ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

"MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA"

TEMA

"DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE DETERGENTES EN POLVO"

AUTOR(ES)

CARLOS MANUEL YONG CRUZ

Guayaquil - Ecuador

AÑO
2014

DEDICATORIA

Se cumple una meta de realización personal en mi vida y con la cuál quiero compartir mis sentimientos de admiración y gratitud a todas las personas que supieron darme el aliento necesario para no desmayar y continuar a pesar de las adversidades. Para todos ellos mi profundo respeto por su apoyo incondicional.

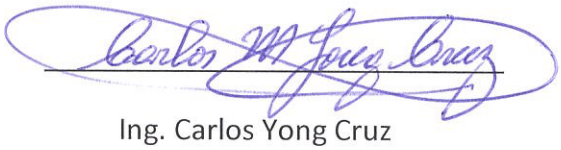
Mis sinceros deseos para que cada uno de ustedes logre sus metas personales siempre teniendo presente que lo que cuesta más esfuerzo y sacrificio tienen así mismo un mayor valor que lo hace gratificante de principio a fin.

AGRADECIMIENTO

Al Buen Dios que me ha dado tantas alegrías y bendiciones la gran mayoría sin hacer el esfuerzo para merecerlas, así como me ha dado ahora la gracia necesaria para vencer mis propios obstáculos para lograr terminar este proyecto personal. A mis padres que siempre estuvieron pendientes en cada etapa de este proceso manteniendo su confianza e ilusión ante todo. A mis hermanas que con su testimonio de vida me dieron inspiración para seguir consiguiendo metas y renovar la motivación. A mi amada esposa que me supo soportar incluso en los momentos más difíciles y que con sus palabras y acogida me devolvían las fuerzas y la ilusión. A mí querida hija que también supo acompañarme en este camino con su inocencia y palabras de ánimo y amor. A Carlos Cepeda por su perseverancia y paciencia para lograr llegar a feliz término este proyecto. A los profesores de la maestría por brindarnos lo mejor de sus capacidades y conocimientos para tener herramientas que nos hagan mejores profesionales y a mis compañeros por su generosidad en compartir y ayudarnos mutuamente en todo momento.

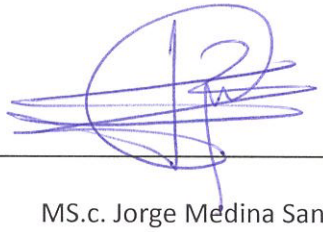
DECLARACIÓN EXPRESA

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



Ing. Carlos Yong Cruz

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



MS.c. Jorge Medina Sancho

PRESIDENTE DEL TIBUNAL

MS.c. Carlos Cepeda De la Torre

DIRECTOR DE LA TESIS

MS.c. Carlos Martín Barreiro

VOCAL DEL TRIBUNAL

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO DE TABLAS	II
CONTENIDO DE FIGURAS	II
CONTENIDO DE ABREVIATURAS	III
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivo General	5
1.5 Objetivos Específicos	5
1.6 Estructura de la tesis	6
2. PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Proceso de planeación y control de la producción	7
2.2 Pronósticos	8
2.3 Planeación agregada de la producción	9
2.4 Plan Maestro de producción	11
2.5 Planeación de Requerimientos de Materiales	13
2.6 Planeación de Requerimientos de Capacidad	17
2.7 Inventarios	19
2.8 Programación de la producción	21
2.8.1 Asignación de carga	22
2.8.2 Secuenciación de pedidos	22
2.8.3 Programación detallada	23
2.9 Programación Lineal	24
3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	27
3.1 Descripción del proceso de producción	27
3.2 Capacidades de producción	31
3.3 Planificación de la producción	32
3.4 Acuerdo del Plan de producción	35
3.5 Programación de líneas de producción	39
4. MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	40
4.1 Introducción	40
4.2 Definición del problema	40
4.3 Diseño y aplicación del modelo matemático para la planificación de la producción	41
4.3.1 Restricciones de la producción	42
4.3.2 Marco de la programación matemática	42
4.3.3 Modelo Matemático para el Plan de Producción semanal	42
4.3.4 Índices del modelo	43
4.3.5 Variables de Decisión	43
4.3.6 Tablas y parámetros	44
4.3.7 Función objetivo	46
4.3.8 Restricciones	46
4.4 Aplicación del modelo matemático	49
4.5 Principales resultados obtenidos	49
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1 Conclusiones	53
5.2 Recomendaciones	54

BIBLIOGRAFÍA 56
APÉNDICE 58

CONTENIDO DE TABLAS **Pág.**

Tabla No. 1 – Capacidades de Procesos 31
Tabla No. 2 – Velocidades y gramajes por línea 36
Tabla No. 3 – Índices del Modelo 43
Tabla No. 4 - Variables de decisión 44
Tabla No. 5 - Tablas y parámetros del modelo matemático 45
Tabla No. 6 - % Utilización de líneas de producción 49
Tabla No. 7 – Comparación de Patrones de producción 51

CONTENIDO DE FIGURAS **Pág.**

Figura No. 1 - Proceso de planeación, programación y control de la producción 8
Figura No. 2 - Esquema General de un sistema MRP 15
Figura No. 3 – Proceso productivo de detergentes en polvo 28
Figura No. 4 – Proceso de Preparación de detergentes (Slurry Making) 29
Figura No. 5 – Proceso de Secado (Spray Drying) 29
Figura No. 6 – Proceso de Postdosado 30
Figura No. 7 – Proceso de Envasado 31
Figura No. 8 – Proyección de demanda de detergentes en polvo al año 2015 32
Figura No. 9 – Esquema del proceso de planificación de la producción 33
Figura No. 10 – Ejemplo de un plan de producción semanal 34
Figura No. 11 – Utilización de las líneas en el tiempo disponible por mes 36
Figura No. 12 – Utilización de las líneas en promedio mensual 37
Figura No. 13 – Capacidad de planta por proceso 37
Figura No. 14 – Líneas de Envasado de detergente en polvo 38
Figura No. 15 – Importancia de los gramajes según el volumen del portafolio 39
Figura No. 16 – Velocidades x día del plan de producción 39
Figura No. 17 – Comparación de % utilización de líneas envasadoras 50

CONTENIDO DE ABREVIATURAS

USD	Moneda local : dólares americanos
MPS	**Master Production Schedule** (Plan Maestro Producción)
MRP	**Material Requirements Planning** (Planeación de requerimientos de material)
MTS	**Make to Stock** (Fabricar para inventario)
MTO	**Make to Order** (Fabricar bajo pedido)
ATS	**Assembly to Stock** (Ensamblar para inventario)
FAS	**Final Assembly Schedule** (Programación de ensamble final)
BOM	**Bill of Material** (Lista de materiales)
CRP	**Capacity Requirements Planning** (Planeación requerimientos de capacidad)
Kg	Kilogramos
G	Gramos
SKU	**Stock Keeping Unit** (Unidad inventariada para comercializar)
TONS	Toneladas
ERP	**Enterprise Resource Planning** (Planeación recursos de la empresa)
SAP	Software ERP que tiene la empresa para información financiera del negocio
MANUGISTIC	Software de Planeación de Demanda
TPH	Toneladas por Hora
MIP	**Mixed Interger Programming** (Programación entera mixta)
GAMS	Software para Modelizar problemas de programación matemática

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Con el objetivo de aumentar las utilidades, las empresas buscan realizar un uso eficiente de sus activos, intentando minimizar los gastos innecesarios en la utilización de sus recursos, teniendo siempre en consideración la importancia y la necesidad de responder ante las necesidades de los clientes.

Ante ello, lograr una planificación de la producción eficiente y optimizar el uso de los activos son puntos que resultan claves para el buen funcionamiento del negocio logrando satisfacer de forma eficiente las necesidades de los clientes a la vez que se optimizan los costos de fabricación.

El estudio de nuevas formulaciones matemáticas para la solución de problemas de programación de la producción ha sido en los últimos años de gran importancia en las plantas industriales especialmente en operaciones que tienen como características procesamiento de grandes lotes con equipos multipropósito y en las cuales la planificación de la producción no se apoya en ninguna herramienta de tipo tecnológico.

1.1 ANTECEDENTES

La empresa donde se realizará el estudio es una importante compañía que comercializa detergentes en polvo en el mercado ecuatoriano desde los años 1950 y en la actualidad se ubica como líder de la preferencia del consumidor para esta categoría de productos con el 77% de participación del mercado.

Cuenta con una fábrica de detergentes ubicada en la zona industrial de la ciudad de Guayaquil, en el mismo predio dispone de un centro de distribución a nivel nacional lo cual permite obtener importantes beneficios de costos y de disponibilidad de inventario de producto terminado para el despacho a los clientes, casi logrando despachar de la fábrica al cliente lo cual es una ventaja competitiva respecto a la competencia.

A partir del año 2006 inicia un programa de mejora continua conocido como TPM que es una filosofía japonesa de administración de la producción con el objetivo de lograr cero pérdidas en todos los procesos tanto operativos como administrativos de la fábrica. La primera etapa llevó 5 años y se enfocó en las mejoras operativas de la planta de producción, la segunda fase ya empieza a expandirse en la cadena de abastecimiento involucrando procesos como: Distribución, Finanzas, Planificación del abastecimiento y Compras.

Por ello se empieza a observar con detenimiento el proceso de planificación de la producción para buscar oportunidades de mejora que permitan reducir las pérdidas administrativas que estén impactando a la gestión de la planta y que afecten el servicio al cliente y a los costos de conversión de los productos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El área de enfoque de esta tesis es el uso de la Programación Matemática para resolver un problema de optimización que permita maximizar la productividad de la planta de detergentes al menor costo dentro del proceso de planificación de la producción.

Los problemas de esta naturaleza ilustran las dificultades cuando objetivos contrarios están presentes en un sistema. Desde el punto de vista de la fábrica lo ideal sería tener

corridas largas de producción que permitan reducir los costos de conversión haciendo uso de economías de escala ya que la productividad se mide con el costo de conversión dado en USD/toneladas. En contraparte, la planificación del abastecimiento persigue mayor flexibilidad a través de corridas de producción mínimas para tener mayor rotación de productos producidos por semana lo que permite tener bajos inventarios de productos terminados y al mismo tiempo se producen solo en el momento que se requieren.

El desafío es llevar a cabo una planificación de la producción que maximice el servicio al cliente después de considerar los costos de los cambios de productos y el nivel de inventario de productos terminados y de materias primas en los almacenes.

Se considerarán dentro del problema los valores de políticas de stocks de seguridad y costos de conversión de los productos terminados. La demanda de productos se considera conocida para un periodo de 12 meses, con el fin de determinar el plan de producción mensual y semanal. Se considera capacidad limitada de planta tanto en las líneas de envasado como de equipos de procesos. Una restricción clave es el nivel máximo de flexibilidad (cambio de formatos y variedades de detergente) en el programa de producción que permita satisfacer la demanda al mismo tiempo que no impacte los costos de conversión por tiempos requeridos para el cambio de productos.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas con altos estándares de manufactura se caracterizan por maximizar la productividad y reducir costos operacionales al mismo tiempo que buscan ofrecer productos de alta calidad al mejor nivel de servicio al cliente. Por ello están presionadas a buscar métodos y soluciones efectivas de costo para aumentar la

productividad. Una productividad excelente en la línea de producción consta de varios factores, dentro de los cuales se encuentra el plan de producción.

En la empresa donde se desarrollará esta tesis la planificación de la producción representa un problema de gran importancia porque se toma la decisión de utilizar los activos de la empresa para abastecer la demanda del mercado de detergentes a nivel nacional. En la actualidad el proceso de planificar la producción se ha mantenido de manera empírica buscando como objetivo principal la meta de inventarios de productos terminados al final de cada mes para asegurar el servicio al cliente, pero se desconoce si es la manera óptima de abastecer al mercado de manera competitiva con costos de conversión bajos.

La meta principal de la organización en cuanto al servicio al cliente es tener una respuesta rápida, y además evitar incurrir en atrasos innecesarios debido a una mala programación. Cada fracción de tiempo en la compañía se ve representada en dinero que se deja de recibir si la planificación de la producción no es la más adecuada, o podría convertirse también en una pequeña porción de mercado que la competencia puede aprovechar para empezar a atacar.

Un plan de producción incorrecto puede ocasionar atrasos en las entregas, situación que deja claramente insatisfechos a los clientes por la cual el cliente puede tomar la determinación de cambiar de proveedor y de producto. Por lo establecido anteriormente, la planificación de la producción es un área clave dentro del estudio de los componentes de una cadena de abastecimiento. Constituye ganancia o pérdida para la compañía, según sea realizada de una manera efectiva o no.

Por último, es necesario resaltar que este proyecto hará un aporte significativo a la empresa en la cual se estará implementando el modelo matemático y del cual se

extraerá toda la información necesaria, debido a que el modelo ayudará a determinar las cantidades óptimas de producción minimizando los costos a la vez que se maximiza la productividad y el servicio al cliente.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y validar un modelo de programación lineal que permita generar un programa de producción que minimice los costos de conversión y que brinde la posibilidad de analizar simultáneamente distintos escenarios, constituyéndose en un importante apoyo para la toma de decisiones para el departamento de planeación de una empresa de fabricación de detergentes en polvo

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El presente trabajo persigue los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un modelo de programación lineal para la planificación de producción que minimice los costos de fabricación
- Mejorar el nivel de servicio al cliente a través de la rotación de los productos
- Reducir costos de conversión mediante la minimización de los cambios de formatos y productos
- Disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones mediante un programa de producción óptimo.
- Aumentar la utilización de la capacidad instalada de la empresa
- Disminuir el uso de horas extras para satisfacer la demanda semanal de productos

1.6 Estructura de la tesis

Para la realización del presente proyecto de investigación se llevaron a cabo las siguientes fases:

Fase 1: Estudio de la Producción

Esta fase consiste en la recopilación de datos históricos de la producción que la compañía ha presentado de cada uno de los productos que fabrica la planta de detergentes en polvo durante los últimos 12 meses. Los datos de producción de algunas de las semanas estudiadas se muestran en el Apéndice A. Este apéndice también ilustra la forma real en que fueron asignados cada uno de los productos en cada semana de producción.

Fase 2: Modelo de Optimización

Una vez los datos de la demanda y producción estén claramente identificados y agrupados, el modelo procesa los datos de la cantidad de material solicitado; este permitirá asignar por período la cantidad de producto que optimice la función objetivo planteada.

CAPÍTULO II

PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

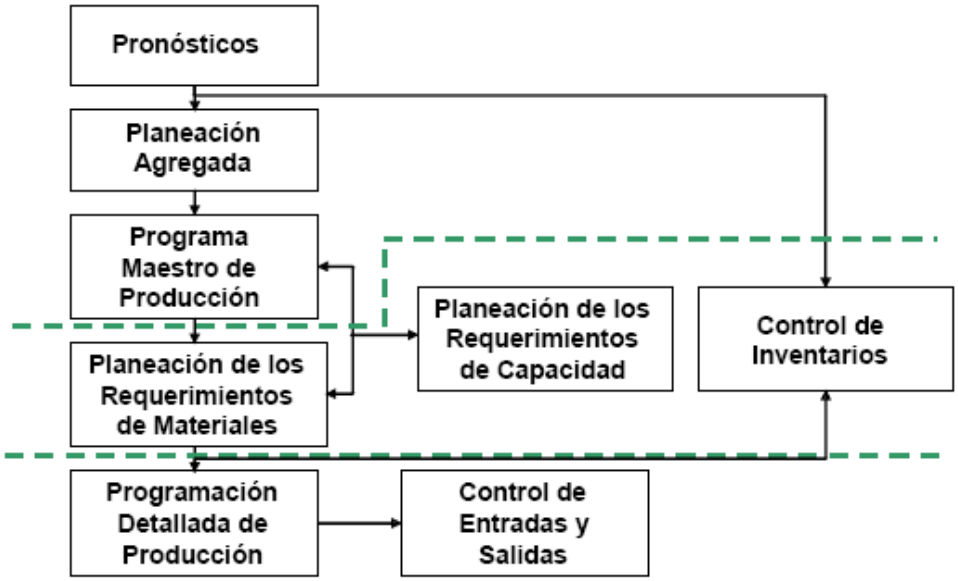
El proceso de planeación y control de la producción dentro de las empresas es de gran importancia ya que determina lo que ha de producirse para atender las necesidades del mercado, establece un plan indicando los recursos (máquinas, personas, tiempos, etc.) requeridos para llevarlo a cabo y en última instancia indica la viabilidad del plan.

A grandes rasgos, el proceso de planeación, programación y control de la producción puede dividirse en tres etapas. La primera comprende la creación de un plan general de producción, teniendo en cuenta la información del mercado para determinar que artículos se deben fabricar en un lapso de tiempo. La segunda etapa consiste en planificar los requerimientos de materiales y capacidad de producción para llevar a cabo el plan general. Finalmente, la tercera etapa ejecuta el plan previamente evaluado.

Cualquier empresa manufacturera puede llevar a cabo las fases anteriormente mencionadas, independiente de su tamaño y actividad. Solo deben adaptarse a las condiciones y características propias de su sistema productivo.

El proceso de planeación, programación y control de la producción puede describirse como se muestra en la figura No. 1.

Figura No. 1 - Proceso de planeación, programación y control de la producción.



2.2 PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA

Los pronósticos son el primer paso dentro del proceso de planificación y control de la producción; estos sirven como punto de partida no solo para la elaboración de los planes estratégicos, sino además para el diseño de los planes a mediano y corto plazo. Esto permite a las organizaciones, visualizar de manera aproximada los acontecimientos futuros y eliminar en gran parte la incertidumbre para reaccionar con rapidez a las condiciones cambiantes con algún grado de precisión.

Los pronósticos pueden hacerse a corto, mediano o largo plazo. Con nuevos productos, nuevas tecnologías y estrategias es conveniente realizar pronósticos a largo plazo; para inventarios, compras, programación de producción y transporte se recomienda pronósticos a corto o mediano plazo.

Es importante conocer el comportamiento de la demanda en un período de tiempo ya que cada producto tiene una demanda distinta y es necesario seleccionar un método para pronosticar adecuado.

2.3 PLANEACION AGREGADA DE LA PRODUCCION

La planeación agregada de la producción determina los recursos que son necesarios para satisfacer la demanda de determinado período, dichas demandas corresponden tanto a la información suministrada por los pronósticos como a órdenes reales de los clientes. Normalmente se hace para un mediano plazo, es decir, para un período de 6 a 12 meses. Su función principal es especificar la combinación óptima de tasa de producción, nivel de fuerza de trabajo e inventario disponible. La planeación agregada de la producción se hace para familias de productos, con similares materias primas, insumos y procesos, y no para productos individuales.

Existen dos técnicas principales para desarrollar la planeación agregada de la producción:

Escenarios: Evalúa desde el punto de vista de los costos varias estrategias y selecciona la más económica o beneficiosa.

Modelo de Programación lineal: Proporciona la solución óptima considerando los recursos necesarios para la producción, además de todas las restricciones existentes en la realidad.

Debido a que en el mediano plazo es poco probable incrementar la capacidad ampliando instalaciones o comprando maquinaria, con el fin de satisfacer la demanda se debe seleccionar una estrategia que permita combinar la tasa de producción, el nivel de inventarios y la fuerza de trabajo de la mejor manera.

Algunas de las estrategias usadas se mencionan a continuación.

Nivelar la producción: También conocida como fuerza de trabajo nivelada.

Se produce a una tasa constante nivelando durante un tiempo la fuerza de trabajo y se varían los niveles de inventarios para soportar los cambios en la demanda. El costo principal en el que se incurre al usar esta estrategia es el costo de manejar inventarios.

Perseguir la demanda: Esta estrategia es conocida como inventario cero. Se varía la fuerza de trabajo para que la producción coincida con la demanda. El costo que caracteriza esta estrategia es el costo de contratar y despedir personal.

Mantener recursos para altos niveles de demanda: Consiste en tener la capacidad requerida para satisfacer los períodos de alta demanda. Se tiene un buen nivel de servicio para estos períodos pero cuando la demanda es baja el costo de mantener los recursos es alto.

Tiempo extra: Esta estrategia se usa cuando las variaciones en la demanda no son muy drásticas. Se produce en horas extras manteniendo el mismo personal.

Subcontratar: Se contrata la producción con terceros. Es importante seleccionar un proveedor que cumpla con los requerimientos de calidad, especificaciones del producto y tiempos de entrega.

Faltantes: Se presenta cuando la capacidad instalada no permite cumplir con los requerimientos de un período y por lo tanto deben producirse en el siguiente. Esta alternativa solo se puede aplicar cuando el cliente está dispuesto a esperar por un producto o servicio. Normalmente se aplican multas debido a los retrasos.

Para la planeación agregada de la producción se pueden usar estrategias puras como las mencionadas anteriormente, o estrategias mixtas que son una combinación de las mismas. Las estrategias mixtas son las más usadas en la industria. Estas se evalúan desde el punto de vista de los costos para luego seleccionar la alternativa más económica.

2.4 PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.

El plan maestro de producción (MPS-Master Production Schedule) especifica cuándo y cuántos artículos o productos terminados deben producirse en determinado período. Se basa en los resultados arrojados por la planeación agregada de la producción pero la programación se hace para productos individuales en vez de familias de productos y se programa para lapsos de tiempo más cortos, normalmente días o semanas. En este plan las cantidades representan producción y no demanda, es decir, las cantidades a producir no necesariamente coinciden con la demanda ya que pueden influir estrategias o políticas que tome la compañía en cuanto a niveles de inventarios, fuerzas de trabajo y tamaño de los lotes de producción, entre otros. Dichas cantidades a producir pueden ser una combinación de órdenes de clientes y datos pronosticados.

En el Plan Maestro de producción las cantidades expresan lo que se necesita producir, no lo que se puede producir. Consideraciones acerca de la capacidad ya han sido tenidas en cuenta para la elaboración de la planeación agregada o serán evaluadas luego de obtener los resultados del MPS; solo al elaborar el MRP (Material Requirements Planning) se puede evaluar la factibilidad de MPS y se determina si es necesario hacer correcciones al mismo.

Es también importante tener en cuenta que el tipo de producción puede tener dos configuraciones:

Producción lote por Lote: La cantidad a producir es variable ya que se produce de acuerdo a la cantidad pedida.

Producción por lotes: Se define un tamaño de lote y siempre se debe ordenar en múltiplos de esta cantidad.

Pueden encontrarse varios tipos de enfoques de producción. Dicho enfoque depende de las características del negocio de la empresa o de los productos.

Fabricación para inventario: También conocida como MTS (Make to Stock). Las empresas que trabajan bajo este enfoque producen sus productos por lotes para mantener cantidades de producto final en inventario y así responder rápido a los requerimientos de los clientes. Se puede optar por mantener inventario de productos similares entre si, a los cuales solo se les debe variar alguna característica para obtener el producto final, por ejemplo el color. Por lo general los clientes son consumidores finales.

Fabricación sobre pedidos: Conocida como MTO (Make to Order). Las empresas que fabrican bajo pedido no manejan inventarios de productos terminados sino que elaboran productos en la medida que el cliente lo necesita, pueden trabajar lote por lote o por lotes. Esto es útil cuando hay muchas configuraciones de productos y por lo tanto es muy difícil mantener un producto base o anticipar los requerimientos del cliente. Los clientes deben ser conscientes que los tiempos de entrega de las órdenes pueden ser largos.

Ensamble para inventario: También ATS (Assemble to Stock). Aplica para empresas que tengan muchas posibles configuraciones de productos a partir de componentes básicos y subensambles. Estas empresas tratan de ser flexibles al mantener componentes básicos en inventario y ensamblar el producto final en el momento de recibir la orden del cliente. Las cantidades indicadas en el MPS representan la cantidad a producir de cada componente.

Luego se utiliza la Programación de ensamble final, FAS (Final assembly Schedule), para especificar los productos finales requeridos. Se pueden encontrar combinaciones de los enfoques de producción, por ejemplo producir el máximo entre la cantidad a fabricar para inventario o la cantidad a fabricar bajo pedido, MAX (MTS:MTO); o se

puede optar por fabricar la suma de las cantidades de fabricación para inventario y las cantidades de fabricación bajo pedido, (MTS+MTO).

Los datos obtenidos en el MPS son las entradas del MRP.

2.5 PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

La planeación de requerimientos de materiales (MRP) es un sistema de planeación de producción y compras. Un sistema MRP trabaja en base a dos parámetros básicos del control de producción: tiempos y cantidades. El sistema debe de ser capaz de calcular las cantidades a fabricar de productos terminados, de componentes necesarios y de las materias primas a comprar para poder satisfacer la demanda. Además, debe considerar cuándo se deben liberar órdenes de compra o producción para cada artículo con el fin de entregar la cantidad completa en la fecha indicada.

Para el desarrollo de un sistema MRP se deben tener en cuenta los requerimientos de producto terminado, que corresponden a los resultados arrojados por el plan maestro de producción (MPS). También es importante conocer la lista de materiales, el registro de inventarios o nivel de las existencias de cada artículo y el lead time para cada producto o materia prima, con el fin de crear una programación del tiempo y el número de unidades necesarias en esta etapa del proceso.

La lista de materiales (BOM:Bill of Material) es un diagrama que muestra la secuencia en la que se fabrican y ensamblan las materias primas, las partes que se compran y los ensambles necesarios para formar el producto final. Cada elemento de la estructura del producto tiene asociado un número, el cual corresponde a la cantidad de unidades necesarias para un producto final.

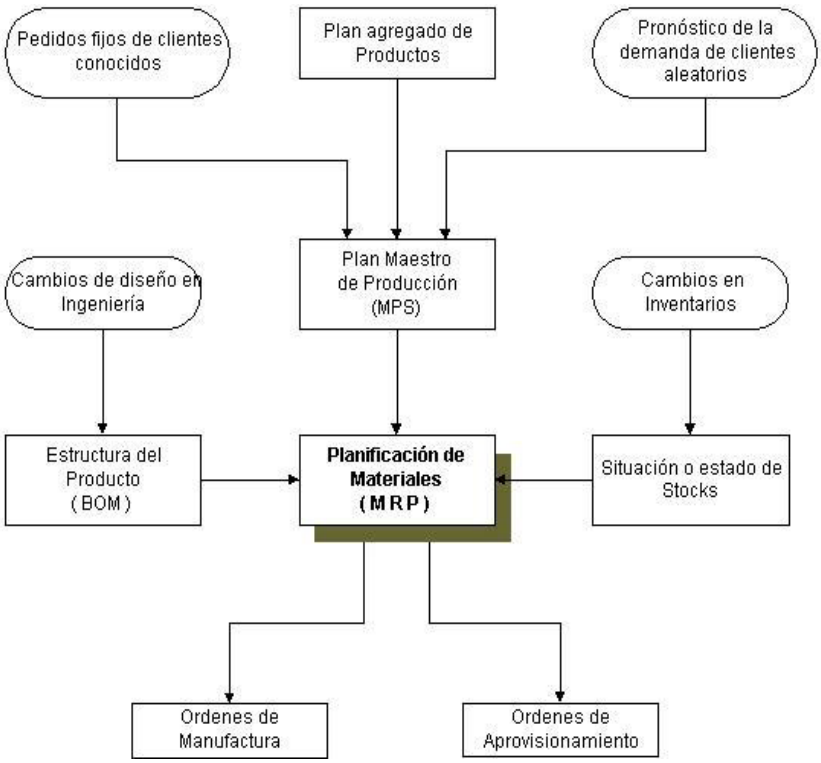
Los registros de inventarios corresponden al seguimiento que se realiza al inventario e indican la disponibilidad del producto en determinado momento. Estos registros

incluyen tiempos de entrega, inventarios de seguridad, tamaños de lote, desperdicios permitidos; cada uno de estos factores se debe tener en cuenta para la planeación.

La salida más importante de un sistema MRP es el conjunto de liberación de órdenes que se generan. Estas pueden ser de dos tipos: órdenes de compra que indican la cantidad y el período en que deben ordenarse las materias primas e insumos; y las ordenes de producción que indican el período y la cantidad de piezas que deben comenzar el proceso de fabricación para obtener el producto final en la fecha requerida.

Para obtener el plan de producción y compras en términos de tiempos y cantidades, un sistema MRP transforma los insumos en salidas o productos, esto lo realiza por medio de una serie de pasos en forma sistemática. Con la cantidad del MPS y la información de la lista de materiales se desciende a través de la estructura del producto. Esto da los requerimientos netos para cada elemento de la lista de materiales.

Figura No. 2 - Esquema General de un sistema MRP



Requerimientos en Conjunto: También conocida como necesidades brutas. Indica la cantidad de producto que se requiriere para un período. El MRP considera estas necesidades como los resultados obtenidos en el plan maestro de producción para los productos terminados, y para subensambles, insumos y materias primas se toma la información de liberación planeada, teniendo en cuenta la lista de materiales.

Recepciones Programadas: Son unidades de producto terminado que se espera lleguen al final del período. No son producidas dentro de la empresa o pueden ser cantidades que ya habían sido programadas.

Balance de inventario Proyectado o Inventario Disponible: Corresponde para el primer período al inventario inicial que se tiene de cada producto, materia prima o insumo. Para los demás períodos se calcula:

$$Inventario\ Disponible = RP_i + RPr_i + I_{i-1} - NB_i$$

Donde:

RP_i =Recepciones planeadas del período i

RPr_i = Recepciones programadas del período i

I_{i-1} = Inventario disponibles del período anterior

NB_i = Necesidades brutas del período i

Requerimientos o Necesidades Netas: Indica la cantidad que se necesita producir para el final del período. Para cada uno de los períodos se calcula:

$$Necesidades\ Netas = NB_i + SS - I_{i-1} - RPr_i$$

Donde:

NB_i = Necesidades Brutas del período *i*

SS = Inventario de seguridad

I_{i-1} = Inventario disponibles del período anterior

RPr_i = Recepciones programadas del período i

Liberación de Ordenes Planeadas: Estas son las órdenes de trabajo o de compras obtenidas a partir de los cálculos del MRP. Se calculan de acuerdo a las necesidades netas, teniendo en cuenta el tamaño o de lote establecido, el factor de aprovechamiento y el lead time. La cantidad a ordenar corresponde a las necesidades netas aproximadas de acuerdo al tamaño de lote, y el factor de aprovechamiento determina el número de unidades de más que se deben ordenar para que lleguen las necesarias. El cuándo se debe ordenar lo determina el lead time, es decir, cuántos períodos antes debe hacerse el pedido para que llegue a tiempo.

Recepciones Planeadas: Son la unidades que realmente llegan de producto terminado, de insumos y materias primas. Se calcula de acuerdo a las órdenes de liberación planeada teniendo en cuenta el factor de aprovechamiento.

2.6 PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD

Las instalaciones de una planta de producción están constituidas por centros de trabajo, máquinas y equipos de manejos de materiales, entre otros, los cuales tienen una capacidad finita. Esta puede estar medida en términos de unidades de productos que pueden ser producidos en cada unidad productiva por unidad de tiempo. La unidad productiva es cualquier centro de trabajo, sección o persona que efectúe un proceso de transformación sobre los recursos.

Capacidad disponible = (# máquinas) x (# de turnos de trabajo) x (U) x (E)

Donde:

U = Factor de utilización

E = Factor de Eficiencia

La capacidad requerida, expresada en unidad de tiempo, está dada por la siguiente expresión:

*Capacidad requerida = Tp + (Te*Q)*

Donde:

Tp = Tiempo de preparación

Te = tiempo de ejecución por unidad producida

Q = número de unidades a producir

La capacidad puede ser medida desde el input, como los recursos utilizados para la obtención del producto; o desde el output, como los productos que se producen por unidad de tiempo. Es importante aclarar algunos conceptos relacionados con la capacidad de una Empresa

Centro de Trabajo: Es el área de una empresa en la cual los recursos productivos se organizan y el trabajo se lleva a cabo. El centro de trabajo puede estar constituido por una sola máquina, un grupo de máquinas o un área donde se realiza un determinado tipo de trabajo.

Factor de Utilización: Es la relación entre el número de horas productivas y el número de horas reales de una jornada por período.

$$U = NH / NHR$$

Donde:

NH = horas productivas

NHR = horas reales

Factor de Eficiencia: Determina el grado de desempeño o de una máquina o persona al hacer su trabajo. Se calcula de la siguiente forma:

E = (# de unidades x Tiempo de carga unitario)/Tiempo productivo empleado

Capacidad instalada: Volumen de output objetivo para el cual fue diseñada la planta con el fin de cumplir con los requerimientos de demanda en condiciones ideales.

Capacidad disponible: Volumen de output que puede ser logrado para un período de tiempo determinado bajo circunstancias normales, considerando un factor de utilización y eficiencia establecidos.

Tiempos de Carga: Conjunto formado por los tiempos de ejecución y tiempos de preparación, siendo el tiempo de preparación el necesario para ajustar y poner a disposición la maquinaria e instalaciones en condiciones adecuadas para llevar a cabo una operación. El tiempo de ejecución es el necesario para desarrollar una operación en el centro de trabajo

Perfiles de carga: Es un gráfico que compara el trabajo que ha sido asignado a una unidad productiva con los de capacidad disponible de la misma.

La Planeación de Requerimientos de Capacidad, CRP (Capacity Requirements Planning) determina el nivel de capacidad necesario para completar el plan de producción y así determinar si el plan es factible o si se deben balancear los requerimientos de acuerdo a la capacidad disponible. Utiliza la información del MRP, la cual ya ha considerado factores como tamaños de lote, lead time de materiales, niveles de inventario y stock de seguridad. Los procedimientos de cálculo de capacidad requerida y disponible fueron descritos anteriormente. En el CRP la información es analizada mediante los perfiles de carga.

2.7 INVENTARIOS

Los inventarios corresponden a existencias de bienes tangibles guardados por algún tiempo, con el fin de amortiguar fluctuaciones en las ventas o en los volúmenes de producción. Los inventarios se crean cuando la cantidad producida es mayor que la demandada o cuando se producen cantidades antes de la fecha de entrega. Los inventarios pueden ser de materias primas, producto terminado, productos en proceso e insumos. Para empresas manufactureras se manejan tres tipos de inventarios:

Inventario de materia prima: Es un conjunto de los materiales primarios necesarios para la elaboración de los productos.

Inventario de productos en proceso: Son productos que están en la cadena de producción, pero que no ha terminado su elaboración.

Inventario de productos terminados: Se refiere a los productos ya elaborados disponibles para la distribución o entrega.

Existen algunas razones que hacen a los inventarios como deseables o necesarios dentro de una empresa. Por ejemplo, las economías de escala ya que en ocasiones resulta mejor producir en tamaños de lote grandes para satisfacer una demanda futura aunque haya que incurrir en costos adicionales, como el de almacenamiento. También, cuando se buscan una suavización de la operación o una tasa constante de producción, que lleva a acumular inventario en períodos de baja demanda para satisfacer otros períodos con demanda alta.

La demanda es el elemento principal que afecta los inventarios y el tener existencia de ellos genera una serie de costos adicionales. Con el fin de cumplir de inmediato con las cantidades demandadas, en ocasiones se recurre al manejo de inventarios. Cada empresa de acuerdo a sus estrategias, opta por manejar más o menos inventarios.

Los costos mencionados a continuación sirven como base para analizar los sistemas de inventario:

Costo de compra: es aquel que se paga a un proveedor por un artículo, es llamado también costo de materiales y se genera siempre que se va a realizar el abastecimiento de materiales para la fabricación de un producto.

Costo de ordenar: se genera cada vez que se coloca una orden con el proveedor. Este costo está relacionado directamente con la preparación y control de la orden; es independiente del tamaño o de lote que se compre.

Costo de almacenar o mantener en inventario: Manejar inventarios requiere tener disposición de espacio y de capital, así como los recursos para darle mantenimiento al inventario; por lo tanto tener en inventario cuesta. Los costos de manejar inventarios incluyen costos de oportunidad, de almacenaje y manejo, impuestos y seguros, obsolescencia y caducidad, entre otros. Algunos sistemas ayudan a tomar decisiones de cantidades a ordenar o comprar. Para esto, se debe determinar un tamaño o de

lote el cual no siempre corresponde a la demanda ya que de algunos productos, subensambles, materias primas e insumos se piden unas cantidades mínimas de acuerdo al tamaño de lote.

Los sistemas que ayudan a orientar y enfocar las decisiones de cantidad son llamados como modelos de tamaño de lote y pueden ser estáticos o dinámicos.

2.8 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.

La última etapa dentro del proceso de planificación y control de la producción, es la programación, la cual permitirá saber a cada trabajador o a cada responsable de un centro de trabajo lo que debe hacer para cumplir con el plan general, propuesto y evaluado en el plan de materiales, el MPS, el plan agregado y los planes estratégicos de la empresa. Estas actividades, se enmarcan dentro de la fase de ejecución y control.

Es importante dentro de esta etapa tener en cuenta el tipo de configuración productiva que tiene la planta, ya que dependiendo de esta se determinara la técnica o procedimiento a emplear para la programación y control de la producción. Se pueden encontrar 2 configuraciones básicas de una planta:

Planta de configuración continua o en serie: En esta las máquinas y centros de trabajo se organizan de acuerdo a la secuencia de producción. Los procesos productivos son estables y se enfocan en uno o pocos productos. La producción se hace en grandes lotes. Ya que el proceso es continuo, hay poco inventario en proceso y el tiempo de producción es corto. Si alguna operación se detiene, todo el proceso se verá afectado.

Planta configuración por lotes: Las máquinas y centros de trabajo se organizan de acuerdo a las funciones que éstas desempeñan. Se maneja inventario en proceso y hay manipulación del producto al ser transportado. Existe mayor flexibilidad para procesar gran variedad de productos. Se pueden clasificar de dos formas:

Configuraciones Flow Shop: Todos los productos tienen la misma secuencia de producción

Configuraciones Job Shop: Los productos siguen secuencias de producción distintas. El flujo de producción es caótico.

En la actualidad, muchas empresas manufactureras, debido a las necesidades de fabricación y exigencias competitivas del mercado, han adoptado configuraciones híbridas. La más conocida es la configuración celular o celdas de manufactura.

La etapa de programación de la producción está compuesta por varias actividades: Asignación de carga, secuenciación de pedidos y programación detallada.

2.8.1 Asignación de carga.

Es la asignación de tareas a cada centro de trabajo. Las técnicas más utilizadas para la asignación de tareas son: Gráficos Gantt, perfiles o diagramas de carga, métodos optimizadores como el algoritmo de Kuhn o método Húngaro y soluciones heurísticas como el método de los índices.

2.8.2 Secuenciación de pedidos.

Consiste en la determinación del orden en que serán procesados los pedidos en cada centro de trabajo. El problema de secuenciación se hace más complejo en la medida que aumenta el número de centros de trabajo. Las técnicas de secuenciación varían de acuerdo a la configuración de la planta.

Para plantas bajo configuración Flow Shop, las técnicas de secuenciación más conocidas son:

- Para una máquina el algoritmo húngaro, el algoritmo de Kauffman, la regla SPT y el método de persecución de objetivos utilizado en los sistemas Kanban.

- Para varias máquinas se usa la regla de Johnson para N pedidos y dos o tres máquinas; y el algoritmo de Campbell-Dudek-Schmith para N pedidos y M máquinas. También se usan técnicas de simulación.

· Para configuraciones Job Shop, no es posible emplear técnicas de optimización debido a la diversidad en la secuencia de operaciones. Es por esto que se hace uso de reglas de prioridad para establecer la secuencia de operaciones. Algunas reglas de prioridad conocidas son:

- **FCFS**: First come/ First serve (primero en llegar, primero en ser atendido).
- **FISFS**: First In System/ First Serve (primero en el sistema, primero en ser atendido)
- **SPT**: Shortes Processing Time (menor tiempo de procesamiento).
- **EDD**: Earliest Due date (fecha de entrega más proxima).
- **CR**: Critical Ratio (razon o coeficiente crítico).
- **LWR**: Least Work Remaining (mínimo trabajo remanente).
- **FOR**: Fewest Operations Remaining (número mínimo de operaciones remanentes).
- **ST**: Slack Time (tiempo de holgura).
- **ST/O**: Slack Time per Operation (tiempo de holgura por operación).
- **NQ**: Next Queue (siguiente en la cola).

2.8.3 Programación detallada.

Determina los momentos de comienzo y fin de las actividades de cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuencia realizada. Las

técnicas más utilizadas son: programación adelante y hacia atrás, listas de expedición, gráficos Gantt y programación a capacidad finita.

Para asegurar que los pedidos lleguen a tiempo, se debe verificar que los tiempos planeados se cumplan y si existen desviaciones, se deben tomar medidas correctivas, además, se deben controlar los niveles de utilización de la capacidad de cada centro de trabajo.

Para la realización de la programación detallada y el control de operaciones, la técnica se escoge de manera independiente. Es importante tener en cuenta que deben ser diseñadas de acuerdo a dos objetivos básicos: la reducción de costos y el aumento del servicio al cliente.

Existen herramientas que facilitan el manejo y conocimiento de los procesos, como lo son los Diagramas de Análisis del Proceso. Estos descomponen el proceso en sus diferentes fases de trabajo.

Existen distintos tipos de diagramas que permiten realizar el análisis de un proceso. Estos son:

· Diagrama de operaciones del proceso (DOP)
· Diagrama de flujo del proceso
· Diagrama de Análisis del proceso (DAP)
· Diagrama de recorrido

2.9 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es una herramienta estándar que trata del problema de asignar recursos limitados entre actividades competidoras en la mejor forma posible, es decir,

de forma óptima. Este problema de asignación puede surgir siempre que deba seleccionarse el nivel de ciertas actividades que compitan por recursos escasos necesarios para realizar dichas actividades. La variedad de situaciones a las cuales se aplica esta descripción es realmente amplia, variando desde la asignación de medios de producción hasta la asignación de recursos nacionales a necesidades domésticas. Sin embargo, el común denominador en cada una de estas situaciones es la necesidad de asignar recursos a las actividades. La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema de interés. El término "programación" se refiere esencialmente a "planificación", y el adjetivo "lineal" determina la característica de que todas las funciones matemáticas en este modelo sean funciones lineales. En general, la programación lineal comprende la planificación de actividades para obtener un resultado óptimo, es decir, un resultado que alcance la meta específica en la mejor forma (según el modelo) entre todas las alternativas o soluciones factibles.

Una forma estándar de representar un modelo de programación lineal, sería la siguiente:

Función Objetivo:

Minimizar (Maximizar) $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n$

Sujeto a restricciones:

$a_{i1}x_1 + c_{i2}x_2 + \ldots + c_{im}x_n \leq b_i$, para algunos valores de *i*

$a_{i1}x_1 + c_{i2}x_2 + \ldots + c_{im}x_n \geq b_i$, para algunos valores de *i*

$a_{i1}x_1 + c_{i2}x_2 + \ldots + c_{im}x_n = b_i$, para algunos valores de *i*

$x_i \geq 0$, para algunos valores de *i*

x_i *no restringida en signo*, para algunos valores de *i*

Tomado del Libro: "Introducción a la investigación de operaciones", Tercera Edición, Hillier/Lieberman.]

Una función lineal es una función cuyo dominio son todos los números reales, cuyo codominio son también todos los números reales, y cuya expresión analítica es un polinomio de primer grado.

Una solución óptima es una solución factible que tiene valor más favorable de la función objetivo.

Una solución factible es una solución para la que se satisfacen todas las restricciones.

Donde,
X_i, son las variables de decisión,
A_{ij}, b_i, c_j, son los parámetros del modelo.

Cualquier situación cuyo planteamiento matemático se ajuste a esta representación estándar es considerada como un problema de programación lineal.

Cuando un problema requiere además la utilización de variables enteras (Ej. Variables binarias), éste se plantea como un Problema de Programación Entera Mixta (MIP – Mixed Interger Programming).

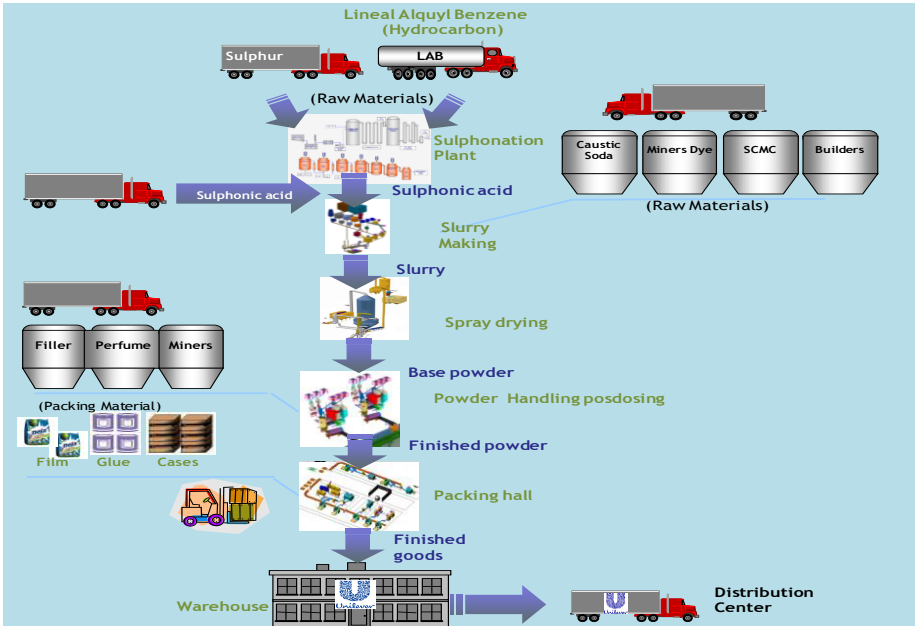
CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso de fabricación de la planta de detergentes en polvo consta de 4 etapas principales: Preparación o mezcla, Secado, Terminación y Envasado de polvo. La primera etapa inicia con una planta de sulfonación que elabora un producto semielaborado. Este material sirve como materia prima del siguiente proceso de esta etapa denominado Slurry Making que es donde se mezclan materias primas sólidas y líquidas para preparar el Slurry (pasta detergente), luego continua el proceso de Spray Drying o Secado donde el Slurry pasa a través de un flujo de aire caliente que va en dirección contraria a la dosificación del mismo mediante toberas, finalmente se tiene el proceso de post adicionado o terminación donde se le agregan otras materias primas y las fragancias. En este momento se tiene el producto terminado listo para ser distribuido a las líneas de empaque y finalmente enviado al centro de distribución para la venta a nivel nacional. A continuación se puede ver un esquema del proceso descrito:

Figura No. 3 – Proceso productivo de detergentes en polvo



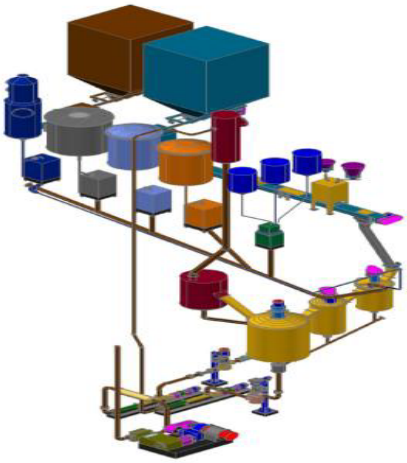
Para efectos del presente estudio analizaremos el proceso de producción desde Slurry Making hasta el Packing Hall (envasado de polvo) donde finalmente se programa la producción del detergente.

SLURRY MAKING

Este proceso está basado en una tecnología por Batch, se prepara slurry en 1 tanque reactor donde se dosifican materias primas líquidas y sólidas según un orden de adición establecido por fórmula y por las propiedades físico-químicas de los materiales para lograr los parámetros requeridos por las reacciones químicas.

Cada batch de producción demora alrededor de 30 a 35 minutos en estar listo para pasar al siguiente proceso, la capacidad de cada batch es de 8000 kg de slurry, que equivalen aproximadamente a 4000 kg de polvo base detergente.

Figura No. 4 – Proceso de Preparación de detergentes (Slurry Making)



SPRAY DRYING - SECADO

Este proceso utiliza un sistema de bombeo para enviar el slurry preparado en el proceso anterior hacia el área de Secado a través de una línea de alta presión que finalmente ingresa en una torre de secado, el slurry es atomizado por toberas o boquillas a manera de ducha (Spray), y se seca por el flujo de aire caliente que ingresa a la torre de secado en sentido contrario al slurry.

La capacidad de generación de detergente seco, denominado Polvo Base es de 11.500 kg/hora.

Figura No. 5 – Proceso de Secado (Spray Drying)

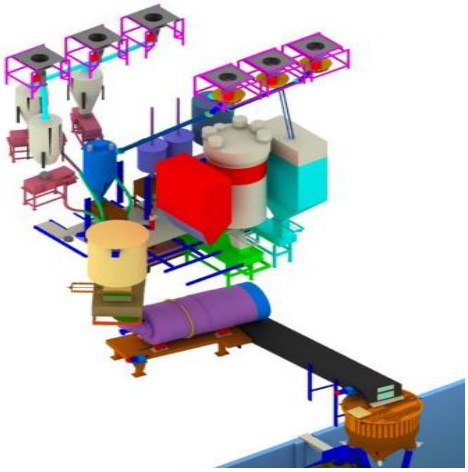
POSTDOSING

Este proceso tiene como finalidad transportar el polvo base desde silos de almacenamiento para agregar las materias primas por medio de una banda transportadora a la que le llegan materiales que le dan la característica final de producto terminado. Finalmente este proceso destina el producto terminado a las distintas líneas de envasado.

La velocidad de este proceso es de 14.000 kg/hora de producto terminado.

El producto terminado está compuesto de un 80% de polvo base.

Figura No. 6 – Proceso de Postdosado



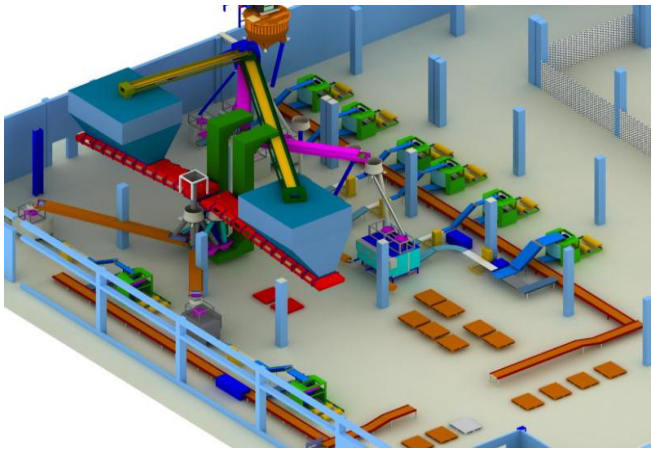
PACKING HALL (Envasado)

La sala de empaque cuenta con 6 líneas de producción que pueden envasar gramajes desde 100g hasta 5000g. La eficiencia operacional de este proceso es de 85% como promedio de las 6 líneas y las velocidades dependen de la configuración o asignación de productos (sku´s) en las líneas de producción. Esto da una diversidad de posibilidades de consumo de producto terminado que demanda a los procesos productivos anteriores en algunos casos aumentar sus velocidades y en otras ocasiones incurrir en constantes arranques y paradas con una subutilización de

equipos para abastecer a la demanda del packing hall cuando su consumo de producto terminado es bajo.

En algunos casos la velocidad del packing hall es 7000 kg/hora y en otras es 14000 kg/hora de producto terminado. Una variabilidad del 100%.

Figura No. 7 – Proceso de Envasado



3.2 CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN

Para determinar la capacidad de producción de todos los procesos y de la planta en detergentes haremos una estandarización de las velocidades teniendo como referencia el producto terminado.

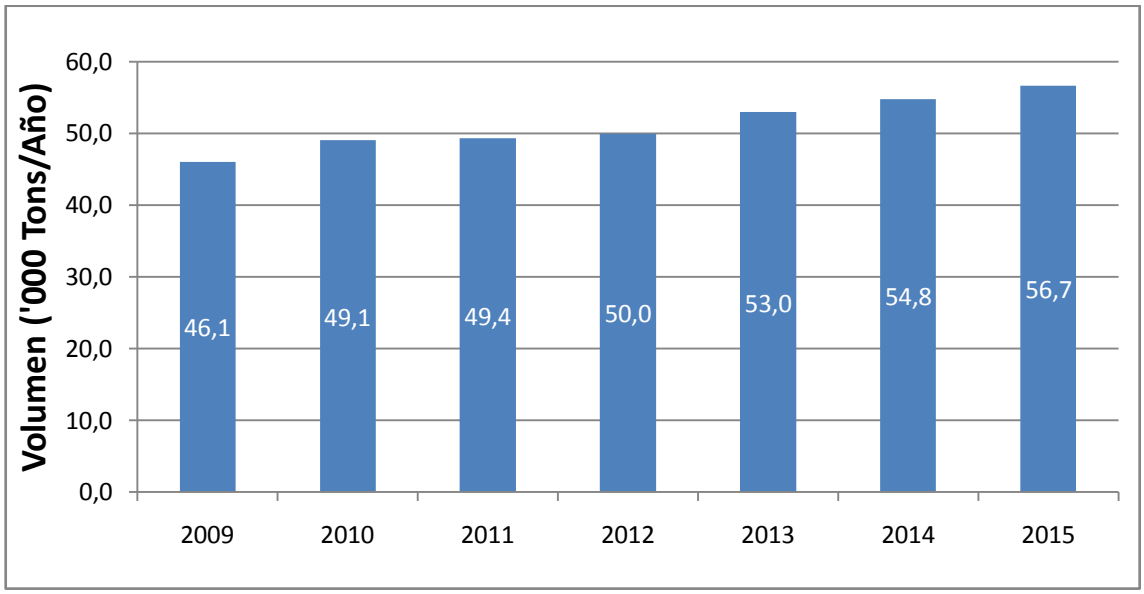
Tabla No. 1 – Capacidades de Procesos

PROCESO	VELOCIDAD (kg/h)	CAP. MES (Tons)	CAP. ANUAL (Tons)
SLURRY MAKING	19.800	7.000	84.000
SPRAY DRYING	16.000	5.500	66.000
POSTDOSING	14.000	4.833	58.000
PACKING HALL	12.900	4.333	52.000

La capacidad de la planta actualmente está dada por el proceso de Envasado del detergentes en polvo, denominado Packing Hall, los otros procesos productivos

muestran tener capacidad excedente, sin embargo comparándolos con las proyecciones de demanda de los próximos 4 años se ve ya otro cuello de botella en el proceso de postdosing.

Figura No. 8 – Proyección de demanda de detergentes en polvo al año 2015



3.3 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

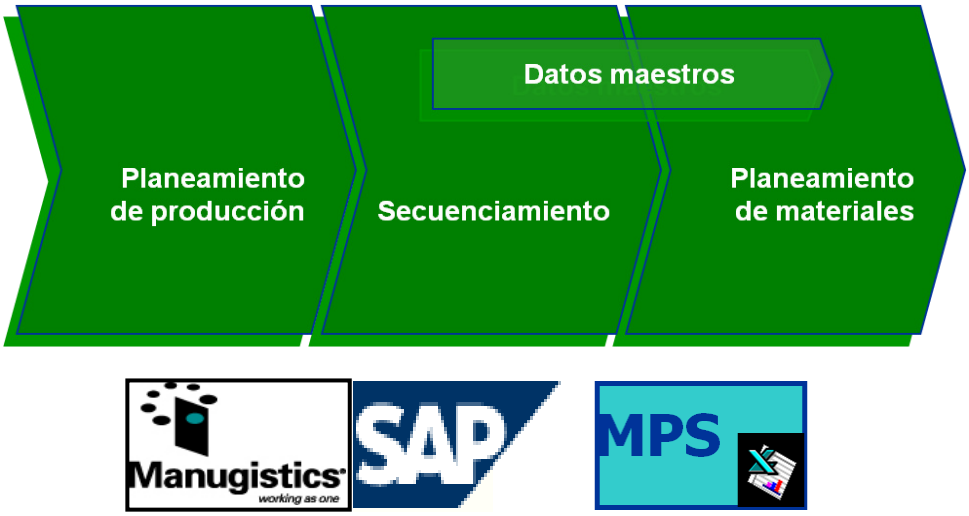
La planificación de la producción es un proceso de trabajo que tiene varios horizontes de planeación: anual, mensual y finalmente semanal que se denomina programa de producción.

El proceso inicia con los datos de la demanda proporcionados por el área de Planeación de la demanda, para este proceso se cuenta con un software especializado llamado MANUGISTIC, donde se ingresan los forecast de ventas de los meses siguientes (hasta 13 meses) y el programa propone el volumen de sku´s a ser abastecidos mensualmente, considerando los inventarios de producto terminado y las ordenes de producción en curso o siendo fabricadas durante la semana o el mes, dependiente del horizonte de planeación que se está analizando.

Esta propuesta de plan de producción viaja al sistema ERP de la empresa para ser analizados por el Line Schedule que debe asignar los sku´s a las líneas de producción en la mejor secuencia posible para optimizar los costos y atender la demanda semanal y mensual.

Sin embargo el proceso de secuenciamiento se realiza en Excel y es digitado en SAP para confirmar el plan de producción con el cual se va a medir el cumplimiento de la planta y se registra para el cálculo de las horas productivas para determinar el costo de producción de esa semana. Esta actividad queda bajo el mejor criterio posible del Line Schedule y representa la oportunidad para saber si es posible optimizar el proceso de programación de la producción.

Figura No. 9 – Esquema del proceso de planificación de la producción



Para el programa de producción el Coordinador de Planificación cuenta con las siguientes herramientas o informaciones:

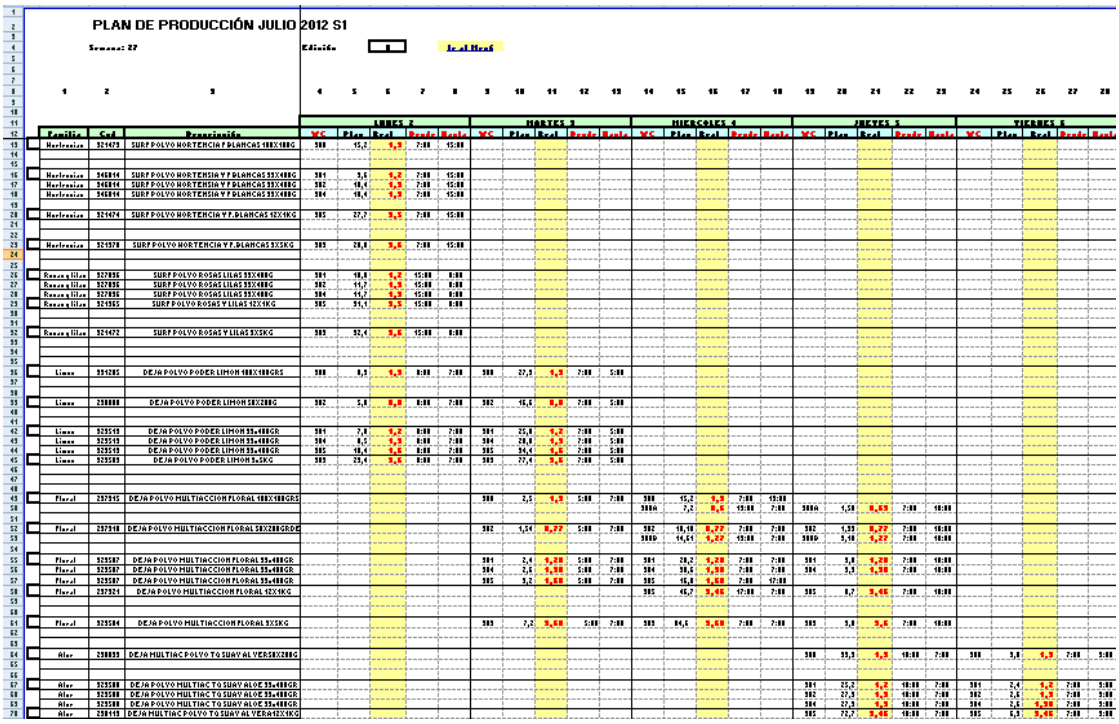
- Propuesta de volúmenes de producción mensual x Sku
- Velocidad de las líneas de producción
- Información de inventarios de productos terminados
- Información de inventarios de materias primas
- Premisas o restricciones del programa de producción
- Reunión de acuerdo del programa de producción

- Meta de indicadores a gestionar

Una vez acordado el programa de producción este se circula por mail en formato Excel y es ingresado en el sistema SAP para la medición de indicadores y costos de producción semanal y mensual.

En el grafico siguiente se puede observar un modelo de programa de producción realizado en Excel:

Figura No. 10 – Ejemplo de un plan de producción semanal



Podemos observar la asignación de productos por día en las distintas líneas de producción.

3.4 ACUERDO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN

- El programa de producción se lo realiza de forma semanal. Los días jueves por la mañana en reunión que cuenta con la participación de los distintos

departamentos de la planta: producción, mantenimiento, planificación, proyectos, bodega de materias primas.

- El Coordinador de planificación lleva la propuesta de programa de producción a ser acordado para la semana siguiente.
- El jefe de producción revisa el programa y se acuerdan los tiempos disponibles con las otras áreas como mantenimientos planeados, pruebas o comisionamientos para innovaciones de productos.
- El jefe de producción valida si se están cumpliendo las restricciones acordadas a inicios de año respecto al programa de producción, entre ellas: el número de cambio de productos x día, el número de cambio de formatos x día, el volumen de producción diaria, las coberturas de materias primas y material de empaque.
- El Coordinador de Bodega lleva información de la cobertura de materiales y riesgos de abastecimiento en caso de tenerlos para la toma de decisiones.
- Finalmente se acuerda el programa de producción el mismo que es medido como indicador de gestión en el cumplimiento de entrega del plan en volumen producido por sku.

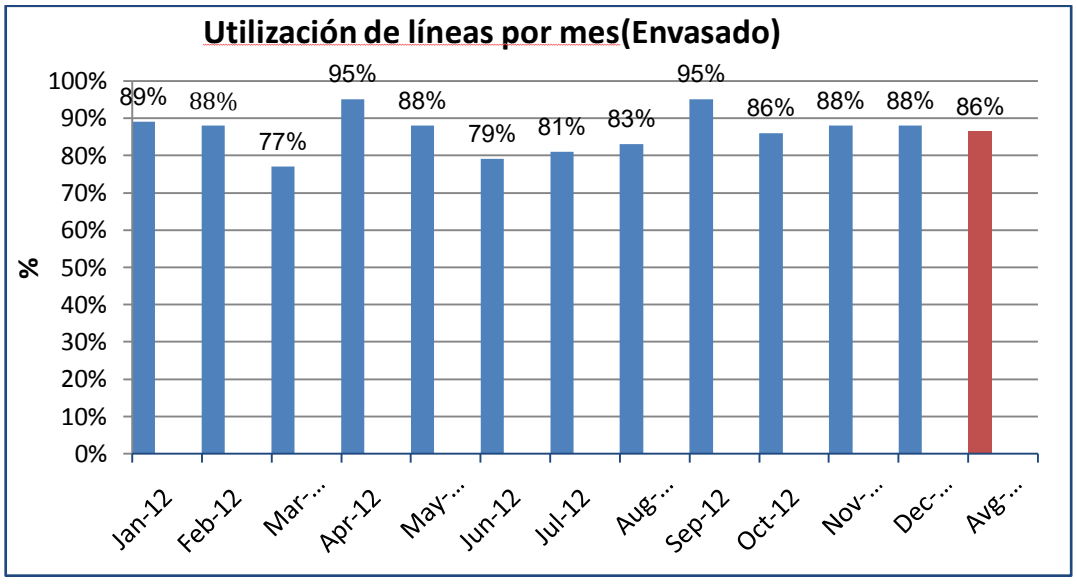
En la tabla siguiente se puede observar las distintas líneas de producción con sus velocidades y gramajes o formatos que pueden producir.

Tabla No. 2 – Velocidades y gramajes por línea

LINEAS	VELOCIDAD (UND/MIN)	Tamaños (gramos)
300	65 - 70	100, 200
301	40 - 52	400, 1000
302	65 - 70	200, 400
303	15 - 60 - 65 - 70	200, 400, 1000, 5000
304	42 - 56 - 61	400, 1000, 2000
305	67 -80	200, 400, 1000

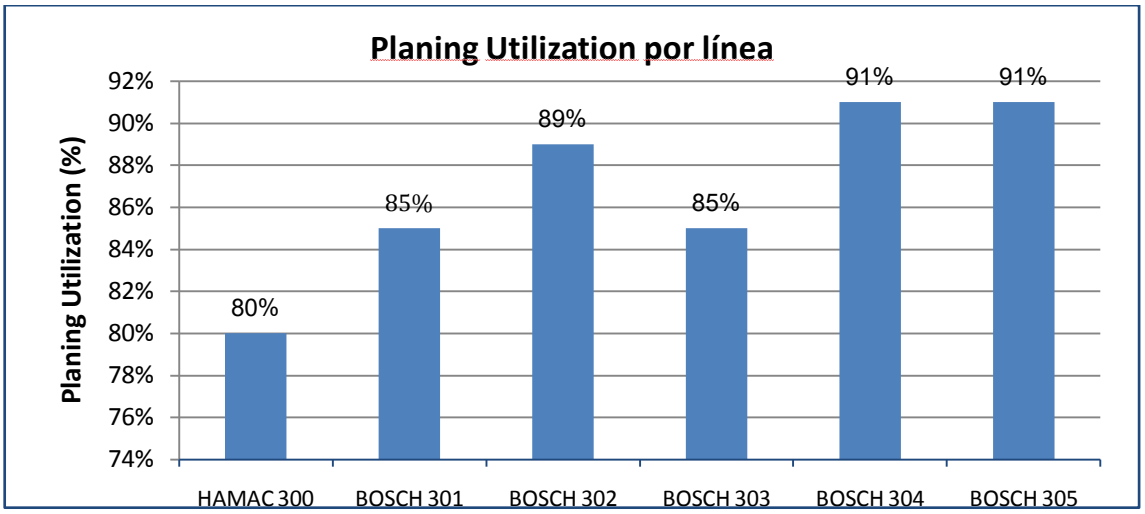
En el gráfico siguiente podemos observar la utilización de las líneas de envasado para el año 2012 obtenido del tiempo disponible para producir vs el tiempo que las máquinas están siendo asignadas a producir. Se puede apreciar un 86% de promedio en utilización de máquinas, para el método actual de planificación de la producción

Figura No. 11 – Utilización de las líneas en el tiempo disponible por mes



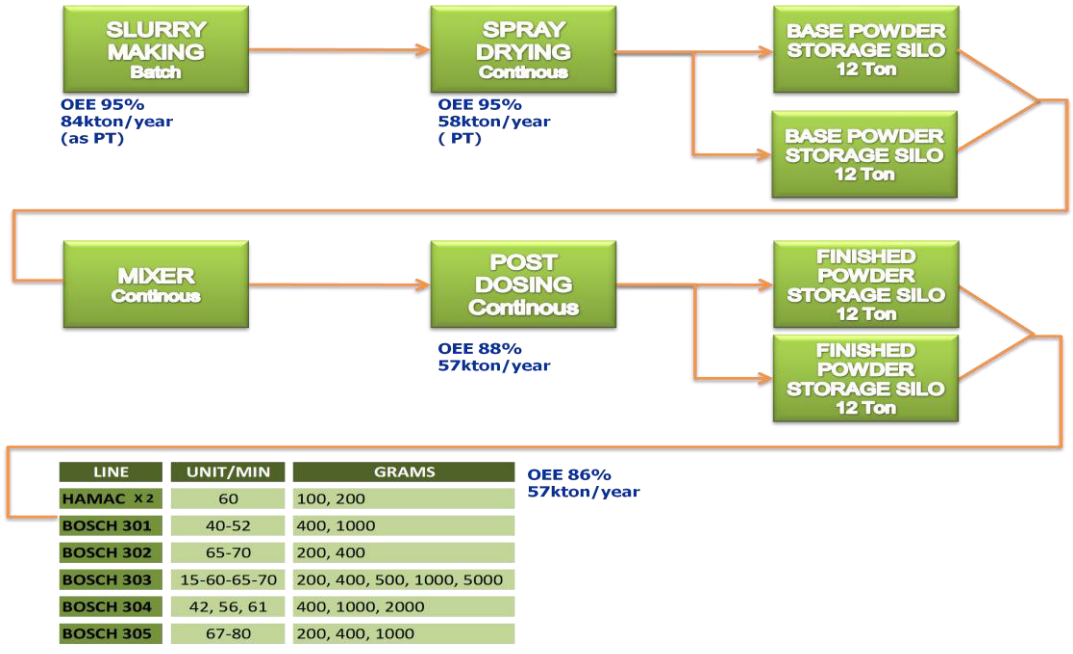
Así como también un análisis de la utilización de cada una de las líneas de empaque en el tiempo disponible para producir, se puede destacar que hay unas líneas más ocupadas que otras lo cual indica también algo de tiempo ocioso en líneas de baja utilización.

Figura No. 12 – Utilización de las líneas en promedio mensual



El proceso de fabricación de la planta de detergentes en polvo consta de diversas tecnologías tales como: procesos por lotes y procesos continuos. Pero todos pueden ser considerados al final como continuos debido a buffers que amortiguan los flujos de materiales y productos entre cada uno de los procesos. Por ello la capacidad de la planta está determinada por la velocidad del proceso que tiene la menor velocidad, denominándose cuello de botella.

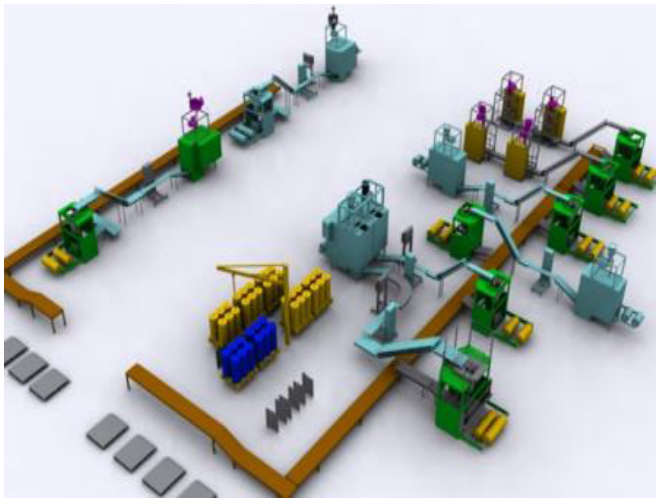
Figura No. 13 – Capacidad de planta por proceso



LINE	UNIT/MIN	GRAMS
HAMAC X2	60	100, 200
BOSCH 301	40-52	400, 1000
BOSCH 302	65-70	200, 400
BOSCH 303	15-60-65-70	200, 400, 500, 1000, 5000
BOSCH 304	42, 56, 61	400, 1000, 2000
BOSCH 305	67-80	200, 400, 1000

El área de envasado de producto terminado cuenta con 6 líneas de empaque distribuidas como se muestra en el layout siguiente:

Figura No. 14 – Líneas de Envasado de detergente en polvo



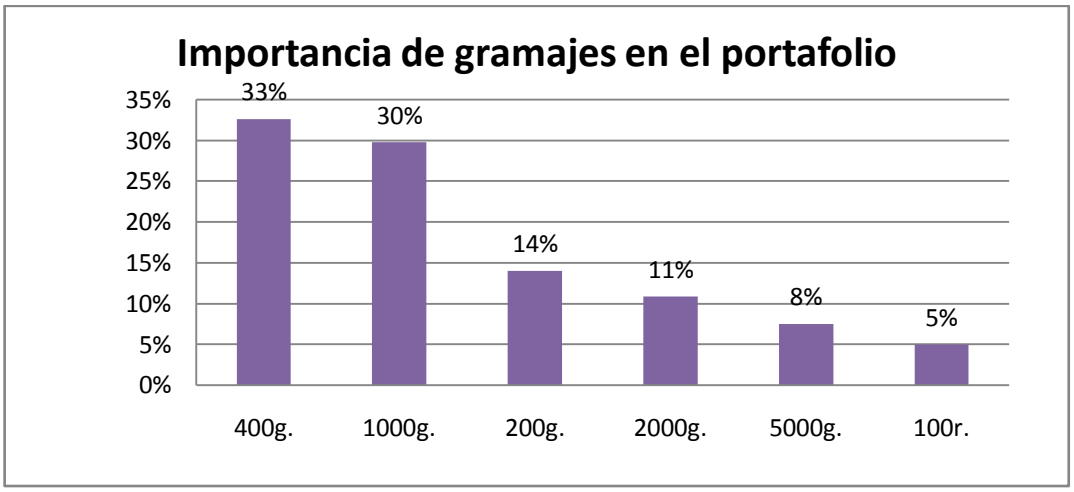
El portafolio de productos de detergentes en polvo de la empresa comprende 10 variedades de producto, que se distinguen entre sí por las materias primas mezcladas en el proceso llamado postdosado. De esas 10 variantes o familias de productos se obtienen 42 sku´s que se comercializan para la venta según el peso o gramaje que se destinan a los canales de distribución.

Canal Moderno: 1000g, 2000g, 5000g

Canal Tradicional: 100g, 200g, 400g

A continuación se muestra el porcentaje de participación de cada gramaje en el volumen anual de ventas de los 42 sku´s.

Figura No. 15 – Importancia de los gramajes según el volumen del portafolio

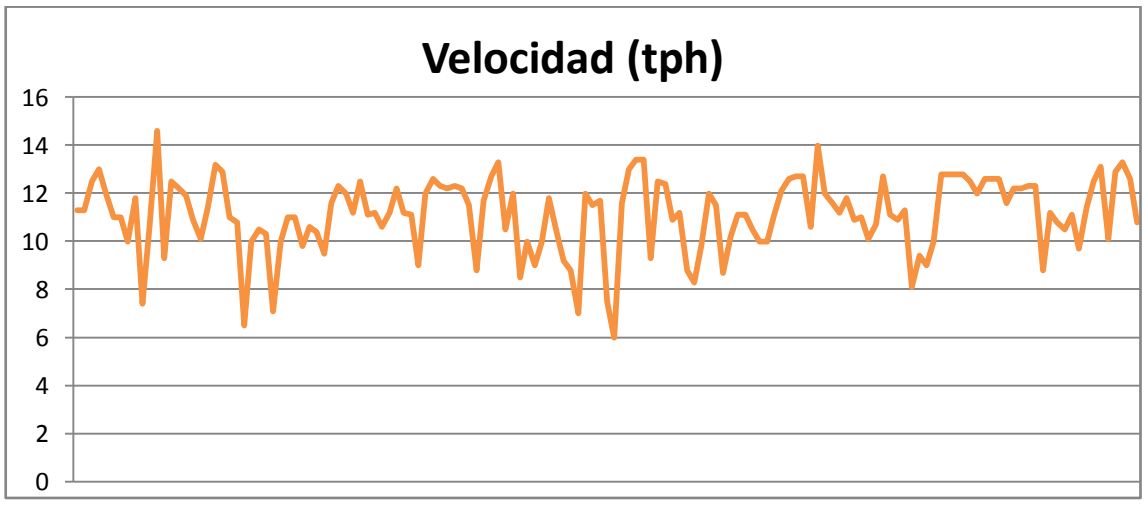


3.5 PROGRAMACIÓN DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

El programa de producción se enfoca en la asignación de producto por día y de variantes o gramajes por máquinas (6 líneas de producción).

En el gráfico siguiente se puede ver las velocidades con las que se planea la producción día a día, siendo el valor más bajo 6 toneladas por hora y la mayor velocidad 14 toneladas por hora, el promedio de los últimos 9 meses ha sido de 11,1 toneladas por hora, con desviación estándar de 1,54 tph (14% respecto a la media)

Figura No. 16 – Velocidades x día del plan de producción



CAPÍTULO IV

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

El Mejoramiento de la Logística Interna en un ambiente de fabricación para inventario radica en establecer estrategias de carácter integral, cuya aplicación signifique una reducción significativa en los costos logísticos integrales de una empresa.

En este capítulo se formulará un modelo de optimización para el plan de producción semanal atendiendo al input de demanda informado por el área de ventas, considerando para ello las variables que determinan una cadena de abastecimiento de excelencia tales como políticas de inventario, nivel de servicio, flexibilidad del portafolio, velocidad de las líneas y capacidades del proceso.

4.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La problemática radica en determinar una programación de la producción de detergentes en polvo que garantice el máximo número de variedades o familias de detergentes que se pueden elaborar aprovechando al máximo la capacidad de producción y que cumpla la demanda en el período dado. Se puede determinar mediante un modelo matemático la mayoría de escenarios de demanda, políticas de inventario, nivel de servicio al cliente y restricciones para la producción.

4.3 Diseño y aplicación del modelo matemático para la planificación de la producción.

La Optimización de la Planificación de la Producción en el proceso de detergentes tiene como objetivos los siguientes puntos:

1.- Definir una planificación semanal que satisfaga a la demanda y optimice el uso de la capacidad instalada (recursos como envasadoras y tiempos). Se considera el recurso humano como recurso infinito, es decir, se cuenta con personal suficiente para cubrir cada etapa del proceso productivo.

2.- Obtener un sistema de asignación satisfactorio de los productos a elaborar durante una semana de trabajo basado en el balance de producción definido en el punto anterior

3.- Establecer en base a los recursos actuales niveles de producción adecuados para la variedad de productos a ser elaborados por la planta.

En la actualidad se manejan un total de variedades de productos por día entre un rango de 1 hasta 3 diferentes tipos de producto, se tiene una demanda de más de 15 diferentes productos por día.

La meta es diseñar un programa que satisfaga los requerimientos de productos semanalmente. Dado las altas exigencias como bajos niveles de inventario de producto terminado y capacidades productivas, por tanto, se busca encontrar los límites óptimos de producción, que sirvan para encontrar un balance entre los requerimientos actuales y las mejores posibilidades de producción y despachos.

4.3.1 Restricción de la producción

Tenemos las siguientes restricciones físicas por la configuración actual de equipos en planta:

- Capacidad producción semanal [toneladas] = 1600 (por capacidad de procesos)
- No. de familias producidas por semana [máx.] = 5

4.3.2 Marco de la programación matemática

El modelo matemático será el que decida qué cantidad de producto es la óptima para satisfacer la demanda al mismo tiempo que se maximiza el uso de los recursos de la empresa como utilización de equipos, capacidades del proceso, niveles de inventario y planeación de requerimientos de materiales (MRP).

4.3.3 Modelo Matemático para el Plan de Producción semanal

Para el diseño del modelo matemático se cuenta con los siguientes datos de entrada:

- Portafolio de productos (tamaño y variante o familia de detergente)
- Demanda semanal de productos (informado por ventas y Demand Planning)
- Inventario inicial de productos
- Inventario meta de productos (política de inventarios)
- Tabla de consumo teórico de materias primas según la variante de producto
- Tasa de producción según el tamaño y la máquina que lo puede producir
- Costo de producción según el tamaño y la máquina en que se produce

- Tiempo disponible de lunes a viernes (horas ordinarias)
- Tiempo disponible en fines de semana (horas extras)

4.3.4 Índices del modelo

Para la parametrización de datos se utilizan índices, los mismos que agrupan todo el conjunto de datos, tal como se muestra en la tabla#3:

Tabla No. 3 – Índices del Modelo

INDICE	ENTIDAD
m	Maquina envasadora de detergente
g	Gramaje (peso de bolsas detergentes)
f	Familia o variedad de detergente en polvo
t	Período en semanas
mp	Materias primas usadas en fórmula

4.3.5 Variables de Decisión

Los resultados del modelo son obtenidos a través de las variables mostradas en la tabla siguiente:

Tabla No. 4 - Variables de decisión

VARIABLE	DESCRIPCION	UNIDAD
X(t,g,f,m)	Cantidad de detergente producido en periodo t, gramaje g, familia f en la máquina m en horas ordinarias	Toneladas
I(t,g,f)	Cantidad de detergente como saldo de inventario en cada período	Toneladas
Fam(t,f)	Familia producida en semana t	#
Y(t,g,f,m)	Cantidad de detergente producido en periodo t, gramaje g, familia f en la máquina m en horas extras	Toneladas
demnoate(t,g,f)	Cantidad de detergente faltante en cada periodo para satisfacer la demanda	Toneladas
CMP (t, mp)	Compra de materias primas (en número de lotes) en el periodo t	#
IMP (t, mp)	Inventario de materia prima en periodo t	Toneladas

4.3.6 Tablas y parámetros

Las tablas y parámetros que forman parte del modelado del sistema, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla No. 5 - Tablas y parámetros del modelo matemático

TABLA	DESCRIPCION
pcost(g,m)	costo de producción (costo x tonelada)
dempr(t,g,f)	demanda de cada sku en el periodo t (tonelada)
Inventory(g,f)	inventario inicial del período (tonelada)
Meta(t,g,f)	Política de inventario al final del período (tonelada)
CONS (f,mp)	Consumo de materias primas por variante de detergente
SKUdata	Datos para MRP, leadtime, lote de compra e inventario inicial del período

PARAMETRO	DESCRIPCION
prate(g,m)	Patrón de velocidad de producción de las máquinas según el gramaje a producir (toneladas x hora)
Cap(m)	tiempo disponible en máquinas en horario laboral normal (horas)
CapEx(m)	tiempo disponible en máquinas en horario extra (horas)

La información de la demanda es proporcionada por el área de Demand Planning, en donde se lleva a cabo un proceso formal de planeación de la demanda para varios horizontes de tiempo, empleando para ello un software especializado denominado Manugistic, el cuál recibe la información de los planes de ventas, promociones, actividades de marketing y todo lo relacionado con la estrategia de mercado de la empresa para conseguir el crecimiento en ventas, esta información se procesa y el software entrega información detallada a nivel de sku´s y categorías que son proporcionadas al área de Supply Planning para iniciar el proceso de Planeación de la producción anual, mensual, semanal y diario.

4.3.7 Función objetivo:

El objetivo principal del modelo es minimizar el costo total de producción, es decir, la cantidad a producir de cada producto por su costo de producción.

$$FO = \sum_{g,f,m,t} X(g,f,m,t) * Pcost(g,m) + Y(g,f,m,t) * Pcost(g,m) * 1{,}15 + \sum_{t,g,f} P * demnoate(t,g,f) + \sum_{t,f} 1 * Fam(t,f) + \sum_{t,mp} 1 * IMP(t,mp)$$

Siendo P, un número grande que penalice la no atención de la demanda y considera pérdida de ventas para la empresa.

Se considera en la formula una penalización por producir en horas extras (durante los fines de semana) equivale al 15% de los costos totales de producción que corresponde a los costos variables por personal, alimentación, transporte, energía eléctrica, entre los principales

4.3.8 Restricciones:

Dentro de las principales restricciones del modelo se tienen:

- **Balance de inventario:** El inventario al final del período considera el inventario inicial más la cantidad producida menos la demanda.

$$I(t,g,f) = I(t-1,g,f) + \sum_{m\$prate\ (g,m)} [X(t,g,f,m) + Y(t,g,f,m)] - dempr(t,g,f) + demnoate\ (t,g,f)$$

$$\forall\ t, \forall\ g, \forall\ f$$

- **Capacidad de producción semanal:** La capacidad máxima de producción por restricción del proceso es de 1600 toneladas por semana.

$$\sum_{g,f,m} X(t,g,f,m) + Y(t,g,f,m) \leq 1600$$

$$\forall\, t$$

- **Nivel de servicio:** El inventario al final de cada periodo debe ser mayor o igual a la meta o inventario mínimo que define la empresa en las políticas de stocks para obtener un alto nivel de servicio (98%).

$$I(t,g,f) \geq Meta\,(t,g,f)$$

$$\forall\, t, \forall\, g, \forall\, f$$

- **Límite de familias de producto por semana:** Se tiene un número máximo de familias o variantes de detergente por semana.

$$\sum_{f} Fam(t,f) \leq 5$$

$$\forall\, t$$

- **Familia de producto fabricado en periodo:** Considera la producción de todos los sku´s de la familia de producto en el periodo.

$$\sum_{g,m} X(t,g,f,m) + Y(t,g,f,m) \leq Q * Fam(t,f)$$

$$\forall\, t, \forall\, f$$

Donde, Q es un número grande que permite activar la variable Fam si el modelo decide producir la familia f en el periodo t.

- **Capacidad de líneas en horas ordinarias:** Limita la capacidad de las líneas de producción a las horas ordinarias de lunes a viernes.

$$\sum_{g,f} \frac{X(t,g,f,m)}{Prate(g,m)} \leq Cap(m)$$

$$\forall\, t, \forall\, (g,m) \in Prate(g,m)$$

- **Validar formato habilitado en máquina:** comprueba que la máquina pueda hacer el formato (tamaño o sku).

$$\sum_{t,f} X(t,g,f,m) + Y(t,g,f,m) = 0$$

$$\forall\, (g,m) \nexists Prate(g,m)$$

- **Capacidad de líneas en horas extras:** Considera la capacidad de las líneas de producción durante horas extras los fines de semana.

$$\sum_{g,f} \frac{Y(t,g,f,m)}{Prate(g,m)} \leq CapEx(m)$$

$$\forall\, t, \forall\, (g,m) \in Prate(g,m)$$

- **Cálculo MRP de materias primas:** Considera a partir del plan de producción y el inventario de materias primas la cantidad a comprar y el periodo que debe ingresar considerando el leadtime y tamaño de lote de los materiales.

$$IMP(t,mp) = IMP\,(t-1,mp) + CMP(t - LT(mp), mp) * LS(mp) - \sum_{f,g,m} \big(X(t,g,f,m) + Y(t,g,f,m)\big) * CONS(f,mp)$$

$$\forall\, t$$

4.4 Aplicación del modelo matemático

Se utilizó el software informático GAMS para tal efecto y su programación fuente se puede apreciar en el Apéndice B.

Se logró desarrollar la programación en GAMS para generar el plan de fabricación semanal de detergente en polvo.

4.5 Resultados obtenidos y ventajas del programa

El modelo matemático presenta el plan de producción para 8 semanas en adelante permitiendo observar la planificación a corto plazo (semanal) y a mediano plazo (2 meses), permitiendo también incluir más semanas a decisión del planeador de producción.

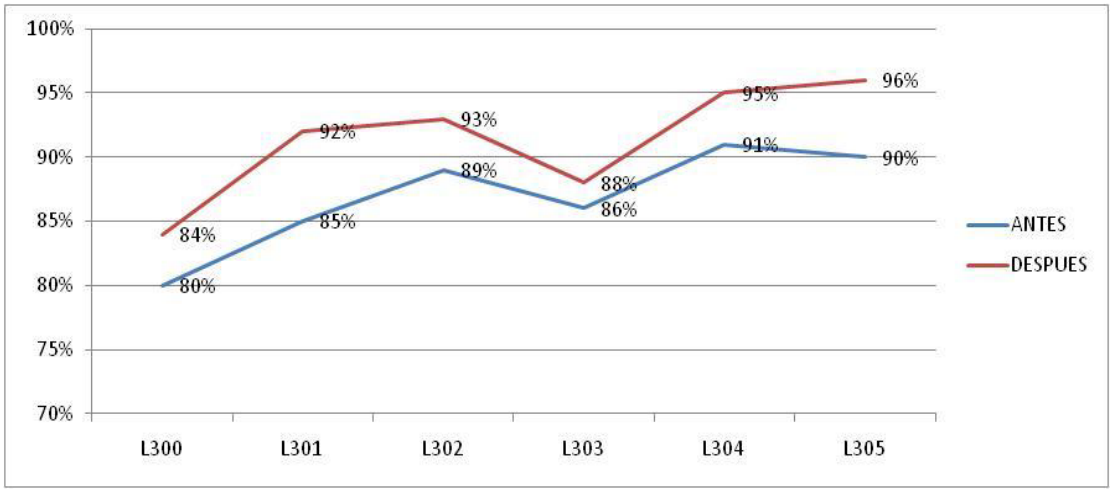
También permite simular el cambio de las restricciones de planta para condiciones donde se quiera analizar cuál es la mejor decisión en cuanto a levantar o mantener las restricciones de flexibilidad (cambio de familias de producción y formatos).

Los principales resultados obtenidos se presentan en las tablas siguientes:

Tabla No. 6 - % Utilización de líneas de producción

% Utilización Línea	SIN MODELO	CON MODELO
L300	80%	84%
L301	85%	92%
L302	89%	93%
L303	86%	88%
L304	91%	95%
L305	90%	96%

Figura No. 17 – Comparación de % utilización de líneas envasadoras



En la gráfica se puede observar un incremento en la utilización de las líneas de producción. Esto permite atender la demanda con un plan de producción que implica un incremento en la utilización de las máquinas de un 5%, lo que se traduce en una mejora de 2,3 euros/tonelada. Resultado de esto, se tiene una reducción de los costos variables asociados a los tiempos de producción.

Otros beneficios y ventajas que nos da el modelo lo podemos apreciar en los patrones de producción anteriores vs los actuales:

Tabla No. 7 – Comparación de Patrones de producción

DESCRIPCION	Unidades	SIN MODELO	CON MODELO	% MEJORA
Velocidad promedio	Tph	11.1	10.8	-2.7%
Velocidad mínima	Tph	6.0	8.1	35%
Velocidad máxima	Tph	14.6	14.2	-3.0%
Producción Promedio x Semana	Toneladas	1,207	1,124	-6.9%
SKU producidos x Semana	#	23.28	23.33	0.2%
SKU producidos x Semana Mínimo	#	12	19	58.3%
SKU producidos x Semana Máximo	#	31	27	-12.9%
Familias producidas x Semana	#	9	5	-46.8%
Familias producidas x Semana Mínima	#	6	4	-33.3%
Familias producidas x Semana Máxima	#	13	5	-61.5%
Rotación del portafolio (PPW)	%	55	56	1.8%
Fines de semana usados para producir	#	0.6	0.3	-40.0%

Se puede observar que el beneficio más significativo del resultado optimizado del plan de producción es contar con un patrón de producción más balanceado, reduciendo un 2,7% la velocidad, pero al mismo tiempo reduciendo la variabilidad de velocidad mínima hasta un 35%, ello permitirá tener un proceso más estable evitando arranques y paradas por equipos subutilizados.

Otro impacto positivo es la mejora en la flexibilidad de sku´s producidos por semana ya que el modelo propone una planificación más balanceada evitando tener muchos o muy pocos sku´s por semana, una mejora de un 58% de esta variabilidad, que aportará en reducir los cambios de formatos y que se traducirá en mayores eficiencias de producción y por lo tanto mejores costos operativos.

De igual manera podemos ver en términos de familias o variantes de productos producidos por semana podemos mantener hasta 5 familias (total portafolio = 10 familias) logrando también reducir tiempos de cambios de productos en el proceso y a

su vez menores tiempos de arranque y parada y limpieza de líneas para cambio de productos, beneficiando también la eficiencia de planta y sus costos de conversión.

Por último podemos ver una reducción de hasta un 40% en el uso de horas extras para producción lo que significan ahorros en el rubro de sobretiempos y se convierte en una producción más económica.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de los resultados obtenidos con el modelo óptimo de planificación de la producción podemos concluir:

1. Los problemas de planificación de la producción de la compañía fueron formulados y resueltos satisfactoriamente, permitiendo encontrar la solución óptima para el problema especifico.
2. El modelo matemático formulado resulta ser de gran utilidad en un ambiente de fabricación para inventario porque permite establecer estrategias de carácter integral de manera dinámica para evaluar diversos escenarios tanto de demanda como de políticas de inventario y restricciones de planta y capacidades.
3. Con la utilización del modelo se reduce o se puede limitar la cantidad de familias a producir por semana lo cual genera beneficios en el costo de producción a la vez que se mantiene el servicio al cliente cumpliendo el nivel de inventario que requiere la demanda.
4. Permite efectuar el plan de producción en un tiempo de 35 minutos, respecto a lo anterior que tomaba 4 horas. Este tiempo incluye la organización de la información de entrada: niveles de inventarios, demanda.
5. Con este plan óptimo, se reducen las horas extras necesarias para producir el mismo volumen. Una reducción del 40%.
6. Se mejora la flexibilidad de un 55% a 56% que representa una mejora en el nivel de servicio al cliente del 1% al aumentar la rotación del portafolio producido por semana sobre el total del portafolio de 42 sku´s.

7. Este proyecto revela que las técnicas de programación lineal son útiles para resolver problemas de la vida real. Lamentablemente estas técnicas se usan con poca frecuencia, tal vez por la dificultad que esta involucra en el proceso de formulación e implementación de la solución.
8. En los primeros acercamientos que se hicieron en la empresa de detergentes existe una acogida favorable de incorporar estas técnicas de programación matemática para optimizar la toma de decisiones del plan de producción, pero para ello se debe contar con las autorizaciones del caso porque se trata de incorporar un nuevo software a las redes y seguridades de información de la empresa.

5.2 Recomendaciones

Una vez evaluados los resultados obtenidos y compararlos con la situación real en el área de planeación de producción de la fábrica podemos recomendar:

1. Se puede potenciar el modelo agregando una parte que realice la asignación de producto por día, puesto que ya obtenemos el resultado semanal del plan; es decir incorporar un modelo que realice esta optimización en base a la solución del 1er modelo.
2. Se recomienda mejorar el modelo generando las informaciones de entrada en forma automática en formatos de texto, usando el comando que dispone GAMS para el efecto, así se ahorrará tiempo en actualizar la información de demanda, inventarios de producto terminado y materias primas cada semana.
3. Se debe incorporar a este proceso un modelo que realice análisis de la demanda de tal manera que podamos capturar también la variabilidad y estacionalidad de la misma y se convierta en un nuevo criterio de restricción para optimizar la decisión del plan de producción.

4. Se recomienda ampliar el ejercicio para visualizar las 52 semanas del año, de tal manera de simular mes a mes con la debida anticipación y realizar planificaciones de mantenimientos o proyectos que no afecten a la producción y nivel de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alarcón F., García J., Ortiz A. y Alemany M., **Modelo de programación/ secuenciación de producción para un sistema de taller de flujo con diferentes requerimientos según etapas,** *Universidad Politécnica de Valencia, IV Congreso de Ingeniería de Organización CIO, 2001.*

- [2] Cruz M., Martinez M., Hernandez J., Zavala J. y Diaz O., **Scheduling Algorithm for the Job Shop Scheduling Problem.,** *IEEE,* 336-341, 2007.

- [3] E.F Stafford y F.T Seng. **On the Srikar-Ghosh MILP model for the *NxM* SDST flowshop problem**. *International Journal of Production Research, 28 (10): 1817-1830, 1990.*

- [4] E. Taillard. **Some Efficient Heuristic Methods for the Flow Shop Sequencing Problem**. *European Journal of Operational Research,* 47: 65- 74, 1989.

- [5] Moss S., Dale C. y Brame G., **Sequence-Dependent Scheduling at Baxter International**, *Interfaces*, 30:2 p. 70-80, 2000.

- [6] Olson, J. y Schiniederjaus, M., **A Heuristic Scheduling System for ceramic industrial coating**, *Interfaces*, p.16-22, 2000.

- [7] Pinedo M., **Scheduling: Theory, Algorithms and Systems**, *Ediciones Prentice Hall*, segunda edición, 2002.

- [8] Portougal V. y Robb D., **Production Scheduling Theory: Just where is it applicable**, *Interfaces*, 30 (6), pp 64-76, 2000.

- [9] Ramirez-Beltran, N.D., **Application of Mixed Integer Programming to Cellular Manufacturing,** *Engineering Valuation and Cost Analysis*, 2, 373-386, 2000.

- [10] Srikar B. and Ghosh, **A MILP model for the n-job, M'stage flowshop with sequence dependent set-up times,** *International Journal of Production Research*, 24 (6), 1459-1474, 1986.
- [11] Stoop P. and Wiers V., **The Complexity of Scheduling in Practice**, *International Journal of Operations & Production Management*, 16 (10), pp 37-53, 1996.

ANEXOS

APÉNDICE A

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Fecha	Vel (tph)	Variante	#	Fam x sem	SKU x sem	Festivos
2		05/12/2011	11,3	Floral	1			
3		06/12/2011	11,3	Limon	1			
4		07/12/2011	12,5	Aloe	1			
5		08/12/2011	13,0	Blancas y lilas	2			
6	Sem 49	09/12/2011	12,0	Blancas y cerezo	2	7	28	1
7		12/12/2011	11,0	Aloe y limon	2			
8		13/12/2011	11,0	limon	1			
9		14/12/2011	10,0	floral	1			
10	Sem 50	15/12/2011	11,8	blancas, lilas y cerezo	3	7	26	1
11		19/12/2011	7,4	blancas	1			
12		20/12/2011	10,6	lilas y aloe	2			
13		21/12/2011	14,6	limon	1			
14	Sem 51	22/12/2011	9,3	limon y floral	2	6	23	0
15		10/01/2012	12,5	ylang y limon	2			
16		11/01/2012	12,2	limon y aloe	2			
17		12/01/2012	11,9	aloe y floral	2			
18		13/01/2012	10,9	Floral	1			
19		14/01/2012	10,1	Blancas y cerezo	2			
20	Sem 2	15/01/2012	11,4	cerezo, lilas y baby	3	12	31	2
21		16/01/2012	13,2	lilas y baby	2			
22		17/01/2012	12,9	baby, ylang y aloe	3			
23		18/01/2012	11	Aloe y limon	2			
24		19/01/2012	10,8	limon y floral	2			
25	Sem 3	20/01/2012	6,5	floral y blancas	2	11	25	0
26		23/01/2012	10	inteligente, black y floral	3			
27		24/01/2012	10,5	floral	1			
28		25/01/2012	10,3	floral y limon	2			
29		26/01/2012	7,1	limon y blancas	2			
30	Sem 4	27/01/2012	10	blancas, cerezo, lilas y baby	4	12	23	0
31		30/01/2012	11	lilas y blancas	2			
32		31/01/2012	11	blancas y floral	2			

APÉNDICE B

MODELO MATEMÁTICO

```
$Ontext

  La fabrica de detergentes puede producir 40 diferentes sku´s en 6 máquinas
  envasadoras distintas. Dada la demanda mensual de sku´s el objetivo es
  encontrar el secuenciamiento de programa de produccion semanala que minimice
  los costos de produccion

$Offtext

 Sets  m     maquinas  /L300, L301, L302, L303, L304, L305 /
       g     gramaje   /100g, 200g, 400g, 1000g, 2000g, 5000g /
       f     familia   /floral, limon, aloe, ylang, baby, intel, black, blancas, lilas, cerezo /
       t     periodo  /s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8/
       mp    materiaprima /mp1,mp2,mp3,mp4,mp5,mp6,mp7,mp8,mp9,mp10 /


 Set tiempo(t) /s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8/


 Table CONS(f,mp) consumo de mp por cada variante de detergente
            mp1   mp2   mp3   mp4   mp5   mp6   mp7   mp8   mp9   mp10
floral      0.0   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.0
limon       0.1   0.0   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.0   0.1
aloe        0.1   0.1   0.0   0.1   0.1   0.1   0.1   0.0   0.1   0.1
ylang       0.1   0.1   0.1   0.0   0.1   0.1   0.0   0.1   0.1   0.1
baby        0.1   0.1   0.1   0.1   0.0   0.0   0.1   0.1   0.1   0.1
intel       0.1   0.1   0.1   0.1   0.0   0.0   0.1   0.1   0.1   0.1
black       0.1   0.1   0.1   0.0   0.1   0.1   0.0   0.1   0.1   0.1
blancas     0.1   0.1   0.0   0.1   0.1   0.1   0.1   0.0   0.1   0.1
```

```
lilas       0.1   0.0   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.0   0.1
cerezo      0.0   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.0
```

```
Parameter LT(mp) Leadtime de entrega de proveedores de cada materiaprima
          LS(mp) Tamaño de lote (Lot size)
          II(mp) Inventario inicial de materiaprima;
Table SKUdata mrp
    LT    LS   II
mp1  2     10    5
mp2  1     15   10
mp3  1     10   20
mp4  2     20    5
mp5  1     10   10
mp6  2     15   20
mp7  2     10   50
mp8  1     20   10
mp9  2      5   20
mp10 3     10   30
;
LT(mp) = SKUdata(mp,'LT');
LS(mp) = SKUdata(mp,'LS');
II(mp) = SKUdata(mp, 'II');
```

```
Parameter prate(g,m)  tasa de produccion (toneladas x hora)
/
100g.L300       1.3
200g.L300       2.6
200g.L302       0.8
200g.L303       0.8
200g.L305       0.8
400g.L301       1.2
400g.L302       1.3
400g.L303       1.3
```

400g.L304 1.3
400g.L305 1.6
1000g.L301 2.3
1000g.L303 2.9
1000g.L304 2.8
1000g.L305 3.5
2000g.L304 4.2
5000g.L303 3.6/;

Table pcost(g,m) costo de produccion (usd x tonelada)

	L300	L301	L302	L303	L304	L305
100g	4.0	0	0	0	0	0
200g	4.1	0	4.1	4.2	0	4.2
400g	0	4.4	4.5	4.5	4.5	4.4
1000g	0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.5
2000g	0	0	0	0	4.0	0
5000g	0	0	0	3.6	0	0

Table dempr(t,g,f) demanda (toneladas x sem)

	floral	limon	aloe	ylang	baby	intel	black	blancas	lilas	cerezo
s2.100g	15	17	0	0	0	0	0	8	0	0
s2.200g	34	40	28	0	0	0	0	18	16	12
s2.400g	61	99	57	0	5	3	0	33	32	19
s2.1000g	59	74	55	30	14	5	2	29	27	22
s2.2000g	27	25	28	15	5	4	0	11	10	7
s2.5000g	21	20	18	14	0	0	0	5	5	0
s3.100g	15	17	0	0	0	0	0	8	0	0
s3.200g	34	40	28	0	0	0	0	18	16	12
s3.400g	61	99	57	0	5	3	0	33	32	19
s3.1000g	59	74	55	30	14	5	2	29	27	22
s3.2000g	27	25	28	15	5	4	0	11	10	7

s3.5000g	21	20	18	14	0	0	0	5	5	0
s4.100g	19	17	0	0	0	0	0	8	0	0
s4.200g	34	40	28	0	0	0	0	18	16	12
s4.400g	61	99	57	0	5	3	0	33	32	19
s4.1000g	59	74	55	30	14	5	2	29	27	22
s4.2000g	27	25	28	15	5	4	0	11	10	7
s4.5000g	21	20	18	14	0	0	0	5	5	0
s5.100g	15	17	0	0	0	0	0	8	0	0
s5.200g	34	40	28	0	0	0	0	18	16	12
s5.400g	61	99	57	0	5	3	0	33	32	19
s5.1000g	59	74	55	30	14	5	2	29	27	22
s5.2000g	27	25	28	15	5	4	0	11	10	7
s5.5000g	21	20	18	14	0	0	0	5	5	0
s6.100g	19	17	0	0	0	0	0	8	0	0
s6.200g	34	40	28	0	0	0	0	18	16	12
s6.400g	61	99	57	0	5	3	0	33	32	19
s6.1000g	59	74	55	30	14	5	2	29	27	22
s6.2000g	27	25	28	15	5	4	0	11	10	7
s6.5000g	21	20	18	14	0	0	0	5	5	0
s7.100g	15	17	0	0	0	0	0	8	0	0
s7.200g	34	40	28	0	0	0	0	18	16	12
s7.400g	61	99	57	0	5	3	0	33	32	19
s7.1000g	59	74	55	30	14	5	2	29	27	22
s7.2000g	27	25	28	15	5	4	0	11	10	7
s7.5000g	21	20	18	14	0	0	0	5	5	0

Table Inventory(g,f) inventario inicial del periodo (toneladas)

	floral	limon	aloe	ylang	baby	intel	black	blancas	lilas	cerezo
100g	24	22	0	0	0	0	0	12	0	0
200g	40	44	28	0	0	0	0	20	14	13
400g	90	88	55	0	10	6	0	26	44	33
1000g	99	75	55	30	29	10	4	55	46	39

2000g	27	25	28	15	9	8	0	16	13	10
5000g	21	20	16	26	0	0	0	6	8	0

Table Meta(t,g,f) Meta de inventario final del periodo por política de stocks (toneladas)

	floral	limon	aloe	ylang	baby	intel	black	blancas	lilas	cerezo
s2.100g	23	23	0	0	0	0	0	17	0	0
s2.200g	69	80	56	0	0	0	0	36	32	25
s2.400g	103	109	111	0	18	6	0	67	64	37
s2.1000g	105	108	110	61	29	10	3	58	54	42
s2.2000g	54	50	57	30	10	8	0	21	20	13
s2.5000g	42	41	35	27	0	0	0	10	11	0
s3.100g	33	33	0	0	0	0	0	17	0	0
s3.200g	69	80	56	0	0	0	0	36	32	25
s3.400g	103	109	111	0	18	6	0	67	64	37
s3.1000g	105	108	110	61	29	10	3	58	54	42
s3.2000g	54	50	57	30	10	8	0	21	20	13
s3.5000g	42	41	35	27	0	0	0	10	11	0
s4.100g	33	33	0	0	0	0	0	17	0	0
s4.200g	69	80	56	0	0	0	0	36	32	25
s4.400g	103	109	111	0	18	6	0	67	64	37
s4.1000g	105	108	110	61	29	10	3	58	54	42
s4.2000g	54	50	57	30	10	8	0	21	20	13
s4.5000g	42	41	35	27	0	0	0	10	11	0
s5.100g	33	33	0	0	0	0	0	17	0	0
s5.200g	69	80	56	0	0	0	0	36	32	25
s5.400g	103	109	111	0	18	6	0	67	64	37
s5.1000g	105	108	110	61	29	10	3	58	54	42
s5.2000g	54	50	57	30	10	8	0	21	20	13
s5.5000g	42	41	35	27	0	0	0	10	11	0
s6.100g	33	33	0	0	0	0	0	17	0	0
s6.200g	69	80	56	0	0	0	0	36	32	25
s6.400g	103	109	111	0	18	6	0	67	64	37

s6.1000g 105 108 110 61 29 10 3 58 54 42

s6.2000g 54 50 57 30 10 8 0 21 20 13

s6.5000g 42 41 35 27 0 0 0 10 11 0

s7.100g 33 33 0 0 0 0 0 17 0 0

s7.200g 69 80 56 0 0 0 0 36 32 25

s7.400g 103 109 111 0 18 6 0 67 64 37

s7.1000g 105 108 110 61 29 10 3 58 54 42

s7.2000g 54 50 57 30 10 8 0 21 20 13

s7.5000g 42 41 35 27 0 0 0 10 11 0

Parameter Cap(m) tiempo disponible en maquinas horas normales (horas x periodo)

/L300 120, L301 120, L302 120, L303 120, L304 120, L305 120/

Parameter CapEx(m) tiempo disponible en maquinas horas extras (horas x periodo)

/L300 48, L301 48, L302 48, L303 48, L304 48, L305 48/

Parameter P penalidad por demanda no atendida en el período

/999999/

Parameter Q activa la variable Fam si el modelo decide producir la familia f en el periodo t

/99999/

Parameter R valor de inventario inicial de materia prima al inicio del ejercicio

/ 20 /

Variables X(t,g,f,m) Cantidad producida en periodo "t" de gramaje "g" familia "f" en maquina "m" (tons per week)

I(t,g,f) Inventario de productos por periodo

Fam(t,f) Familias producida en semana t

Y(t,g,f,m) Cantidad producida en horas extras

demnoate(t,g,f) Cantidad faltante de producto

CMP(t,mp) Compra de materia prima (numero de lotes) en periodo t

IMP(t,mp) Inventario de materia prima

Z Funcion objetivo

```
Positive Variable X, Y, I, demnoate, IMP ;
Binary Variable Fam;
Integer Variable CMP;
Variable Z;

Equations  BalanceInventario(t,g,f) Inventario final del periodo
        Casefill(t,g,f)         Inventario para cumplir nivel de servicio
        Capacidad(t,m)          Utilizar máquinas en horas ordinarias
        CapacidadExtra(t,m)     Utilizar máquinas en horas extras
        InvInicial(t,g,f)       Inventario Inicial producto
        InvInicialMP(t,mp)      Inventario Inicial materia prima
        InvMP(t,mp)             Inventario de materia prima
        FamP (t)                Número de familias producidas en periodo t
        Famtf (t,f)             Variante o familia producida en periodo t
        Prueba(g,m)             Valida que se produzca en máquina con formato
        Maxcapsem (t)           Capacidad máxima de producción semanal
        FO                      Función objetivo minimiza costos de producción  ;

InvInicial('s1',g,f).. I('s1',g,f) =e= Inventory(g,f);

BalanceInventario(t,g,f)$tiempo(t).. I(t,g,f) =e= I(t-1,g,f) + sum (m$prate(g,m),
X(t,g,f,m)+Y(t,g,f,m))- dempr(t,g,f) + demnoate(t,g,f);

Casefill (t,g,f).. I(t,g,f) =g= Meta (t,g,f);

FamP (t).. sum(f, Fam(t,f))=l= 5;

Maxcapsem (t).. sum ( (g,f,m), X(t,g,f,m)+ Y(t,g,f,m)) =l= 1600;

Famtf(t,f).. sum((g,m), X(t,g,f,m) + Y(t,g,f,m)) =l= Q*Fam(t,f) ;
```

```
Capacidad(t,m)..  sum((g,f)$prate(g,m), X(t,g,f,m)/prate(g,m)) =l= Cap(m);

Prueba(g,m)$(not(prate(g,m)))..  sum((t,f), X(t,g,f,m)+Y(t,g,f,m)) =e= 0;

CapacidadExtra(t,m)..  sum((g,f)$prate(g,m), Y(t,g,f,m)/prate(g,m)) =l= CapEx(m);

InvMP(t,mp)$tiempo(t)..  IMP(t,mp) =e= IMP(t-1,mp) + CMP(t-LT(mp),mp)* LS(mp) - sum
((f,g,m),(X(t,g,f,m)+ Y(t,g,f,m))*CONS(f,mp));

InvInicialMP('s1',mp).. IMP('s1',mp) =e= R;

FO..      Z =e= sum((t,g,f,m), X(t,g,f,m)*pcost(g,m)+Y(t,g,f,m)*pcost(g,m)*1.15)+ sum((t,g,f),
P*demnoate(t,g,f)) + sum((t,f), 1*Fam(t,f)) + sum((t,mp), 1*IMP(t,mp));

Model planning /all/;
Solve planning using mip minimizing Z;

display ls;
display x.l;
display y.l;
display I.l;
display demnoate.l;
display Fam.l;
display CMP.l;
display IMP.l;
```