.22,270 | 9 | S/.36,471 |
| | Retail | 4 | S/.8,307 | 9 | S/.24,173 |
| | Terceros | 1 | S/.3,764 | 2 | S/.7,528 |
| Subtotal marzo | | 14 | S/.34,341 | 20 | S/.68,172 |
| Abril | LLPP | 13 | S/.42,034 | 11 | S/.28,705 |
| | Retail | 6 | S/.17,865 | 9 | S/.36,729 |
| | Terceros | 2 | S/.4,002 | 1 | S/.1,179 |
| Subtotal abril | | 21 | S/.63,901 | 21 | S/.66,613 |
| Mayo | LLPP | 7 | S/.20,585 | 10 | S/.32,446 |
| | Retail | 4 | S/.9,438 | 4 | S/.10,535 |
| | Terceros | 3 | S/.7,598 | 3 | S/.8,707 |
| Subtotal mayo | | 14 | S/.37,621 | 17 | S/.51,688 |
| TOTAL | | 69 | S/.196,069 | 84 | S/.269,150 |

Elaboración propia

Tabla 3.18. Inventario inicial de materia prima en cada mes

| Cód. MP | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| MP1 | 230 kg | 230 kg | 230 kg | 230 kg | 230 kg |
| MP2 | 20 kg | 19.635 kg | 19.635 kg | 19.635 kg | 19.27 kg |
| MP3 | 60 kg | 56.91 kg | 56.91 kg | 53.82 kg | 53.82 kg |
| MP4 | 200 kg | 173.8 kg | 162.6 kg | 151.4 kg | 151.4 kg |
| MP5 | 12 kg | 11 kg | 11 kg | 9 kg | 9 kg |
| MP6 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP7 | 3.828 kg | 1.868 kg | 15.868 kg | 13.908 kg | 11.946 kg |
| MP8 | 268.801 kg | 213.466 kg | 553.466 kg | 537.182 kg | 410.228 kg |
| MP9 | 37.547 kg | 63.747 kg | 51.847 kg | 51.847 kg | 239.947 kg |
| MP10 | 20 kg | 20 kg | 20 kg | 19.45 kg | 19.45 kg |
| MP11 | 13.176 kg | 13.176 kg | 13.176 kg | 13.176 kg | 13.176 kg |
| MP12 | 0.643 kg | 0.643 kg | 0.643 kg | 0.643 kg | 0.643 kg |
| MP13 | 13.176 kg | 10.396 kg | 7.616 kg | 7.616 kg | 4.836 kg |
| MP14 | 89.093 kg | 208.493 kg | 208.493 kg | 208.493 kg | 327.893 kg |
| MP15 | 4.293 kg | 4.293 kg | 4.293 kg | 2.403 kg | 2.403 kg |
| MP16 | 0.286 kg | 0.286 kg | 0.286 kg | 0.286 kg | 0.286 kg |
| MP17 | 18.367 kg | 18.367 kg | 17.117 kg | 17.117 kg | 17.117 kg |
| MP18 | 0.562 kg | 1.17 kg | 1.17 kg | 0.578 kg | 1.578 kg |
| MP19 | 52.258 kg | 42.57 kg | 42.57 kg | 42.57 kg | 32.882 kg |
| MP20 | 487.1 kg | 453.116 kg | 453.116 kg | 899.132 kg | 899.132 kg |
| MP21 | 153.53 kg | 123.93 kg | 223.93 kg | 223.93 kg | 105.53 kg |
| MP22 | 0.075 kg | 5.075 kg | 5.075 kg | 4.375 kg | 2.975 kg |
| MP23 | 9.58 kg | 9.58 kg | 9.58 kg | 28.86 kg | 28.86 kg |
| MP24 | 136.753 kg | 114.703 kg | 100.003 kg | 77.953 kg | 63.253 kg |
| MP25 | 53.741 kg | 39.741 kg | 39.741 kg | 111.741 kg | 83.741 kg |

Elaboración propia

Tabla 3.19. Inventario utilizado de materia prima en cada mes

| Cód. MP | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|---------|-----------|---------|-----------|------------|-----------|
| MP1 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP2 | 0.365 kg | 0 kg | 0 kg | 0.365 kg | 0 kg |
| MP3 | 3.09 kg | 0 kg | 3.09 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP4 | 26.2 kg | 11.2 kg | 11.2 kg | 0 kg | 11.2 kg |
| MP5 | 1 kg | 0 kg | 2 kg | 0 kg | 2 kg |
| MP6 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP7 | 1.96 kg | 0 kg | 1.96 kg | 1.962 kg | 0 kg |
| MP8 | 55.335 kg | 0 kg | 16.284 kg | 126.954 kg | 0 kg |
| MP9 | 23.8 kg | 11.9 kg | 0 kg | 11.9 kg | 23.8 kg |
| MP10 | 0 kg | 0 kg | 0.55 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP11 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 1.08 kg |
| MP12 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP13 | 2.78 kg | 2.78 kg | 0 kg | 2.78 kg | 0 kg |
| MP14 | 30.6 kg | 0 kg | 0 kg | 30.6 kg | 30.6 kg |
| MP15 | 0 kg | 0 kg | 1.89 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP16 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP17 | 0 kg | 1.25 kg | 0 kg | 0 kg | 1.25 kg |
| MP18 | 0.392 kg | 0 kg | 0.592 kg | 0 kg | 0.2 kg |
| MP19 | 9.688 kg | 0 kg | 0 kg | 9.688 kg | 0 kg |
| MP20 | 33.984 kg | 0 kg | 33.984 kg | 0 kg | 203.88 kg |
| MP21 | 29.6 kg | 0 kg | 0 kg | 118.4 kg | 0 kg |
| MP22 | 0 kg | 0 kg | 0.7 kg | 1.4 kg | 0 kg |
| MP23 | 0 kg | 0 kg | 0.72 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP24 | 22.05 kg | 14.7 kg | 22.05 kg | 14.7 kg | 14.7 kg |
| MP25 | 14 kg | 0 kg | 28 kg | 28 kg | 0 kg |

Elaboración propia

Tabla 3.20. Inventario final de materia prima en cada mes

| Cód. MP | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| MP1 | 230 kg | 230 kg | 230 kg | 230 kg | 230 kg |
| MP2 | 19.635 kg | 19.635 kg | 19.635 kg | 19.27 kg | 19.27 kg |
| MP3 | 56.91 kg | 56.91 kg | 53.82 kg | 53.82 kg | 53.82 kg |
| MP4 | 173.8 kg | 162.6 kg | 151.4 kg | 151.4 kg | 140.2 kg |
| MP5 | 11 kg | 11 kg | 9 kg | 9 kg | 7 kg |
| MP6 | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg | 0 kg |
| MP7 | 1.868 kg | 1.868 kg | 13.908 kg | 11.946 kg | 11.946 kg |
| MP8 | 213.466 kg | 213.466 kg | 537.182 kg | 410.228 kg | 410.228 kg |
| MP9 | 13.747 kg | 51.847 kg | 51.847 kg | 39.947 kg | 216.147 kg |
| MP10 | 20 kg | 20 kg | 19.45 kg | 19.45 kg | 19.45 kg |
| MP11 | 13.176 kg | 13.176 kg | 13.176 kg | 13.176 kg | 12.096 kg |
| MP12 | 0.643 kg | 0.643 kg | 0.643 kg | 0.643 kg | 0.643 kg |
| MP13 | 10.396 kg | 7.616 kg | 7.616 kg | 4.836 kg | 4.836 kg |
| MP14 | 58.493 kg | 208.493 kg | 208.493 kg | 177.893 kg | 297.293 kg |
| MP15 | 4.293 kg | 4.293 kg | 2.403 kg | 2.403 kg | 2.403 kg |
| MP16 | 0.286 kg | 0.286 kg | 0.286 kg | 0.286 kg | 0.286 kg |
| MP17 | 18.367 kg | 17.117 kg | 17.117 kg | 17.117 kg | 15.867 kg |
| MP18 | 0.17 kg | 1.17 kg | 0.578 kg | 0.578 kg | 1.378 kg |
| MP19 | 42.57 kg | 42.57 kg | 42.57 kg | 32.882 kg | 32.882 kg |
| MP20 | 453.116 kg | 453.116 kg | 419.132 kg | 899.132 kg | 695.252 kg |
| MP21 | 123.93 kg | 123.93 kg | 223.93 kg | 105.53 kg | 105.53 kg |
| MP22 | 0.075 kg | 5.075 kg | 4.375 kg | 2.975 kg | 2.975 kg |
| MP23 | 9.58 kg | 9.58 kg | 8.86 kg | 28.86 kg | 28.86 kg |
| MP24 | 114.703 kg | 100.003 kg | 77.953 kg | 63.253 kg | 48.553 kg |
| MP25 | 39.741 kg | 39.741 kg | 11.741 kg | 83.741 kg | 83.741 kg |

Elaboración propia

Tabla 3.21. Inventario inicial de envases en cada mes

| Cód. MP | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ENV01 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV02 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV03 | 6850 unid | 185 unid | 185 unid | 185 unid | 185 unid |
| ENV04 | 10250 unid | 253 unid | 253 unid | 253 unid | 253 unid |
| ENV05 | 24599 unid | 4605 unid | 46605 unid | 6617 unid | 48617 unid |
| ENV06 | 3787 unid | 13787 unid | 21787 unid | 11790 unid | 1793 unid |
| ENV07 | 18294 unid | 3298 unid | 39298 unid | 27971 unid | 12975 unid |
| ENV08 | 14307 unid | 3476 unid | 3476 unid | 26476 unid | 10646 unid |
| ENV09 | 991 unid | 991 unid | 991 unid | 991 unid | 991 unid |
| ENV10 | 6463 unid | 6463 unid | 6463 unid | 1464 unid | 1464 unid |
| ENV11 | 20512 unid | 14680 unid | 33848 unid | 28016 unid | 28016 unid |
| ENV12 | 25016 unid | 15019 unid | 20022 unid | 13024 unid | 3027 unid |
| ENV13 | 5323 unid | 324 unid | 324 unid | 6324 unid | 7325 unid |
| ENV14 | 7901 unid | 10901 unid | 18901 unid | 6905 unid | 11505 unid |
| ENV15 | 23272 unid | 16446 unid | 10198 unid | 10198 unid | 16950 unid |
| ENV16 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV17 | 0 unid | 5966 unid | 3467 unid | 3467 unid | 3467 unid |
| ENV18 | 15064 unid | 2268 unid | 27268 unid | 1676 unid | 14176 unid |
| ENV19 | 14067 unid | 738 unid | 14438 unid | 1109 unid | 1109 unid |
| ENV20 | 3450 unid | 451 unid | 451 unid | 3451 unid | 452 unid |
| ENV21 | 12329 unid | 12329 unid | 12329 unid | 22329 unid | 22329 unid |
| ENV22 | 32698 unid | 39370 unid | 27706 unid | 50210 unid | 15218 unid |
| ENV23 | 9105 unid | 9105 unid | 9105 unid | 8367 unid | 3741 unid |
| ENV24 | 3365 unid | 966 unid | 2466 unid | 67 unid | 67 unid |
| ENV25 | 9308 unid | 3476 unid | 3476 unid | 15476 unid | 3812 unid |
| ENV26 | 0 unid | 0 unid | 7500 unid | 502 unid | 502 unid |

Elaboración propia

Tabla 3.22. Inventario utilizado de envases en cada mes

| Cód. MP | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ENV01 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV02 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV03 | 6665 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV04 | 9997 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV05 | 19994 unid | 0 unid | 39988 unid | 0 unid | 39988 unid |
| ENV06 | 0 unid | 0 unid | 9997 unid | 9997 unid | 0 unid |
| ENV07 | 14996 unid | 0 unid | 23327 unid | 14996 unid | 5998 unid |
| ENV08 | 10831 unid | 0 unid | 0 unid | 15830 unid | 0 unid |
| ENV09 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV10 | 0 unid | 0 unid | 4999 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV11 | 5832 unid | 5832 unid | 5832 unid | 0 unid | 5832 unid |
| ENV12 | 9997 unid | 9997 unid | 6998 unid | 9997 unid | 0 unid |
| ENV13 | 4999 unid | 0 unid | 0 unid | 4999 unid | 4999 unid |
| ENV14 | 0 unid | 0 unid | 11996 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV15 | 12496 unid | 6248 unid | 0 unid | 6248 unid | 12496 unid |
| ENV16 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV17 | 0 unid | 2499 unid | 0 unid | 0 unid | 2499 unid |
| ENV18 | 12796 unid | 0 unid | 25592 unid | 0 unid | 12796 unid |
| ENV19 | 13329 unid | 0 unid | 13329 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV20 | 2999 unid | 0 unid | 0 unid | 2999 unid | 0 unid |
| ENV21 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 14394 unid |
| ENV22 | 23328 unid | 11664 unid | 17496 unid | 34992 unid | 11664 unid |
| ENV23 | 0 unid | 0 unid | 3888 unid | 7776 unid | 0 unid |
| ENV24 | 2399 unid | 0 unid | 2399 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV25 | 5832 unid | 0 unid | 0 unid | 11664 unid | 0 unid |
| ENV26 | 0 unid | 0 unid | 6998 unid | 0 unid | 0 unid |

Elaboración propia

Tabla 3.23. Inventario final de envases en cada mes

| Cód. MP | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ENV01 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV02 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV03 | 185 unid | 185 unid | 185 unid | 185 unid | 185 unid |
| ENV04 | 253 unid | 253 unid | 253 unid | 253 unid | 253 unid |
| ENV05 | 4605 unid | 4605 unid | 6617 unid | 6617 unid | 8629 unid |
| ENV06 | 3787 unid | 13787 unid | 11790 unid | 1793 unid | 1793 unid |
| ENV07 | 3298 unid | 3298 unid | 15971 unid | 12975 unid | 6977 unid |
| ENV08 | 3476 unid | 3476 unid | 3476 unid | 10646 unid | 10646 unid |
| ENV09 | 991 unid | 991 unid | 991 unid | 991 unid | 991 unid |
| ENV10 | 6463 unid | 6463 unid | 1464 unid | 1464 unid | 1464 unid |
| ENV11 | 14680 unid | 8848 unid | 28016 unid | 28016 unid | 22184 unid |
| ENV12 | 15019 unid | 5022 unid | 13024 unid | 3027 unid | 3027 unid |
| ENV13 | 324 unid | 324 unid | 324 unid | 1325 unid | 2326 unid |
| ENV14 | 7901 unid | 10901 unid | 6905 unid | 6905 unid | 11505 unid |
| ENV15 | 10776 unid | 10198 unid | 10198 unid | 3950 unid | 4454 unid |
| ENV16 | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid | 0 unid |
| ENV17 | 0 unid | 3467 unid | 3467 unid | 3467 unid | 968 unid |
| ENV18 | 2268 unid | 2268 unid | 1676 unid | 1676 unid | 1380 unid |
| ENV19 | 738 unid | 738 unid | 1109 unid | 1109 unid | 1109 unid |
| ENV20 | 451 unid | 451 unid | 451 unid | 452 unid | 452 unid |
| ENV21 | 12329 unid | 12329 unid | 12329 unid | 22329 unid | 7935 unid |
| ENV22 | 9370 unid | 27706 unid | 10210 unid | 15218 unid | 3554 unid |
| ENV23 | 9105 unid | 9105 unid | 5217 unid | 591 unid | 3741 unid |
| ENV24 | 966 unid | 966 unid | 67 unid | 67 unid | 67 unid |
| ENV25 | 3476 unid | 3476 unid | 3476 unid | 3812 unid | 3812 unid |
| ENV26 | 0 unid | 0 unid | 502 unid | 502 unid | 502 unid |

Elaboración propia

3.4 Evaluación económica

En esta sección se realiza la evaluación económica de las mejoras planteadas en el presente estudio. En primer lugar se analiza el impacto económico que genera la implementación de una línea automática para las operaciones de dosificado, tapado y etiquetado. En segundo lugar, se analiza el impacto económico que se obtiene a partir programa de producción planteado por el modelo matemático desarrollado.

3.4.1 Impacto económico de la línea automática

Actualmente, en la operación de dosificado se utiliza una dosificadora semiautomática y la operación de tapado se realiza manualmente; ambas operaciones se llevan a cabo durante el proceso de envasado con una duración de 6.25 horas para un lote completo. Así mismo, en el proceso de acondicionado, la operación de etiquetado también se realiza de forma manual con una duración de 8.25 horas para un lote completo. En total se requiere de

14.5 horas de operación lo que equivale a 83 horas-hombre. Con la adquisición e implementación de la línea de dosificado, tapado y etiquetado automática se mejoraría el tiempo de operación a una hora y se requerirían solo 4 horas-hombre por cada lote. Para esto, se debe realizar una inversión para la adquisición e implementación de la línea automática del proveedor VC Seraming S.R.L que se muestra en la tabla 3.24.

Tabla 3.24. Costo de adquisición e implementación de la línea automática

| Ítem | Costo | Frecuencia |
|--|------------------|------------|
| Adquisición e implementación de la línea de automática | \$ 133,222 | Única vez |
| Capacitación de operarios y personal de mantenimiento | \$ 1,500 | Única vez |
| Tasa de cambio al 09/08/13 | 1USD = 2.789 PEN | - |

Elaboración propia

Debido a que el tiempo de dosificado, tapado y etiquetado se reduce de 83 horas-hombre a 4 horas-hombre por cada lote se genera una reducción considerable de 79 horas-hombre en cada lote. En la tabla 3.25 se encuentra el ahorro generado en horas-hombre.

Tabla 3.25. Ahorro mensual en horas-hombre (h-h)

| H-H por lote | Lote por mes | H-H por mes | Costo h-h | Ahorro mensual | Ahorro anual (S./) |
|--------------|--------------|-------------|-----------|----------------|--------------------|
| 79 | 22 | 1,738 | 11.00 | 19,118 | 229,416 |

Elaboración propia

3.4.2 Impacto económico del modelado

La producción en la línea de líquidos no estériles se realiza en base a un plan proyectado que solo mide las coberturas de cada producto, mas no toma en cuenta la capacidad de La Planta ni los insumos disponibles lo que ocasiona que se no se optimice los procesos teniendo que producir los productos más urgentes y dejando pendientes los productos que generan mayor utilidad. Por esta razón se ha planteado un modelo matemático que ayude a realizar el programa de producción para un periodo mensual en el que se indique la secuencia óptima de producción teniendo en cuenta la capacidad y los insumos disponibles. Para ejecutar el modelo matemático se debe tener en cuenta los

requerimientos del hardware y software, y las condiciones de mercado mostrados en la tabla 3.26

Tabla 3.26. Requerimientos técnicos y condiciones de mercado

| Concepto | Descripción | Costo | Frecuencia |
|---------------|---|------------------|------------|
| Hardware | CPU con procesador de 3.0 Ghz, memoria RAM de 4 GB, disco duro de 500 GB + Pantalla LCD de 22" + teclado y mouse. | S/.1,500.00 | Única vez |
| Software | Industrial LINGO Constraints: 16,000 Variables: 32,000 Integers: 3,200 | \$2,995.00 | Única vez |
| Administrador | Conocimientos de planeamiento de operaciones y mejora de procesos. | S/.39,200.00 | Anual |
| Mercado | Tasa de cambio al 09/08/13 | 1USD = 2.789 PEN | - |

Elaboración propia

En la tabla se demuestra que con el programa de producción generado por el modelo matemático se llega a obtener una utilidad de S/. 73,081.00 por encima de los resultados reales de la empresa para el periodo comprendido de enero a mayo del 2013.

Para proyectar las utilidades esperadas de los meses de junio a diciembre se utilizó los ratios Lp/Do (número de lotes producidos en el mes dividido entre los días operativos del mes) y U/Lp (utilidad obtenida en el mes dividido entre el número de lotes producidos en el mes). Los resultados de los ratios se muestran en las tablas 3.27 y 3.28.

Tabla 3.27. Ratios Lp/Do y U/Lp de la situación actual de la empresa

| Mes | Días operativos | Lotes producidos | Ratio Lp/Do | Utilidad obtenida | Ratio U/Lp |
|----------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|----------------|
| Enero | 24 | 16 | 0.67 | S/. 48,063 | 3003.94 |
| Febrero | 9 | 4 | 0.44 | S/. 12,143 | 3035.75 |
| Marzo | 26 | 14 | 0.54 | S/. 34,341 | 2452.93 |
| Abril | 30 | 21 | 0.70 | S/. 63,901 | 3042.90 |
| Mayo | 24 | 14 | 0.58 | S/. 37,621 | 2687.21 |
| Mínimo | 9 | 4 | 0.44 | S/. 12,143 | 2452.93 |
| Máximo | 30 | 21 | 0.70 | S/. 63,901 | 3042.90 |
| Promedio | 22.6 | 13.8 | 0.59 | S/. 39,214 | 2844.55 |

Elaboración propia

Tabla 3.28. Ratios Lp/Do y U/Lp obtenidos por el modelo

| Mes | Días operativos | Lotes producidos | Ratio Lp/Do | Utilidad obtenida | Ratio U/Lp |
|----------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|----------------|
| Enero | 24 | 20 | 0.83 | S/. 63,123 | 3156.15 |
| Febrero | 9 | 6 | 0.67 | S/. 19,554 | 3259.00 |
| Marzo | 26 | 20 | 0.77 | S/. 68,172 | 3408.60 |
| Abril | 30 | 21 | 0.70 | S/. 66,613 | 3172.05 |
| Mayo | 24 | 17 | 0.71 | S/. 51,688 | 3040.47 |
| Mínimo | 9 | 6 | 0.67 | S/. 19,554 | 3040.47 |
| Máximo | 30 | 21 | 0.83 | S/. 68,172 | 3408.60 |
| Promedio | 22.6 | 16.8 | 0.74 | S/. 53,830 | 3207.25 |

Elaboración propia

Los resultados de la empresa en los meses de junio a diciembre se proyectarán con los ratios máximos Lp/Do igual a 0.70 y U/Lp igual a 3042.90; mientras que los resultados del modelo se proyectarán con los ratios promedios Lp/Do igual a 0.74 y U/Lp igual a 3207.25. Los resultados se muestran en las tablas 3.29 y 3.30 respectivamente.

Tabla 3.29. Resultados proyectados para la empresa

| Mes | Días operativos | Lotes producidos | Ratio Lp/Do | Utilidad obtenida | Ratio U/Lp |
|------------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|------------|
| Junio | 30 | 21 | 0.70 | S/. 70,769 | 3207.25 |
| Julio | 31 | 21 | 0.70 | S/. 73,128 | 3207.25 |
| Agosto | 31 | 21 | 0.70 | S/. 73,128 | 3207.25 |
| Septiembre | 30 | 21 | 0.70 | S/. 70,769 | 3207.25 |
| Octubre | 31 | 21 | 0.70 | S/. 73,128 | 3207.25 |
| Noviembre | 30 | 21 | 0.70 | S/. 70,769 | 3207.25 |
| Diciembre | 31 | 21 | 0.70 | S/. 73,128 | 3207.25 |
| | | 147 | | S/. 426,113 | |

Elaboración propia

Tabla 3.30. Resultados proyectados para el modelo

| Mes | Días operativos | Lotes producidos | Ratio Lp/Do | Utilidad obtenida | Ratio U/Lp |
|------------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|------------|
| Junio | 30 | 22 | 0.70 | S/. 59,735 | 2844.55 |
| Julio | 31 | 22 | 0.70 | S/. 61,727 | 2844.55 |
| Agosto | 31 | 22 | 0.70 | S/. 61,727 | 2844.55 |
| Septiembre | 30 | 22 | 0.70 | S/. 59,735 | 2844.55 |
| Octubre | 31 | 22 | 0.70 | S/. 61,727 | 2844.55 |
| Noviembre | 30 | 22 | 0.70 | S/. 59,735 | 2844.55 |
| Diciembre | 31 | 22 | 0.70 | S/. 61,727 | 2844.55 |
| | | 154 | | S/. 504,821 | |

Elaboración propia

Según los resultados obtenidos se proyecta que con el modelo se obtendrá S/78.708 por encima de los resultados proyectados para la empresa, además se logrará producir 7 lotes más que la empresa.

En total, considerando la producción para el año 2013, se proyecta que con el modelo desarrollado se obtendrá S/.152,509.00 más de lo que obtendría la empresa.

3.4.3 Resumen del análisis económico

El análisis de costo-beneficio de se muestra en la tabla 3.31.

Tabla 3.31. Análisis costo-beneficio de las mejoras

| Mejora | Costo | Beneficio | ROI |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| Línea automática | S/.375,740 | S/.229,416 | 1.64 |
| Modelo matemático | S/.49,053 | S/.152,509 | 0.32 |
| Total | S/.424,793 | S/.381,925 | 1.11 |

Elaboración propia

Se demuestra que desde el punto de vista financiero, las mejoras implementadas tienen capacidad de generación valor para la empresa. En total se obtendría un beneficio anual de con un retorno a la inversión de 1.11.

Nota: En la actualidad, La Empresa no tiene una cuenta corriente en el banco.

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El bajo nivel de cumplimiento (64%) del plan proyectado, la constante acumulación de lotes pendientes por fabricar y el exceso de horas-hombre durante los procesos de envasado y acondicionado en la línea de líquidos no estériles nos llevó a realizar un análisis a las principales áreas e identificar las causas principales. Los resultados fueron una necesidad de automatización en las operaciones de dosificado, tapado y etiquetado, y también la necesidad de un programa de producción que optimice los recursos disponibles principalmente en el área de fabricación o manufactura.

Se ha propuesto dos mejoras. El primero es una línea automática que se encargaría de realizar las operaciones de dosificado, tapado y etiquetado bajo la supervisión de cuatro operarios y operando a una velocidad de un lote por hora. La segunda mejora se trata de un modelo matemático que propone un programa de producción de la línea de líquidos no estériles para un mes, teniendo en cuenta los recursos disponibles y la política de stocks actual.

La línea automática nos genera un ahorro de un poco más de S/.220 mil nuevos soles al año y también aumenta la capacidad disponible con lo cual se procesarían más unidades de producción al mes.

- La línea automática nos permite reducir las horas-hombre que se necesitan para procesar un lote completo.
- La línea automática abre la posibilidad de que se tenga un proyecto de ampliación en los tamaños de lote y los niveles de dosificado de cada producto.

El programa de producción planteado por el modelo matemático nos permite obtener una utilidad de más de un poco más de S/.152 mil nuevos soles respecto del programa establecido por la empresa, lo que aumentaría el nivel de atención de demanda a un 78%.

- El modelo permite obtener un programa considerando los turnos normales y turnos extras que tiene cada mes de producción y también permite obtener el inventario de materias primas y envases de la línea.
- El modelo sirve para la toma de decisiones en las áreas de planificación, manufactura y empaque. Al área de planificación le dará a conocer la cantidad de lotes de productos que se atenderán y el nivel de stock de inventarios con el que contarán al final de mes. A las áreas de manufactura y empaque les ayudará a programar la asignación de los operarios en los turnos extras.
- El modelo nos permitiría simular un programa de producción si se duplicará la capacidad del área de fabricaciones y envasado. Por otro lado, si hubiera algún cambio en la fórmula de los productos, se podría simular una nueva situación de inventarios de materia prima y envases.

Las mejoras planteadas permiten un ahorro anual de S/.373,213.00 nuevos soles con un retorno de la inversión de 1.11 años, lo cual se considera como un proyecto rentable que debe implementarse en el mediano plazo.

4.2 Recomendaciones

Con la implementación de la línea de dosificado, tapado y etiquetado automática, se recomienda realizar un estudio de tiempos para cada producto con el fin de mejorar el planeamiento de la producción.

Analizar la posibilidad implementar un segundo turno en el área de fabricación y también el incremento de los lotes a fin de que se pueda aprovechar al máximo los beneficios de esta línea de envasado.

Antes de poner en práctica el modelo, las áreas interesadas deben revisar los datos que el modelo utiliza para asegurar que el modelo no arroje resultados incoherentes y estén de acuerdo a las políticas de la empresa.

Los datos que deben actualizarse en el modelo son los días disponibles del mes, la demanda de productos, el stock inicial de materia prima y envases, y, lo más importante, asignar los costos de cada proceso (mezclado, filtrado, envasado y acondicionado) para cada día del mes (si es día de turno normal o turno extra).

Es conveniente simplificar el modelo lo máximo posible para poder realizar con mayor rapidez la actualización de datos. También es conveniente desarrollar una macro en Excel que permite realizar la lectura de los valores arrojados y lo convierta en un gráfico más apreciable.

Nombrar a un encargado de la administración y mantenimiento del modelo matemático. Esta persona debe tener conocimientos de programación lineal, planificación y mejora de procesos.

Por último, se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo para evitar las paralizaciones inesperadas y tenerlo en cuenta en el plan de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUADROS, Dante

2006 *Desarrollo de un modelo de optimización de los procesos productivos de un laboratorio farmacéutico aplicando programación lineal entera mixta con múltiples objetivos*. Tesis de Licenciatura de Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

MACHUCA, J.A.D y otros.

1995 "Dirección de operaciones: aspectos estratégicos en la producción y los servicios". Madrid: McGraw-Hill.

MACHUCA, J.A.D y otros.

1995 "Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios". Madrid: McGraw-Hill.

MATEO, Pedro, & LAHOZ, David.

2001 Programación lineal entera. Material de enseñanza. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Consulta: 19 de julio de 2013.
<<http://ocw.unizar.es/ocw/enseñanzas-tecnicas/modelos-de-investigacion-operativa/ficheros/OCWProgEntera.pdf>>

MAYO, Daniel

2005 *Desarrollo de un modelo de optimización de la producción en una empresa textil utilizando la programación lineal entera mixta*. Tesis de Licenciatura de Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

MIRANDA, Alvaro

2010 *Análisis y propuesta del sistema de producción de una empresa manufacturera de productos químicos con el enfoque MRP*. Tesis de Licenciatura de Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

MUNHOZ, José Renato, & MORABITO, Reinaldo.

2001 "Um modelo baseado em programação linear e programação de metas para análise de um sistema de produção e distribuição de suco concentrado congelado de laranja." *Gestão & Produção*. São Carlos, 2001, vol. 8, número 2, pp. 139-159. Consulta: 05 de mayo de 2013.
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2001000200004>

VARGAS, María

2012 "Cuadros, tablas y figuras". Curso elaborar ponencias. Tijuana. Consulta: 19 de mayo de 2013.
<<https://sites.google.com/site/itt2012cursoelaborarponencias/>>