UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
E.A.P. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Modelo de asignación aplicado a la manufactura en una cadena de abastecimientos

TESIS Para optar el Título Profesional de INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR
José Armando Pérez Becerra
ASESOR Eduardo Raffo Lecca

LIMA – PERÚ 2006

DEDICATORIA: A MIS PADRES, QUIENES SIEMPRE ME APOYARON Y BUSCARON LO MEJOR PARA MI.

AGRADECIMIENTO: Al Ingeniero Eduardo Raffo Lecca, mi Asesor de Tesis por su tiempo y su amistad, a la Empresa Yobel Supply Chain Management que me facilitó datos usados en el presente trabajo y a todos aquellos que de una u otra manera me alentaron en la realización del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

Las empresas manufactureras y de servicios, -en especial de los países del primer mundo-, se encuentran aplicando hoy la simulación, técnicas matemáticas como la programación lineal, métodos numéricos, entre otras más para resolver problemas de programación de la producción, con la finalidad de optimizar tiempos, materiales, personal, etc. e incrementar de esta manera sus ganancias e igualmente reducir sus costos.

Es así que el presente trabajo se enfoca en un tema específico de una empresa particular, que es el modelo de asignación, uno de los tipos de problemas de transporte que corresponde a la programación lineal entera binaria. El software creado busca determinar lo siguiente: para un período establecido precisar qué máquinas deben ser asignadas para los distintos pedidos proyectados de manera que se minimice el tiempo total de ejecución de los pedidos y de esta manera al minimizar este tiempo sucederá lo mismo con los costos. Este modelo es aplicable para todo sistema que requiera una programación asignando máquinas, personal, etc. por lo que va más allá del sector manufacturero y puede enfocarse también en el sector de servicios.

El problema se formula usando la hoja de cálculo (Excel) y enlazándolo a su vez con el software Lingo y su uso representará un ahorro anual a la empresa estimado en 300 mil soles. Cabe resaltar que la actividad que las organizaciones a nivel mundial destacan como la más importante en donde se debe mejorar las operaciones es justamente la planeación de la producción, los sistemas de programación y el control de inventarios.

Es importante entonces que las Pymes e instituciones del estado que son las fuerzas generadoras de divisas en el país, puedan implementar programas similares al que se presenta ya que el país necesita justamente la aplicación de la ciencia y la tecnología para optimizar procesos y así ahorrar dinero que pueda ser invertido en sectores necesitados.

CAPÍTULO I

SITUACION DE LA EMPRESA

La empresa que sirve como modelo para el desarrollo del presente trabajo, Yobel Supply Chain Management, inició sus operaciones en el año 1966. Es una empresa que se encuentra enfocada en el manejo de cadenas de suministros para terceros y usa sistemas avanzados para integrar y simplificar las operaciones de sus clientes, los cuales incluyen la administración de inventarios, las gestiones del abastecimiento, la fabricación, los almacenes, transportes y distribución asi como también la gestión de la información.

El objetivo de la empresa es aplicar soluciones para sincronizar las operaciones en la cadena de suministros de sus clientes a nivel de consultoría, Insourcing y Outsourcing.

Supply Chain Management o Gestión de la cadena de suministros, comprende las actividades asociadas con el flujo de productos, información y dinero desde el proveedor hasta el cliente.

1.1 La Industria de Cadenas de Abastecimientos en el Perú

Yobel SCM se encuentra en un rubro de empresas peruanas que en los últimos años han tenido un gran crecimiento debido justamente a que las grandes transnacionales están enfocadas en la razón de su negocio. Podemos citar como ejemplo de empresas que tercerizan su logística: Kraft, Intradevco (empresa de la cual una de sus marcas es Sapolio), Kodak, grupo Gloria, Alicorp, entre otras. Este concepto en la logística, quiere decir que estas empresas tercerizan el almacenamiento de sus productos y/o su distribución a mayoristas y centros

comerciales. De esta manera su capital lo invierten en el desarrollo de nuevos productos, marketing, etc. y no en grandes almacenes, personal, tecnología de almacenes, distribución, manufactura, maquinaria, equipos, etc.

Las cadenas de empresas que realizan la gestión de almacenes, distribución e incluso manufactura (Cadenas de Abastecimientos) se encuentran ahora en una ardua competencia por tener como clientes a las transnacionales más grandes, entre estas cadenas tenemos el Almacén de Santa Isabel, Dinet, Ramsa, Yobel SCM, entre otros; y cuentan algunas con software inteligente de almacenes, de programación, ruta óptima e incluso simulación del proceso en tiempo real, como el Almacén de Santa Isabel que se encuentra en la Av. Gambeta en el Callao; este software fue creado e implementado por ingenieros holandeses cuando la empresa pertenecía a AHOLD, una transnacional de ese país.

La empresa Ramsa por otro lado, al estar dedicada íntegramente al negocio logístico tiene uno de los costos más competitivos en lo que se refiere a almacenamiento y distribución. Sin embargo, la empresa Yobel SCM, aunque tiene costos un poco más elevados en el área de logística tiene como una de sus fortalezas que en el Perú es la única empresa que le manufactura a Ebel Internacional, y además posee clientes de la talla de Hansaplast, Cornina, etc, es decir, posee procesos de planeamiento, manufactura, almacenamiento y distribución que pocas empresas poseen y, por lo tanto, al poseer más procesos y estar todos dentro de la misma empresa, la ganancia es única, se reducen los costos y de esta manera el beneficiado es el cliente.

1.2 Estructura organizativa

Yobel SCM está reconocida como una de las empresas líderes en su ramo y cuenta con profesionales dedicados al servicio de la optimización de procesos en las cadenas de suministro a través de sus 5 empresas:

1. Yobel SCM Logistics

Brinda servicios logísticos integrados.

2. Yobel SCM Manufacturing

Se encarga de servicios de manufactura a terceros en: diseño, producción, envasado y transformación de productos.

3. Yobel SCM Costume Jewelry

Brinda servicios de manufactura a terceros.

4. Yobel SCM Sales

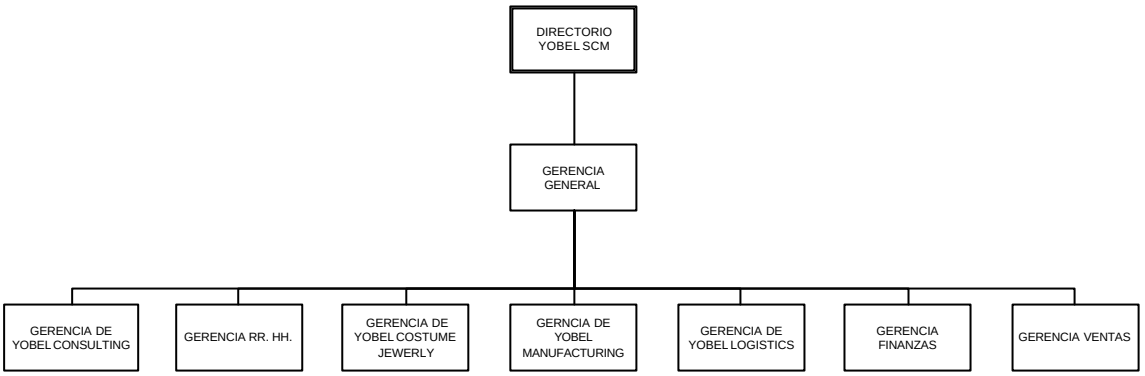
Brinda servicios de representación y comercialización de productos de consumo masivo.

5. Yobel SCM Consulting

Determina las estrategias que sincronizan las metas del negocio con las capacidades operativas.

Tenemos el Organigrama General de la Empresa Yobel SCM:

FIGURA 1.1: ORGANIGRAMA YOBEL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT



FUENTE: Empresa en estudio

De todas las Gerencias, las que poseen la mayor cantidad de personal obrero son Logística y Manufactura (tanto de cosméticos como joyas), a su vez cada Gerencia es independiente en la administración de su personal; cabe resaltar que las áreas de Mantenimiento y Seguridad Industrial cumplen sus funciones en toda la planta, esto es, velan por el correcto funcionamiento de todas las máquinas y la seguridad de todas las áreas. Además esta área es de staff cuya dependencia son todas las gerencias por lo que no se encuentra en el organigrama. Asimismo todas las gerencias tienen la libertad de planeación de nuevos proyectos y su ejecución, sin embargo, la decisión final de acuerdo a la rentabilidad del mismo la tomará la Gerencia Financiera.

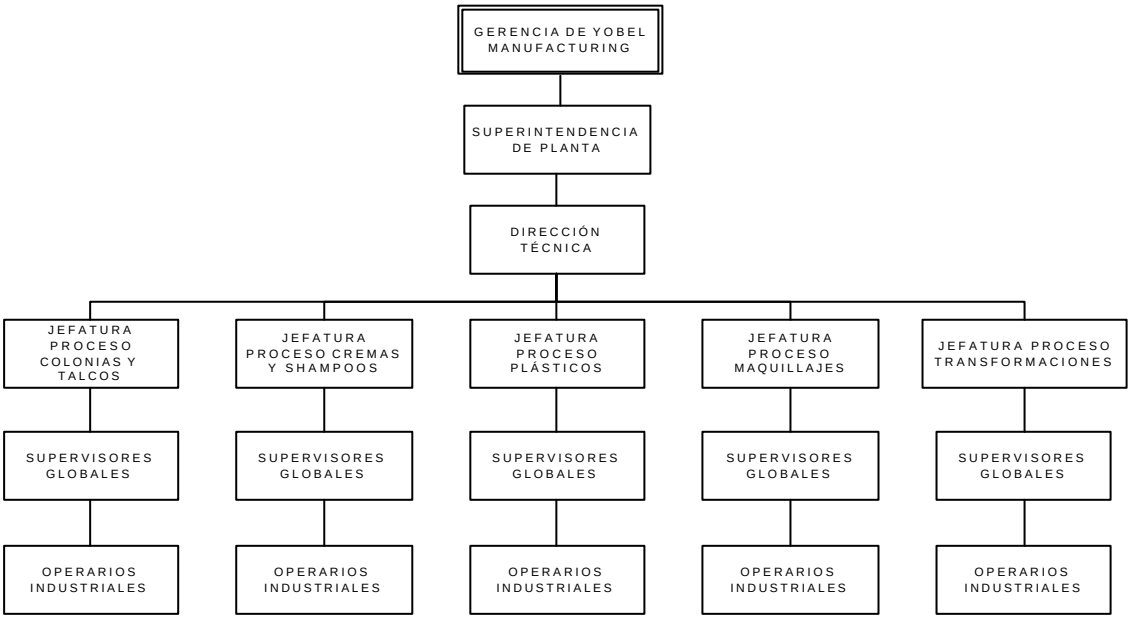
La Gerencia de Yobel Manufacturing (que es donde se encuentra el área de producción de envases plásticos que será el área a implantar el presente trabajo) posee sus 5 cadenas que son: Maquillajes, Transformaciones, Colonias-Talcos, Cremas-Shampoos y Plásticos. Los principales soportes de la Gerencia de Manufacturing son su personal comercial que en

coordinación con la Gerencia de Ventas, buscan nuevos clientes sólo para el área de Manufacturing, y la Superintendencia de Planta que controla y supervisa que se cumplan los ratios esperados por cada área. Por otro lado, la Dirección Técnica tiene autoridad sobre todas las áreas en lo que se refiere a especificaciones técnicas de productos, normas de seguridad e higiene, etc. Luego cada cadena tiene por lo general un Jefe de Proceso, un Jefe de Manufactura, uno de Logística, un Supervisor Global, un digitador, un Supervisor de Turno y una cantidad de operarios que en promedio son de 50 por área.

Para tener una visualización clara de la Gerencia de Yobel Manufacturing, se mostrará su organigrama, con todos los niveles, y luego, el área específica en la que se elaboró el presente trabajo (Plásticos).

La Gerencia de Yobel Manufacturing tiene la siguiente organización:

FIGURA 1.2: ORGANIGRAMA YOBEL MANUFACTURING



FUENTE: Empresa en estudio.

Podemos ver que los distintos procesos del área de Yobel Manufacturing se encuentran en un mismo nivel, aunque muchas veces el área de plásticos está ligada directamente a los requerimientos que les llega a las área de Cremas-Shampoos y Colonias-Talcos de parte de la Empresa Ebel, por lo que éstas 2 áreas vendrían a ser un primer cliente interno del área de Plásticos.

El área de plásticos presenta una Jefatura de Proceso, un Asesor Comercial y de Mejora Continua, una Jefatura de Manufactura y una Jefatura Logística en sus áreas de mando, luego se encuentran los Supervisores de Planta ó Turno, un almacenero-pigmentador, un despachador y el operario industrial.

Entre las funciones principales del Jefe de Proceso se encuentran:

- Preparar mensualmente el presupuesto de ventas a la Gerencia de Yobel Manufacturing.
- Presentación de nuevos proyectos de mejora continua.
- Coordinación con las jefaturas de los otros procesos ó cadenas eventuales adelantos de producción, intercambio de personal, etc.

Entre las funciones principales del Asesor Comercial y de Mejora Continua en el área de Plásticos tenemos:

- Presentación al Jefe de Proceso de nuevas alternativas de máquinas, dispositivos, técnicas, etc. para incrementar la eficiencia de producción sustentadas con un análisis de costos y financiero tipo VAN, EVA[1], programación lineal, etc.
- Concertar citas para la empresa con nuevos clientes.

[1] EVA (Valor Económico agregado) es un indicador que similarmente al VAN verifica si un proyecto es conveniente o no para la empresa.

Entre las funciones principales del Jefe de Manufactura en el área de Plásticos tenemos:

- Cumplimiento del programa de producción.
- Control de la producción, tiempos estándar.
- Velar por el adecuado abastecimiento del área hacia las otras cadenas.
- Manejar adecuadamente las Horas-Hombre y las Horas-Máquina.

Entre las funciones principales del Jefe de Logística en el área de Plásticos tenemos:

- Abastecimiento a tiempo de la materia prima para los productos que se encuentra en el programa de producción.
- Llevar un control adecuado de la cantidad física de los inventarios de Materia Prima y Productos Terminados en el sistema BPCS (Software de MRP que maneja la Empresa).
- Despacho a tiempo de los productos terminados a las distintas áreas.
- Disposición adecuada de la materia prima en el almacén de punto de uso[2] de plásticos.

Entre las funciones principales del Digitador del área están:

- Cerrar[3] las órdenes terminadas en el sistema.
- Realizar las transacciones correspondientes a la entrada de materia prima, salida de productos, etc. (facturaciones, administrar la documentación del área, etc.)
- Digitar las actualizaciones de nuevos tiempos, costos, materiales, etc. dadas por los jefes de manufactura, logística y de proceso.

[2] Almacén de Punto de Uso se refiere al almacén que se encuentra ubicado dentro de la misma planta y que al trabajar con el requerimiento del MRP es mínimo y por tanto solo contienen el material requerido necesario para producción.
[3] Cerrar ódenes consiste en ingresar al sietma las cantidades producidas de manera que se actualice la materia prima usada, las hoiras-máquina usadas, la producción nueva, etc.

Entre las funciones principales del Supervisor de Turno en el área de Plásticos tenemos:

- Velar por el cumplimiento del Programa de Producción elaborado por el Jefe de Manufactura.
- Distribución adecuada del personal en máquina según coordinaciones con el Jefe de Manufactura.
- Control en la disciplina del personal obrero.
- Orden y limpieza de la planta.

Las principales funciones del almacenero-pigmentador del área de plásticos son:

- Verificar las órdenes de producción y preparar la materia prima base y los pigmentos requeridos para todas las máquinas.
- Recibir las llegadas de materia prima por parte de los proveedores y tramitar la documentación pertinente.
- Mantener en orden el almacén de punto de uso[4] del área.

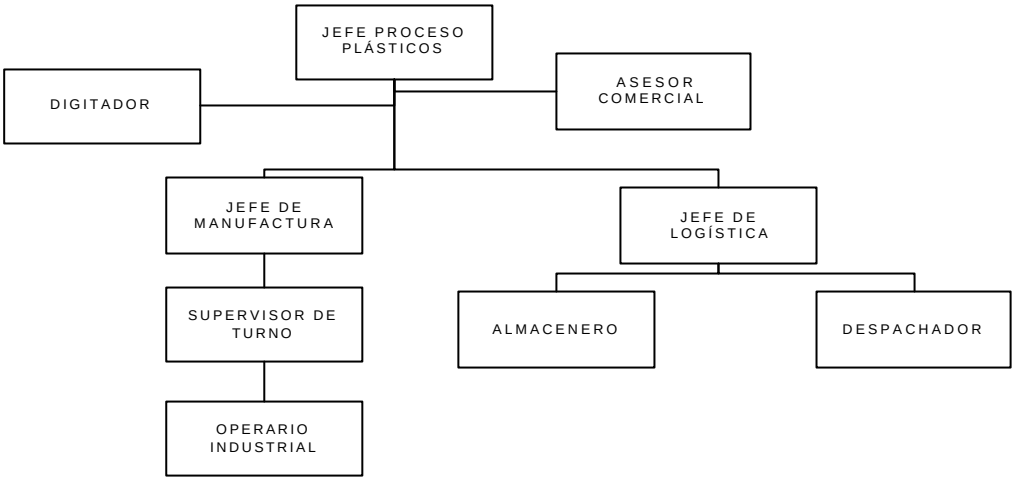
Las principales funciones del despachador del área de plásticos son:

- Mantener la planta de producción libre de productos terminados (su lugar es el almacén de productos terminados).
- Colaborar con el analista de control de calidad para que inspeccione los productos terminados colocados en las parihuelas.

El Organigrama del área de Plásticos es como sigue:

[4] Almacén de punto de uso de plásticos es un almacén que se encuentra dentro de la misma área y que contienen solo materia prima necesaria para la producción de 3 ó 4 días venideros, ya que al trabajarse con MRP no es necesario tener grandes inventarios.

FIGURA 1.3: ORGANIGRAMA AREA DE PLASTICOS



FUENTE: Empresa en estudio

1.3 Operaciones Principales

YOBEL Supply Chain Management posee una amplia variedad de servicios que están orientados a los requerimientos de los clientes. Brinda soporte técnico a diversas empresas en las áreas de:

- *Administración de inventarios*

  Minimizar el valor de los inventarios a lo largo de la cadena sincronizándolos con la demanda, reduciendo los gastos asociados a su manutención, diferencias, faltantes, obsolescencia y financiamiento.

- *Gestión de suministro*

  Realizar el planeamiento y seguimiento de las compras, las relaciones estratégicas con proveedores y auditorías de calidad.

- *Manufactura*

  Esta área se especializa en la planificación, ingeniería, construcción y manejo de fábricas garantizando alta flexibilidad a bajos costos operativos.

- *Gestión de transportes y distribución*

  Buscar la mejor utilización de los vehículos, rutas y personal del que disponen para mejorar el servicio a los clientes.

- *Gestión de almacenes*

  Administrar el uso de los espacios asignados mediante el rediseño y/o reorganización buscando en todo momento minimizar los costos operativos.

- *Gestión de información*

  Realizar análisis y evaluaciones de los requerimientos de tecnología e información, para hacer eficientes las actividades de la cadena, así como los mejores ratios para medirla.

YOBEL – MANUFACTURING.

La empresa Yobel SCM Manufacturing es la compañía líder a nivel latinoamericano en la fabricación de productos de consumo para terceros. Presenta soluciones en los procesos de manufactura en cadena de suministro de sus clientes con una alta tecnología aplicada a los procesos productivos y procesos de negocios.

Uno de los objetivos es crear alianzas estratégicas con diversos clientes para la elaboración de productos, desde el desarrollo del concepto hasta su comercialización en el punto de venta, considerando los siguientes servicios:

- Servicios de manufactura a terceros.
- Diseño, producción, envasado y transformación de productos.
- Especialización en la planificación, ingeniería, abastecimiento, construcción y manejo de plantas.

La empresa cuenta con instalaciones que ocupan más de 50 mil metros cuadrados y los equipos que se utilizan son de última generación. La flexibilidad ofrece lotes de bajo y alto volumen de fabricación y envasado de acuerdo a la demanda de los clientes.

Clientes:

Los clientes principales de la empresa son: Ebel International, Alberto Culver, L'oreal, Biersdorf, Colgate-Palmolive, Unilever y Novartis entre otros.

Se exportan sus productos a la región sudamericana con costos altamente competitivos.

El área de plásticos posee una demanda principalmente dependiente de las cadenas de Cremas-Shampoos, Colonias-Talcos Y Transformaciones. Los requerimientos de Ebel se hacen a los programadores de las cadenas mencionadas, sin embargo, debido al poco conocimiento de las otras cadenas de los procesos de producción de plásticos se incurren muchas veces en costos innecesarios de cambios urgentes de molde[5], cambios de color[6] (de oscuro a claro) que los incrementan tremendamente. Para todo esto, es que, el presente trabajo agrupa los distintos productos de acuerdo a su tipo de molde y muestra como resultado el programa óptimo de producción, de manera que una vez que el área de plásticos muestre un

[5] Molde se refiere a una material metálico que se utiliza en la producción de plásticos y cuyo montaje en una máquina implican desde 2.5 a 4 horas, en los casos de Inyección y Soplado, respectivamente.
[6] El cambio de color se dice que es secuencial-dependiente, es decir, cuando se cambia de oscuro a claro demora mayor tiempo por lo que resulta más costoso.Quiere decir que también se debe tener cuidado con esta variable.

orden inminente se puede negociar mejor con los clientes internos acerca de los lead-times (tiempos de entrega), los sobrecostos generados por los cambios innecesarios de molde, cambios de color, etc. La cadena de transformaciones está vinculada al área de plásticos principalmente en lo que se refiere a productos de promoción (ejemplos: ofertas de 1 envase de colonia + 1 jabón, shampoo +desodorante, etc.), por lo que también se generan problemas cuando el programador de esta cadena coordina directamente con Ebel la demanda de este último y propone fechas al mismo sin tener en cuenta el tipo de producto, el molde al que pertenece (esta información solamente la conocía el área de plásticos), los moldes que están trabajando actualmente, etc. Todo esto se mejoró con 3 medidas fundamentales:

- Entrega a las demás áreas interrelacionadas con plásticos de una lista de los moldes y los productos que se pueden hacer con los mismos.
- Presentación de un análisis de los costos en que se incurre al ejecutar los cambios de molde.
- Envío diario de un programa óptimo de producción sugerido a todas las áreas (no se realizaba) que muestra gráficamente las máquinas, sus moldes programados y las fechas (lo que vendría a ser un Diagrama de Gantt) para de esta manera incitar a que las otras áreas busquen darle continuidad a la producción en lo que a moldes se refiere y que tengan una visión clara de las fechas de disponibilidad de máquinas, fechas de término de pedidos, etc.

Las 3 medidas básicas que se tomaron fueron posibles con el presente trabajo, y en el desarrollo del mismo se verá como con un resumen de los productos por su tipo de molde y sus productividades en las distintas máquinas se llegará a una programación que se ejecutará en no más de 1 hora, que es lo que justamente tomaba alrededor de 4 horas diarias al programador de la producción.

Asi como el ahorro en tiempo y consecuentemente de dinero que existe en lo que se refiere al programador de la producción, existe también un ahorro en tiempos de espera, es decir, no existen máquinas paradas por falta de orden de trabajo lanzada por parte de la Administración

de Planta, ahorro en horas extras de producción para pedidos urgentes que no se pudieron completar en las horas normales, ahorro en horas extras de mantenimiento de moldes, ahorro por los cambios innecesarios de molde existentes normalmente, entre otros ahorros.

La restricción en la producción del área de plásticos solamente se debe a que no se puede producir lo que está requerido en un horizonte mayor de 2 semanas, esto es, por política de la empresa se pretende mantener un costo de inventario mínimo. La política dice que se debe producir contra pedido y como máximo a un horizonte de 15 días. En caso de que se conozca una demanda a 2 meses por ejemplo bastante significativa y se quiera adelantar para nivelar la capacidad de planta, se tendría que demostrar que el costo de almacenamiento es menor que el costo de no producir en una fecha anterior en la planta de plásticos.

A su vez, las máquinas inyectoras, las máquinas sopladoras y las de serigrafía tienen un lote mínimo de unidades que se debe trabajar, o sea que existe una cantidad mínima que se debe producir para no trabajar a pérdida, para evitar tener demasiados cambios de molde en un turno y teniendo en cuenta el promedio de unidades que normalmente se presentan durante 2 semanas o incluso proyectándolo a un mes. En inyección es alrededor de las 10000 unidades, en soplado de 1 estación[7] alrededor de las 1500 unidades, soplado de 2 estaciones alrededor de las 15000 unidades y serigrafía alrededor de las 1500 unidades. Estas cantidades han sido determinadas por la empresa para cubrir los 3 factores mencionados, sin embargo el cálculo del punto de equilibrio se puede apreciar en el Apéndice Nº II.

Adicionalmente podemos mencionar que en lo concerniente al diseño de nuevos productos es la empresa Ebel la que manda los nuevos diseños y por consiguiente los requerimientos de muestras. A su vez, la Empresa Yobel Supply Chain Management tiene el área de Desarrollo de Envases que es la que determina en coordinación con el área productiva de plásticos el tipo de máquina a utilizar, las especificaciones técnicas de los productos y todas las condiciones necesarias para que la muestra y luego el producto final se encuentren en los estándares de calidad requeridos por el cliente.

[7] Estación se refiere al dispositivo de la máquina en donde se coloca el molde. En una máquina de 1 estación podrá colocarse 1 sólo molde, en una de 2 estaciones podrán entrar 2 de ellos.

1.4 Línea de productos

La línea de productos de Yobel SCM en el área de Manufactura abarcan:

- Maquillaje.
- Tratamientos.
- Fragancias.
- Tocador y Cuidado Personal.
- Farmacéuticos de uso externo.
- Cuidado del Hogar.
- Transformaciones, armado de packs promocionales.

El área de plásticos produce frascos de colonias, talcos, cremas y shampoos asi como tapas, potes[8] y cajas de joyas. Entre los clientes importantes están; Cornina, Hansaplast, Spring Flowers, Isana, productos accesorios de Esika y frascos para la marca Frenosa.

La gran mayoría de envases que se fabrican en el área de Plásticos son envasados en las áreas subsiguientes pertenecientes a la Empresa Yobel SCM, es decir, el producto terminado para el área de plásticos es materia prima para el área de envasado de Colonias-Talcos, Cremas-Shampoos y Transformaciones por lo que es obvio que estas áreas están en contacto directo con la de plásticos para los requerimientos de productos.

Un producto que va para una empresa dentro de Yobel SCM pero no pertenece a Yobel Manufacturing es la "Caja Joia" de Esika que pertenece a Ebel. Son unas cajas pequeñas especiales de plástico de un color plomizo algo transparente que servirán para almacenar joyas que se producen en Yobel Costume Jewerly. Existe un contrato en el que se establece que solamente el área de plásticos perteneciente a Yobel Manufacturing puede proveer de tales cajas a Yobel Costume Jewerly.

[8] Pote: Pequeños recipientes plásticos usados para ser envasados con gel, cremas, etc.

Se produce también un producto “Mentadine” que es un líquido para enjuague bucal asi como Frascos “Agu” en sus versiones Shampoo y Colonia para niños. Cuando se fabrican estos últimos productos se programa mantenimiento de máquina y su molde para asegurar una contaminación nula.

Otro producto diferenciado y que tiene gran demanda para el área de plásticos corresponde a los frascos “Frenosa”, este conocido líquido para frenos del cual se fabrican los envases en Yobel Plásticos.

Tanto las áreas de plásticos como de envasado llevan un control estricto de la calidad y BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) ya que los productos que elaboran son cosméticos e incluso algunos tipos de colonia son para bebé y otros productos son farmacéuticos por lo que la DIGEMID (Dirección General de Medicinas, Insumos y Drogas) y otras instituciones de control siempre visitan las instalaciones de la planta para dar pautas y correcciones importantes.

Podemos citar que en todas las áreas productivas de la empresa se debe usar toca, guantes, lentes protectores y mandil, además los mismos diseños de las puertas, paredes son especiales para evitar la acumulación de suciedad.

Como se verá mas adelante, la materia prima reprocesada (material molido) tiene un límite de uso es decir no se puede reprocesar todo el material por lo que el cliente pone un límite de producción realizada con material reprocesado.

1.5 Recursos

La empresa cuenta con 2 máquinas envasadoras, las instalaciones de la planta ubicada en Los Olivos es de 50000 metros cuadrados y cuenta con aproximadamente 2000 empleados.

El área de Producción de Plásticos de Yobel Manufacturing posee:

Recurso Humano: El recurso humano es calificado para cada área, y tiene un trabajo diferenciado que, salvo en el caso del operario industrial, el resto de personal técnico requiere alguna especialización en temas como matricería, serigrafía, transformación plástica, etc. En lo que se refiere al personal administrativo los cargos de jefatura son todos ingenieros industriales de profesión y el digitador posee estudios en un instituto de computación.

Existen 42 operarios de inyección y soplado, los cuales están distribuídos en 3 turnos, además de éstos existe un supervisor de turno, un pigmentador-almacenero y un despachador; los operarios de inyección y soplado deben extraer la rebaba (material extra) al producto, verificando la calidad del mismo en diseño, pesaje y abastecer de materia prima a sus máquinas que a su vez debe haber sido entregada por el almacenero-pigmentador.

Existen 10 operarios de serigrafía[9] que trabajan a un solo turno y además se encuentra su supervisor. Esta área depende totalmente del requerimiento de envases que requieran ser pintados y es común por ejemplo, que en los veranos que se incrementa la demanda de talcos, trabajen horas extras ya que los envases para talcos en su mayoría requieren del pintado (serigrafía). Sin embargo, cuando disminuye la demanda de envases, se suele mandar personal de soplado y serigrafía de vacaciones o se consideran algunos días de descanso.

[9] Serigrafía es el proceso que consiste en el pintado de envases. Una explicación más precisa se dará en el Capítulo 2.

Existen además 5 operarios de matricería que trabajan a un solo turno y el Supervisor de esta área, ellos son los encargados del mantenimiento y reparación de moldes que se usan en la planta de plásticos, a los moldes se les puede hacer operaciones de pulido, torneado, sopleteado, etc. Por ejemplo antes de que el molde entre a la máquina este debe ser lijado cuidadosamente (si es que se encuentra en buenas condiciones), y después de que el molde sale de máquina, el mismo debe ser engrasado para evitar su contaminación con el medio ambiente, así para las distintas máquinas, el personal de matricería actualmente es informado por el Administrador de la Planta o Jefe de Manufactura qué moldes son requeridos y para qué fechas; el hecho es que con el software creado, ya que los supervisores y operarios tienen acceso a una computadora en la planta, éstos van a poder ver gráficamente qué molde se está requiriendo para la próxima semana, para los siguientes 15 días y en base a este programa mejorar su eficiencia para la entrega de moldes a tiempo al área productiva.

Existe 1 persona por turno tanto para el área de Control de Calidad como la de Mantenimiento. El analista de Control de Calidad debe verificar la calidad del producto cuando éste inicia su producción en máquina, cuando se encuentra en proceso y cuando se tiene ya como producto terminado, la persona del área de Mantenimiento a su vez debe realizar los respectivos mantenimientos preventivos y correctivos a las distintas máquinas del área ya que conoce las especificaciones técnicas de cada una y la manera más eficiente de mantenerlas en correcto funcionamiento. Como se verá más adelante esta área adolece de un buen programa de mantenimiento debido en gran parte a que no tiene un programa de producción gráfico (Diagrama de Gantt), que con el software creado lo podrá disponer.

En el área administrativa como ya se pudo ver en el organigrama, existen 5 empleados que son: el Jefe de Proceso, el Jefe de Manufactura, El Jefe de Logística, el Asesor Comercial y el digitador. Cada uno cumple funciones específicas ya mencionadas anteriormente.

Maquinaria: La maquinaria es el activo más importante del área de plásticos por ser el de mayor valor por lo que su uso debe ser óptimo. Existen máquinas en el área que han sido

financiadas con bancos de la capital y que aún están siendo pagadas mediante leasing. Dentro de las máquinas inyectoras y sopladoras, son las sopladoras de 2 estaciones las más caras y por tanto las que se deben usar correctamente (se explicará más adelante el uso correcto de las mismas).

Definiremos algunas de las máquinas existentes en el área:

Compresora.- Motor trifásico de 7.5 hp con 3000 rpm para arenado y soplar plástico, posee 3 pistones.

FIGURA 1.4 COMPRESORA



Bomba Chiller.- Torre de enfriamiento, la torre es de contraflujo, diseñada con una combinación de medios de transferencia de calor, flujo de aire uniforme y distribución homogénea de agua, la torre genera el máximo contacto entre agua y aire y una caída mínima de presión del aire para asegurar una transferencia de calor eficiente mientras minimizan la demanda de potencia para reducir los costos de operación.

Las máquinas de soplado, inyección y serigrafía que se encuentran en el área son:

- *8 máquinas sopladoras:* 4 máquinas sopladoras de 1 estación, 2 máquinas sopladoras de 2 estaciones y 2 máquinas sopladoras PET. Las máquinas sopladoras de la

actualidad poseen la característica importante de permitir que el espesor del parison [10] sea programado. Esta condición es importante en las sopladoras de plásticos que en la planta de producción sólo 2 la tienen.

- *4 máquinas inyectoras:* El tamaño de material inyectado y la fuerza de empuje son los factores más importantes en las máquinas inyectoras en general a tener en cuenta. Las fuerzas de empuje oscilan desde 100 kN hasta 100 MN.

FIGURA 1.5 Inyectora con PLC (Controlador Lógico Programable)



- *4 máquinas de serigrafía:* De las cuales 2 son importadas de Francia.

- *2 Balanzas electrónicas Ohauss.*: Una con una sensibilidad de milésimas de gramos para el pesaje de pigmentos que por lo general llevan una pequeñísima proporción con respecto al peso total del producto. La otra es para el pesaje de costales de Materia Prima que llegan de los proveedores por lo general en un peso de 25 kilogramos.

[10] Parison es una lámina delgada que es desprendida desde la aguja de la sopladora, la cual será encerrada por las dos mitades de un molde luego de lo cual saldrá formado el frasco.

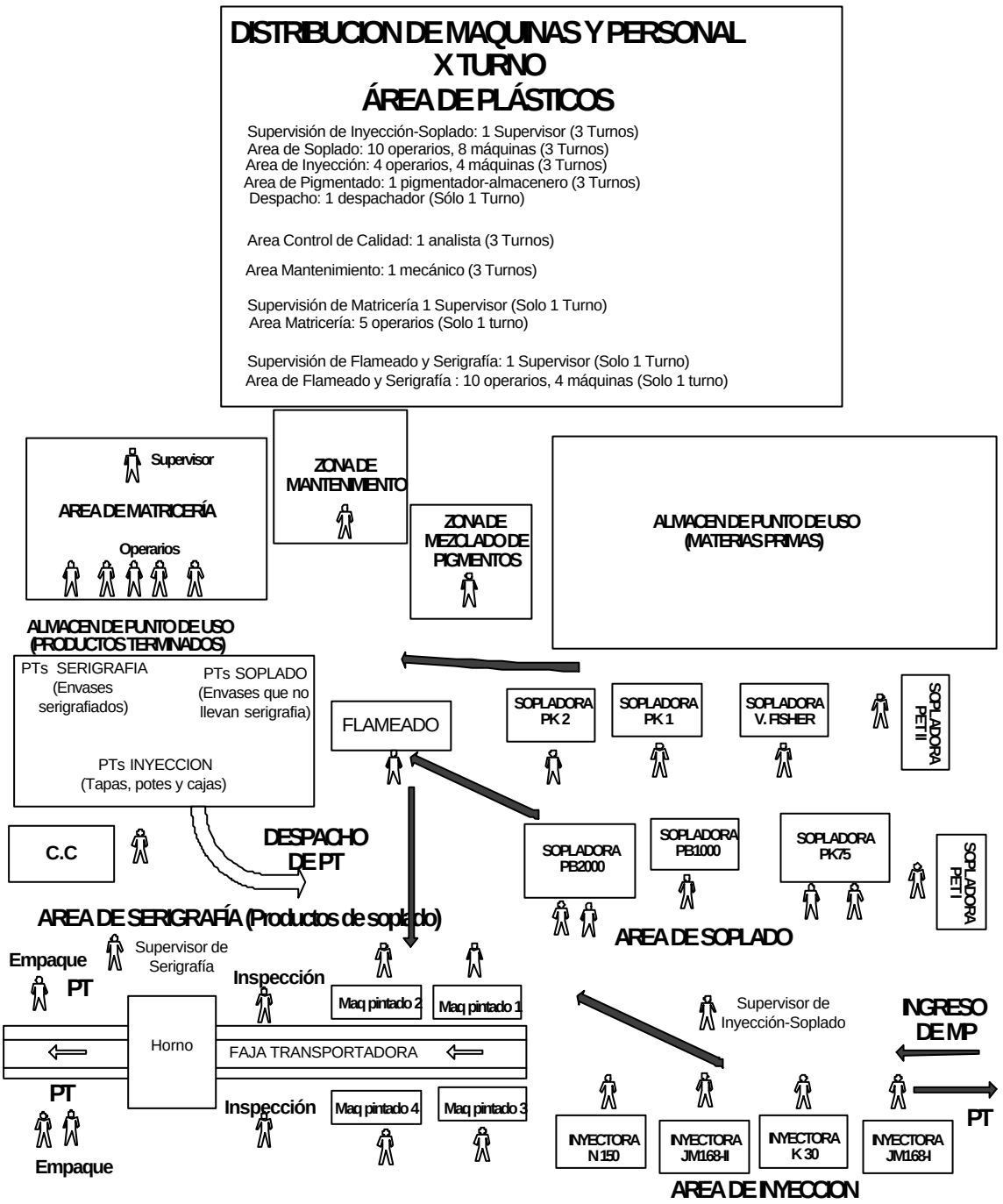
Equipos de manejo de materiales:

- 3 patos: Para el traslado de materia prima, producto terminado y moldes. Cada uno se encuentra respectivamente en las áreas de almacén de punto de uso, matricería e inyección y soplado.

- 1 montacargas: Es compartido entre todas las cadenas de Yobel Manufacturing.

Aquí tenemos la disposición de máquinas y personal en el área de plásticos

FIGURA 1.6 LAYOUT PLÁSTICOS Y DISTRIBUCIÓN DE PERSONAL Y PROCESOS



FUENTE: Empresa en estudio

CAPÍTULO II

ANÁLISIS ACTUAL DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA EMPRESA

Los 4 procesos básicos en la Empresa Yobel SCM son:

- La planeación entre la demanda y la oferta para abastecer al consumidor.
- El abastecimiento, que requerirá por lo general planes y alianzas con proveedores a costos mínimos de entregas.
- La manufactura, que necesita máxima flexibilidad y velocidad a bajos costos para responder a las necesidades del mercado.
- La entrega, que implica movimiento eficiente de productos desde los almacenes hacia los clientes.

Los procesos se ejecutan de acuerdo a:

- La Filosofía MRP-II[1].
- La metodología de Procesos Integrados.
- La Certificación en BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) e ISO 9001.
- Las Guías de Aseguramiento CTFA[2].

[1] Filosofía MRP II: Se refiere a la filosofía de integración y jerárquica dentro de la Empresa, gracias a que el software usado por la misma interrelaciona las distintas áreas de una manera dinámica.
[2] CTFA (Asociación de Fragancias, Cosméticos y artículos de tocador) es un organismo internacional regulador de las industrias del rubro cosmético.

La empresa considera que la calidad es lo más importante y por ello toma especial cuidado en su control. Evalúa a los proveedores de las materias primas y envases y también el producto terminado, garantizando de esta manera que se cumplan los más altos estándares de calidad.

2.1 Descripción de los procesos

Los procesos de producción en el área de plásticos son los siguientes:

- Inyección (Tapas, cajas, potes)
- Soplado (Envases sin pintar)
- Soplado → Flameado → Serigrafía (Envases pintados)

Como ya se mencionó, el área de plásticos trabaja en su mayor parte con una demanda dependiente de las áreas de Cremas-Shampoos, Colonias-Talcos y Transformaciones que son los que coordinan directamente con el cliente, entonces, se puede resumir el proceso en el área de plásticos de la siguiente manera: según van sucediendo los requerimientos de las otras áreas, se crea una demanda dependiente para el área de plásticos en la que aparecerá que se necesitan fabricar envases de tal o cual tipo y obviamente sus tapas, además de algunos productos independientes (Frascos Frenosa, Caja Joia Esika, etc.). Los envases son producidos mediante el proceso de soplado, algunos de estos serán pintados (proceso de Serigrafía) y las tapas son producidas mediante el proceso de inyección. Casi la totalidad de estos productos serán envasados en las otras áreas por lo que el despachador del área de plásticos tendrá que dejarlos en el almacén de envases previa aprobación del analista de control de envases.

Dado que cuando en el MRP aparecen distintos productos que requieren inyección, soplado y/o serigrafía el presente trabajo ha agrupado los distintos productos de acuerdo primero a su tipo

de proceso, luego de acuerdo al tipo de molde que usan, y seguidamente de acuerdo a qué máquina pueden ser fabricados y su productividad que ya es conocida, todo esto se procesará rápidamente y al darlo a conocer a las demás áreas se podrán eliminar tiempos de espera en máquinas, cambios de molde innecesarios, horas extras, demora en tiempo de programación y un tiempo realmente óptimo de ejecución de los pedidos; todo ello, debido a una programación más rápida y óptima. Los estimados de ahorro en costos e incrementos de ventas serán presentados al final del presente trabajo.

INYECCIÓN

Moldeo por inyección: Un material llamado polímero es precalentado hasta volverse fluido, y luego forzado a entrar en un molde cerrado y frío, cuando el polímero adquiere solidez, el molde se abre y el producto terminado es retirado.

SOPLADO

Moldeo por soplado: un tubo de polímero "ablandado" es cortado a un tamaño requerido y es puesto dentro de un molde, luego se le inyecta vapor o aire comprimido y el tubo adquiere la forma del molde.

2.1.1 Descripción del proceso de inyección

El moldeo por inyección es un proceso versátil para la formación de termoplásticos en productos moldeados de formas complejas a tasas altas de productividad y con muy buena precisión dimensional. El proceso consiste en la inyección en alta presión de una cantidad medida de material caliente y plastificado en un molde frío en el cual el material plástico se vuelve sólido. Las bolitas de resina (materia prima) se suministran a un tornillo caliente de

forma cilíndrica y bajo alta presión. El material licuado se dirige hacia un sistema corredor y dentro de un molde. La cavidad del molde determina la forma externa del producto, mientras las formas del centro la interna.

Cuando el material entra a las cavidades refrigeradas, éste comienza a replastificarse y retorna al estado sólido y la configuración de la parte terminada, la máquina entonces expulsa el (los) producto(s) terminado(s).

El ciclo de operaciones

Cualquier forma tridimensional que se pueda extraer de una cavidad de acero cuando ésta se encuentra extendida en 2 o más partes, puede ser producida mediante el moldeo por inyección, esto impide fabricar productos ahuecados. Los productos que se fabrican poseen aparentemente muchas dificultades, tales como fibras internas ó agujeros que se intersectan entre si, éstos productos se pueden hacer usando tornillos o machos deslizantes amarrados al molde principal. Es preferible mantener el espesor de la pared del producto constante para que el molde pueda ser llenado eficientemente, y que el espesor de la pared se mantenga entre 0.5 y 10 mm para la eficiencia de producción.

Para minimizar el tiempo de ciclo, varias de las operaciones en el ciclo son **l**evadas a cabo simultáneamente, por ejemplo la solidificación de un producto moldeado ocurre al mismo tiempo que un nuevo grupo de material derretido está siendo preparado. El método para derretir el material es el mismo que el usado en un proceso de extrusión. El tornillo rota y se mueve hacia atrás en base a una presión calibrada en la parte posterior, la cual determina la tasa de acumulación de material derretido, pero, al mismo tiempo, provee una mejor mezcla y genera un mayor calentamiento viscoso. Al comienzo del siguiente ciclo el molde cierra hidráulicamente (esto puede significar algunos dispositivos para ahorrar en lo que se refiere al consumo de la potencia de bombeo) y el extrusor se mueve hacia adelante hasta que el inyector ó tobera tiene contacto con una mitad del molde que está fijo. El tornillo posee una

válvula sin retorno en su extremo, tal que cuando se mueve hacia adelante ésta actúa como un pistón para inyectar el material derretido. La presión de inyección es controlada en 2 o más instantes de manera que existe una alta presión durante el llenado de molde y una menor presión durante el vaciado del molde inicialmente lleno. Las tasas de flujo de material derretido pueden ser ajustadas y existen varias opciones de control para el llenado del molde.

El tamaño de la máquina se da en términos de 2 parámetros principales: el tamaño máximo de material inyectado en un único movimiento hacia delante del tornillo, y la fuerza máxima de empuje. El tamaño de material inyectado es usualmente medido en términos de la máxima masa de poliestireno que puede ser inyectada, en tanto que los rangos de las fuerzas de empuje oscilan desde 100 kN hasta 100 MN. La fuerza de empuje limita el área máxima proyectada *A* de una pieza moldeada sobre el plano de separación del molde. Una presión promedio de material derretido *p* en el molde es 20 MN / m^2 y la condición:

$$pA < F_{cierre} \quad .....(1)$$

debe ser cumplida si el molde no va a ser abierto y moldeado en los bordes del producto final.
El molde de inyección, ya que debe soportar altas presiones sin distorsión y resistir un uso encima de 10^5 ciclos, es usualmente fabricado en base a un bloque forjado de acero de baja aleación que puede ser endurecido con aire después del maquinado. El molde debe contener ciertas características que se agregan a su complejidad y a su costo. Existe una línea delgada hueca entre la tobera y las cavidades del molde que va por la mitad del molde fijo a una serie de orificios por donde va la colada que distribuye el material derretido. En las entradas a la cavidad existen conductos de colada, una restricción que controla el flujo dentro del molde y expulsa la colada que se encuentra en los orificios y líneas del molde fácilmente. Los sistemas conductores de colada son diseñados de modo que la orientación del flujo de la misma sea favorable, y además que las rutas de flujo a los puntos más lejanos en el molde sean aproximadamente iguales.

Una provisión importante que debe ser tomada en cuenta en la fabricación de un molde de inyección es por ejemplo para el aire que debe entrar en la cavidad -un orificio de 25 μm de

anchura en el borde de la cavidad es suficiente. Existen 4 pines guías en las esquinas del molde para mantener las 2 mitades del molde ubicadas correctamente.

El molde necesita ser mantenido en una temperatura constante en base a la recirculación de agua ó aceite mediante canales de refrigeración. El polietileno cuando es inyectado tiene una energía de alrededor de 700 J/g de la cual solo la mitad se transforma en calor en la pieza moldeada. La temperatura del molde no tiene que ser necesariamente baja para maximizar la tasa de refrigeración de la pieza. Otros requerimientos como el mantenimiento de la orientación ó fatiga residual a niveles aceptables significarán que temperaturas más elevadas tendrán que ser usadas, por ejemplo 90 º C para el policarbonato. El sistema del canal de refrigeración es un compromiso entre lograr una temperatura del molde uniforme y la complejidad del maquinado requerido.

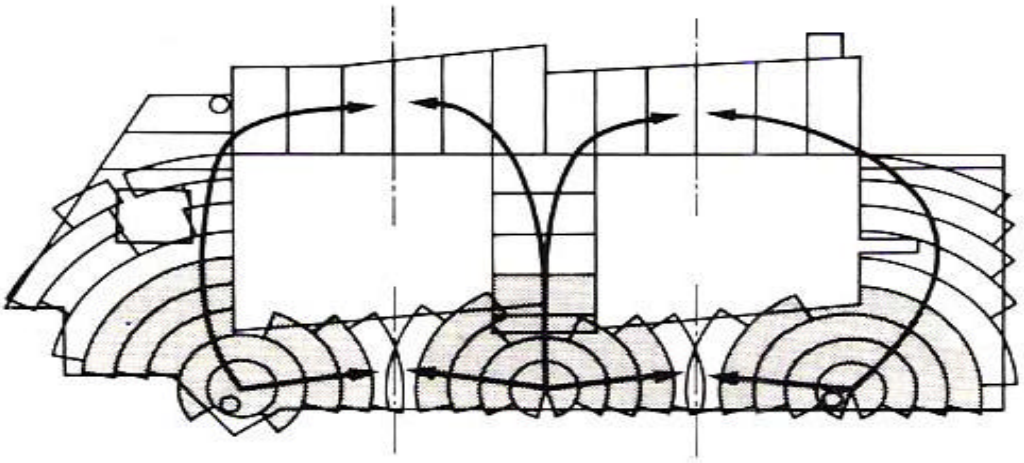
La eyección de la pieza moldeada solidificada depende de un conjunto de pines eyectores de los cuales sus cabezas están colocadas a nivel dentro de la superficie de la mitad de molde en movimiento. Los pines están montados en un plato eyector, el cual se acciona mecánica ó hidráulicamente después de que el molde se ha abierto una pequeña distancia; además existen pines guías para platos eyectores, los cuales, automáticamente, hacen retroceder a los mismos cuando el molde cierra. Para que el funcionamiento del sistema de eyección tenga un resultado de piezas moldeadas con solo un encogimiento del 1-2%, no se deben haber cerrado las mismas sobre ninguna parte con lados paralelos al molde, por lo tanto, debe haber de 1º a 2º de espacio entre las cavidades del molde y las dimensiones del producto especificado (las cavidades del molde serán las que posean un poco más de volumen). Los productos que son profundos y de paredes delgadas pueden causar problemas en la eyección; las fuerzas de los pines eyectores serían demasiado altas, causando distorsión y daño, en consecuencia, se puede usar un anillo separador para distribuir la fuerza alrededor del borde del envase, habiendo además la necesidad de romper el vacío en la base llana del envase.

Análisis del llenado del molde.-

El llenado de un molde frío de acero con material de polímero derretido es un proceso en el cual el flujo de material derretido y la transferencia de calor interactúan fuertemente. El material derretido altamente viscoso demora un cierto tiempo para llenar el molde, y durante el mismo una cantidad de polímero sólido incrementa las paredes del molde. El perfil de temperatura de la pieza moldeada tiene un pico intermedio debido al calentamiento viscoso que ocurre en las regiones con una alta fatiga de corte. La cavidad del molde se debe llenar completamente sin que haya algo de rebaba (material extra). El problema se agudiza con los moldes multi-cavidades porque el flujo hacia las diferentes cavidades del molde debe ser balanceado.

La mayoría de piezas moldeadas poseen regiones en donde el material derretido se encuentra fluyendo radialmente hacia afuera desde un conducto de colada asi como regiones donde las trayectorias de flujo son casi paralelas. La modelación por computadora está siendo cada vez más usada para predecir si un molde podrá ser llenado satisfactoriamente antes que la cavidad del molde sea maquinada. La **Figura 2.1** muestra como con la asistencia de una computadora la pieza moldeada es aproximada a una serie de barras estrechas rectangulares y segmentos de forma radial en serie uno con otro.

Figura 2.1: Análisis del llenado de molde



Fuente: Libro "Plastics, Microstructure, Properties and Applications", pg. 105.

El problema del llenado de molde se resuelve en un número de tiempos discretos; vamos a asumir que la región sombreada del molde se encuentra llena y que las tasas de flujo de volumen *Q* en los conductos de colada son conocidas. A causa de la continuidad del material, las velocidades promedio de fusión $\overline{V}$ son conocidas en cada uno de los segmentos; en un flujo radial continuado la velocidad $\overline{V}$ es inversamente proporcional a la distancia radial siempre y cuando el espesor permanezca constante.

La curva del flujo de corte a la temperatura apropiada de fusión se usa para encontrar la fatiga de corte para el valor de la tasa aparente de corte en el segmento de la pared $\left(g_{pared}\right)$. Finalmente la diferencia de presión Δp a lo largo del segmento de longitud *L* y espesor *h* es dada por:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{2g_{pared}}{h} \quad \text{.....} (2)$$

Si este proceso es realizado por todos los segmentos de la cavidad del molde llenos, y la suma de los Δps calculados, la presión de inyección es conocida. Las máquinas de inyección

normalmente tienen calibrada una razón de inyección Q tal que la presión de inyección no exceda el valor máximo calibrado, un programa de computadora verifica si la presión de inyección es posible, luego actualiza las temperaturas de fusión, y las anchuras de los canales para material derretido h al final de cada intervalo de tiempo.

Los controles de las máquinas de moldeo por inyección han llegado a ser cada vez más complejos y muchas máquinas en la actualidad son controladas por microprocesadores. Un gran problema es que una variable particular que necesita ser controlada es afectada por otro número de calibraciones en la máquina. Por ejemplo, la temperatura de fusión previa a la inyección está influenciada por al menos 4 factores: la velocidad del tornillo y su presión de retorno, los calentadores del cañón y el calentador de la tobera ó inyector. No existe una manera simple de medir la temperatura de fusión en la tobera; cualquier termocupla que se encuentre dentro del material derretido sería cortada por el alto flujo de tensiones que se generan. En consecuencia existe un circuito de control abierto sobre la temperatura de fusión, con el valor fluctuando durante y entre los ciclos.

Una forma de asegurarse que la cavidad del molde es llenada, es usando conexiones limitadas sobre el transporte del tornillo. Éstos se accionan después que el volumen correcto de material derretido ha sido inyectado y de reducir la presión de inyección a un valor menor más manejable, sin embargo, las variaciones en la caída de material derretido que pasen al tornillo cilíndrico o a la tobera causarán que la masa del producto varíe alterándose las dimensiones del mismo. Un mejor método para controlar las alteraciones para verificar la presión es ubicar un transductor de presión de material derretido en el molde. La presión del molde se incrementa rápidamente una vez que el molde está lleno, entonces la presión de inyección puede ser cambiada al nivel manejable una vez que la presión del molde alcanza un nivel calibrado, la alimentación subsiguiente de la pieza moldeada ocurrirá a una presión casi constante hasta que el conducto de la colada se congela; de allí en adelante la refrigeración y contracción de la pieza moldeada causará que la presión del molde caiga rápidamente.

Los productos que son inyectados en la planta de plásticos de Yobel Manufacturing son las tapas, potes y cajas.

Las máquinas inyectoras (4) de la planta por lo general cuentan con moldes para 4 ó 6 cavidades[3].

Máquinas de Inyección:

- KRAUSS 30 (K30)
- JET MASTER 168-I (JM 168-I)
- JET MASTER 168-II (JM 168-II)
- NEWBURY 150 (N150)

2.1.2 Descripción del proceso de Soplado

Existen un tipo de procesos en el cual un tubo o lámina de polímero derretido es cambiado en su forma por la aplicación de una diferencia de presión de gas que se le aplica a lo largo del proceso de fusión. Examinaremos la producción del tubo para soplado y el moldeo por soplado. Ambos comprenden el flujo de material derretido resultando en el polímero alargado, y al menos un lado del polímero se solidifica sin la restricción de tener contacto con un molde.

En la producción del tubo para soplado el material derretido crece verticalmente desde un molde de forma cónica llamado aguja que está adjunto a la parte final de un extrusor. Es alargado verticalmente y circunferencialmente por un factor de 2 o más, tal que un espesor inicial del material derretido de 1mm se reduce a una cantidad entre 250 y 100 μm. La mayoría de material que sale son tubos de LDPE (Polietieleno de Baja Densidad) ó HDPE

[3] Todo molde cuenta con un número de cavidades que son los espacios huecos que llevan la forma del producto. Si un molde tiene 4 ó 6 cavidades quiere decir que en cada ciclo salen 4 ó 6 productos respectivamente.

(Polietileno de Alta Densidad) los cuales tienen una tasa de inflación (diámetro final de la burbuja formada / diámetro de la aguja) de 3.5. La temperatura de fusión cae casi linealmente con la altura hasta que ocurre la cristalización en cerca de los 120 º C La refrigeración la realiza una inyectora de aire la cual sopla hacia abajo sobre la parte exterior de la burbuja formada con una velocidad inicial de cerca de 1m/s. El coeficiente de transferencia de calor llega a ser más pequeño a medida que desciende la velocidad del aire, pero la reducción en espesor significa que el área de superficie para la cantidad de volumen se incrementa. El proceso de salida del tubo para soplado depende de lo regular que sea la refrigeración de la burbuja y asi existe una "linea de congelamiento" de altura constante donde la cristalización ocurre. El rendimiento se incrementa cuando aumenta la eficiencia de la refrigeración, ya sea por el uso de un segundo anillo de refrigeración de aire externo encima del primero y/o por la refrigeración interna. Esto último implica soplar aire frío por el molde y expulsar aire caliente sin cambiar el volumen de aire dentro de la burbuja. El proceso tiene la ventaja que el espesor y ancho del tubo pueden ser modificados por un rango considerable mediante el ajuste del diámetro de la burbuja y la velocidad del aire.

La producción del tubo para soplado es un ejemplo del flujo de tensiones biaxial. Los esfuerzos de fusión en las direcciones longitudinal y circular pueden ser calculados en base a la presión *p* dentro de la burbuja, el radio actual de la burbuja *r,* el espesor *t*, y la fuerza *F* producida por la velocidad del aire.

$$\sigma_{Longitudinal} = \frac{pr}{2t} + \frac{F}{2\pi rt} \quad \text{.....} (3)$$

$$\sigma_{Circular} = \frac{pr}{t} \quad \text{.....} (4)$$

La fusión se acelera en la dirección longitudinal justo antes de que el material se cristalice. Es casi imposible encontrar datos para este tipo de flujo de tensiones biaxial inestable excepto mediante la instrumentación de una máquina de soplado de tubos.

Una dificultad con la producción de un tubo de material derretido es que éste debe pasar por 2 o más etapas durante su paso por el molde. Las patas que soportan el macho del molde contra

las altas presiones de fusión, y los chorros derretidos se sueldan juntas encima de cada una de ellas.

A menos que se tenga un especial cuidado el tubo de material derretido es más débil en las líneas de soldado y se cortará cuando el tubo es inflado. Los diseños de molde para sobrellevar este problema han incorporado uno o más tornillos, en los cuales el material derretido principal lanza los espirales hacia arriba, saliendo gradualmente el flujo en un movimiento vertical. Pueden estar 2 espirales con el interior teniendo un alcance opuesto al exterior para evitar que con un movimiento sea impuesto alguno sobre el extrusor.

La distribución del flujo de material derretido para evitar partes débiles en el tubo extraído es usado en las máquinas de soplado, pero en este caso los tubos extraídos de mayor dureza están colgados por la fuerza de gravedad del molde. Los productos son envases huecos para líquidos, con canales de aire ó cualquier otro producto que posea la forma de un tubo largo y hueco. Para los productos más grandes el material derretido generado por un extrusor se almacena temporalmente en una cámara acumuladora antes de ser extraído rápidamente por un pistón. El parison[4] del material derretido debe salir del molde sin ninguna rugosidad en su superficie debido a la extrema rapidez del flujo y más aún debe poder soportar su propio peso sin hundirse durante los pocos segundos antes que las 2 mitades del molde cierren.

Cuando el material derretido está saliendo de un hueco del molde de anchura h a una velocidad de extrusión *V*, la tasa de deformación al corte en la pared del molde es:

$$g_{pared} = \frac{6V}{h} \quad .....(6)$$

Para evitar rugosidad en la superficie con una gran masa molecular de polietileno, el esfuerzo al corte bajo estas condiciones debe ser menos que $100\ kN/m^2$. Por otro lado, el tubo extraído colgante de longitud *L* experimenta una tensión en su parte superior de:

[4] Parison: Tubo derretido y delgado que está a punto que las 2 mitades del molde lo cierren para pasar a formar un envase.

$$s = \rho g L$$

donde para un $L = 0.2\ m$, una densidad $\rho = 750\ \mathrm{kg/m^3}$ y $g = 9.8\ m/s^2$, el esfuerzo es solamente $1.5\ kN/m^2$. Para evitar tal decrecimiento la tasa de deformación debe ser menos que el 20% por segundo.

Cuando las 2 mitades del molde cierran, una soldadura es hecha en la parte final del envase mediante la presión de 2 capas de material derretido que se juntan. Cuando el parison se infla desde el otro lado del molde causa un flujo rápido y por toda la extensión de la burbuja formada hasta que el material derretido tiene contacto con el molde refrigerado. Un parison de espesor uniforme produce un envase con espesor de sus paredes no uniforme; esto significaría un despilfarro de polímero y causaría además debilidades en las esquinas del envase. En consecuencia, las máquinas sopladoras han sido desarrolladas para permitir que el espesor del parison sea programado. Un accionador hidráulico mueve la aguja interior verticalmente para controlar el ancho de la apertura del molde. El espesor del parison es controlado en 20 o más pasos y el envase resultante posee un espesor de sus paredes casi perfectamente uniforme.

Los moldes de soplado necesitan solamente resistir una presión de aire de 5 bar, que comparado con las presiones de material derretido en los procesos de inyección (más de 100 bar) no representan un gran problema para el molde. Es por esta razón que los moldes de aluminio son adecuados, y considerando además que la alta conductividad térmica de este metal ayuda al proceso de refrigeración. La transmisión de la refrigeración desde un lado del envase es relativamente lenta para aquellos que ocupan un mayor volumen. La refrigeración si es realizada desde ambos lados del envase sería 4 veces más rápida. Debido a esto, la refrigeración interior mediante la inyección de CO_2 líquido está siendo usada actualmente para incrementar la productividad de las máquinas sopladoras.

2.1.3 Preparación de máquina (INYECCION-SOPLADO)

El Supervisor de turno debe revisar las órdenes de producción y clasificarlas según el centro de trabajo en el que éstas estén dispuestas. La prioridad de ejecución será indicada por el Administrador de Planta o Jefe de Manufactura.
Una vez que el centro de trabajo (máquina) culmine una orden de producción, se procederá a preparar la máquina para la ejecución de la siguiente orden de producción.

La preparación de máquina consiste en:

Cambio de Molde: Se presenta solo en caso de ser necesario, es decir, cuando la nueva orden de producción requiera la fabricación de un producto dimensionalmente distinto al que se estaba produciendo en el centro de trabajo (máquina), este proceso dura aproximadamente 2.5 Horas (Inyección) y de 3 a 4 Horas (Soplado).

Cambio de Color: Cuando la nueva orden consiste en la fabricación de un producto de diferente color al que se estaba produciendo en el mismo centro de trabajo. Este proceso tiene una duración estándar de 0.5 Horas.

Calentamiento de máquina: Se presenta eventualmente y va desde el encendido de máquina hasta la puesta a punto luego de un período de inactividad (normalmente el día lunes en la mañana luego de la inactividad del día domingo). Para efectos de costeo no se considera este tiempo como montaje de la orden de producción.

En forma simultánea a la preparación de máquina el Supervisor de turno habrá entregado al pigmentador-almacenero el reporte de materia prima de manera que éste realice el fraccionamiento, mezclado y abastecimiento de las materias primas hacia el centro de trabajo. Cabe resaltar que todo consumo de materia prima será registrado por el pigmentador en el

reporte mencionado, diferenciando la cantidad de material utilizado para limpieza de máquina de la cantidad de material utilizado netamente en el proceso de producción.

El material utilizado en limpieza y regulación de máquina tendrá un tipo de descarga especial dentro del sistema.

En la planta de fabricación de plásticos de la empresa Yobel SCM, los productos que son fabricados en máquinas sopladoras son envases de colonias, talcos, cremas y shampoos.

Máquinas de Soplado:

Máquinas de Soplado de 2 estaciones.- Las máquinas PB 2000 Y PK 75 poseen 2 estaciones (es decir pueden trabajar con 2 moldes ya que cada estación lleva un molde), por lo tanto conviene trabajar en estas máquinas solamente cuando el producto posee 2 moldes para no desperdiciar la capacidad de ambas, ya que de usar un producto que posee un solo molde se incurre en un costo innecesario ya que se accionan los brazos hidráulicos de los 2 moldes pero solo funciona uno de ellos.

- PLASTIC BLOW 2000 (PB 2000)
- PARKER 75 (PK 75)

Máquinas de Soplado de 1 estación.- Las demás máquinas poseen 1 sola estación (por tanto a la inversa del caso anterior convienen usarlas cuando el producto posee un solo molde ya que en caso contrario (producto que posee 2 moldes) se está usando más tiempo del debido, ya que sería mejor entonces hacer el producto en una de las máquinas con 2 estaciones (la demostración se puede apreciar en el Apéndice Nº 003).

- PARKER 1 (PK 1)

- PARKER 2 (PK 2)
- PLASTIC BLOW 1000 (PB 1000)
- VOIT FISHER (V.F)

Máquinas de Soplado PET.- Estas máquinas son un tipo especial de máquinas sopladoras en la que el cerrado del molde es manual y la materia prima son preformas[5] que al ser sopladas por la máquina son transformadas en envases que son conocidos como envases PET. Un típico ejemplo de envases PET son los envases gaseosa.

- PET I
- PET II

2.1.4 Serigrafía

Los productos que llevan serigrafía son una parte de los productos que son soplados.
La serigrafía se refiere al sistema de impresión, derivado de la antigua técnica de estarcido, que utiliza como matriz un marco con una malla abierta en ciertas zonas, -que es la imagen a imprimir-, y cerrada en otras.

La tinta, que posee cierta densidad, es arrastrada y presionada por una espátula de goma llamada racleta, atravesando la malla y depositándose sobre el soporte.

Cada soporte se coloca bajo la matriz, se imprime y se retira para su secado si se trata de una lámina de papel, plástico o metal.

[5] Preforma son pequeños tubos con una forma parecida a un tubo de ensayo pero de material plástico que al ser soplados en la parte de su "boca" se obtendrán envases tipo gaseosa.

Etapas básicas del proceso serigráfico

El proceso serigráfico comprende cuatro etapas básicas y consecutivas:

- Originales
- Peliculas
- Matrices
- Impresión

De un original se obtiene una película, con la película se confecciona una matriz y con la matriz se imprime un soporte.

De estas etapas las tres primeras son de preparación de todos los elementos y la cuarta o última corresponde a la impresión. Cada etapa no tiene una pauta fija para resolverse o ejecutarse si no que tiene un amplio rango de selección en cuanto a materiales y técnicas, selección que va a depender entre otras cosas de las características del material a imprimir, del tipo de tinta, del tipo de impresión deseada, y por supuesto del equipamiento disponible.

2.1.5 Preparación de máquina (Serigrafía)

Se inicia desde el momento que el Supervisor del área de serigrafía recibe las órdenes de manufactura por parte de la Administración de planta, asignando prioridades según el programa de entrega y la capacidad de máquina.

Una vez que el Centro de Trabajo (máquina) culmine una orden de producción, se procederá a preparar la máquina para la ejecución de la siguiente orden de producción.

La preparación consiste en:

Montaje de Máquina: Cambio de piñón, cambio de puntera, regulación de máquina (aumento o disminución de carrera) y cambio de pantalla.

Centrado de pantalla de serigrafía: Esta operación permitirá que la impresión a realizar en el frasco quede totalmente centrada (por ambas caras en caso de ser necesario).

Matizado: Esta operación consiste en el fraccionamiento y combinación de las materias primas (tintas) con el objetivo de alcanzar el color deseado. Cabe resaltar que el consumo de tintas será registrado por el operario de serigrafía en forma detallada en el reporte de materia prima para serigrafía al mismo instante en que se realiza el fraccionamiento con el fin de mantener una exactitud en registro de inventarios.

El tiempo empleado en la preparación de máquina desde que se inicia la orden hasta obtener la primera unidad buena será registrado en la orden de producción como tiempo de set-up[6].

2.2 Procedimientos

2.2.1 Ejecución de la Orden

Se debe colocar en la máquina la orden de manufactura y junto a ella el reporte de producción, documento que debe ser llenado por cada operario indicando:

- Número de orden.
- Código del producto.

[6] Set-up quiere decir montaje de máquina.

- Descripción del producto.
- Cantidad.
- Peso/unidad.
- Fecha de inicio de la orden.
- Fecha de término.
- Máquina.

Además se deben indicar datos propios del tiempo de ejecución como son:

- Turno
- Operario
- Hora de Inicio
- Hora de Término
- Ciclo (unidades/segundo)
- Número de unidades buenas
- Número de unidades malas (merma)
- Horas efectivas (Horas Máquina de producción)
- Horas paradas (Horas Máquina sin producir)
- Motivos de paradas

- Una vez iniciado el proceso de producción, el operario verificará periódicamente la calidad del producto, realizando pruebas funcionales y de aspecto (color y acabado).

- Es responsabilidad del operario abastecer en todo momento su máquina con la Materia Prima entregada por el pigmentador.

- La regulación de máquina será una actividad constante de manera que se mantenga la calidad del producto dentro de los parámetros requeridos.

- Al término del turno el operario llenará el reporte de producción.

- Durante la ejecución de la orden el operario acondicionará las unidades obtenidas y a su vez las irá embalando en bolsas de medida estándar a fin de llevar el conteo de las unidades producidas, luego, al término de su turno contará el total de unidades producidas y procederá a rotular las bolsas que contienen dichas unidades. Esta rotulación debe indicar:

  - Número de orden.
  - Código.
  - Descripción.
  - Cantidad.

- Durante el proceso de producción se llevará a cabo la recuperación y recirculación de la Materia Prima mediante el molido (para los procesos de inyección y soplado).

Fin de la orden

- Al término de la orden de producción, el operario que se encuentre en el centro de trabajo se encargará de totalizar en el reporte de producción lo siguiente:

  - Unidades buenas.
  - Unidades malas.
  - Horas efectivas.
  - Horas paradas.

Por otro lado, el pigmentador de turno ubicará y totalizará el reporte de consumo de materiales correspondiente a dicha orden.

- Al término de una orden de producción, el Supervisor de turno revisará la misma, asegurando su correcto llenado.

- Una vez revisadas las órdenes de producción, el Supervisor de turno devolverá estas a la Administración del área de Plásticos, a fin de realizar el trámite administrativo correspondiente.

2.2.2 Despacho de Mercaderia

El despachador de planta del área de Plásticos es el responsable de la entrega de mercadería.

Procedimientos Generales

- La entrega de mercadería por parte de Plásticos hacia los otros procesos, será realizada exclusivamente por la persona designada por la Administración de Planta de Plásticos, que es en este caso el despachador de planta.

- Todo producto antes de ser despachado deberá contar con lo siguiente:
  - Deberá encontrarse correctamente embalado y rotulado.
  - Aprobación escrita por parte de Control de Calidad, es decir 'Tarjeta Verde' y formato de Control de Calidad con la cantidad aprobada.
  - Reporte de Producción del área de Plásticos correctamente llenado por los operarios que trabajaron en dicha orden y visada por el Supervisor de turno.
  - Orden de manufactura con el sello que indica que se han realizado las descargas de materias primas.
- La entrega de mercadería deberá realizarse en el almacén de envases plásticos y para ello se debe contar con la presencia y visto bueno del recepcionador del área

correspondiente. Esto quiere decir que el recepcionador deberá apersonarse al almacén de envases plásticos a recibir la mercadería que corresponde a una orden terminada.

Entrega de mercadería

- El despachador de Plásticos recibirá por parte del Supervisor de turno los siguientes documentos:
  - Orden de producción de Plásticos.
  - Orden de producción de Favel[7] con los consumos reales de Materias Primas.
  - Reportes de producción debidamente llenados por los operarios y visados por el Supervisor de turno.

- El despachador de Plásticos ubicará en las instalaciones de Plásticos el físico correspondiente a la orden de producción terminada y una vez localizada, procederá a recontar el número de unidades. Si la orden está incompleta deberá comunicarlo inmediatamente al Supervisor a fin de que tome acción para completar la orden.

- El despachador debe solicitar al departamento de Control de envases la revisión de la mercadería, indicando a su vez:
  - Código del producto.
  - Descripción de producto.
  - Cantidad a revisar.

- El departamento de Control de envases decidirá la aprobación mediante una tarjeta verde, indicando el código, descripción y cantidad del producto aprobado, rotulando el lote aprobado con dicha tarjeta y además deberá dejar constancia de la aprobación del lote mediante la Ficha de Control de Calidad (original y copia).

[7] Favel se refiere a todas las áreas pertenecientes a Yobel Manufacturing.

- Una vez que se aprobó el lote, el despachador procederá a devolver al Supervisor los documentos recibidos y éste a su vez los entregará al centro de información.

- El despachador recibirá por parte del Centro de Información los siguientes documentos:
  - Orden de Manufactura con el sello correspondiente a la descarga de materias primas.
  - Proceso solamente de inyección o soplado: 2 Copias
  - Proceso de soplado y serigrafía: 1 Copia.
  - Factura con el sello correspondiente a la transacción realizada, a la cual le deberá sacar como mínimo 2 copias (una copia para su archivo y tantas copias como procesos involucrados en dicha factura) devolviendo el original al centro de información.

- Con los documentos en mano el despachador procederá a entregar al recepcionador del área pertinente la mercadería correspondiente a la orden de producción terminada.

- El despachador de Plásticos entregará junto con la mercadería, los siguientes documentos:
  - Una copia de la factura.
  - Una copia de la orden de manufactura.

- El recepcionador firmará como cargo una copia de la orden de manufactura de Favel y a su vez el formato de Control de calidad.

- Finalmente, el despachador de Plásticos autorizará la salida de la mercadería y procederá a archivar los documentos correspondientes (una copia de la factura y una copia de la orden de manufactura como cargo, firmada por el recepcionador).

Entrega parcial de mercadería

- La entrega parcial de mercadería es la entrega de los productos pertenecientes a una orden de producción que no ha concluido.

- Este tipo de entrega es de carácter excepcional y se realizará únicamente con la autorización de la Administración de planta, que en previa coordinación con el Jefe del otro proceso Favel, indicará la cantidad por la que habrá de realizar la entrega parcial de mercadería.

- Los trámites operativo y administrativo serán similares al trámite que se realiza al despachar la mercadería al término de una orden de producción, se utilizarán los mismos documentos, teniendo como única diferencia, que la descarga de materias primas y la factura serán realizadas por la cantidad parcial que se va a entregar.

- La orden de producción de plásticos será devuelta por el centro de información al Supervisor de planta, luego de haber realizado las descargas parciales de materias primas.

- Al término de la orden de producción se realizará la entrega de la mercadería restante, realizando el mismo trámite administrativo y operativo detallado anteriormente.

- El recepcionador de Favel firmará un cargo por cada entrega parcial.

2.2.3 Control de Calidad

- La inspección estará a cargo de personal del departamento de Control de Calidad (Control de Envases) que realizará sus mediciones y pruebas para el área de plásticos.

- El personal de Control de Calidad destinado para el área de plásticos tendrá como fin exclusivo vigilar y verificar que la producción de envases esté dentro de los límites de calidad en las diversas especificaciones y requerimientos establecidos.

- El tipo de inspección realizada para los productos terminados será el perteneciente al muestro por lotes bajo las normas MIL–STD–105D[8].

- El personal de control de calidad deberá cumplir estrictamente las normas establecidas para el muestreo.

- Los muestreos en línea deben hacerse periódicamente verificando que la producción está dentro de los límites de calidad.

- El despachador estará a disposición del analista de calidad, en lo referente a manejo de paquetes y parihuelas, siguiendo las indicaciones que éste le haga respecto al muestreo para lotes colocados en parihuelas.

- Para la inspección en máquina, el analista de calidad tiene la responsabilidad de informar al Supervisor de turno, en caso de que la producción se encuentre fuera de los estándares de calidad, para que éste tome las medidas respectivas.

- Si es que la inspección es de lotes terminados, el analista deberá informar que defecto presenta el lote para que el Supervisor coordine su respectiva selección.

[8] MIL-STD-105D: Es una norma militar publicada en 1963. Presenta planes de muestreo simples, dobles y múltiples.

- El analista de calidad es responsable de cuidar el área designada dentro de la planta para la realización de su trabajo.

- El analista deberá regresar las unidades tomadas como muestreo para que el despachador las regrese a los paquetes respectivos si es que no han sido empleadas en pruebas destructivas.

- El analista deberá entregar una copia del formato de control donde anota las especificaciones revisadas durante la producción, además se registra la orden a la que pertenece y el nombre del mismo.

Inspección de productos en proceso (en máquina)

- El analista de calidad se acercará a cada una de las máquinas que forman parte del proceso de Inyección y Soplado del área de Plásticos.

- El operario informará al analista de calidad, los datos acerca de la orden que se está trabajando, y el tiempo que ha transcurrido para su inicio (todos estos datos figuran en el reporte de producción).

- El analista traerá consigo las especificaciones técnicas para los envases a inspeccionarse en ese turno.

- El analista procederá a tomar una muestra de la producción que se encuentra realizando, verificará las medidas respectivas y anotará las mismas en la cartilla de control de calidad y en el formato de Control de Calidad del Reporte de Producción.

- Verificará que las medidas y características del producto en proceso estén dentro de los límites para los estándares de calidad.

- Para las pruebas en el laboratorio de control de envases, el analista llevará una muestra al mismo para realizar las pruebas necesarias.

- El analista informará al operario en presencia del Supervisor de turno de existir un defecto que éste pueda controlar (rebaba, suciedad), pero si es un defecto mayor informará al Supervisor el problema para que este pueda darle inmediata solución al mismo.

- Concluída la orden, el analista procederá a aprobar la misma, si durante el transcurso de la producción no se presentó algún defecto que no tuviera solución inmediata, colocando la ficha de aprobado (tarjeta verde).

- De requerir serigrafía, el analista dejará la orden aprobada para el traslado del lote al área de serigrafía.

- De no requerir serigrafía y pasar directamente a los procesos, llenará el documento que certifica que el lote perteneciente a la orden de producción se encuentra dentro de los estándares de calidad.

Inspección de productos terminados (Lotes concluidos)

- El analista de calidad pedirá al despachador que le presente la lista de los lotes que aún no han sido aprobados.

- El despachador entregará una relación en la que se encuentran el número de la orden al que el lote pertenece, el número de frascos y la cantidad producida.

- El analista se dirigirá al departamento de Control de Envases y traerá consigo las especificaciones técnicas para los envases a inspeccionarse en ese turno.

- A solicitud del analista de calidad el despachador presentará los paquetes escogidos por aquél, éstos deben pertenecer a diferentes estratos del lote que se encuentra ubicado en la parihuela.

- El analista sobre la base del plan de muestreo establecido por el Área de Calidad (tabla AQL[9]), procederá a hacer un muestreo de un número determinado de envases de cada paquete.

- El analista verificará que las medidas y características del producto terminado, estén dentro de los límites para los estándares de calidad.

- Para las pruebas que se tengan que realizar en el laboratorio de control de envases, el analista llevará unas muestras al mismo, para realizar las pruebas necesarias.

- El analista retornará las muestras tomadas a los paquetes (si es que no tienen defectos y no han sido utilizadas para pruebas destructivas) y le pedirá al despachador las regrese a su parihuela de origen.

- De aprobarse el lote, se le coloca la ficha de aprobado (etiqueta verde) y se procede a llenar el documento que certifica que el lote se encuentra en perfectas condiciones.

[9] AQL: Acceptable Quality Level ó en castellano Nivel Aceptable de Calidad significa un porcentaje máximo determinado por la Empresa de productos defectuosos.

- De existir un problema y el lote es observado o rechazado, el analista informará al Supervisor de turno del área respectiva para que realice las medidas correctivas.

- El Supervisor de turno coordinará las medidas respectivas para la solución del problema.

- El Supervisor de turno informará al Asistente de Planta de existir algún problema con un lote perteneciente a una orden determinada y las medidas que se han tomado para la corrección respectiva.

2.2.4 Almacenamiento de Materia Prima

- Solo se almacenarán las materias primas solicitadas al área de materias primas Favel, que cuenten con la documentación que garantice su recepción.

- No se almacenará ningún material recibido directamente de los proveedores.

- El Supervisor de turno realizará una inspección diaria del área de almacenamiento y sus locaciones, teniendo como objeto mantener el orden y la limpieza.

- Las áreas (locaciones) definidas para el almacenamiento en el Almacén PUGP (Punto Uso General Plásticos) son:

    - LOCACION 1. Materia Prima base (polietileno, poliestireno, etc.).
    - LOCACION 2. Pigmentos plásticos.
    - LOCACION 3. Tintas.

- Se verificará diariamente que las locaciones del PUGP se encuentren debidamente rotuladas.

- Las Materias Primas recibidas en calidad de muestra, serán entregadas directamente al Supervisor de turno que será el encargado directo de su almacenamiento hasta el momento de realizar las pruebas para las que han sido destinadas.

PROCEDIMIENTO

- El proceso de almacenamiento se inicia luego de haber llevado a cabo el proceso de recepción de materias primas.

- Solo se almacenarán los materiales que cuenten con el documento de recepción debidamente visado.

- Una vez recibidos los materiales se verificará que estos se encuentren correctamente rotulados. Las parihuelas completas deben estar rotuladas como mínimo por tres lados.

- Se ubicarán los materiales dentro del área de almacenamiento en las locaciones designadas para cada uno de ellos, ya sean estos pigmentos, tintas o material base (HDPE[10], PP[11], LDPE[12], etc.) que viene en volúmenes mayores.

- Los pigmentos deben ser almacenados en envases herméticamente cerrados, transparentes, correctamente rotulados y en ambientes adecuados; además cada uno de los pigmentos se almacenará junto a una paleta que permita llevar a cabo su fraccionamiento.

[10] HDPE: Polietileno de alta densidad
[11] PP: Polipropileno
[12] LDPE: Polietileno de baja densidad

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Pigmentos

- Ambientes cerrados, libres de humedad y contaminantes externos como polvo, agua y otros pigmentos.
- Recipientes herméticamente cerrados, que eviten la volatilización del pigmento.
- Almacenar a la sombra y a temperatura ambiente.

Materia prima base

- Esta deberá encontrarse en bolsas, costales o cajas totalmente cerrados que eviten la contaminación por agentes externos.
- El material no deberá estar expuesto a los rayos solares.
- Almacenar a temperatura ambiente.

Tintas

- Deberán mantenerse en recipientes cerrados.
- No exponer a rayos solares.
- Se almacenará a temperatura ambiente.

2.2.5 D.A.P Proceso de Producción de un nuevo producto de inyección

Se ha mencionado sobre el cambio de molde que implica un tiempo de 2.5 horas para las máquinas inyectoras y de 3 a 4 horas para las máquinas sopladoras. Se presenta a continuación un Diagrama de Análisis de Procesos (D.A.P) para el montaje y producción de un producto de inyección, obviamente en una máquina inyectora.

TABLA 2.1 D.A.P PROCESO DE CAMBIO DE MOLDE E INICIO DE PRODUCCIÓN DE UN NUEVO PRODUCTO DE INYECCION

Descripción	Símbolo					Tiempo (min)
Almacenamiento de materia prima						
Orden de Producción						3
molde.						3
Quitar mangueras de refrigeración.						2
Quitar chuletas						4
Descargar molde con el tecle.						5
Llevar molde a matriceria para intercambio.						1
Intercambio de molde.						3
Llevar molde y postes nuevos a inyectora.						1
Quitar postes iniciales.						5
Colocar postes nuevos con topes.						7
Colocar molde con el tecle.						12
Colocación de topes y accesorios.						5
Colocación de hembra del molde.						15
Colocación de chuletas.						26
Limpieza y desengrase de molde.						5
Almacen de insumos						
Pesado y mezcla de pigmentos						
Pesar material virgen y colocar en cilindro						1.5
Pesar molido y colocar en cilindro.						1.5
Colocar cilindro en mezcladora mecánica.						1
Mezclado en mezcladora mecánica.						5
Retirar cilindro con mezcla y llevar a Mag.						1
Descarga y limpieza de tolva.						5
Limpieza de husillo. (con material virgen)						3
Carga de maquina.						5
Regulación de condiciones de trabajo.						10
Sacar muestras conforme al plano. (Control de calidad Plásticos)						10
Evaluación de las muestras dimensionalmente. (Aprobación control de calidad)						5
Inyección (proceso x ciclos)						
Transporte a almacén momentaneo						5
Almacenamiento momentaneo						

Tiempo total : 150 minutos = 2.5 horas

FUENTE: Empresa en estudio

TABLA 2.2: DESCRIPCION DE LOS SIMBOLOS

 : Operación

 : Inspección

 : Almacenamiento

 : Transporte

 : Almacenamiento Provisional

FUENTE: EMPRESA EN ESTUDIO

Cabe mencionar que siempre están en constante análisis las operaciones que se realizan en un cambio de molde en una inyectora, sopladora, máquina de serigrafía, etc. con el fin de buscar reducir las mismas con el uso de mejores métodos u otras alternativas que pueden implicar algún nuevo dispositivo o una mejor tecnología.

2.3 Objetivos de los procesos productivos

El objetivo de la empresa Yobel SCM, -como ya se mencionó-, es sincronizar la demanda, la entrega, la manufactura y el abastecimiento con planes válidos y medibles, de manera que los clientes sean atendidos a mejores niveles y a menores costos.

La competitividad en el mundo globalizado de hoy requiere que las empresas se enfoquen en la razón de ser de su negocio, trabajar con velocidad y eficiencia en todas sus operaciones, desarrollar relaciones más eficientes con los proveedores, compartiendo información y confianza.

Una exitosa cadena de suministros consiste en la entrega al consumidor final del producto apropiado, en el lugar correcto, en el tiempo exacto, al precio requerido y con el menor costo posible.

La tendencia del mercado actual es tercerizar todo lo que no sea la razón fundamental del negocio.

Los objetivos estratégicos de una tercerización son tres:

- Enfocarse en la razón principal del negocio,
- Reducir el costo de los productos y
- Obtener beneficios de valor agregado (entregas más rápidas, reducción de inventarios y activos, mejorar la satisfacción a los clientes, etc.)

Actualmente se está haciendo una costumbre tercerizar la gestión de la cadena de suministros ya que para poder tener una cadena de suministros eficiente, una empresa tiene que hacer no solo una, sino muchas cosas bien, por eso, la estrategia está en definir donde invertir el dinero que genera la empresa.

Al ser una empresa que realiza las operaciones de producción y logística a clientes de talla internacional, se pone bastante énfasis en tener costos competitivos y calidad comprobada.

Como indicadores en el área productiva de la empresa Yobel Manufacturing tenemos:

Exactitud de Rutas

Se refiere lo que son las rutas de los productos, es decir, todo lo concerniente a los procesos por los que un producto debe pasar, sus tiempos estándares para sus operaciones y el control

de los mismos. La medición principal a tener en cuenta se realiza comparando las horas esperadas para la producción de los distintos productos con las horas reales logradas, obviamente, una diferencia entre las mismas implicará diferencias en los costos operativos y debe ser una llamada de alerta, ya que en el caso de que las horas reales tengan un mayor valor que las horas esperadas, implicará que los tiempos estándares considerados son más bajos que los reales por algún problema (deficiencia de máquina, personal, o errores en la determinación del mismo) por lo que se debe buscar la solución para llegar a un tiempo estándar real y si es que no la hubiera considerar el nuevo tiempo estándar que será más alto en este caso. Igualmente, en el caso de que las horas reales sean menos que las esperadas quiere decir que nuestro producto está sobrevalorado y es un aviso de que podemos reducir los tiempos estándar del producto(s) y consecuentemente se reducirán los costos operativos. El rango aceptable de diferencia entre horas reales y esperadas es de $\pm 5\%$. Una exactitud de rutas del 100% implica que de 100 productos que se han producido en ningún caso se ha excedido el rango del $\pm 5\%$.

Exactitud de Fórmulas

Se tiene un control en lo que son fórmulas de los productos para controlar los costos de materiales que representan un costo importante a considerar en la fabricación de los productos. Todos los productos que se fabrican tienen sus componentes de Materia Prima base, pigmentos, etc. para una unidad por lo que el sistema BPCS (software de la Empresa), recalcula los requerimientos para comprar materia prima de acuerdo al programa de producción. Igualmente entre los principales indicadores se encuentran para cada orden de producción el material usado real vs. el material esperado a usarse, y, con esto se logra tener un control de los costos de materiales y tomar acciones en caso de encontrarse diferencias que estén fuera de un rango del $\pm 5\%$. Una exactitud de fórmulas del 100% implica que de 100 productos que se han producido en ningún caso se ha excedido el rango del $\pm 5\%$.

Exactitud de Registro de Inventarios

Se refiere a la coincidencia que debe existir entre las cantidades que figuran en el sistema y las cantidades físicas reales. Una medición de Exactitud de Registro de Inventarios (ERI) que esté al 100% querrá decir que de 100 veces que se hizo una cuenta para comparar físico vs. Real, las 100 veces coincidieron las cantidades. Al realizar estas mediciones de una manera continua y de acuerdo a la clasificación ABC[13] de los productos se logrará que no hayan problemas de falta de materia prima para la producción o falta de producto terminado para las otras áreas.

Cumplimiento del Programa

Es una medida importante para la empresa, que dice qué tan efectiva es la misma con respecto a la entrega oportuna de los productos a sus clientes. Un cumplimiento del programa del 100% querrá decir que de de 100 pedidos que hacen los clientes, los 100 llegan a ellos en el momento requerido y en la cantidad adecuada y por ende, sin ninguna queja de los mismos. Esta medida es básica para la Gerencia de Producción y representativa de cada área, es decir, si un área tiene un cumplimiento del programa de menos del 90% quiere decir que no está atendiendo de una manera adecuada a los clientes y representa el primer paso para investigar y mejorar alguno o varios de los procesos del área en cuestión. Cabe acotar que un programa de producción que se logra con el presente trabajo viene a ser de gran ayuda para tener fechas precisas de inicio y término de producción y, por tanto mantener al cliente informado y por ende satisfecho con entregas oportunas.

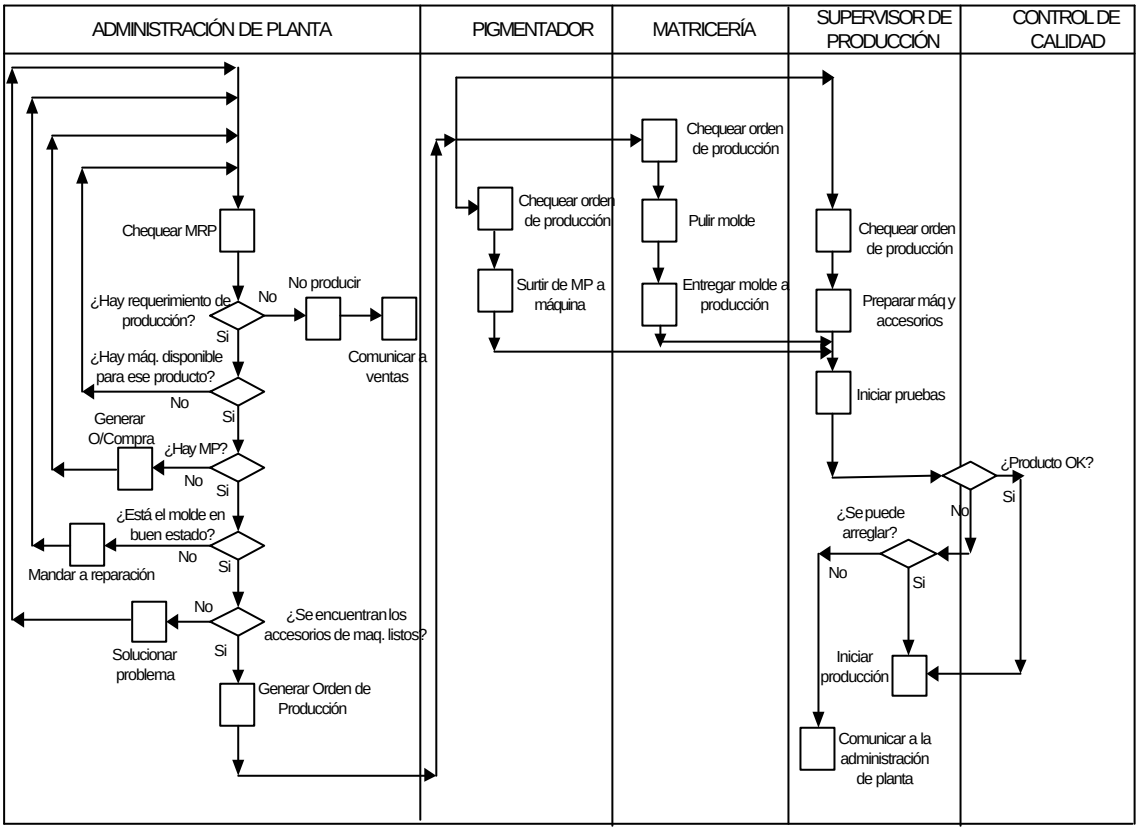
Es importante mencionar que, el control de tiempos estándares y de los materiales de los productos se observa en las órdenes de producción terminadas. Las cantidades de inventarios físicos se comparan con las cantidades según sistema (BPCS).

[13] La clasificación ABC de los productos se obtiene de acuerdo a la demanda y el precio de los productos. Los productos A son los que consumen mayor cantidad de dinero a la Empresa, luegos vienen los B y por último los C.

2.4 Plan de Producción

En la figura a continuación se presenta el procedimiento para lanzar una orden de producción mediante un MRP y su ejecución dentro de la planta de plásticos con todas las áreas involucradas en el proceso:

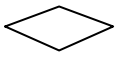
FIGURA 2.2: DIAGRAMA DE FLUJO EJECUCION ORDEN DE PRODUCCION



FUENTE: ELABORACION PROPIA

TABLA 2.3: DESCRIPCION DE LOS SIMBOLOS


Operación


Decisión

FUENTE: Elaboración Propia

El requerimiento de producción se observa en el MRP diariamente y se ve de la siguiente manera:

FIGURA 2.3 REQUERIMIENTO DE PRODUCCIÓN MEDIANTE MRP

CODIGO	DESCRIPCION	Alm.: AF sem 0	ded_se01	ded_se02	ded_se03	ded_se04
040000091	TA IMPLICIT TALCO PERF 140 GR	1,256	2,214	0	0	0
EA00260	TAPA GEL NORMAL NP x 400gr	1,740	1,800	0	0	0
040000227	TA AGU TALCO C/FECULA MAIZ	19,363	16,536	2,432	4,864	2,432
040000257	TA PLB TALCO 230 GR	3,598	0	0	2,400	0
040000130	TP ANDRE TAL. X 140G	568	372	0	0	0
040000137	TP EROS TAL X 140 GR	1,877	1,428	0	0	0
040000321	TP SALVAJE TALCO PANT 5535C	1,447	1,142	0	0	0
040000113	TN BLANCO PARA TAL X 140	21,216	10,142	0	0	0
E460371	RJ CORNINA TAL X 300 gr	16,960	0	6,473	0	0
E100031	CAJA JOIA F2	13,907	24,000	0	0	0
040000342	TN ESIKA COLON REFRESC 180 ML	33,504	2,600	8,900	0	0
E623007	TP ISANA TAL X 60 gr/140gr/240	18,099	9,801	0	0	0
E623026	TP CORNINA x 60gr / 120gr	8,986	0	0	0	0
EA04007	FCO AVO5 HDPE BLANCO X 444 ML	6,551	0	0	0	0
E400339	FR COL SPRING FL X 250 ML	0	0	6,887	32,384	32,384
E600062	FR ISANA TAL X 240 gr	18,308	17,022	0	0	0
EF04002	FR CORNINA TAL X 120 gr	993	0	0	0	0
E600086	FR ISANA TAL X 60 gr	0	3,233	0	0	0
EF04001	FR CORNINA TAL X 60 gr	3,453	0	0	0	0
EF04005	FR HANSAPLAST TAL X 120 gr	2,755	0	1,505	0	0
EF00005	FRASCO HANSAPLAST X 60G	3,600	0	4,946	0	0
040000327	FR S/I SPECIFIKAL CR LISO 300	192	0	0	0	0
040000328	FR S/I SPECIFIKAL CR SOL 300ML	5,091	900	3,600	0	0
040000329	FR S/I SPECIFIKAL CR RIZO 300	10,161	5,249	5,151	0	0
EF00006	FRASCO HANSAPLAST X 250 G	1,146	0	0	0	0

FUENTE: Empresa en estudio.

Interpretando el MRP, en la 1era columna tenemos los códigos de los productos, en la 2da tenemos la descripción de los mismos, en la 3era columna tenemos las cantidades existentes en almacén. Desde la 4ta hasta la 7ma columna tenemos las demandas semanales proyectadas.

Esta demanda es en su mayoría dependiente de la demanda de las demás cadenas, luego automáticamente el sistema generará un programa para la planeación de compras.

Al ir observando la demanda para cada producto e ir lanzando órdenes de producción para los mismos se va a encontrar que cada producto tiene una máquina ideal y otras alternativas. De esta manera de acuerdo a un criterio del programador se asignaría la máquina conveniente. Asi, al dar un orden de ejecución a los pedidos en todas y cada una de las máquinas se tiene el Plan de Producción diario, semanal, etc.

Sin embargo con el software creado en el presente trabajo se tendrá un mecanismo mediante el cual los productos se agruparán automáticamente en un listado según su tipo de molde, se hará una tabla de tiempos de operación por máquina y tipo de molde según los productos que se están requiriendo y se buscará la mejor combinación, mediante el uso de la programación lineal en la forma de un modelo de asignación. Es decir, el trabajo de decidir entre todos los productos en qué máquina deben ser fabricadas, -teniendo en cuenta que muchas veces esta decisión no puede ser tomada rápidamente debido a la variabilidad de la demanda diaria, y la falta de conocimiento técnico de máquinas por parte del programador de la producción-, será más rápida. Es asi que se planea tener un Diagrama de Gantt que será ejecutado 4 veces más rápido que la programación común y éste servirá para todos los Supervisores de Turno de la Planta y operarios y además un ahorro de tiempos entre todas las áreas que representarán alrededor de 300 mil soles anuales.

CAPÍTULO III

LA PROGRAMACIÓN LINEAL Y LA GESTION DE OPERACIONES

La Programación Lineal es una de las técnicas de modelación y resolución de problemas más utilizada en la Investigación de Operaciones; y se refiere a problemas de toma de decisiones, en los que las variables de decisión se relacionan mediante restricciones lineales y la función de evaluación de la decisión, o función objetivo lineal en las variables de decisión.

La historia de la programación lineal es relativamente reciente, teniendo un importante desarrollo a partir de la Segunda Guerra Mundial, en que recibe su nombre debido al planteamiento y resolución de problemas de asignación de recursos para diferentes actividades. Las posteriores aplicaciones a otros problemas fueron numerosas, siendo actualmente la Programación Lineal, una de las herramientas más utilizadas e importantes entre los métodos cuantitativos de la gestión y la planificación.

Algunas de las aplicaciones de la Programación Lineal en el campo de la Administración de Operaciones son:

- Determinación del tamaño óptimo de inventario.
- Ubicación de las fábricas y almacenes para minimizar costos de distribución.
- Asignación de trabajo a las máquinas para minimizar el tiempo de producción o costos de manufactura.
- Organización eficiente de los equipos para manejo de materiales y del personal.
- Preparación de los planes de producción a costo mínimo.

3.1 Programación lineal y planificación

Se define un problema de planificación mediante programación lineal como aquel dirigido a la obtención de un plan de producción que, con las restricciones debidas a los recursos limitados de la empresa, proporcione un resultado óptimo. La resolución de este problema mediante la programación lineal tiene 2 características fundamentales:

- Se refiere a un período de tiempo determinado (análisis estático).
- Se suele resolver de acuerdo con un criterio económico, el cual se basará en un conjunto de supuestos técnicos y económicos.

Los supuestos técnicos y económicos se deben mantener fijos durante el período considerado, lo cual sólo es cierto para corto y, a lo sumo, medio plazo. Esta restricción de tiempo puede ser manejable con el análisis de sensibilidad de los problemas lineales.

El postulado básico de la programación lineal dice que el rendimiento de un proceso es directamente proporcional al nivel de empleo del mismo, es decir, si mediante un proceso productivo P_j, empleado a nivel de unidad, se obtiene un rendimiento c_j, el empleo de dicho proceso a un nivel x_j veces mayor dará como resultado un rendimiento igual a $c_j x_j$. Esto hace que la expresión del rendimiento Z, de un programa formado por n procesos P_j a nivel x_j, tome la forma lineal que se muestra a continuación, a la cual se le denomina función objetivo:

$$z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + ... + c_j x_j + ... + c_n x_n$$

Dado que el consumo a_{ij} de un recurso A_i por parte del proceso P_j es directamente proporcional a su nivel x_j, la utilización de dicho recurso en los n procesos que integran el

programa de producción anterior sería: $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + ... + a_{in}x_n$. En el caso que el mencionado recurso sea un factor limitado del que existe una disponibilidad A_i, se debe cumplir:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + ... + a_{in}x_n \leq A_i$$

Por último, dado que las incógnitas $x_j \equiv$ nivel de un proceso, éstas sólo pueden ser positivas o nulas. Concluyendo, el problema consiste en lo siguiente: Dados n procesos productivos P_j, y m factores limitados A_i, se debe encontrar el programa de producción que optimice la función objetivo z, teniendo como restricciones la última expresión presentada, para $i = 1,2,...,m$ y con $x_j \geq 0$, es decir:

Optimizar $z = c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_jx_j + ... + c_nx_n$

sujeta a:

$$a_{11}x_1 + ... + a_{1j}x_j + ... + a_{1n}x_n \leq A_1 .....(1)$$
$$.....$$
$$a_{i1}x_1 + ... + a_{ij}x_j + ... + a_{in}x_n \leq A_i .....(i)$$
$$.....$$
$$a_{m1}x_1 + ... + a_{mj}x_j + ... + a_{mn}x_n \leq A_m .....(m)$$

$$x_1, x_2, \text{K}, x_n \geq 0 .....(m+1)$$

Cabe mencionar que la optimización puede significar maximizar (por ejemplo: $c_j =$ beneficio) ó minimizar (por ejemplo: $c_j =$ costos) y además en otros casos, las restricciones pueden ser igualdades o desigualdades de signo mayor o igual. Aunque las hipótesis de linealidad realizadas para la función objetivo a optimizar Z, y para las restricciones son simplificaciones que se hacen con el objetivo de aplicar la programación lineal a la planificación de la

producción, los resultados que se obtienen en muchos de los problemas reales son satisfactorios.

Finalmente, las características que debe cumplir un programa óptimo de producción son:

a) El número de procesos P_j que integran el mismo, debe coincidir con el de factores limitados ó restricciones, aunque en algunos casos puede ser menor.

b) Los niveles x_j de los procesos P_j, deben ser positivos (en la solución degenerada puede haber algún nivel que sea nulo).

c) Los niveles x_j deben funcionar de manera que se cumplan todas las restricciones.

d) El programa que cumpla las tres condiciones anteriores y proporcione el máximo valor de Z (si es problema de maximización) o el mínimo (si es problema de minimización) será el programa óptimo.

El presente trabajo plantea matemáticamente el problema de asignación de máquinas como un programa lineal entero binario.

3.2 Programación Entera

La programación entera es un tema de potenciales aplicaciones. Desde los años 50´s se ha desarrollado una vasta investigación teórica y se ha llegado a una gran colección de métodos y algoritmos de solución.

Para definir la Optimización Entera, afirmaremos que, cualquier problema de decisión en el cual las variables de decisión (cuantificables) deben asumir valores no fraccionales o discretos será clasificado como un problema de optimización entera. Un problema entero se clasifica como

lineal si, mediante la relajación[1] de las variables enteras, las funciones resultan ser estrictamente lineales, de otro modo, el problema no es lineal. Se verá más adelante que esta clasificación sirve de base para el desarrollo de métodos de solución para los problemas enteros. Cabe mencionar que la mayoría del desarrollo en el área se concentra en los problemas lineales dada su relativa facilidad.

La optimización entera no es una materia reciente en las matemáticas. Cuando las aplicaciones de la investigación de operaciones fueron reconocidas a fines de los 40´s y comienzos de los 50´s, la mayoría de los problemas abordados fueron de naturaleza puramente matemática. Los ejemplos incluyen determinación del número máximo de partes en las que "n" planos dividen 3 espacios y el problema del coloreado en el que se requiere determinar el mínimo número de colores necesitado para colorear las regiones de un mapa planar tal que no existan 2 regiones que tengan un segmento limitante en común con el mismo color.

La importancia de la optimización entera para resolver problemas prácticos se desarrolló como resultado del gran desarrollo en el campo de la Investigación de Operaciones, particularmente el tema de la programación lineal. Fue así que investigadores y profesionales que trabajaron en distintas empresas, encontraron que se debía resolver modelos de programación en los que algunas o todas las variables de decisión debían ser enteras. Aunque se desarrollaron diversos problemas en distintas áreas de aplicación como modelos enteros, fue en 1958 que Gomory desarrolló la primera técnica de programación entera finita para la solución de problemas lineales enteros. Desde la fecha, otros algoritmos especializados han sido y están siendo aún desarrollados.

[1] Relajación de las variables enteras implica asumir que no son enteras.

3.2.1 Definición Matemática del Problema de Programación Entera

La forma general de un problema entero se define como:

Maximizar (o minimizar)

$$z = g_o\left(x_1, \text{K}\ , x_n\right)$$

Sujeto a:

$$g_i\left(x_1, \text{K}\ , x_n\right) \begin{Bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{Bmatrix} b_i \qquad i \in M = \{1,2,...,m\}$$

$$x_j \geq 0, \qquad j \in N = \{1,2,...,n\}$$

x_j es entero si $j \in I \subseteq N$, donde I es cierto subconjunto de N.

Si $I = N$, es decir, todas las variables x_j sólo pueden tomar valores enteros, el problema se dice que es un problema entero puro. De otra manera, si $I \subset N$ entonces lo que se tiene es un problema mixto. En ocasiones, el concepto de programas puros y mixtos se amplía al hecho de incluir variables de holgura que están asociadas con las restricciones del problema. Esto es bastante importante cuando el algoritmo requiere que todas las variables (de holgura y otras) estén restringidas a valores enteros antes de ser utilizadas.

El mayor desarrollo de la programación entera se ha dado en los casos donde las funciones $g_i, i \in \{0\} \cup M$ son lineales. Poniendo una especial atención a la estandarización, el problema lineal se escribe como:

Maximizar (o minimizar)

$$Z = \sum_{j \in N} c_j x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N} a_{ij} x_j + S_i = b_{i,} \qquad i \in M$$

$$S_i \geq 0, \qquad i \in M$$

$$x_j \geq 0, \qquad j \in N$$

x_j entero, $\qquad j \in I \subset N$

donde S_i es la variable de holgura. Si la restricción está escrita en la forma de una ecuación, entonces la variable de holgura no existe.

Si no existe la condición de que la variable debe ser entera, el problema es un programa ordinario (continuo) lineal o no lineal. En otras palabras, los métodos de programación entera buscan determinar el punto óptimo a lo largo de todos los puntos discretos incluidos en el espacio de solución continuo factible.

Daría la impresión entonces que la condición adicional de que las variables sean enteras no representaría un gran problema ya que, el espacio de solución estaría mejor definido y no se necesitaría buscar a lo largo de un número infinito de puntos como en el caso de los problemas continuos (se asume por simplicidad que el espacio continuo está limitado). Desafortunadamente, la conclusión explicada arriba no es cierta. Aunque el espacio de solución de los problemas enteros está estructuralmente mejor definida que en los problemas continuos, se ha probado que es computacionalmente más dificultoso.

El hecho es que la condición de que las variables sean enteras en ocasiones “destruye” las propiedades del espacio solución. Un ejemplo típico sería el problema lineal entero. Si no existiera la condición de variables enteras, el espacio de solución sería convexo. Esto viene a ser inicialmente, la propiedad básica que dirige al éxito del método simplex para resolver problemas lineales.

Ya que se han logrado éxitos en la resolución de los programas continuos lineales y no lineales, todos los algoritmos enteros se han desarrollado mediante la conversión del espacio discreto en uno equivalente continuo.

Esto se logra al modificar el espacio de solución continuo de manera que el mejor punto entero requerido sea escogido. Aún cuando existen situaciones en las que parecería que el espacio continuo no se utiliza (problemas en los que todas las variables son binarias), se puede verificar que el método de solución puede ser enfocado hacia la versión continua.

3.2.2 Clasificación de las Aplicaciones Enteras basadas en la Aproximación del Óptimo Continuo

3.2.2.1 Modelos Enteros Directos

Una aplicación se considera como un modelo entero directo si la decisión comprende variables que son cuantificables pero para las cuales los valores fraccionales no son admisibles. Los ejemplos que podemos citar son: el número de máquinas necesitadas para un trabajo determinado y el número de buses necesarios para proveer del servicio de pasajeros en una ruta determinada.

Existen una clase de modelos lineales enteros directos para los que las soluciones continuas son automáticamente enteras. Estos modelos, tales como los problemas de transporte, poseen la propiedad unimodular que garantiza que toda solución básica sea de carácter entero.

3.2.2.2 Modelos Enteros Codificados

Un modelo entero codificado es aquel en el que las variables de decisión describen cuantitativamente un aspecto cualitativo o relación que implica un número finito de

posibilidades. Un ejemplo viene a ser los tipos de decisión “si-no” o “va-no va”. En este caso, una variable binaria puede ser usada como un código representando con el valor uno la decisión “si” o “va” y con el valor cero representando la decisión opuesta.

3.2.2.3 Modelos Enteros Transformados

Un modelo entero transformado es aquel en el que su formulación no contiene variables enteras pero su método de solución necesita el uso de algunas variables enteras “artificiales” para que el modelo sea viable. Normalmente, estos modelos poseen alguna relación lógica que no se puede resolver directamente con los métodos de solución disponibles, pero si se puede llegar a una solución con el uso de variables binarias artificiales. Por ejemplo, en los modelos matemáticos regulares, todas las restricciones son satisfechas simultáneamente, pero existen situaciones en las que o una o dos restricciones deben ser satisfechas. Una variable binaria puede ser usada para convertir el problema en el aparente sentido dentro de 2 restricciones simultáneas sin cambiar la relación lógica original. La variable binaria en este caso será considerada como un código con el valor uno que indicará que una de las restricciones está activa y el valor cero que la misma restricción se encuentra inactiva.

3.2.3 Programación Entera en Planificación de Proyectos

Se introduce a continuación ejemplos específicos en que la programación entera es utilizada en la planificación de proyectos logrando reducir costos y/o maximizar ganancias.

3.2.3.1 Presupuesto de Capital

El presupuesto de capital se refiere a la disponibilidad para invertir en una serie de proyectos, y el objetivo es seleccionar la mejor combinación de proyectos bajo la condición de un

presupuesto de capital fijo. El problema se puede considerar para un único período o para un horizonte de varios períodos.

Existe una gran variedad de formulaciones para el problema del presupuesto de capital. La causa principal de esta variedad se debe a la función objetivo. En general, el problema de presupuesto de capital no está considerado como determinístico. Algunos investigadores señalan que usar el valor esperado como un criterio objetivo no es suficiente ya que no toma en cuenta la dispersión alrededor de la media y por lo tanto el concepto de riesgo. Otros insisten que los momentos de valores más altos para el retorno esperado se deben cuantificar. Se presentarán un número de formulaciones y se podrá apreciar como argumentos diferentes podrán dirigir a modelos enteros totalmente diferentes, con cada formulación que requiere un método de solución diferente.

Para un problema de inversión se tiene:

c_j: Variable aleatoria que representa el valor presente neto del proyecto de inversión $"j"\left(j=1,2,...,N\right)$.

a_{tj}: Variable aleatoria que representa el costo neto del proyecto de inversión $"j"$ en el período $"t"\left(t=0,1,2,...,T\right)$.

b_t: Variable aleatoria que representa la caja disponible en el período $"t"$ para la asignación a los proyectos de inversión.

Se ha supuesto que las funciones densidad de las variables aleatorias son conocidas o que existe suficiente información para determinar sus 3 primeros períodos.

En el caso más simple, el modelo se puede formular bajo una certeza supuesta, es decir, cada variable aleatoria es reemplazada por su valor esperado. Si $x_j=0$ significa rechazo y si $x_j=1$ significará que se acepta el proyecto j; el modelo determinístico que resulta es:

Maximizar: $$E\{z\} = \sum_{j=1}^{N} \{c_j\} x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{N} E\{a_{tj}\} x_j \le E\{b_t\}, \qquad t = 0,1,2,...,T$$

$$x_j = (0,1), \qquad j = 1,2,...,N$$

El operador E significa el valor esperado de la variable aleatoria, la formulación de arriba se basa en el supuesto que la función utilidad del inversionista es lineal en z. Esta suposición no es necesariamente cierta ya que no se está contando al factor riesgo, el cual puede expresarse en términos de la dispersión de z. De este modo, la formulación del problema sería:

Maximizar: $$y = E\{z\} - KV_z$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{N} E\{a_{tj}\} x_j \le E\{b_t\}, \qquad t = 0,1,2,...,T$$

$$x_j = (0,1), \qquad j = 1,2,...,N$$

donde $V_z =$ varianza de $z = \sum_{i,j} x_i \sigma_{ij} x_j$, $(i, j) = 1,2,...,N$, σ_{ij} es la covarianza de (c_i, c_j), y K es un factor peso cuyo valor será dado por el inversionista.

La función objetivo propuesta busca maximizar $E\{z\}$ y al mismo tiempo minimizar V_z. El factor peso K es un coeficiente de riesgo. De este modo, podemos afirmar que para valores grandes de K significa que el inversionista es conservador, ya que está tomando muy en cuenta la posibilidad de perder. Siguiendo la lógica, un inversionista más arriesgado tomará pequeños valores de K.

La nueva formulación produce una función objetivo cuadrática, a diferencia de la función objetivo lineal que se había visto anteriormente.

Aunque esta nueva función objetivo ha mejorado el criterio de decisión, continúa la dificultad de usar valores esperados en las restricciones. Hillier[2](1967) considera este problema expresando las restricciones en una forma de probabilidad restringida.

3.2.3.2 Programación

Suponer que en una escuela se desea programar C clases sobre un horizonte finito de H periodos. (Si el horizonte está representado por un período de una semana, entonces el período 1 es el primer período lunes, mientras que el último período vendría a ser el viernes). Se asume que el número total de períodos en el que un profesor t se le puede asignar una clase c es igual a p_{tc}.

Se definen las variables binarias:

$$x_{tch} = \begin{cases} 1, & \text{si el profesor } t \text{ es asignado a la} \\ & \text{clase } c \text{ en el período } h. \\ 0, & \text{si no es asi.} \end{cases}$$

Las restricciones del modelo se especifican como sigue:

(i) En un período general de tiempo, solo 1 profesor es asignado a una clase dada y ningún profesor es compartido entre 2 o más clases. Así:

$$\sum_{c=1}^{C} x_{tch} = 1, \qquad \text{para todo } t \text{ y } h.$$

$$\sum_{t=1}^{T} x_{tch} = 1, \qquad \text{para todo } c \text{ y } h.$$

[2] Vease Hillier, F. S. (1967). Chance-constrained programming with 0-1 or bounded continuous decision variables. Management Sci. 14, 34-57.

Las restricciones de arriba $(C+T)H$ serán reemplazadas por una restricción que producirá exactamente el mismo resultado, así:

$$\sum_{\substack{t_1,t_2=1 \\ t_1 \neq t_2}}^{T} \sum_{h=1}^{H} \sum_{c=1}^{C} x_{t_1ch}\, x_{t_2ch} = 0$$

La reducción del número de restricciones se logra a expensas de la creación de no linealidades, lo que hace más lenta la velocidad computacional del problema. Además, el número de productos en cruz $(x_{t_1ch}\, x_{t_2ch})$ se incrementan exponencialmente relativo al número original de variables. En la programación entera, a diferencia de los problemas de programación continua, la eficiencia computacional se reduce debido al incremento en el número de variables (productos en cruz) y además en contraparte, el incremento en el número de restricciones es ventajoso.

(ii) Cada profesor t debe trabajar exactamente p_{tc} períodos en la clase c, lo que se expresa como:

$$\sum_{h=1}^{H} x_{tch} = p_{tc}, \qquad \text{para todo } t \text{ y } c.$$

Un criterio objetivo del problema de programación es minimizar el número de períodos en que las clases están ociosas, que se expresa como:

$$z = \sum_{t_1,t_2,t_3=1}^{H} x_{t_1,c,h-1}\left(1 - x_{t_2,c,h}\right) x_{t_3,c,h+1}$$

Esta expresión indica que, si la clase c está ocupada durante los períodos $h-1$ y $h+1$, el término asociado en la función objetivo es igual a cero (mínimo) sólo si el período h es usado; de otro modo, si h no está ocupado, el término es igual a uno. Aunque este criterio objetivo minimiza el número de vacíos de 1 período, nada dice acerca de los vacíos de 2 períodos o más. Para ver este punto se necesitaría una función objetivo más compleja.

3.2.3.3 Problema del Conjunto Cubrimiento

Se considera un problema de entrega de órdenes desde un almacén hacia m diferentes destinos, cada uno de los cuales recibirá su orden cada vez que ocurra una entrega hacia ellos. Un repartidor deberá combinar como máximo k órdenes para ser entregadas simultáneamente. La combinación factible dependerá de la ruta que se asigne a cada repartidor. Dado que para llegar a un destino existen varias posibles rutas, existirán también distintas alternativas para determinar qué repartidor debe entregar la orden correspondiente.

Definimos una $actividad$ como la combinación única factible de una, dos ó k órdenes y sea n el número de las actividades. Sea c_j el costo de la actividad j. La variable x_j se define igual a 1 si la actividad j es realizada y 0 si no fuera así. Entonces el problema de entrega se formularía de la siguiente manera:

Minimizar:

$$z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{a}_j x_j = \boldsymbol{a}_0$$

$$x_j = (0,1)$$

donde $\boldsymbol{a}_j$ es un vector columna con m posiciones, con la posición i igual a uno si la actividad j entrega la orden i y cero si no fuera así. El vector columna $\boldsymbol{a}_0$ tiene m unos. Asi, la restricción i significa que solo una orden se entrega a un determinado destino.

Existen otros problemas reales que se pueden plantear de una forma similar. En el problema de la programación de personal en una aerolínea lo que se hace es asignar personas para distintos períodos de tiempo. Asi, a cada salida de vuelo le corresponde una restricción que requerirá que personal disponible se asigne a la misma. Cada actividad (columna) corresponde a un posible período de asignación para un personal específico, de modo que el valor de la columna será igual a uno si la salida de vuelo puede ser ocupada por alguna asignación y cero si no fuera asi. Naturalmente, $x_j = 1(0)$ implicará que la asignación j es utilizada (ó no utilizada). El objetivo es minimizar el costo total de todas las asignaciones.

El problema del conjunto cubrimiento ha recibido especial atención porque además de sus aplicaciones prácticas, posee propiedades especiales que dirigen a muy eficientes resultados computacionales.

3.2.3.4 Problema del Costo-Fijo

Suponer que se necesita decidir sobre la ubicación de plantas de producción en función a m lugares existentes. Todas las plantas producen productos homogéneos. La planta i tiene una capacidad de a_i unidades y necesita una inversión fija f_i. Los productos son enviados a n clientes, con el cliente j que demanda b_j unidades. Si c_{ij} es el costo de producir una unidad en la planta i y enviarlo al cliente j, se requiere determinar las capacidades operativas de las plantas de modo que el costo total de producción y los costos de inversión sean mínimos.

Sea x_{ij} la cantidad fabricada en la planta i para el cliente j; entonces el modelo se formula:

Minimizar:

$$z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} F_{ij}\left(x_{ij}\right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \geq b_j, \qquad j = 1,2, \ldots, n$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq a_i, \qquad i = 1,2, \ldots, m$$

donde:

$$F_{ij}\left(x_{ij}\right) = \begin{cases} c_{ij} x_{ij} + f_i, & \text{si} \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} > 0 \\ & \qquad\qquad x_{ij} \geq 0 \\ 0, & \text{si no es asi} \end{cases}$$

Este modelo es muy similar a un programa lineal ordinario excepto porque z es una función no lineal. Sin embargo, no existe un algoritmo directo que pueda modelar el problema tal como está establecido.

El problema entonces se puede convertir a un entero mixto (cero-uno) si se usa una sustitución adecuada.

Sea:

$$y_i = \begin{cases} 1, & si \sum_{j=1}^{n} x_{ij} > 0 \\ 0, & \text{si no fuera asi.} \end{cases}$$

El modelo entonces se planteará:

Minimizar:

$$z = \sum_{i=1}^{m} \left(\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} + f_i y_i \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \geq b_j, \qquad j = 1,2, \ldots, n$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq a_i y_i, \qquad i = 1,2, \ldots, m$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$y_i = (0,1), \qquad \textit{para todo } i.$$

3.2.3.5 Programación Separable

Consideraremos el siguiente problema no lineal:

Maximizar (o minimizar):

$$z = \sum_{i=1}^{m} f_i (x_i)$$

Sujeto a:

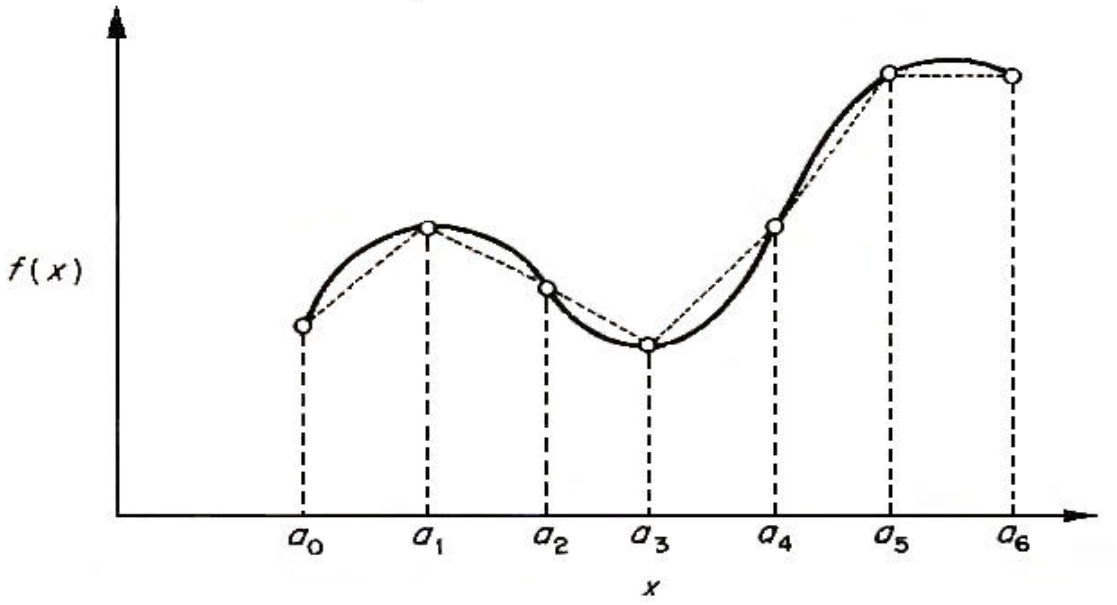
$$\sum_{i=1}^{m} g_{ij} (x_i) \leq b_j, \qquad j = 1,2, \ldots, n$$

$$x_j \geq 0, \qquad j = 1,2, \ldots, n$$

Este problema es separable porque todas sus funciones se pueden separar, cada una con una variable única.

Se puede obtener una solución aproximada para este problema al linealizar las funciones f_i y g_{ij} sobre su dominio permitido. Una ilustración de una aproximación lineal típica se muestra en la Figura 3.1. Los puntos de ruptura a_0, a_1, K, a_n son escogidos de manera que la aproximación lineal resulta ser bastante cercana a la verdadera función.

FIGURA 3.1 Aproximación lineal



FUENTE: Libro "Integer Programming, Theory, Applications and Computations", Autor: Hamdy A. Taha, pg26

Sea el número de puntos de ruptura para la i ta variable x_i igual a K_i y sea a_{ik} su k to punto de ruptura. Sea t_{ik} un peso asociado con el k to punto de ruptura de la i ta variable y definimos y_{ik} como una variable binaria asociada. El problema se puede aproximar a un modelo entero mixto cero-uno como sigue:

Maximizar o minimizar:

$$z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{k=1}^{k_i} f_i\left(a_{ik}\right)\ t_{ik}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{k=1}^{k_i} g_{ij}\left(\ q_k\right)\ t_{ik} \le b_j, \qquad j = 1,2,\ ...,\ n$$

$$0 \le t_{i1} \le y_{i1}$$

$$0 \le t_{i2} \le y_{i1} + y_{i2}$$

$$0 \le t_{i3} \le y_{i2} + y_{i3}$$

$$\vdots$$

$$0 \le t_{i,k_i-1} \le y_{i,k_i-2} + y_{i,k_i-1}$$

$$0 \le t_{i,k_i} \le y_{i,k_i-1}$$

$$y_{i1} + y_{i2} + ... + y_{i,k_i-1} = 1, \qquad \text{todo } i$$

$$t_{i1} + t_{i2} + ... + t_{i,k_i} = 1, \qquad \text{todo } i$$

$$y_{ik} = (0,1), \qquad \text{todo } i \text{ y } k$$

El rol de las variables binarias y_{ik} es no permitir que más de 2 pesos contiguos $\left(t_{ik}\ \text{y}\ t_{i,k+1}\right)$ tomen valores positivos; pues de no ser asi la aproximación lineal no sería válida. Las restricciones adicionales relacionadas a las variables t e y garantizan que esto siempre ocurrirá.

La formulación de arriba garantiza obtener un óptimo global (para el problema de aproximación), particularmente para problemas que poseen varios óptimos *locales*. Esto puede ocurrir cuando las funciones f_i y g_{ij} no siguen condiciones específicas de regularidad, por ejemplo, un espacio de solución no convexo.

3.2.4 Programación Entera en Manufactura

Luego de haberse presentado los ejemplos de programación entera aplicada a la planificación de proyectos se mostrará ahora los ejemplos más interesantes de la programación entera a la manufactura y al finalizar se introducirá el modelo de asignación que es el tema del presente trabajo.

3.2.4.1 Secuenciación

La secuenciación se refiere a determinar el orden en el cual un número de pedidos serán procesados en una máquina o taller tal que un criterio objetivo es optimizado. Asumiendo que cada pedido tiene una fecha esperada predeterminada, este criterio se puede expresar de varias maneras:

(i) Minimizar el tiempo en la máquina para todos y cada uno de los pedidos;

(ii) Minimizar el tiempo de ciclo total, esto es, el tiempo total en que los pedidos son terminados.

(iii) Minimizar la tardanza total o penalidad de tardanza para todos los pedidos.

Las restricciones del modelo generalmente incluyen:

(i) Relación de precedencia entre pedidos,

(ii) Fechas esperadas,

(iii) Posibilidades de corte de los pedidos,

(iv) Recursos limitados,

(v) Coincidencias de requerimientos de ejecución de trabajos,

(vi) Sustitución de requerimiento de ejecución de trabajos.

Uno de los objetivos es observar como un cambio en la definición de las variables puede dirigir a modelos equivalentes pero con tamaños totalmente diferentes.

Se considera primero la situación en la cual se debe secuenciar N trabajos independientes en una única máquina o taller de manera que la penalidad por tardanza sea minimizada. Se asume que el tiempo de proceso para el trabajo k es a_k, mientras que la fecha esperada es d_k con una penalidad por un período de tardanza de p_k. El problema se puede formular como un modelo cero-uno de la manera siguiente: Sea i el número de pedido, mientras que j representa su posición en la secuencia de los N pedidos. Se define:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el pedido } i \text{ es procesado} \\ & \text{en la posición } j \\ 0, & \text{si no es asi.} \end{cases}$$

Sólo un trabajo puede ocupar una posición y sólo una posición puede ser ocupada por un trabajo. Así:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1, \qquad \text{para todo } i$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = 1, \qquad \text{para todo } j$$

Existen para este modelo simplificado sólo las restricciones directas. Se sobrentiende que una vez que un trabajo es comenzado, éste debe ser terminado.

Para establecer el criterio objetivo, es necesario definir la fecha en la que cada pedido se termina. La fecha en la que se termina el pedido j está dada por su tiempo de proceso a_j sumado a los tiempos de proceso de todos los pedidos que le preceden. Para establecer si el pedido k precede al pedido i, se considera lo siguiente: si el pedido k es procesado en la posición j y si el pedido k precede al pedido i, entonces por definición $x_{kj} = 1$ y

$x_{i1} = x_{i2} = ... = x_{ij} = 0.$ Estas condiciones son ambas necesarias y suficientes. El resultado se puede reflejar en la siguiente expresión: Dado el pedido k que es procesado en la posición j, entonces k precede a i si y solo si:

$$x_{kj}\left(1-\sum_{r=1}^{j} x_{ir}\right)=1$$

Dado que la posición exacta j en la que el pedido k es procesado no se conoce de antemano, la expresión de arriba se reduce a:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{kj}\left(1-\sum_{r=1}^{j} x_{ir}\right)=1$$

si el pedido k precede al pedido i sin tener en cuenta su posición en la secuencia. Asi, la fecha de término para el pedido i es:

$$c_i = a_i + \sum_{k=1}^{N} a_k \sum_{j=1}^{N} x_{kj}\left(1-\sum_{r=1}^{j} x_{ir}\right)$$

La función objetivo entonces viene a ser:

Minimizar:

$$z = \sum_{i=1}^{N} p_i \max\left\{0,\left(c_i - d_i\right)\right\}$$

Para simplificar la expresión hacemos:

$$y_i = \max\left\{0,\left(c_i - d_i\right)\right\},$$

Entonces la función objetivo vendría a ser:

$$z = \sum_{i=1}^{N} p_i y_i$$

Sujeto a:

$$\left\{ a_i + \sum_{k=1}^{N} a_k \sum_{j=1}^{N} x_{kj} \left(1 - \sum_{r=1}^{j} x_{ir} \right) - d_i \right\} \leq y_i, \qquad i = 1, \ldots, N$$

$$y_i \geq 0 \quad \text{y} \quad \text{entero}$$

3.2.4.2 El Problema de la Mochila

En este problema se considera la situación en la cual un excursionista debe decidir sobre ciertos objetos que podría llevar en su mochila con la restricción que no se puede exceder de un peso determinado. Su objetivo es maximizar el valor total de los objetos que llevará (el valor de los objetos está dado por el excursionista).

Sea a_j el peso del objeto "j" y c_j el valor del mismo. Sea x_j una variable binaria con $x_j = 1(0)$ que implicará que el objeto "j" sea seleccionado (ó no seleccionado), entonces el problema se plantea asi:

Maximizar:

$$z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} a_j x_j \leq b$$

$$x_j = (0,1), \qquad j = 1,2, \ldots, n$$

donde n es el número de objetos seleccionables y b es el peso límite.

El problema de la mochila está asociado muchas veces al problema de carga o al problema del equipaje a llevar para un vuelo. Estos nombres se originan de aplicaciones similares como cargar una nave teniendo una capacidad limitada, el empaque del equipaje con objetos valorables para su uso en el avión y en la manufactura igualmente para la selección de objetos que tienen un beneficio determinado y las máquinas o plantas de producción que disponen de una capacidad máxima.

El problema de la mochila ha recibido una especial atención principalmente porque puede ser usado en el desarrollo de una descomposición para el algoritmo del mínimo desperdicio de corte. Las investigaciones señalan que es posible convertir problemas lineales enteros generales a modelos del tipo del problema de la mochila.

La formulación de arriba se refiere al problema de la mochila unidimensional. Un problema de la mochila multidimensional incluye más de una restricción. Por ejemplo, podría ser agregada una restricción de volumen en adición a la restricción del peso.

3.2.4.3 Problema del Agente Viajero

Se considera la situación de secuenciar n trabajos en una única máquina. Cada vez que un nuevo pedido es programado se incurre en un costo de preparado ó montaje de máquina, pero este costo depende del pedido inmediatamente precedente que fue procesado en la máquina. Por ejemplo, en una fábrica de pintura, el costo de preparado ó montaje para producir pintura blanca después de la pintura roja es mayor que cuando el orden es a la inversa, es decir, cuando la pintura blanca precede la pintura roja. El costo de montaje en este caso se dice que es dependiente de la secuencia. El objetivo es determinar la secuencia que minimice la suma total de los costos de montaje de máquina.

Este tipo de problema recibió el nombre del “agente viajero” porque cada trabajo o pedido es tomado como una “ciudad”. Las “distancias” entre las ciudades tomarían el lugar de los costos de montaje de máquina. El agente viajero debe visitar cada ciudad una vez, y la ruta más corta por la cual él puede visitar todas las ciudades debe ser determinada.

El problema del agente viajero se puede formular matemáticamente como sigue: una ruta que incluye n ciudades consiste de n arcos dirigidos (un arco representa una ruta entre 2 ciudades consecutivas). Estos arcos serán diseñados de acuerdo a su orden en la ruta, tal que el arco dirigido $"k"$ estará asociado con el segmento $"k"$ del itinerario.

Definimos:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el arco dirigido } "k" \text{ es desde} \\ & \text{la ciudad } i \text{ hacia la ciudad } j \\ 0, & \text{si no es asi.} \end{cases}$$

Las restricciones del problema se clasifican en 4 tipos:

(i) Sólo una ciudad será alcanzada desde una ciudad específica i:

$$\sum_j \sum_k x_{ijk} = 1, \qquad i = 1,2, \ldots, n$$

(ii) Sólo una ruta será asignada a un k específica:

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} = 1, \qquad k = 1,2, \ldots, n$$

(iii) Sólo una ciudad iniciará un arco dirigido hacia una ciudad específica j:

$$\sum_i \sum_k x_{ijk} = 1, \qquad j = 1,2, \ldots, n$$

(iv) Dado el arco dirigido "k" que termina en alguna ciudad específica j, el arco "$k+1$" debe comenzar en la misma ciudad j. Esto asegurará que el viaje conste de segmentos "conectados":

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq j}} x_{ijk} = \sum_{\substack{r \\ r \neq j}} x_{jr(k+1)} \quad , \qquad \text{para todo } j \text{ y } k.$$

La función objetivo es entonces dada por:

Minimizar:

$$z = \sum_i \sum_j \sum_k d_{ij} x_{ijk} \quad , \qquad i \neq j$$

donde d_{ij} es la distancia más corta desde la ciudad i hasta la ciudad j.

3.2.4.4 Dicotomías

Una clase importante de los problemas de programación, son aquellos en los cuales su espacio de solución es "dicotomizado", de manera que el problema pierde propiedades especiales que permitirían al mismo ser resuelto por los algoritmos disponibles. Estos problemas serán explicados aquí:

(i) Restricciones *"o bien"*: En un problema de programación para una única máquina donde varios pedidos deben ser secuenciados, se debe agregar una restricción para asegurar que dos trabajos no serán procesados simultáneamente. Si

x_i y x_j son los tiempos de inicio para los trabajos i y j y si a_i y a_j son sus respectivos tiempos de proceso, la expresión para que no exista interferencia entre 2 trabajos se expresa como:

$$"O\ bien" \quad x_i + a_i \leq x_j \qquad \text{ó} \qquad x_j + a_j \leq x_i$$

La restricción "O bien" no se puede implementar directamente en un modelo de programación. Para contrarrestar este inconveniente, se define y_{ij} como una variable binaria y M como un valor positivo muy grande. La restricción "O bien" sería entonces asi:

$$x_i + a_i \leq x_j + M\ y_{ij} \qquad \text{y} \qquad x_j + a_j \leq x_i + M\left(1 - y_{ij}\right)$$

Si $y_{ij} = 0$, entonces la primera restricción estaría activa (esto es, i precedería a j), mientras que la segunda sería redundante. Una condición opuesta se mantendría si $y_{ij} = 1$.

(ii) Alternativas "k": En algunos problemas se especifica que solo deben haber k entre m $(k < m)$ restricciones. Si las m restricciones son dadas por:

$$\sum_j a_{ij} x_j \leq b_i, \qquad i = 1,2, \ldots, m$$

esta condición se satisface al reemplazar las m restricciones mediante:

$$\sum_j a_{ij} x_j \leq b_i + My_i, \qquad i = 1,2, \ldots, m$$

$$\sum_{i=1}^{m} y_i = m - k$$

$$y_i = (0,1) \qquad i = 1,2, \ldots, m$$

Esto mostrará que exactamente $(m-k)$ de las y_i variables son iguales a 1.

Un caso particular del problema de arriba ocurre cuando el lado derecho de la ecuación:

$$\sum_j a_j x_j = b$$

asume sólo uno de los valores b_1, b_2, K, b_r. Esto se expresa mediante:

$$\sum_j a_j x_j = \sum_{k=1}^{n} b_k y_k, \qquad \sum_{k=1}^{n} y_k = 1$$

donde $y_k = (0,1)$ $\quad$ para $k = 1,2, \ldots, r$.

3.3 Modelo de Asignación

Siendo el problema a analizar, un planeamiento destinado a buscar la mejor asignación de las máquinas a las distintas tareas a realizar, lo que tenemos es el modelo de asignación.

"La mejor persona para el trabajo" o "La mejor máquina para el trabajo" es una descripción precisa del modelo de asignación. La situación se ilustra con la asignación de trabajadores a los empleos, máquinas a tareas, etc. donde cualquier empleado (máquina) puede realizar cualquier empleo (tarea), aún con diversos grados de productividad. Una tarea en la que una máquina tiene una determinada productividad cuesta menos que una en la cual la máquina es menos productiva. El objetivo del modelo es determinar la asignación óptima (la menos costosa) de máquinas a las tareas.

La variable a escoger para la función objetivo puede ser (según un análisis) el tiempo de ejecución en las máquinas o los costos de hacer la producción en las mismas. Para nuestro caso la variable a escoger será el tiempo total de ejecución. La demostración se ve en el Apéndice Nº 003

Normalmente cuando una operación, producto o tarea puede ser realizada en distintas máquinas o centros de trabajo, el tiempo necesario para efectuarla dependerá de la máquina que lo ejecute. Por este motivo, la asignación de los requerimientos de producción suele basarse en que el tiempo total empleado sea el menor posible; los tiempos de carga totales de cada pedido en cada Centro de Trabajo serían el elemento en referencia a considerar, teniendo como objetivo minimizar su suma.

El elemento t_{ij} representa el tiempo de asignar la máquina i a la tarea j (i, j = 1,2, …, n).

Cuando el número de tareas es mayor que el número de máquinas (el caso a estudiar) se debe prestar especial atención a las capacidades disponibles de cada máquina.

Dado que tanto en inyección, soplado y serigrafía, la variable será el tiempo de operación, llegamos a la conclusión de que nuestro elemento de referencia a considerar para nuestro programa lineal binario será minimizar el tiempo total de ejecución de los pedidos.

Como dato adicional, tenemos el porcentaje de productos defectuosos y/o desperdicios que está determinado por la empresa en 5% de la producción total para las máquinas de todos los procesos en el área de Plásticos (Inyección, Soplado y Serigrafía), es decir, al no haber variación de este porcentaje con cualquier máquina o centro de trabajo, se tiene la certeza que la variable tiempo de ejecución de los pedidos no será alterada por una diferencia en las mermas[3].

El problema de asignación es un caso particular del problema del transporte en el cual las máquinas vienen a representar los puntos de origen y los trabajos representan los puntos de destino. El tiempo de "transportar" la máquina i al trabajo j es igual a t_{ij}.

Suponer que se dan n pedidos que se deben cumplir y n máquinas posibles que se pueden realizar tales pedidos. A su vez, para cumplir con todos los pedidos se debe satisfacer lo siguiente: cada pedido se debe fabricar por una de las máquinas y una máquina no se puede utilizar para satisfacer más de un pedido. Se debe disponer también de una matriz de tiempos $n \times n$ siendo cada elemento t_{ij} el tiempo de producir el pedido j por la máquina i. El problema de asignación consiste en hallar aquella combinación de métodos y exigencias que minimizan el costo total ó tiempo total de ejecución de los pedidos.

El modelo general de asignación con n máquinas y n trabajos se presenta aquí:

[3] Mermas o productos defectuosos representan un porcentaje de unidades malas. Para el caso en estudio todos los procesos con todas sus máquinas tienen una merma del 5% por lo que no afecta la formulación del problema que considera como variable el tiempo de operación de las máquinas.

FIGURA 3.2

Máquinas \ *Trabajos*	1	2	...	n
1	t_{11}	t_{12}	...	t_{1n}
2	t_{21}	t_{22}	...	t_{2n}
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
n	t_{n1}	t_{n2}	...	t_{nn}

No se pierde generalidad al asumir que existen igual número de máquinas que de trabajos ya que siempre se pueden añadir máquinas ficticias ó trabajos ficticios para efectuar el resultado.

En este caso el programa lineal se presenta de la siguiente manera:

$$Minimizar\ Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} t_{ij}x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i = 1,2,...,n \qquad \text{(Cada producto se procesa en una sola máquina)}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad j = 1,2,...n \qquad \text{(Cada máquina procesa un solo producto)}$$

Veremos ahora el caso de la Asignación Generalizada. La Asignación Generalizada cuenta con ya sea más máquinas que productos o más productos que máquinas (el caso del presente trabajo) y entonces sigue existiendo la restricción de que cada producto se procesa en una sola máquina pero cada máquina podrá procesar varios productos. Entonces la nueva restricción se referirá a las disponibilidades de las máquinas.

Teniendo en cuenta que debemos buscar minimizar el tiempo total de ejecución de los pedidos y que todos deben ser terminados, debemos considerar la existencia de una cierta capacidad disponible en cada Centro de Trabajo, aunque no se tendrá en cuenta el orden de procesamiento de los pedidos en las distintas máquinas.

Para el problema de la asignación generalizada el programa lineal entero se expresa de la siguiente forma:

$$MIN\ Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} t_{ij}x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i = 1,2,...,m \qquad \text{(Cada producto se procesa en una sola máquina)}$$

$$\sum_{i=1}^{m} t_{ij}x_{ij} \le d_i, \qquad j = 1,2,...n \qquad \text{(Limitación del tiempo disponible en cada máquina)}$$

$$x_{ij} = (0\ ,\ 1)$$

siendo:

t_{ij} el tiempo de realizar el producto j en la máquina i.

d_i el tiempo disponible en la máquina i.

(Existen “m” máquinas y “n” productos).

CAPÍTULO IV

FORMULACION DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

El Sistema a estudiar, como ya se mencionó, posee 3 procesos principales que son: Inyección, Soplado y Serigrafía. Existen 4 máquinas para el proceso de inyección (máquinas inyectoras), 8 máquinas para el proceso de soplado (máquinas sopladoras), de las cuales 4 son sopladoras de 1 una estación, 2 máquinas son de dos estaciones y las otras 2 restantes son máquinas de soplado PET[1]; y las 4 máquinas para el proceso de serigrafía (máquinas serigráficas). En el MRP se puede ver diariamente los pedidos de producción en el que aparecen mezclados productos de los 3 procesos. (Recordemos que los productos que llevan serigrafía son sólo algunos de los productos que llevan el proceso de soplado). Al hacer una división de éstos, asignar la máquina a utilizar y el momento en que comenzará la producción se está haciendo lo que se denomina el programa de producción. Se planteará en el presente capítulo el modelo que en base a una lista de productos entrega automáticamente el programa óptimo (tiempos y costos mínimos) graficado en un diagrama de Gantt, teniendo como motor del mismo la resolución de un problema entero binario (modelo de asignación) que contiene como variables los tiempos de operación de cada máquina según el producto que le corresponda y como campos principales las máquinas y productos de cada proceso.

[1] PET: Teraftalato de polietileno, material usado comúnmente para envases de bebidas gaseosa.

4.1 Definición del Problema

La elaboración del programa de producción en la empresa Yobel SCM, para el área de Plásticos, cumple un procedimiento en el cual cada producto tiene según el software integrado que maneja la empresa (BPCS) una máquina ideal y máquinas alternas en las que éste puede ser elaborado (de acuerdo a productividad de las mismas). Luego, a criterio del programador de la producción y/o del Supervisor de planta se decide a qué máquina irá cada producto que está siendo requerido. Es aquí donde con el uso del Modelo de Asignación que presentamos aparte de facilitar la tarea del programador, al hacer las elecciones de las máquinas para los productos, se tiene la certeza que es la mejor combinación en costos y tiempos de operación, y además la velocidad con que se obtiene este programa supera en 3 horas a la manera anterior, trayendo consigo toda una cadena de respuestas más ápidas por parte de todo el personal involucrado en el área de Plásticos.

Al existir variaciones en las cantidades de los requerimientos de forma diaria se necesita flexibilidad en el programa y por ende en la manufactura. Por otro lado, cabe mencionar que en el área de Plásticos se manejan alrededor de 100 productos de soplado (envases de colonias, talcos, cremas, shampoos, etc.) y alrededor de 50 productos de inyección (tapas, potes, cajas, etc.). A su vez, estos productos han sido agrupados por su tipo de molde, es decir, un molde puede hacer diferentes tipos de productos que llevan las dimensiones del mismo. Esta información última sobre moldes y sus productos se logró con la cooperación del proceso de matricería, perteneciente al área de Plásticos.

Otro dato importante que debemos tener en cuenta es que cuando una máquina está produciendo un tipo de producto y va a comenzar a producir otro que usa un molde igual al que ha estado siendo utilizado, se requerirá por lo general un cambio de color, lo cual demorará alrededor de 30 minutos. Sin embargo, cuando la máquina tiene que comenzar a producir un producto que usa un molde diferente al que está en uso, el cambio de molde implicará un tiempo de acuerdo a la tabla sgte:

TABLA 4.1 : TIEMPOS DE CAMBIO DE MOLDE

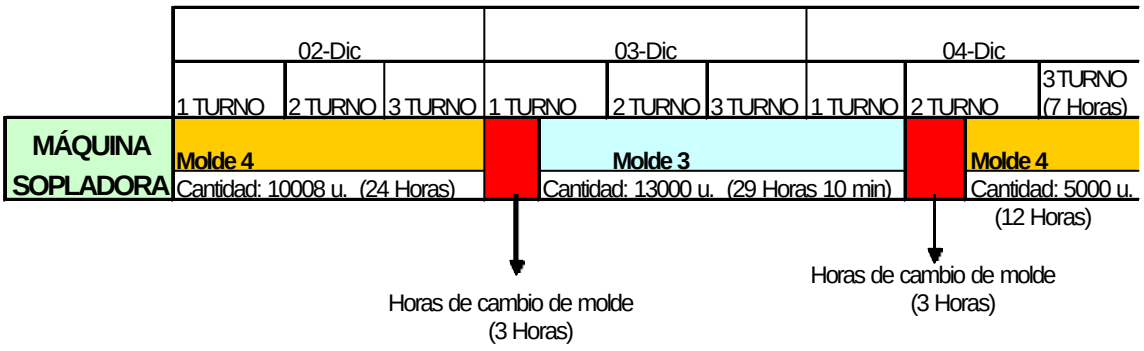
TIPO DE MÁQUINA	**TIEMPO (Horas)**
Cambio de molde Máquina Inyectora	2.5 H.
Cambio de molde Máquina Sopladora de 1 estación [2]	3.0 H.
Cambio de molde Máquina Sopladora de 2 estaciones	4.0 H.
Cambio de Molde Máquina Sopladora PET	3.0 H.
Cambio de molde Máquina de Serigrafía	0.5 H.

FUENTE: Empresa en estudio

Podemos inferir entonces que la primera medida que se debe tomar es agrupar los distintos tipos de producto de acuerdo a su tipo de molde y buscar por cada tipo de molde qué productos están siendo requeridos para fabricarlos todos juntos, es decir, sin incurrir en cambios innecesarios de molde, ya que un doble cambio de molde genera pérdidas de dinero.

Para graficarlo supongamos que en una determinada máquina sopladora se realizó la producción real de la siguiente manera:

FIGURA 4.1 GANTT DE PRODUCCIÓN I



FUENTE: Elaboración Propia

[2] En una máquina sopladora de 1 estación entra un molde, en una de dos estaciones 2 moldes, etc.

Tenemos como datos de productividad de la máquina sopladora:

Producto que usa Molde 4: 417 unidades/hora

Producto que usa Molde 3: 448 unidades/hora

Analizando el Diagrama de Gantt presentado nos podemos dar cuenta que no es el óptimo para el proceso, ya que el Molde 4 se usa al comienzo, se cambia al molde 3 y luego se vuelve a cambiar a Molde 4 (recordar que cada cambio de molde en una máquina sopladora de 1 estación tiene un tiempo estándar de 3 horas). Pueden haber sucedido 2 cosas:

- Requerimiento urgente de un producto que usa el molde 4.
- Mala programación.

Para buscar una solución a la primera razón sería un tema de negociar mejor los pedidos con los clientes para evitar los cambios innecesarios de molde. Cabe acotar que si los primeros clientes internos del área de plásticos (áreas de Cremas-Shampoos, Colonias-Talcos y Transformaciones) conocieran mejor la agrupación de los moldes que maneja esta área sería un buen comienzo para la mejora en lo que se refiere a secuenciar los pedidos de una mejor manera. Para evitar la 2da. razón es uno de las razones en las que se fundamenta el presente trabajo.

Analizando los costos:

Precio de venta promedio : S/. 0. 5831/ unidad

Costo estándar promedio : S/. 0. 3203/ unidad

Utilidad promedio : S/. 0. 2628/ unidad

Habiendo producido 28008 unidades:

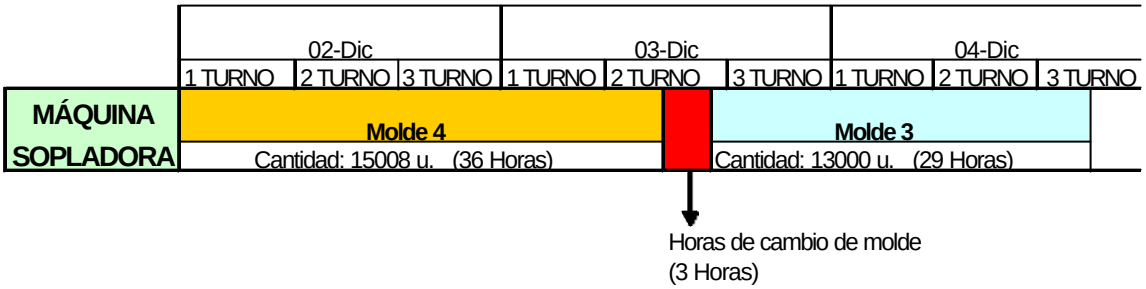
28008 unidades x S/. 0.2628/unidad = S/. 7360. 502

Tenemos entonces que en 71 horas (incluyendo las 6 horas por los 2 cambios de molde) estamos logrando el siguiente flujo de utilidades:

S/. 7360.502 / 71 horas = S/. 103.669 / hora

Si hubiera una mejor negociación con el cliente, (y/o una mejor programación) la máquina debería trabajar asi:

FIGURA 4.2 GANTT DE PRODUCCIÓN II



FUENTE: Elaboración Propia

Obteniendo la misma producción y por consiguiente la misma utilidad, la diferencia la hace el hecho de no haberse producido cambios de molde.

Tenemos:

Utilidad: S/. 7360. 502

Tiempo: 68 Horas

Nuevo flujo de utilidades: S/. 7360. 502 / 68 Horas = S/. 108.243 / Hora

Comparando con el anterior flujo de utilidades:

S/. 108.243 /Hora – S/.103.669/Hora = S/. 4. 574 / Hora

Representa un ahorro de S/. 4.574 / Hora; considerando que en cambios de molde innecesario se pierden 3 horas, supongamos que éstos ocurriesen tan solo 1 vez por semana:

$$3\ \frac{horas}{semana} \times 4\frac{semanas}{mes} \times 330\frac{unidades}{hora} \times \frac{S/.0.2628}{unidad} = \frac{S/.1040.688}{mes}$$

El valor de 330 unidades/hora es el valor promedio de productividad para productos de soplado. Se debe verificar que este ahorro solo considera un cambio de molde innecesario por semana. Más adelante (Capítulo V) se presentarán todos los incrementos de utilidades que se dan con la implementación del software, siendo la presentada tan solo uno de los casos.

Se busca con el proyecto a realizar construir un software que diariamente observe los requerimientos de producción, sus cambios, los agrupe en sus tipos de molde y rápidamente busque la mejor asignación de trabajos a las distintas máquinas evitando costos extras e incrementando las utilidades.

Las reducciones de costos e incrementos de utilidades serán analizados con profundidad en el Capítulo V.

Tenemos aquí los principales ahorros:

- Ahorro en tiempo de programación de la producción.
- Ahorro en horas extras personal obrero de matricería por reparación de moldes urgentes (mala programación).
- Ahorro en horas extras personal obrero de inyección y soplado por pedidos urgentes (mala programación).
- Ahorro por máquinas que ya no se encuentran paradas diariamente debido a atraso en la programación.

- Ahorro por máquinas que ya no se encuentran paradas diariamente debido a atraso en la entrega de moldes por parte del área de matricería hacia el área productiva.
- Ahorro por cambios de molde doble innecesarios que ya no se realizan.
- Ahorro en el tiempo total de ejecución de los pedidos debido a la optimización del software.

4.2 Componentes

Habíamos visto que para el problema de asignación generalizada debíamos tener una matriz con "m" máquinas y "n" tareas en las cuales apareciera los tiempos de operación de las máquinas para cada producto. Trasladando la información al caso en estudio presentaremos las matrices de productividades de los procesos de inyección, soplado y serigrafía[3].

[3] Para ver los productos de inyección, soplado y serigrafía que corresponden a cada código de molde, ver Apéndice Nº 001, Tabla I a Tabla VII.

TABLA 4.2

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS INYECTORAS

	UNIDADES X HORA			
MÁQUINAS / Cod. de molde	JM168-I	JM168-II	K30	N150
I-01	622	622		
I-02			760	
I-03	489	489		
I-04				274
I-05				520
I-06				253
I-07				385
I-08			1315	
I-09			960	
I-10	755	755		
I-11	1200	1200		
I-12	1500	1500		
I-13	620	620		
I-14	478	478		
I-15			1466	
I-16			1052	
I-17	552	552		

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 4.3 **PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS SOPLADORAS DE 1 ESTACIÓN**

	UNIDADES X HORA			
MÁQUINAS / Cod. Molde	V. F	PK 1	PK 2	PB 1000
S-01			311	334
S-02	311	311	311	342
S-03		268	268	
S-04	279	279	279	
S-05	326	326	326	
S-06	360	360	360	
S-07	326	326	326	
S-08		342	342	
S-09			290	
S-10		311	285	
S-11		311	311	
S-12		311	285	
S-13			311	326
S-14			274	297
S-15				595
S-16	600			
S-17			291	
S-18			407	
S-19				743
S-20				281
S-21				375
S-22			297	311
S-23	137			
S-24	350			
S-25		167	167	
S25-B		167	167	
S-26	400			
S-27		500	500	
S27-B		500	500	
S-28		291	291	
S-29			311	342
S-30				311
S-31				380
S-32	274	274	274	
S-33		342	342	
S-34		297	297	
S-35				311
S-36				311

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 4.4

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS SOPLADORAS DE 2 ESTACIONES

MÁQUINAS / Cod. Molde	UNIDADES X HORA	
	PK 75	PB 2000
SD-01		622
SD-02	639	639
SD-03	684	684
SD-04	642	642
SD-05	590	590
SD-06	720	

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 4.5

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS DE SOPLADO PET

MÁQUINAS / Cod. Molde	UNIDADES X HORA	
	PET I	PET II
SP-01	570	570
SP-02	526	526
SP-03	622	622
SP-04	526	526
SP-05	456	456
SP-06	622	622
SP-07	651	651
SP-08	570	570
SP-09	570	570
SP-10	570	570
SP-11	489	489
SP-12	456	456

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 4.6 **PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS DE SERIGRAFÍA**

	UNIDADES X HORA			
MÁQUINAS / Cod. de molde	MAQUINA 1	MAQUINA 2	MAQUINA 3	MAQUINA 4
SER-01	500	350	500	350
SER-02	900	630	900	630
SER-03	1000	700	1000	700
SER-06	500	350	500	350
SER-07	500	350	500	350
SER-10	250	175	250	175
SER-12	250	175	250	175
SER-15	900	630	900	630
SER-18	1000	700	1000	700
SER-18-B	500	350	500	350
SER-19	425	298	425	298
SER-21	900	630	900	630
SER-21-B	450	315	450	315
SER-22	1000	700	1000	700
SER-23	850	595	850	595
SER-31	850	595	850	595
SER-35	225	158	225	158
SER-36	1000	700	1000	700
SER-37	1000	700	1000	700
SER-39	1000	700	1000	700
SER-41	500	350	500	350
SER-42	425	298	425	298

FUENTE: Elaboración Propia

Nota: En cada uno de los procesos se han agrupado los códigos de molde de la siguiente manera:

Inyección: I-XY

La primera letra “I” viene dada por ser la primera letra de “Inyección”, y XY son los números desde 01 hasta 17; esto quiere decir que existen 17 moldes de inyección.

Soplado 1 Estación: S-XY

La primera letra “S” es por “Soplado” e igualmente que en el caso del proceso anterior, XY representan los números desde 01 hasta 36, salvo por dos moldes que cuentan con una codificación especial (S25-B, S27-B), por lo que en total se cuenta con 38 moldes de Soplado de 1 estación.

Soplado 2 Estaciones: SD-XY

Las letras “SD” son por “Soplado Dos”, es decir Soplado 2 estaciones, e igualmente que en el caso del proceso anterior, XY representan los números desde 01 hasta 06, lo que significa que se tienen 6 moldes dobles (en total 12).

Soplado PET: SP-XY

Las letras “SP” son por “Soplado Pet”, e igualmente que en el caso del proceso anterior, XY representan los números desde 01 hasta 12, lo que representan 12 moldes para Soplado Pet.

Serigrafía: SER-XY

Las letras “SER” son por “Serigrafía” e igualmente, XY representan los números desde 01 hasta 42, salvo por dos moldes que cuentan con una codificación especial (S-18-B, S-21-B). Sin embargo, los moldes de Serigrafía suman un total de 22, al seguir éstos la numeración de los moldes de soplado que llevan serigrafía.

4.2.1 Requerimiento de Producción

Para ejemplificar se tiene el requerimiento real de producción para productos de inyección para una determinada semana:

TABLA 4.7 REQUERIMIENTO DE PRODUCTOS DE INYECCIÓN

CODIGO	DESCRIPCION	ALMACEN	DEMANDA	CODIGO DE MOLDE	PRODUCCION
040000091	TA IMPLICIT TALCO PERF 140 GR	247	3,570	I-01	3,323
040000341	TA EXPRESSION COL REF 180ML CC	2,683	4,000	I-03	1,317
040000339	TA MERCI COL REFRESC 180ML CC	1,980	4,600	I-03	2,620
040000257	TA PLB TALCO 230 GR	983	2,000	I-08	1,017
040000279	TA TALCO PIES DESODOR	94,534	111,853	I-08	17,319
040000256	TA FRESHING TALCO 230 GR	4,181	10,600	I-08	6,419
040000137	TP EROS TAL X 140 GR	0	2,856	I-10	2,856
040000129	TP CARDIGAN TAL X 140G	303	2,856	I-10	2,553
040000130	TP ANDRE TAL. X 140G	1,137	1,286	I-10	149
040000113	TN BLANCO PARA TAL X 140	4,668	6,998	I-11	2,330
040000280	REJ TALCO PIES DESODOR	82,464	124,453	I-12	41,989
040000081	REJILLA N/P	9,059	12,204	I-12	3,145
040000342	TN ESIKA COLON REFRESC 180 ML	6,804	11,800	I-15	4,996

FUENTE: Empresa en estudio.

La quinta columna “CODIGO DE MOLDE”, -creada para el presente trabajo-, utiliza la siguiente lógica: busca en una matriz de productos vs. tipo de molde, este último correspondiente al producto que se está requiriendo y luego con el ordenador de excel se ordenan los códigos de molde de menor a mayor.

Se agruparán ahora los productos por su tipo de molde y se creará una tabla en la que se vean las máquinas inyectoras y sus tiempos de operación previstos para cada cantidad de producto requerido.

TABLA 4.8 MATRIZ DE MAQUINAS VS. PRODUCTOS PARA EL PROCESO DE INYECCIÓN

PRODUCCION TOTAL REQUERIDA (unidades)	3323	3937	24755	5558	2330	45134	4996
	TIEMPO DE DEMORA (HORAS)						
CODIGO DE MOLDE / MÁQUINAS	**I-01**	**I-03**	**I-08**	**I-10**	**I-11**	**I-12**	**I-15**
K30			18.8251				3.4079
JM168-I	5.3424	8.0511		7.3616	1.9417	30.0893	
JM168-II	5.3424	8.0511		7.3616	1.9417	30.0893	

FUENTE: Elaboración Propia

Explicaremos la matriz de arriba:

En base al requerimiento de productos de inyección se ha determinado las posibles máquinas a utilizar y los tiempos previstos de operación para cada pedido.

En la primera fila tenemos los requerimientos de producción agrupados según el tipo de molde que se encuentran en la 3era fila. Estos requerimientos de producción se calculan con una función “SUMAR.SI” que de acuerdo al requerimiento inicial, van sumando las cantidades si es que el tipo de molde es el mismo y asi para cada código de molde.

Los tiempos de demora en horas son calculados dividiendo el requerimiento de producción por la cantidad que se produce en una hora de ese producto para cada tipo de máquina. (Las producciones por hora están dadas en las tablas de productividades por máquina que se encuentran al inicio de la Sección 4.2 del presente capítulo).

Entonces para este requerimiento específico de productos de inyección, necesitamos buscar asignar los productos a las distintas máquinas buscando minimizar el tiempo de realización de todos los trabajos y buscando nivelar nuestra capacidad de planta, por lo que tenemos en frente es un problema de asignación generalizada (número de trabajos a realizar mayor a número de máquinas).

4.3 Modelo Matemático

Definimos la variable de decisión:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ si se asigna la máquina } i \text{ para realizar el producto } j. \\ 0, \text{ si no es asi.} \end{cases}$$

Formulación del problema como programa lineal:

$$MIN\ Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} t_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i = 1,2,...,m \qquad \text{(Cada producto se procesa en una sola máquina)}$$

$$\sum_{i=1}^{m} t_{ij} x_{ij} \le d_i, \qquad j = 1,2,...n \qquad \text{(Limitación del tiempo disponible en cada máquina)}$$

$$x_{ij} = (0\ ,\ 1)$$

siendo:

t_{ij} : el tiempo de realizar el producto j en la máquina i.

d_i : el tiempo disponible en la máquina i.

(Existen "m" máquinas y "n" productos)

Para el caso específico de nuestro problema (requerimiento de productos de inyección) definiremos nuestras variables asi:

A las 3 máquinas que usaremos las llamaremos máquina 1, máquina 2 y máquina 3 según la tabla:

TABLA 4.9 NOMBRAMIENTO DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN

K30	Maq 1
JM168-I	Maq 2
JM168-II	Maq 3

FUENTE: Elaboración Propia

A los 7 productos los llamaremos Producto 1, Producto 2,…, Producto 7, según la tabla:

TABLA 4.10 NOMBRAMIENTO DE PRODUCTOS DE INYECCIÓN

I-01	**I-03**	**I-08**	**I-10**	**I-11**	**I-12**	**I-15**
Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	Producto 6	Producto 7

FUENTE: Elaboración Propia

Tendríamos una nueva tabla (sólo para facilitar el nombramiento de las variables):

TABLA 4.11 MATRIZ MAQUINAS VS PRODUCTOS (INYECCION)

PRODUCCION TOTAL REQUERIDA X MOLDE (UNIDADES)	3323	3937	24755	5558	2330	45134	4996
	TIEMPO DE DEMORA (HORAS)						
CODIGO DE MOLDE / MÁQUINAS	**Pdto 1**	**Pdto 2**	**Pdto 3**	**Pdto 4**	**Pdto 5**	**Pdto 6**	**Pdto 7**
Maq 1			18.8251				3.4079127
Maq 2	5.3424	8.0511		7.3616	1.9417	30.0893	
Maq 3	5.3424	8.0511		7.3616	1.9417	30.0893	

FUENTE: Elaboración Propia

Ya que tenemos más productos que máquinas disponibles estamos en el caso del Problema de Asignación generalizada en el que tenemos que buscar minimizar el tiempo total de ejecución, teniendo como restricciones que cada producto debe ser hecho en una sola máquina y cada máquina tendrá una capacidad disponible determinada.

Nuestro programa lineal se formularía entonces de la siguiente manera:

MIN Z= 18.8251*X13 + 3.4079*X17 + 5.3424*X21 + 8.0511*X22+ 7.3616*X24 + 1.9417*X25 +30.0893*X26 + 5.3424*X31 + 8.0511*X32 + 7.3616*X34 +1.9417*X35 + 30.0893*X36;

X21+X31=1;

X22+X32=1;

X13=1;

X24+X34=1; //Cada producto se procesa en una sola máquina.

X25+X35=1;

X26+X36=1;

X17=1;

5.3424*X21+ 8.0511*X22+ 7.3616*X24+1.9417*X25+30.0893*X26 <=31; //Restricción de la JM168-I

5.3424*X31+ 8.0511*X32+ 7.3616*X34+1.9417*X35+30.0893*X36 <=31; //Restricción de la JM168-II

Al restringir cada máquina a un valor un poco superior al máximo que se requiere para producir un tipo de producto, logramos que el resultado asigne pedidos a ambas máquinas que tienen la misma productividad y pueden hacer los mismos tipos de producto.

La solución en Lingo resulta:

Global optimal solution found at iteration: 0

Objective value: 75.01910

Variable	Value	Reduced Cost
X13	1.000000	0.000000
X17	1.000000	0.000000
X21	1.000000	5.342400
X22	1.000000	8.051100
X24	1.000000	7.361600
X25	1.000000	1.941700
X26	0.000000	30.08930
X31	0.000000	5.342400
X32	0.000000	8.051100
X34	0.000000	7.361600
X35	0.000000	1.941700
X36	1.000000	30.08930

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	75.01910	-1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	-18.82510
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	-3.407900

9	8.303200	0.000000
10	0.9107000	0.000000

Interpretando la solución tenemos primeramente:

- La segunda fila que dice “Objective Value” que es igual a 75.0190, quiere decir que el valor total de horas objetivo del problema es 75.0190.

- Las variables que tiene 1 como resultado:

  X13 = X17 = X21 = X22 = X24 = X25 = X36 = 1

Lo que quiere decir lo siguiente:

Recordando como habíamos llamado a las máquinas:

TABLA 4.12 NOMBRAMIENTO DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN

K30	Maq 1
JM168-I	Maq 2
JM168-II	Maq 3

FUENTE: Elaboración Propia

Y a los productos:

TABLA 4.13 NOMBRAMIENTO DE PRODUCTOS DE INYECCIÓN

I-01	**I-03**	**I-08**	**I-10**	**I-11**	**I-12**	**I-15**
Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4	Producto 5	Producto 6	Producto 7

FUENTE: Elaboración Propia

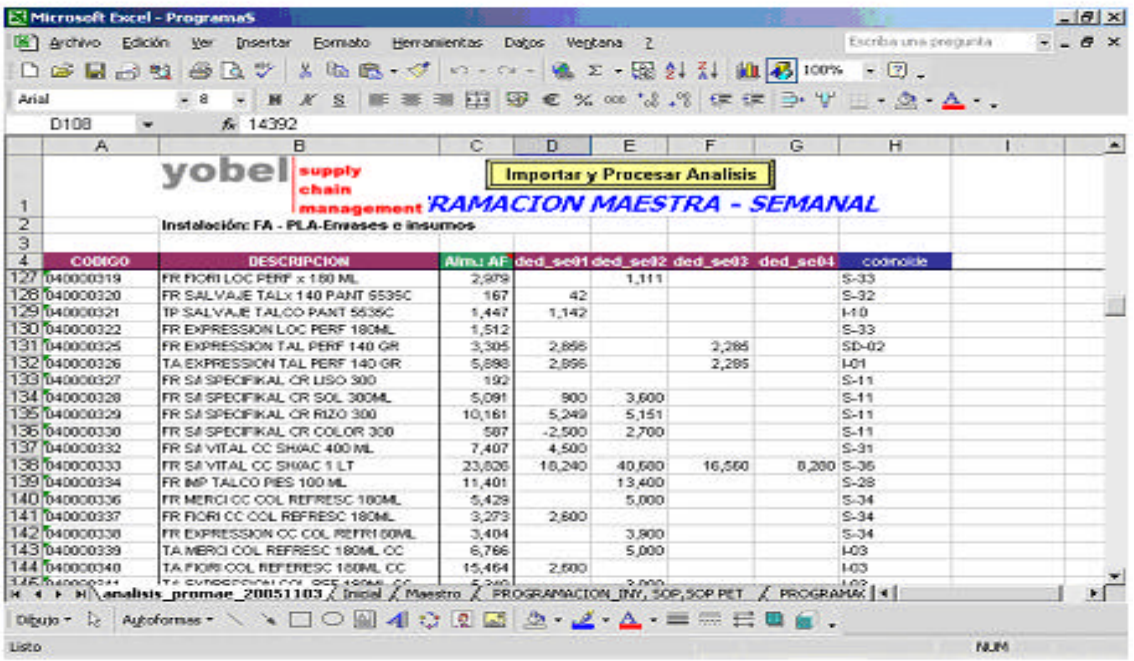
Tenemos que:

- La K30 procesará los moldes I-08 e I-15.
- La JM168-I procesará los moldes I-01, I-03, I-10 e I-11.
- La JM168-II procesará el molde I-12.

4.4 Ejecución

El requerimiento inicial se presenta en una hoja de cálculo que es lo que viene a ser el MRP, ya presentado hojas atrás. Esta hoja con el software creado, automáticamente calcula las demandas semanales, el tipo de molde y la posibilidad de acercarnos a horizontes quincenales y mensuales.

Figura 4.2: Requerimiento real de producción



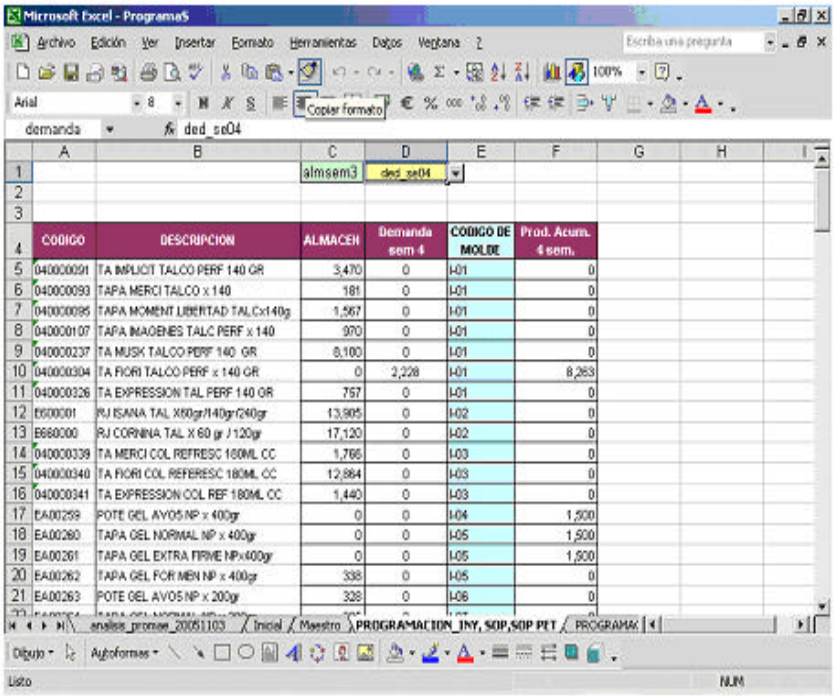
Fuente: Elaboración Propia

Lo que vemos son columnas que dice “ded-se01”, “ded_se02”, etc. que significan demanda semana 1, demanda semana 2 hasta la semana 4, respectivamente y, a la derecha dice “codmolde” es la columna que calcula qué tipo de molde usa el producto, -como ya se explicó anteriormente-, todo esto sucede al pulsar el botón “Importar y Procesar Análisis” el cual contiene una macro que abre el archivo del MRP, lo procesa y se obtienen estos resultados.

Luego al ver la programación detallada de cada proceso por semanas automáticamente se accede a una hoja en la cual se verá ordenados por tipo de molde y con una opción para cambiar el horizonte sobre el cual se desea trabajar (semanal, quincenal ó mensual).

La hoja es la sgte:

Figura 4.3: Requerimiento detallado de producción (por procesos)



Fuente: Elaboración Propia

Los productos están agrupados ahora por tipo de molde y en la parte superior en donde dice "ded_se01" (significa demanda semana 1) bastará hacer un click en la flecha respectiva para

que se despliegue una lista de las demandas de 4 semanas comenzando con el instante actual. Como ejemplo para una demanda de 1 semana veremos para el proceso de inyección el requerimiento de algunos de los productos y la solución por programación lineal (máquina asignada).

TABLA 4.14 Matriz de Máquinas vs. Productos de Inyección (Hoja de Excel enlazada con LINGO)

PRODUCCION TOTAL REQUERIDA	10000			10000	10000			34357
	TIEMPO DE DEMORA (HORAS)							
CODIGO DE MOLDE / MÁQUINAS	**I-01**	**I-02**	**I-03**	**I-04**	**I-05**	**I-06**	**I-07**	**I-08**
JM168-I	16.082							
JM168-II	16.082							
K30								26.119
N150				36.550	19.231			

FUENTE: Elaboración propia

Cabe resaltar que el programa en Lingo está enlazado con Excel. Para que el software pueda resolver cualquier requerimiento que se presente en el archivo en Excel, se ha hecho lo siguiente en Lingo: se han agrupado las variables binarias (que se presenta en este caso para el proceso de Inyección), los tiempos de operación en otra matriz, las máquinas en un campo especial, finalmente los productos y las disponibilidades de máquina.

Analizando el producto I-01 se pueden hacer en 2 máquinas y el resultado se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 4.15: MATRIZ BINARIA SOLUCIÓN (MEDIANTE LINGO)

CODIGO DE MOLDE / MÁQUINAS	I-01	I-02	I-03	I-04	I-05	I-06	I-07	I-08
JM168-I	1	0	0	0	0	0	0	0
JM168-II	0	0	0	0	0	0	0	0
K30	0	0	0	0	0	0	0	1
N150	0	0	0	1	1	0	0	0

FUENTE: Elaboración propia

Siguiendo con el producto I-01 sale que se debe producir en la inyectora JM168-I. Esta resolución sale ejecutando el programa en Lingo y luego en Excel se calcula una fórmula multiplicando sus horas requeridas en esa máquina por el "1", que en este caso es el resultado.

TABLA 4.16: OCUPACION DE MAQUINAS POR TIPO DE MOLDE CON UNIDADES Y HORAS A PRODUCIR

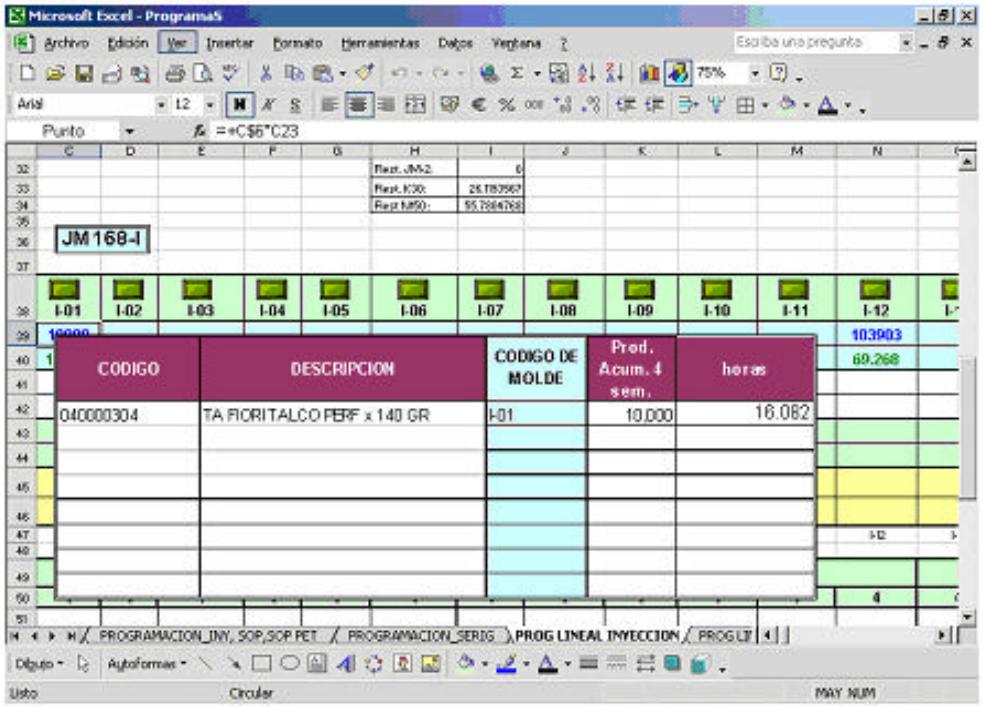
CODIGO DE MOLDE		I-01	I-02	I-03	I-04	I-05	I-06	I-07	I-08
JM168-I	Unidades	10000							
	Horas	16.082							
JM168-II	Unidades								
	Horas								
K30	Unidades								34357
	Horas								26.119
N150	Unidades				10000	10000			
	Horas				36.550	19.231			

FUENTE: Elaboración propia

En cuestión de segundos tenemos un panorama claro de la ocupación de las máquinas y además podemos estar seguros que es la óptima.

Si queremos ver todos los productos que se están requiriendo (actualmente solo se muestra el tipo de molde), bastará con hacer un clic en el tipo de molde. Por ejemplo, al hacer clic en el tipo de molde “I-01” saldrá lo siguiente:

Figura 4.4:Detalle de productos por tipo de molde I-01



Fuente: Elaboración Propia

Y finalmente para verlo gráficamente como Diagrama de Gantt (lo cual servirá principalmente al Jefe de Manufactura, el Supervisor de Turno, el Supervisor de Matricería y los operarios en general) tenemos la siguiente pantalla:

FIGURA 45: DIAGRAMA DE GANTT

Días / MÁQUINAS / Horas	Sábado 1 de Abril de 2006						Lunes 3 de Abril de 2006					
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
JM168-I												
	I-01	I-01	I-01	I-01	I-01							
JM168-II												
	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12	I-12
K30												
	I-08	I-08	I-08	I-08	I-08	I-08	I-08					
N150												
	I-05	I-05	I-05	I-05	I-05	I-04	I-04	I-04	I-04	I-04	I-04	I-04

FUENTE: Elaboración Propia

Se ve, siguiendo con el molde en análisis, I-01, que éste ocupa prácticamente 20 horas del día Sábado 1 de abril. Aunque su tiempo de proceso es de 16.082 horas, en este gráfico se incluye una fórmula que suma por cada producción el tiempo por cambio de molde (2.5 horas para el caso de inyección).

De manera similar se ejecutarían los otros procesos.

De esta manera diariamente el personal obrero de matricería, su Supervisor, el Supervisor de turno, y las demás áreas de Plásticos podrán visualizar las variaciones y comenzar a alinearse con el programa logrando disminuir notoriamente los tiempos en espera.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS, RENTABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL MODELO

En este capítulo, se realiza el contraste y la validación del modelo matemático y sus resultados con los datos reales de producción. Se podrá ver como mensualmente se incrementan las ventas y se reducen costos en función del ahorro de tiempo; que para todos los casos tiene un valor monetario. Se hará previamente un análisis de los costos para los productos de los diferentes procesos del área de Plásticos.

5.1 Análisis de costos de productos de inyección, soplado y serigrafía

A continuación se procederá a efectuar un análisis de los costos de producción de los productos de inyección, soplado y serigrafía (Tablas 5.1, 5.2 y 5.3) de manera que en la siguiente sección se puedan usar sus valores para estimar los ahorros proyectados para los siguientes meses y años.

TABLA 5.1

Costo del Proceso de Inyección

Costo de materiales

Peso promedio de una tapa inyectada (gr) :	8
Componentes Tapa :	Polipropileno, Pigmento
Proporción de Polipropileno en la tapa:	99.01%
Proporción Pigmento en la tapa:	0.99%

Costo Polipropileno ($/gr)	0.0015
Costo Unitario x Polipropileno ($/u)	**0.0119**
Costo Pigmento ($/gr)	0.035
Costo Unitario x Pigmento ($/u)	**0.0028**

Costo de materiales total ($/u):	**0.0147**

Costos operativos

Ciclo promedio de una tapa (u/hora) :	740
Costo promedio hora-máquina inyectora($/hora) :	8.5

Costo operativo total ($/u) :	**0.0115**

Costo de Producción de Tapa Inyectada ($/u)	**0.0261**
Costo de Producción de Tapa Inyectada (S/./u)	**0.0876**
Margen	**53%**
Precio sin IGV ($/u)	**0.0400**
Precio de Venta Tapa Inyectada con IGV ($/u)	**0.0476**
Precio de Venta Tapa Inyectada con IGV (S/./u)	**0.1595**
Utilidad unitaria por tapa de inyección (S/./u)	**0.0719**

FUENTE: Elaboración Propia

Se ha visto entonces el cálculo del costo de producción y precio de venta unitarios de una tapa del proceso de inyección. Para calcular el costo de materiales se tiene en cuenta el gramaje del producto y sus proporciones de materia prima base y pigmento y, para el cálculo de los costos operativos se tiene en cuenta el costo por hora-máquina de la inyectora, teniendo presente

además que dentro de éste costo ya se está considerando el costo de mano de obra y personal empleado que labora en la planta (para ver el cálculo del costo por hora-máquina para los distintos procesos ver el Apéndice Nº 004). Para calcular el precio de venta se asume un margen del 53% determinado por la Empresa sobre el costo del producto y luego incrementado por el 19% correspondiente al IGV. De igual manera se presentarán los costos y precios de venta unitarios para los productos de soplado y serigrafía.

TABLA 5.2

Costo del Proceso de Soplado

Costo de materiales

Peso promedio de un envase soplado (gr) :	35
Componentes de un Envase :	Polipropileno, Pigmento
Proporción de Polipropileno en envase:	98.91%
Proporción de Pigmento en envase	1.09%
Costo Polipropileno ($/gr)	0.0015
Costo Unitario x Polipropileno ($/u)	**0.0519**
Costo Pigmento ($/gr)	0.035
Costo Unitario x Pigmento ($/u)	**0.0134**
Costo de materiales total ($/u):	**0.0653**

Costos operativos

Ciclo promedio de un envase (u/hora) :	330
Costo promedio hora-máquina sopladora ($/hora) :	10
Costo operativo total ($/u) :	**0.0303**

Costo de Producción de Envase Soplado ($/u)	**0.0956**
Costo de Producción de Envase Soplado (S/./u)	**0.3203**

Margen	**53%**

Precio sin IGV ($/u)	**0.1463**
Precio de Venta Envase con IGV ($/u)	**0.1741**
Precio de Venta Envase con IGV (S/./u)	**0.5831**

Utilidad unitaria por Envase (S/./u)	**0.2628**

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 5.3

Costo del Proceso de Serigrafía

Costo de materiales

Peso promedio de un envase soplado (gr) :	36
Componentes Serigrafía :	Tinta
Proporción en peso de Tinta con respecto al envase	2.08%

Costo Tinta ($/gr)	0.005
Costo Unitario x Tinta ($/u)	**0.0037**

Costo de materiales total ($/u):	**0.0037**

Costos operativos

Ciclo promedio de un envase (u/hora) :	680
Costo promedio hora-máquina ($/hora) :	4

Costo operativo total ($/u) :	**0.0059**

Costo total del Proceso de Serigrafía ($/u)	**0.0096**

Costo de Producción de Envase Soplado + Serigrafía ($/u)	**0.1052**
Costo de Producción de Envase Soplado + Serigrafía (S/./u)	**0.3525**
Margen	**53%**

Precio de Venta sin IGV envase soplado + serigrafía ($/u)	**0.1610**
Precio de Venta sin IGV envase soplado + serigrafía (S/./u)	**0.5394**
Precio de Venta con IGV envase soplado + serigrafía ($/u)	**0.1916**
Precio de Venta con IGV envase soplado + serigrafía (S/./u)	**0.6419**
Utilidad unitaria x envase serigrafiado (S/./u)	**0.2893**

FUENTE: Elaboración Propia

5.2 Contraste con datos reales

La programación de la producción normalmente ha sido un "cuello de botella" para el Jefe de Manufactura o Administrador de la Planta y para la Planta de Plásticos, debido a la variabilidad de la demanda diaria, los nuevos pedidos que se dan durante el día, el estado en que se encuentran los moldes, la disponibilidad de las máquinas, etc.

Con certeza podemos decir que lo que demoraba normalmente 4 horas diarias al Programador de la Producción hoy le demora 1 hora en base a la velocidad del Proyecto-software para el proceso de asignación de máquinas, es decir, estamos viendo un ahorro de 3 horas diarias del Jefe de Manufactura. Teniendo en cuenta que éste trabaja 26 días al mes, se tiene un ahorro de 78 horas mensuales. Además teniendo en cuenta que su sueldo es de S/. 2000 podemos obtener el ahorro expresado en términos monetarios. Es importante mencionar que la demora en la programación trae consigo toda una cadena que representa menos tiempo para el Supervisor de turno para decidir sobre los productos que requieren asignarles máquinas, menor tiempo para el Jefe de Logística para realizar la compra de materiales y una desinformación sobre los productos venideros en las áreas de matricería y mantenimiento lo que trae como consecuencia tiempos ociosos debido a moldes para producción no listos, máquinas en mal estado, etc.

5.2.1 Incremento de Utilidades

Comenzaremos hablando de las reducciones de costos que se están logrando con la implementación del Proyecto. Éstas están relacionadas directamente con reducción de horas extras (y por ende ahorro en costos de horas extras) y con el tiempo demandado diariamente por el Jefe de Manufactura que se acortaría lo cual implica también un ahorro en costos.

De esta manera tenemos algunos de los ahorros más importantes que se están dando:

- Ahorro en tiempo de programación de la producción.
- Ahorro en horas extras del personal obrero de matricería por reparación de moldes urgentes (mala programación).
- Ahorro en horas extras personal obrero de inyección y soplado por pedidos urgentes (mala programación).
- Ahorro por máquinas que ya no se encuentran paradas diariamente debido a atraso en la programación.
- Ahorro por máquinas que ya no se encuentran paradas diariamente debido a atraso en la entrega de moldes por parte del área de matricería hacia el área productiva.
- Ahorro por cambios de molde doble innecesarios que ya no se realizan.
- Ahorro en horas semanales en el tiempo total de ejecución de los pedidos debido a la optimización del software.

El incremento de utilidades que se está dando se debe a que se han eliminado en gran medida tiempos muertos y se ha optimizado el tiempo total de ejecución de los pedidos debido al software y también se ha optimizado la secuencia del programa. Al tener una secuencia y programa más eficientes se logra tener una mayor disponibilidad para nuevos clientes que se han conseguido y que se siguen buscando.

5.2.2 Programación de la Producción

Es importante señalar que el ahorro en el tiempo de programar la producción (Programador de la producción) a su vez conlleva al hecho de que éste se dedique a negociar mejor con las otras cadenas (diariamente posee 3 horas más para hacerlo como se ve en la Tabla Nº 5.4 de abajo) a las cuales abastece para mejorar la secuenciación de la producción (por ejemplo para las coordinaciones de los colores que irán primero[1], o si es que se ve poca demanda de un molde pedir a otro cliente cuyo producto se hace con el mismo molde si desea más producción, etc.). Es decir la labor de decisión más tediosa se la ha dejado al software.

TABLA Nº 5.4
AHORRO EN TIEMPO DE PROGRAMACION DE LA PRODUCCION

Tiempo diario ahorrado para programar la producción (horas):	3
Días laborables al mes :	26
Horas mensuales ahorradas de programación:	78
Sueldo mensual Programador (S/./mes):	2000
Horas de trabajo diarias :	8
Costo por hora de programador :	9.6154
Ahorro mensual en Programación de la Producción (S/./mes):	750

FUENTE: Elaboración Propia

El cálculo del ahorro en costos en lo que se refiere a la Programación de la Producción se calcula con el tiempo que le ha estado tomando programar la producción al Programador (en promedio son 4 horas diarias) y el tiempo que le toma ahora con la implementación del Proyecto (1 hora diaria). En base a esto se calculan las horas mensuales ahorradas y luego en base a su sueldo mensual se calcula el valor hora del Programador y tenemos este ahorro expresado en términos de soles por mes.

[1] Generalmente cuando existe una producción de varios productos que requieren un mismo molde, conviene comenzar con los productos de colores más claros. Esto reduce los costos debidos al cambio de color.

5.2.3 Ahorro en horas extras personal obrero de matricería

El área de matricería es un área que muchas veces sufre las consecuencias con excesos de horas extras para sus operarios lo que a su vez trae consigo cansancio y por ende mala calidad en el trabajo. Incluso sus obreros son los que tienen más problemas de sanciones laborales por parte de la jefatura del área productiva por no presentar moldes listos para la producción. Pero gran parte de esto se origina debido a que no tiene un programa exacto de la producción venidera (pueden ir a ver las distintas órdenes de trabajo que se ubican en las máquinas pero una solución gráfica como el diagrama de Gantt es mucho mejor). Por lo tanto es un área beneficiada con este trabajo al tener acceso por medio de la computadora de la planta a un gráfico Gantt que con un horizonte semanal, quincenal e incluso mensual les ofrece una mejor idea de fechas de requerimientos de moldes listos. Semanalmente se está pagando 8 horas extras menos y por tanto se están incurriendo en menos horas extras del personal obrero de esta área.

TABLA Nº 5.5
AHORRO EN HORAS EXTRAS PERSONAL OBRERO DE MATRICERÍA

Tiempo extra semanal ahorrado por arreglos urgentes de molde (horas) :	8
Sueldo obrero matricería (S/.) :	1000
Días laborables por mes :	26
Semanas x mes :	4
Horas diarias laborables	8
Valor hora (S/./hora):	4.808
Valor hora extra simple , 25% más (S/.hora extra simple) :	6.010
Ahorro mensual personal de matricería (S/./mes)	192

FUENTE: Elaboración Propia

5.2.4 Ahorro en horas extras personal obrero de inyección y soplado

Asi como se ha observado un ahorro en los costos por horas extras del personal de matricería se han ahorrado también en el personal obrero de inyección y soplado, todo considerando siempre a lo que se refiere a problemas con la programación (es decir lo que se ahorra actualmente en horas extras del personal obrero se refiere a los problemas de programación, mas no las horas extras que se dan por grandes requerimientos de producción). Sin embargo las horas extras en el personal obrero han sido reducidas y por tanto se tiene la siguiente tabla:

TABLA Nº 5.6
AHORRO EN HORAS EXTRAS PERSONAL OBRERO DE INYECCIÓN Y SOPLADO

Número de domingos ahorrados mensualmente (dias/mes):	1
Número de trabajadores promedio por domingo :	6
Horas dominicales :	8
Valor 1 Hora extra dominical (S/./hora):	4.423
Ahorro mensual personal de inyección-soplado (S/./mes) :	212

FUENTE: Elaboración Propia

5.2.5 Ahorro por máquinas que ya no se encuentran paradas diariamente debido a atraso en la programación

El atraso en la programación se refiere directamente al Programador de la planta y las complicaciones que han existido para programar la producción, una consecuencia directa son los atrasos de las máquinas que vienen a ser tiempos muertos. Se debe analizar de la siguiente manera: al disminuir los tiempos ociosos por ya no haber atrasos debido a la programación se tendrá mayor producción diaria, semanal y consecuentemente mensual. Resulta lógico entonces que las ventas se incrementarán siempre y cuando existan nuevos

clientes. Se mostrará el detalle de cómo calcular el incremento de utilidades debido a los ahorros que se dan por ya no haber atrasos en la programación en la siguiente tabla:

TABLA Nº 5.7

AHORRO POR MÁQUINAS QUE YA NO SE ENCUENTRAN PARADAS DIARIAMENTE DEBIDO A ATRASO EN LA PROGRAMACIÓN

Ahorro en tiempo total (horas) de máquinas inyectoras paradas en un día (4 máquinas inyectoras) :	1
Días operativos mensuales :	26
Horas perdidas mensuales :	26
Promedio unidades /hora en máquinas inyectoras :	740
Utilidad promedio producto de inyección (S/./u) :	0.0719
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	1383
Ahorro en tiempo total (horas) de máquinas sopladoras paradas en un día (8 máquinas sopladoras) :	2
Días operativos mensuales :	26
Horas perdidas mensuales :	52
Promedio unidades /hora en máquinas sopladoras :	330
Utilidad promedio producto de soplado (S/./u) :	0.2628
Porcentaje de productos que solo llevan soplado (no serigrafía)	40%
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	1804
Ahorro en tiempo total (horas) de máquinas serigráficas paradas en un día (4 máquinas serigráficas) :	0.333
Días operativos mensuales :	26
Horas perdidas mensuales :	8.667
Promedio unidades /hora en máquinas serigráficas :	680
Utilidad promedio producto con serigrafía (S/./u) :	0.2893
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	1705

FUENTE: Elaboración Propia

Explicando los costos presentados tenemos que, por ejemplo, al considerar que las máquinas inyectoras se encuentran paradas por atraso en la programación un promedio de 1 hora diariamente, quiere decir que al haber 4 máquinas inyectoras, hay un promedio de máquinas paradas de 15 minutos diarios por cada una (tiempos ya determinados por la empresa para los 3 procesos); esto luego se analiza mensualmente tomando en cuenta los días operativos por

mes, con las unidades promedio por hora que produce una máquina inyectora y su utilidad unitaria respectiva y llegamos a calcular el incremento de utilidades que existe debido al software. Situación similar sucede con las máquinas sopladoras y las de serigrafía.

5.2.6 Ahorro por máquinas con sus accesorios en el tiempo requerido

Para hacer un análisis de los tiempos de espera debido a los atrasos en el mantenimiento y/o reparación de moldes por parte del personal de matricería se hace un estimado, –similarmente al caso anterior-, de las horas semanales perdidas determinadas por la Empresa, -hasta antes de la implementación del software desarrollado en la presente investigación-, por demoras en la entrega de moldes por parte de los matriceros al personal de producción. Luego se calculan las horas perdidas mensualmente y se procederá a convertir estos valores de horas en valor de unidades y luego en valor monetario (Ver Tabla 5.8).

TABLA Nº 5.8

AHORRO POR MÁQUINAS CON SUS ACCESORIOS EN EL TIEMPO REQUERIDO

Ahorro en tiempo total (horas) de máquinas inyectoras paradas en una semana (4 máquinas inyectoras) :	2
Semanas x mes :	4
Horas perdidas mensuales :	8
Promedio unidades /hora en máquinas inyectoras :	740
Utilidad promedio producto de inyección (S/./u) :	0.0719
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	426
Ahorro en tiempo total (horas) de máquinas sopladoras paradas en una semana (8 máquinas sopladoras) :	4
Semanas x mes :	4
Horas perdidas mensuales :	16
Promedio unidades /hora en máquinas sopladoras :	330
Utilidad promedio producto de soplado (S/./u) :	0.2628
Porcentaje de productos que solo llevan soplado (no serigrafía)	40%
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	555

Ahorro en tiempo total (horas) de máquinas serigráficas paradas en una semana (4 máquinas serigráficas) :	1
Semanas x mes :	4
Horas perdidas mensuales :	4
Promedio unidades /hora en máquinas serigráficas :	680
Utilidad promedio producto serigrafiado (S/./u) :	0.2893
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	787

FUENTE: Elaboración Propia

Esta condición de máquinas paradas por molde que no se encuentra listo para colocarlo en la máquina es una consecuencia indirecta de la falta de información que tiene el personal de matricería como ya se explicó en líneas anteriores.

5.2.7 Ahorro por cambios de molde doble innecesarios que ya no se realizan

Para explicar los dobles cambios de molde innecesarios, como se ilustró en el Capítulo IV éstos se dan semanalmente debido a urgentes y/o a una mala programación que puede venir derivada de una mala negociación con el cliente no necesariamente por parte del área de Plásticos sino por parte de las otras áreas que son las que reciben los pedidos directos del cliente. Al hacer un doble cambio de molde innecesario según el proceso se están perdiendo desde 2.5 horas en el caso de Inyección hasta 3 ó 4 horas en el proceso de Soplado. Teniendo en cuenta que semanalmente se incurren en estos dobles cambios se toman datos reales de la empresa sobre los cambios de molde debido a urgentes y mala programación existentes semanalmente en cada proceso, para proceder a calcular el ahorro que se ha observado por el software. El detalle se muestra a continuación en la Tabla 5.9:

TABLA Nº 5.9

AHORRO POR CAMBIOS DE MOLDE DOBLE INNECESARIOS QUE YA NO SE REALIZAN

Ahorro semanal en dobles cambio de molde de inyección (2 cambios x 2.5 Horas/cambio) :	5
Nro de semanas /mes :	4
Horas perdidas mensuales por cambios innecesarios de molde	20
Promedio unidades /hora en máquinas inyección :	740
Utilidad promedio producto de inyección (S/./u) :	0.0719
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	1064

Ahorro semanal en dobles cambio de molde de soplado (2 cambios x 3 Horas/cambio) :	6
Nro de semanas /mes :	4
Horas perdidas mensuales por cambios innecesarios de molde	24
Promedio unidades /hora en máquinas soplado :	330
Utilidad promedio producto de soplado (S/./u) :	0.2628
Porcentaje de productos que solo llevan soplado (no serigrafía)	40%
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	833

Ahorro semanal en dobles cambio de molde de serigrafía (3 cambios x 0.5 Horas/cambio) :	1.5
Nro de semanas /mes :	4
Horas perdidas mensuales por cambios innecesarios de molde	6
Promedio unidades /hora en máquinas serigrafía :	680
Utilidad promedio producto serigrafiado (S/./u):	0.2893
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	1180

FUENTE: Elaboración Propia

Nuevamente se ve que dado que un cambio de molde dura 0.5 horas para serigrafía, 2.5 horas para inyección y 3 a 4 horas en soplado estas cantidades de horas representan un número de unidades que se dejan de producir y por lo tanto un dinero que la Empresa deja de percibir. Es de esta manera que se tiene con este motivo (implementación del software) un incremento considerable de las utilidades.

5.2.8 Ahorro estimado en horas semanales en el tiempo total de ejecución de los pedidos

El ahorro en el tiempo total de ejecución de los pedidos, como es de suponer, es importante ya que esta diferencia que se logra al hacer los pedidos en menor tiempo equivale a producir más pedidos justamente en ese tiempo que se está ahorrando. Para el cálculo de las horas semanales ahorradas en cada proceso se ha estimado un porcentaje del 5% de ahorro según las horas totales mensuales que se estiman por cada proceso (Ver Tabla 5.10) ya que ese porcentaje al hacer una estadística en la Empresa Yobel-Plásticos es el ahorro de horas (se encuentra dentro del rango del 5 al 10 %, sin embargo, se ha optado por tomar el menor valor del 5%).

TABLA Nº 5.10

AHORRO EN EL TIEMPO TOTAL DE EJECUCIÓN DE LOS PEDIDOS DEBIDO A LA OPTIMIZACIÓN DEL SOFTWARE

Horas promedio mensuales de Inyección (50% de Capacidad	1248
Horas mensuales ahorradas estimadas en Inyección (5%) :	62
Promedio unidades /hora en máquinas Inyección :	740
Utilidad promedio producto de inyección (S/./u) :	0.0719
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	3319
Horas promedio mensuales de Soplado (65% de Capacidad)	3245
Horas mensuales ahorradas estimadas en Soplado (5%):	162
Promedio unidades /hora en máquinas Soplado :	330
Utilidad promedio producto de soplado (S/./u):	0.2628
Porcentaje de productos que solo llevan soplado (no serigrafía)	40%
Incremento utilidades mensual (S/./mes):	5629
Horas promedio mensuales de Serigrafía (75% de Capacidad 1 Turno) :	624
Horas mensuales ahorradas estimadas en Serigrafía (5%):	31
Promedio unidades /hora en máquinas Serigrafía :	680
Utilidad promedio producto serigrafiado (S/./u):	0.2893
Incremento utilidades mensual (S/./mes) :	6138

FUENTE: Elaboración Propia

Se presenta a continuación la tabla 5.11, en la que se puede apreciar el incremento de utilidades expresado en cantidad y en porcentaje:

TABLA 5.11

TOTAL INCREMENTO UTILIDADES MENSUAL (S/./mes)	**25977**

TOTAL INCREMENTO UTILIDADES ANUAL (S/./año)	**311729**
TOTAL INCREMENTO UTILIDADES ANUAL ($/año)	**93053**
UTILIDADES MENSUALES PROMEDIO AREA PLASTICOS (S/. MES)	**470589**
% INCREMENTO UTILIDADES	**6%**

FUENTE: Elaboración Propia

Asimismo se presenta la tabla 5.12 que resume las cantidades respecto al incremento de la capacidad de planta.

TABLA 5.12

Incremento de horas mensuales	**421**
Horas mensuales en inyección , Soplado y Serigrafía	**5117**
Incremento de la capacidad de Planta	**8%**

FUENTE: Elaboración Propia

5.3 Rentabilidad del Proyecto

A partir de estos resultados semanales y mensuales, se hicieron los respectivos análisis del Proyecto de Implementación del Software. Se presenta a continuación el análisis de rentabilidad del Proyecto considerando que la inversión del Software LINGO (necesario parta la ejecución del mismo) es de $4000 y que los ahorros en costos son los determinados en las páginas anteriores.

El método que se presenta es el análisis VAN (Valor Actual Neto) para el cual se debe calcular el Flujo de Caja para un período de tiempo y teniendo en cuenta el costo de oportunidad del inversionista de la Empresa en estudio que es del 11%.

Se analizará primeramente el Estado de Pérdidas y Ganancias:

TABLA Nº 5.13

ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS

Valor del Software ($)	4000				
	AÑO 1	**AÑO 2**	**AÑO 3**	**AÑO 4**	**AÑO 5**
UTILIDADES PROYECTO ($)	93053	97706	102591	107721	113107
DEPRECIACIÓN (20 % ANUAL)	800	800	800	800	800
UTILIDAD ANTES DE INTERESES E IMPUESTOS	92253	96906	101791	106921	112307
PARTICIPACIÓN LABORAL (10%)	9225	9691	10179	10692	11231
IMPUESTO A LA RENTA (30%)	24908	26165	27484	28869	30323
UTILIDAD NETA POR PROYECTO ($)	58120	61051	64129	67360	70753

FUENTE: Elaboración Propia

La utilidad para el 1er año se ha calculado como la utilidad del primer mes multiplicada por 12 y las utilidades para los años subsiguientes al primero se han estimado como un incremento del 5% anual contando que se tendrán mejoras progresivas por el conocimiento de todas las áreas del programa de plásticos y los incrementos en la demanda.

Habiendo calculado ya lo referido a Participación Laboral e Impuesto a la Renta, pasaremos a evaluar el Flujo de Caja anual para determinar la rentabilidad del Proyecto.

TABLA Nº 5.14

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Valor del nuevo software ($)	4000
Costo de Oportunidad en Yobel SCM:	11%

	FLUJO DE CAJA ($)					
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN ($)	(4000)					
UTILIDADES PROYECTO ($)		93053	97706	102591	107721	113107
PARTICIPACIÓN LABORAL		9225	9691	10179	10692	11231
IMPUESTO A LA RENTA		24908	26165	27484	28869	30323
FLUJO NETO ($)	(4000)	58920	61851	64929	68160	71553

VAN ECONÓMICO DE PROYECTO ($)	**234118**

FUENTE: Elaboración Propia

Tenemos así un VAN para un horizonte de 5 años de $ 234118, lo que indica que el proyecto es viable ya que la condición necesaria y suficiente es que el VAN sea mayor que cero. Además cabe resaltar que mientras el valor sea más alto, el proyecto será más rentable.

5.4 Resultados del planeamiento

Aunque ha transcurrido un mes desde la implementación del nuevo sistema para la programación de la producción en el área de plásticos se han visto resultados importantes como se ha detallado en lo referente a los incrementos de utilidades en la sección anterior.

Un caso ideal en la programación de plásticos es que mensualmente se hagan todos los productos que requieren el uso de un determinado molde de una sola "corrida"[2] en cada una de las máquinas que cuenta el área. Sin embargo, dada la situación que se encontraba el área, el objetivo mensual era algo utópico ya que se veía que semanalmente habían siempre dobles cambios de molde en muchas de las máquinas. Se planteó de esta manera el objetivo semanal, esto es, semanalmente en todas las máquinas de todos los procesos no se debía subir 2 veces el mismo molde. Para lograrlo, se entregó la lista de moldes y los productos que éstos contenían (Ver Apéndice N° 001) a las cadenas de Cremas-Shampoos, Colonias-Talcos y Transformaciones.

Otro hecho importante es que las diversas áreas pueden ingresar a la computadora de planta para visualizar gráficamente el programa lo que no solamente estaría eliminando los tiempos de espera mencionados sino que en lo referido a máquinas malogradas se debe observar una considerable mejora debido a que el personal de mantenimiento según el programa que visualiza verifica la disponibilidad de máquinas y de esta manera puede realizarles el mantenimiento preventivo en coordinación con la Administración de Planta. Este dato de mantenimiento, sin embargo no parece haber mejorado hasta el momento pero se pretende que el personal del área mencionada se involucre de una manera más eficiente y de esta manera lograr resultados más satisfactorios. Asi se podría llegar a un planeamiento más preciso del área de mantenimiento, considerando que al conocerse los tiempos de demora para operaciones de mantenimiento (revisión de cabezal, de motor, lubricación de aceite, etc.) se

[2] Una sola "corrida" se refiere a producir todos los productos que requieran un molde en una máquina y una vez que se termina no colocar el molde nuevamente.

puede determinar mediante el gráfico Gantt para las máquinas del área en qué momentos comenzar a realizar mantenimiento preventivo, qué máquina está sin carga para hacerle una revisión, etc.

Por otro lado, ya que se ha observado la mejoría en la entrega de moldes por parte de matricería hacia el área productiva resta analizar el porcentaje restante las causas que siguen. Por ejemplo, dado que se tiene una mejor visión del programa, se están elaborando ahora los DOPs, funciones, operaciones, etc. de los procesos del área de matricería; todo esto con el objetivo de determinar con precisión las operaciones que debe seguir un molde antes de entrar a producción, luego de salir de producción, el mantenimiento que deben seguir y todas las operaciones que lo involucran, el número de prensadas[3] después del cual se les debe hacer una revisión general, etc. De esta manera se estaría logrando un mayor control de los tiempos que requiere el área, el personal requerido, las Horas-hombre necesarias para cumplir con el programa, etc.

Otro dato importante es que el almacenero-pigmentador puede dar ahora con más facilidad la voz de alerta respecto a la materia prima requerida observando el programa de producción con un horizonte semanal y mensual. Ciertamente, no es lo ideal que éste "apague incendios" pero esto sucede cuando no coincide la cantidad física real con la del sistema. A su vez, esto se da cuando no se ha colocado la cantidad real descargada en una orden de producción por algún problema de pesaje, desperdicio no considerado, etc.

El Supervisor de Turno a su vez fue una persona importante al momento de determinar la matriz de Máquinas vs. Productos que contenían los ciclos para los distintos productos. Dado que esta matriz sirve para el problema de asignación de máquinas para los distintos pedidos, la tarea de asignación resultaba en una labor tediosa para el Programador de Planta y/o para el Supervisor de Turno. Es decir, éste último muchas veces era el que tenía que decidir la mejor

[3] Prensada se refiere a la compresión o cerrado del molde necesario para que en un lapso no mayor de 40 segundos se forme el producto de inyección o soplado. En promedio un molde de soplado tiene alrededor de 180000 prensadas por mes y uno de inyección alrededor de 360000.

selección de máquinas dado su experiencia y conocimiento técnico de las máquinas. Sin embargo, dado que ahora la asignación la realiza el software de una manera más veloz en base a la información de los de productos para cada máquina en que puede ser realizado, tipos de molde, etc. el Supervisor de Turno dedica ahora más tiempo a vigilar la producción que va saliendo de las máquinas y a realizarles una inspección continua, en coordinación con el área de Control de Calidad y además de esta manera capacita a los operarios en lo que se refiere a control de las dimensiones del producto, de su correcto peso, diseño, etc. y cómo se relacionan con las calibraciones de máquina. Por lo tanto, se genera una larga cadena de mejoras –que es la que se estima en 5% anual en términos monetarios- ya que el personal de las distintas áreas de Plásticos cumple ahora funciones más estratégicas que operativas y repetitivas que se lo ha dejado al software.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se solucionan diversos problemas de las distintas áreas pertenecientes a Plásticos. A continuación se presentan las más importantes conclusiones y recomendaciones que se deberían seguir en cada una de éstas.

6.1 Conclusiones

- Se ha reducido en 3 horas diarias la tarea de programar la producción lo que trae consigo una cadena de tiempos de respuesta más rápida por parte de las demás áreas.
- Este ahorro de 3 horas diarias representa un ahorro de S/. 750 /mes lo que quiere decir que se puede prescindir de un Jefe de Logística y redistribuir funciones entre el personal restante.
- Se ha incrementado en 8% la utilización de la planta.
- Se han incrementado 421 horas/mes lo que representa nuevas utilidades de 300 mil soles/año.
- El porcentaje de incremento de utilidades representa el 6%.
- La inversión en el software LINGO, que es de $ 4000 (S/. 13400, a un tipo de cambio de 3.35) se recupera en el primer mes.
- La matemática aplicada y una de sus ramas, la Investigación de Operaciones, son de gran importancia para las empresas para lograr una diferenciación y por ende ser más competitivos en el mundo globalizado de hoy.
- Se han integrado de una mejor manera el área de plásticos con las cadenas de Cremas-Shampoos, Colonias-Talcos y Transformaciones.

- El Sistema que usaba la empresa en lo referido a asignar máquinas para los distintos pedidos no era el más indicado ya que quedaba demasiados puntos a criterio del programador de la producción y/o Supervisor de Turno.

6.2 Recomendaciones

Las recomendaciones las podemos dividir en varios aspectos.

6.2.1 Respecto a las demás cadenas

- Informar a las otras áreas de la Cadena sobre el estado de los moldes del área de Plásticos para evitar la programación, -por parte de ellas-, de producción de productos cuyos moldes se encuentran en mal estado.
- Dado que se tiene el área de plásticos mejor controlada con este trabajo en cuanto a sus capacidades, costos y productividades se debería trabajar conjuntamente con el área logística para hacer otro trabajo de Investigación de Operaciones en el que se determine el lote óptimo de producción considerando sus costos por almacenamiento-día.

6.2.2 Respecto a la organización del área de plásticos

- La Administración de Planta en coordinación con el Supervisor del área de matricería, deberá disponer de los tiempos para las distintas operaciones de los moldes para llegar a tener un programa exacto para los operarios matriceros. Y de esta manera se podría llegar a hacer una programación del área con Horas-hombre requeridas semanalmente y por lo tanto personal requerido.

- A su vez, el área de mantenimiento necesita también de coordinar con la administración de planta los tiempos de las operaciones que realiza y dar a conocer al área administrativa las operaciones que requieren todas las máquinas y la frecuencia, para de esta manera llegar también a un programa completo de mantenimiento que, obviamente, se puede derivar del trabajo creado.

6.2.3 Respecto al Sistema de Producción

- Se recomienda llevar una estadística de las máquinas (fallas, mantenimientos preventivos, correctivos, etc.), moldes, personal, etc. para poder llegar a una mejor simulación introduciendo datos sobre los mismos que obviamente tendrán alguna variación en los resultados.

6.2.4 Respecto a la información (datos) de entrada

- Verificar constantemente los ciclos de las máquinas para los distintos productos y realizar las actualizaciones correspondientes ya que estos datos son los que se usan para la ejecución del software.
- Actualizar cuando se hace una prueba de un molde en una máquina que antes no se había ejecutado. Esto también es un dato de entrada que se encuentra en la matriz de moldes vs. máquinas que contienen sus productividades.
- Actualizar los tipos de molde si es que se le realizan cambios y si es que se fabrican nuevos moldes para nuevos productos ya que también constituyen datos de entrada con los que trabaja el software.

6.2.5 Respecto al entorno local y nacional

- Se deberá tomar modelos similares al presentado para las distintas Pymes del país ya que les representaría un ahorro inmenso y, considerando la cantidad existente de éstas, representarían no solo progreso para ellas sino para el Perú.

BIBLIOGRAFÍA

Boston University School of Management, The Manufacturing Futures Project: Summary of Survey Responses, 1982, pgs. 20-21.

Budnick, Frank S., Matemáticas Aplicadas para Administración, Economía y Ciencias Sociales, Tercera Edición, Editorial Mc Graw Hill, 1990.

Gomollón, Félix Alonso, Ejercicios de Investigación de Operaciones, Editorial Esic – Madrid, 1996.

Ives, G. C., Handbook of plastics test methods, Editorial: Iliffe, 1971.

Johnston, B., y B. Morris, Monitoring Control in Service Operations, International Journal of Operations and Production Management, vol. 5, no. 1, 1985, pp. 33-38.

Leland T. Blank, Anthony J. Tarquin, Ingeniería Económica, Editorial Mc Graw Hill, Tercera Edición, 1999.

Mills, N.J., Plastics, Microstructure, Properties and Applications, Department of Metallurgy and Materials, University of Birmighan, 1986.

Nahmias, Steven, Production and Operations Analysis, Editorial Mc-Graw Hill, Irwin, 2001.

Schrage, Linus, Optimization Modeling with LINGO, Lindo System Inc., Quinta edición, 2002.

Wayne L. Winston, Investigación de Operaciones, Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.

APENDICE Nº 001

LISTADO DE PRODUCTOS POR CÓDIGO DE MOLDE

TABLA I: PRODUCTOS DE INYECCIÓN

Item_Number	Tipo de molde	Item_Description
040000091	**I-01**	TA IMPLICIT TALCO PERF 140 GR
040000093	**I-01**	TAPA MERCI TALCO x 140
040000095	**I-01**	TAPA MOMENT.LIBERTAD TALCx140g
040000107	**I-01**	TAPA IMAGENES TALC PERF x 140
040000237	**I-01**	TA MUSK TALCO PERF 140 GR
040000304	**I-01**	TA FIORI TALCO PERF x 140 GR
040000326	**I-01**	TA EXPRESSION TAL PERF 140 GR
E600001	**I-02**	RJ ISANA TAL X60gr/140gr/240gr
E660000	**I-02**	RJ CORNINA TAL X 60 gr / 120gr
040000339	**I-03**	TA MERCI COL REFRESC 180ML CC
040000340	**I-03**	TA FIORI COL REFERESC 180ML CC
040000341	**I-03**	TA EXPRESSION COL REF 180ML CC
EA00259	**I-04**	POTE GEL AVO5 NP x 400gr
EA00260	**I-05**	TAPA GEL NORMAL NP x 400gr
EA00261	**I-05**	TAPA GEL EXTRA FIRME NPx400gr
EA00262	**I-05**	TAPA GEL FOR MEN NP x 400gr
EA00263	**I-06**	POTE GEL AVO5 NP x 200gr
EA00264	**I-07**	TAPA GEL NORMAL NP x 200gr
EA00265	**I-07**	TAPA GEL EXTRA FIRME NPx200gr
EA00266	**I-07**	TAPA GEL FOR MEN NP x 200gr
040000108	**I-08**	TA WHY NOT MEN TALC PERFx100GR
040000256	**I-08**	TA FRESHING TALCO 230 GR
040000257	**I-08**	TA PLB TALCO 230 GR
040000258	**I-08**	TA SWEET SPRINGTALCO 230 GR
040000279	**I-08**	TA TALCO PIES DESODOR
EF00039	**I-08**	TAPA HANS ANTIHONGOS
EF23001	**I-08**	TP CORNINA TAL X 300 gr
040000227	**I-08**	TA AGU TALCO C/FECULA MAIZ
EY00050	**I-09**	TA NEGRA FRENOSA
040000106	**I-10**	TA VANILLA HOMBRE TAL x 140gr
040000112	**I-10**	TP NEGRA
040000129	**I-10**	TP CARDIGAN TAL X 140G
040000130	**I-10**	TP ANDRE TAL. X 140G
040000137	**I-10**	TP EROS TAL X 140 GR
040000199	**I-10**	TA LEGADE TALCO 140GR
040000321	**I-10**	TP SALVAJE TALCO PANT 5535C
E423069	**I-10**	TA BN TALCO x 230
040000113	**I-11**	TN BLANCO PARA TAL X 140
E429009	**I-11**	TN BN TALCO x 230
040000081	**I-12**	REJILLA N/P
040000280	**I-12**	REJ TALCO PIES DESODOR
E460371	**I-12**	RJ CORNINA TAL X 300 gr
E100030	**I-13**	CAJA JOIA F1
E100031	**I-14**	CAJA JOIA F2
040000342	**I-15**	TN ESIKA COLON REFRESC 180 ML
E623007	**I-16**	TP ISANA TAL X 60 gr/140gr/240
E623026	**I-16**	TP CORNINA x 60gr / 120gr
E001648	**I-17**	TP MENTADINE

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA II: PRODUCTOS DE SOPLADO 1 ESTACIÓN

Item_Number	Tipo de molde	Item_Description
EA04007	**S-01**	FCO AVO5 HDPE BLANCO X 444 ML
EX04007	**S-01**	FCO AVO5 HDPE BLANCOx444ML EXP
E400339	**S-02**	FR COL SPRING FL X 250 ML
E600062	**S-03**	FR ISANA TAL X 240 gr
EF04002	**S-04**	FR CORNINA TAL X 120 gr
E600086	**S-05**	FR ISANA TAL X 60 gr
EF04001	**S-06**	FR CORNINA TAL X 60 gr
EF04005	**S-07**	FR HANSAPLAST TAL X 120 gr
EF00005	**S-08**	FRASCO HANSAPLAST X 60G
EF04006	**S-08**	FR HANSAPLAST TAL X 60 GR
EN00002	**S-09**	FR IMP COL BARNEY NIÐOS X250ML
EN00003	**S-09**	FR IMP COL BARNEY NIÐAS X250ML
EN00001	**S-09**	FR BARNEY X 250 ML
EN00004	**S-09**	FR IMP SHAMP MANZ BARNEYX250ML
E606026	**S-10**	FR ISANA TAL X 140 gr
040000327	**S-11**	FR S/I SPECIFIKAL CR LISO 300
040000328	**S-11**	FR S/I SPECIFIKAL CR SOL 300ML
040000329	**S-11**	FR S/I SPECIFIKAL CR RIZO 300
040000330	**S-11**	FR S/I SPECIFIKAL CR COLOR 300
EF00006	**S-12**	FRASCO HANSAPLAST X 250 G
EF04007	**S-12**	FR HANSAPLAST TAL X 300 GR
040000230	**S-13**	FR AGU TALCO C/FECULA 230 GR
040000229	**S-14**	FR AGU TALCO C/FECULA 500 GR
040000194	**S-15**	FR S/I NATURAL BASIC X 300ML
040000073	**S-16**	FR AGU x 85gr S/IMP
EY00030	**S-17**	FR FRENOSA 12 Oz AZUL
EY00040	**S-17**	FR FRENOSA 12 Oz ROJO
EY00010	**S-18**	FR FRENOSA 4 Oz AZUL
EA04006	**S-19**	FCO SHAMPOO AVO5 NP96
EA04040	**S-19**	FR AVO5 AZUL ANTICASPA x 444ML
EX04006	**S-19**	FCO SHAMPOO AVO5 NP96 EXP.
E400199	**S-20**	FR BEL NATUR NP x 1lt
E400335	**S-21**	FR COL SPRING FL X 1 LT
E400336	**S-22**	FR COL SPRING FL X 500 ML
EF04003	**S-23**	FR CORNINA TAL X 300 gr
E404098	**S-24**	FCO BN TALCO x 230
E400041	**S-25**	FCO. COLONIA BN x 250ml C/PUMP
E400085	**S25-B**	FR IMP. LOCION BN x 250ML
E404065	**S25-B**	FCO IMP COL CITRICA x 250 ML
E404100	**S-26**	FRASCO SHAMPOO MANZANILLA
E404060	**S-27**	FCO IMP COL CITRICA x 450 ML
E404101	**S27-B**	FRASCO BN LOC C/ALOE x 450
040000334	**S-28**	FR IMP TALCO PIES 100 ML
040000346	**S-29**	FR TRIPLE ACC LOC CORP 400

040000306	**S-30**	FR SPECIFIKAL CC AC 750 ML
040000307	**S-30**	FR SPECIFIKAL SH LISO X 750 ML
040000308	**S-30**	FR SPECIFIKAL SH RIZO X 750 ML
040000309	**S-30**	FR SPECIFIKAL SH COLOR 750 ML
040000332	**S-31**	FR S/I VITAL CC SH/AC 400 ML
040000071	**S-32**	FR TAL VANILLA HOMBRE x 140
040000111	**S-32**	FCO. TALQ. NEGRO x 140 GR
040000115	**S-32**	FR TAL MARRON ANDRE 140
040000117	**S-32**	FCO.EROS TAL X 140G
040000198	**S-32**	FR LEGADE TALCO 140GR
040000320	**S-32**	FR SALVAJE TALx 140 PANT 5535C
040000053	**S-33**	FR IMAGENES LOC PERF x 180
040000055	**S-33**	FCO. IMPLICIT LOC PERF X 180ML
040000078	**S-33**	FR VANILLA SCENT LOC PERFx180
040000234	**S-33**	FR MUSK LOCION PERF 180 ML
040000301	**S-33**	FR MERCI LOC PERF x 180 ML
040000319	**S-33**	FR FIORI LOC PERF x 180 ML
040000322	**S-33**	FR EXPRESSION LOC PERF 180ML
040000336	**S-34**	FR MERCI CC COL REFRESC 180ML
040000338	**S-34**	FR EXPRESSION CC COL REFR180ML
040000337	**S-34**	FR FIORI CC COL REFRESC 180ML
040000174	**S-35**	FR AQUA LOT COLA+ELAS+VIT E 1L
040000175	**S-35**	FR AQUA LOT COLAG MARINO X 1LT
040000176	**S-35**	FR MULTICREAM VITAMINS X 1LT
040000177	**S-35**	FR MULTICREAM MILK X 1LT
040000333	**S-36**	FR S/I VITAL CC SH/AC 1 LT

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA III: PRODUCTOS DE SOPLADO 2 ESTACIONES

Item_Number	Tipo de molde	Item_Description
040000225	**SD-01**	FR ABSOLUT SH CAB GRASO 400ML
040000226	**SD-01**	FR ABSOLUTION AC REVITA 400ML
040000243	**SD-01**	FR ABSOLUT SH CAB SECO 400 ML
040000310	**SD-01**	FR SPECIFIKAL CC AC 400 ML
040000311	**SD-01**	FR SPECIFIKAL SHA LISO 400 ML
040000312	**SD-01**	FR SPECIFIKAL SHA RIZOS 400 ML
040000313	**SD-01**	FR SPECIFIKAL SH COLOR 400 ML
040000314	**SD-01**	FR SPECIFIKAL SH SOL RAD 400ML
040000352	**SD-01**	FR CONTROL ZPT SHAMP ANTICASPA
040000054	**SD-02**	FR IMAGENES TAL PERF x 140
040000056	**SD-02**	FR IMPLICIT TAL PERF x 140 GR
040000063	**SD-02**	FR MOMEN.LIBERTAD TAL PERFx140
040000079	**SD-02**	FR VANILLA SCENT TAL PERFx140
040000235	**SD-02**	FR MUSK TALCO PERF 140 GR
040000299	**SD-02**	FR MERCI TALCO PERF x 140 GR
040000303	**SD-02**	FR FIORI TALCO PERF x 140 GR
040000325	**SD-02**	FR EXPRESSION TAL PERF 140 GR
040000170	**SD-03**	FR AQUA LOT COLAG MARINO 400ML
040000171	**SD-03**	FR AQUA LOT COLA+ELAS+VIT E400
040000172	**SD-03**	FR MULTICREAM MILK 400 ML
040000173	**SD-03**	FR MULTICREAM VITAMINS 400 ML
040000192	**SD-03**	FR AQUA LOT VITAME+LANOL 400ml
040000193	**SD-03**	FR AQUA LOT COLAG+ELASTI 400ml
040000252	**SD-04**	FR FRESHING TALCO 230 GR
040000253	**SD-04**	FR POUR LE BAIN TALCO 230 GR
040000254	**SD-04**	FR SWEET SPRING TALCO 230 GR
040000277	**SD-04**	FR TALCO P/PIES 230 GR
040000276	**SD-05**	FR TALCO P/PIES 500 GR (CHILE)
040000278	**SD-05**	FR TALCO P/PIES 500 GR
EY00020	**SD-06**	FR FRENOSA 8 Oz AZUL

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA IV: PRODUCTOS DE SOPLADO PET

Item_Number	Tipo de molde	Item_Description
040000288	**SP-01**	FR AGU SHAMPOO 450ML
040000289	**SP-01**	FR AGU COLONIA 450ML
040000290	**SP-02**	FR AGU SHAMPOO 1LT
040000291	**SP-02**	FR AGU COLONIA 1LT
040000286	**SP-03**	FR AGU SH 250ML
040000287	**SP-03**	FR AGU COLONIA 250ML
040000284	**SP-04**	FR FRUTALES SH 500 ML
040000285	**SP-05**	FR FRUTALES SH 1LT
040000249	**SP-06**	FR MINI CHICS 200 ML
040000250	**SP-07**	FR MINI COL/LOC 120 ML
E600170	**SP-08**	FR NP MARAV.CUR.PET X 180 ML
040000275	**SP-09**	FR BERRYLICIOUS COL X 200 ML
040000292	**SP-10**	FR TALKING SH/AC 300ML
E001646	**SP-11**	FR MENTADINE x 360
E001647	**SP-12**	FR MENTADINE x 500

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA V: PRODUCTOS DE SERIGRAFÍA

Item Number	Tipo de molde	Item Description
040000042	**SER-01**	FR FIORI TALCO PERF x 140
040000054	**SER-01**	FR IMAGENES TAL PERF x 140
040000056	**SER-01**	FR IMPLICIT TAL PERF x 140 GR
040000060	**SER-01**	FR MERCI TALCO PERF x 140gr
040000063	**SER-01**	FR MOMEN.LIBERTAD TAL PERFx140
040000079	**SER-01**	FR VANILLA SCENT TAL PERFx140
040000235	**SER-01**	FR MUSK TALCO PERF 140 GR
040000299	**SER-01**	FR MERCI TALCO PERF x 140 GR
040000303	**SER-01**	FR FIORI TALCO PERF x 140 GR
040000325	**SER-01**	FR EXPRESSION TAL PERF 140 GR
040000170	**SER-02**	FR AQUA LOT COLAG MARINO 400ML
040000171	**SER-02**	FR AQUA LOT COLA+ELAS+VIT E400
040000172	**SER-02**	FR MULTICREAM MILK 400 ML
040000173	**SER-02**	FR MULTICREAM VITAMINS 400 ML
040000192	**SER-02**	FR AQUA LOT VITAME+LANOL 400ml
040000193	**SER-02**	FR AQUA LOT COLAG+ELASTI 400ml
040000225	**SER-03**	FR ABSOLUT SH CAB GRASO 400ML
040000226	**SER-03**	FR ABSOLUTION AC REVITA 400ML
040000053	**SER-06**	FR IMAGENES LOC PERF x 180
040000055	**SER-06**	FCO. IMPLICIT LOC PERF X 180ML
040000078	**SER-06**	FR VANILLA SCENT LOC PERFx180
040000234	**SER-06**	FR MUSK LOCION PERF 180 ML
040000301	**SER-06**	FR MERCI LOC PERF x 180 ML
040000319	**SER-06**	FR FIORI LOC PERF x 180 ML
040000322	**SER-06**	FR EXPRESSION LOC PERF 180ML
040000336	**SER-07**	FR MERCI CC COL REFRESC 180ML
040000337	**SER-07**	FR FIORI CC COL REFRESC 180ML
040000338	**SER-07**	FR EXPRESSION CC COL REFR180ML
FE04002	**SER-10**	FR CORNINA TAL X 120 gr
FE04001	**SER-12**	FR CORNINA TAL X 60 gr
EN00002	**SER-15**	FR IMP COL BARNEY NIÐOS X250ML
EN00003	**SER-15**	FR IMP COL BARNEY NIÐAS X250ML
EN00001	**SER-15**	FR BARNEY X 250 ML
EN00004	**SER-15**	FR IMP SHAMP MANZ BARNEYX250ML
040000252	**SER-18**	FR FRESHING TALCO 230 GR
040000253	**SER-18**	FR POUR LE BAIN TALCO 230 GR
040000254	**SER-18**	FR SWEET SPRING TALCO 230 GR
040000277	**SER-18-B**	FR TALCO P/PIES 230 GR
040000276	**SER-19**	FR TALCO P/PIES 500 GR (CHILE)
040000278	**SER-19**	FR TALCO P/PIES 500 GR
040000174	**SER-21**	FR AQUA LOT COLA+ELAS+VIT E 1L
040000175	**SER-21**	FR AQUA LOT COLAG MARINO X 1LT
040000176	**SER-21**	FR MULTICREAM VITAMINS X 1LT
040000177	**SER-21-B**	FR MULTICREAM MILK X 1LT
040000230	**SER-22**	FR AGU TALCO C/FECULA 230 GR
040000229	**SER-23**	FR AGU TALCO C/FECULA 500 GR
E400199	**SER-31**	FR BEL NATUR NP x 1lt
FE04003	**SER-35**	FR CORNINA TAL X 300 gr
E404098	**SER-36**	FCO BN TALCO x 230
E400041	**SER-37**	FCO. COLONIA BN x 250ml C/PUMP
E400085	**SER-37**	FR IMP. LOCION BN x 250ML
E404065	**SER-37**	FCO IMP COL CITRICA x 250 ML
E404060	**SER-39**	FCO IMP COL CITRICA x 450 ML
E404101	**SER-39**	FRASCO BN LOC C/ALOE x 450
040000334	**SER-41**	FR IMP TALCO PIES 100 ML
040000346	**SER-42**	FR TRIPLE ACC LOC CORP 400

FUENTE: Elaboración Propia

APÉNDICE Nº 002

CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO PARA LOS PROCESOS DE INYECCIÓN, SOPLADO Y SERIGRAFÍA

TABLA I PUNTO DE EQUILIBRIO DE INYECCIÓN

Costo promedio hora-máquina inyectora ($ / Hora-máquina) :	8.5
Tiempo de cambio de molde inyectora (Horas) :	2.5
Tiempo de cambio de color inyectora (Horas) :	0.5
Costo montaje inyectora ($) :	25.500
Utilidad unitaria por tapa de inyección ($ / u) :	0.0215

$$\text{Punto de Equilibrio (unid)} = \frac{\text{Costo de Montaje}}{\text{Utilidad unitaria por producto}} = 1188$$

FUENTE: Elaboración Propia

Al ser la utilidad unitaria por una tapa de inyección conocida y el costo de montaje de máquina también, el punto de equilibrio viene a ser la cantidad que al producirse su valor en utilidades es igual al costo de montaje de máquina. De igual manera se calculan los puntos de equilibrio para los procesos de soplado y serigrafía.

TABLA II PUNTO DE EQUILIBRIO DE SOPLADO

Costo promedio hora-máquina sopladora ($ / Hora-máquina) :	10
Tiempo de cambio de molde sopladora (Horas) :	3
Tiempo de cambio de color sopladora (Horas) :	0.5
Costo montaje sopladora ($) :	35.000
Utilidad unitaria por Envase ($ / u) :	0.0784

$$\text{Punto de Equilibrio (unid)} = \frac{\text{Costo de Montaje}}{\text{Utilidad unitaria por producto}} = 446$$

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA III PUNTO DE EQUILIBRIO DE SERIGRAFÍA

Costo promedio hora-máquina serigráfica ($ / Hora-máquina) :	4
Tiempo de cambio de molde máq. serigráfica (Horas) :	0.5
Costo montaje máq. serigráfica ($) :	2
Utilidad unitaria x envase serigrafiado ($ / u) :	0.0864

$$\text{Punto de Equilibrio (unid)} = \frac{\text{Costo de Montaje}}{\text{Utilidad unitaria por producto}} = 23$$

FUENTE: Elaboración Propia

Cabe acotar que aunque en los procesos de soplado y serigrafía el punto de equilibrio sea bastante pequeño éste no es el que se toma en cuenta en el área productiva de plásticos ya que por ejemplo la cantidad de equilibrio de soplado (446 unidades) es más o menos lo que produce una máquina sopladora en 1 hora, luego de haber tenido un montaje de 3 horas no tendría sentido producir 1 hora, además como se mencionó en capítulos anteriores el montaje de máquina es una tarea que involucra al menos 2 personas con bastante conocimiento técnico (generalmente el Supervisor de turno y un operario antiguo) y si se cumpliera el punto de equilibrio calculado se podrían producir cambios de molde en todas las máquinas lo cual generaría tiempos de espera, capacidades ociosas, etc.

APÉNDICE Nº 003

DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE A ESCOGER PARA EL PROGRAMA LINEAL ENTERO (TIEMPO Ó COSTO)

Desde los costos de hora máquina y los tiempos de operación de las máquinas en el proceso, se determina cuál es la variable a escoger (costo ó tiempo de operación). Tenemos que analizar por separado los procesos de inyección y soplado.

Debemos entonces analizar primeramente en el proceso de inyección lo siguiente:

Las máquinas JM168-I y JM-168-II son las más eficientes pero a su vez son la que tienen un costo Hora-máquina mayor.

Tenemos:

TABLA I COSTO HORA-MÁQUINA DE INYECTORAS

MAQUINA	Costo Hora Máquina ($/Hora)
K30	8.00
N150	8.00
JM168-I	9.00
JM168-II	9.00

FUENTE: Empresa en estudio

Veremos el cuadro de productividades de las máquinas inyectoras según el tipo de producto que fabrican:

TABLA II

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS INYECTORAS

	UNIDADES X HORA			
MÁQUINAS / Cod. de molde	JM168-I	JM168-II	K30	N150
I-01	622	622		
I-02			760	
I-03	489	489		
I-04				274
I-05				520
I-06				253
I-07				385
I-08			1315	
I-09			960	
I-10	755	755		
I-11	1200	1200		
I-12	1500	1500		
I-13	620	620		
I-14	478	478		
I-15			1466	
I-16			1052	
I-17	552	552		

FUENTE: Elaboración Propia

La columna de la izquierda contiene todos los tipos de molde que existen en el proceso de Inyección en el área de Plásticos (ver Apéndice Nº 001 para ver todos los productos de inyección agrupados por su tipo de molde), la fila superior contiene todas las máquinas inyectoras y los valores numéricos de la matriz representan las productividades (unidades/hora) para cada máquina según el tipo de molde que procesa.

Vemos en el cuadro de productividades del proceso de Inyección que las máquinas JM168-I y JM168-II (que son técnicamente idénticas[1]) tienen las mismas productividades y que los productos que se pueden fabricar en una se pueden hacer en la otra a la misma productividad,

[1] Las máquinas JM168-I y JM168-II se dice que son idénticas porque además de tener la misma marca son del mismo año y sus productividades para todos los tipos de molde que pueden procesar son iguales.

entonces no existe la necesidad de hacer una comparación de costos entre las máquinas inyectoras sino lo que se debe tener en cuenta son los tiempos de operación y las capacidades disponibles.

Analizando las otras máquinas de inyección vemos también que los productos que se pueden hacer en la inyectora K30 no se pueden hacer en la inyectora N150 y viceversa por lo que no hay necesidad de hacer un análisis de costos tampoco en este caso.

Entonces la variable a tomar en el proceso de inyección es el tiempo de operación (horas/pedido), o sea que la función objetivo del problema a analizar será minimizar los tiempos de ejecución de los pedidos.

Debemos ahora analizar el proceso de soplado:

TABLA III COSTO HORA-MÁQUINA DE SOPLADORAS

MAQUINA	Costo Hora Máquina ($/Hora)
V. F	10.00
PK 1	10.00
PK 2	10.00
PB 1000	10.25
PK 75	12.00
PB 2000	12.00
PET I	10.00
PET II	10.00

FUENTE: Empresa en estudio

Debemos contar al igual que en el caso de inyección con la matriz Máquinas vs. Productos que nos indiquen las productividades de las máquinas.

TABLA IV

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS SOPLADORAS DE 1 ESTACIÓN

	UNIDADES X HORA			
MÁQUINAS / Cod. Molde	V. F	PK 1	PK 2	PB 1000
S-01			311	334
S-02	311	311	311	342
S-03		268	268	
S-04	279	279	279	
S-05	326	326	326	
S-06	360	360	360	
S-07	326	326	326	
S-08		342	342	
S-09			290	
S-10		311	285	
S-11		311	311	
S-12		311	285	
S-13			311	326
S-14			274	297
S-15				595
S-16	600			
S-17			291	
S-18			407	
S-19				743
S-20				281
S-21				375
S-22			297	311
S-23	137			
S-24	350			
S-25		167	167	
S25-B		167	167	
S-26	400			
S-27		500	500	
S27-B		500	500	
S-28		291	291	
S-29			311	342
S-30				311
S-31				380
S-32	274	274	274	
S-33		342	342	
S-34		297	297	
S-35				311
S-36				311

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA V

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS SOPLADORAS DE 2 ESTACIONES

MÁQUINAS / Cod. Molde	UNIDADES X HORA	
	PK 75	PB 2000
SD-01		622
SD-02	639	639
SD-03	684	684
SD-04	642	642
SD-05	590	590
SD-06	720	

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA VI

PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS DE SOPLADO PET

MÁQUINAS / Cod. Molde	UNIDADES X HORA	
	PET I	PET II
SP-01	570	570
SP-02	526	526
SP-03	622	622
SP-04	526	526
SP-05	456	456
SP-06	622	622
SP-07	651	651
SP-08	570	570
SP-09	570	570
SP-10	570	570
SP-11	489	489
SP-12	456	456

FUENTE: Elaboración Propia

Los cuadros de Soplado de 1 estación, 2 estaciones y Soplado PET siguen la misma lógica que la descrita para el proceso de Inyección. El Soplado PET y de 2 estaciones al tener productividades iguales cuando pueden fabricar un tipo de molde y tener el mismo costo hora-máquina, serán dependientes de las restricciones de las capacidades disponibles de cada máquina para que la carga esté balanceada.

Por otro lado, en el proceso de Soplado de 1 estación, teniendo en cuenta que las máquinas sopladoras de este proceso, Voith Fisher (V.F), Parker 1 (PK 1) y Parker 2 (PK 2) tienen el mismo costo hora-máquina, la decisión de elección de máquina se basará en la productividad. Sin embargo al ver la máquina PB1000 (también de 1 estación) que tiene un costo hora máquina ligeramente mayor que las otras, debemos determinar entonces si ese costo mayor hace más caro al producto ó lo hace más barato, comparándose con la mayor productividad de la máquina y así determinar cuál será la variable a escoger (tiempo o costo).

TABLA VII: COMPARACIÓN DE COSTOS UNITARIOS SEGÚN PRODUCTIVIDADES DE SOPLADORAS DE 1 ESTACIÓN

	V. F		PK 1		PK 2		PB 1000	
Cod. Molde	**u/hora**	**costo unitario**	**u/hora**	**costo unitario**	**u/hora**	**costo unitario**	**u/hora**	**costo unitario**
S-01					311	0.0322	334	0.0307
S-02	311	0.0322	311	0.0322	311	0.0322	342	0.0300
S-13					311	0.0322	326	0.0315
S-14					274	0.0365	297	0.0345
S-22					297	0.0336	311	0.0330
S-29					311	0.0322	342	0.0300

FUENTE: Elaboración Propia

Interpretando el cuadro de arriba, tenemos todos los productos que pueden ser fabricados en la máquina PB1000 y en alguna otra máquina de 1 estación; éstos resultan más baratos al ser producidos en la máquina sopladora PB1000 debido a su menor tiempo de operación. Esto significa que la variable a escoger en este proceso es el tiempo de operación más no el costo.

El costo unitario debido a la máquina se calcula asi:

$$\frac{\text{Costo / hora máquina}}{\text{Unidades/hora máquina}}$$

En el proceso de Soplado de 1 estación y 2 estaciones encontramos que salvo las máquinas sopladoras PB1000, PB2000 y la PK75, todas cuestan $ 10 la Hora-máquina. Entonces al tener un costo mayor, las máquinas mencionadas deben ser comparadas en su costo unitario por hora-máquina para ver si el hecho de tener una productividad mayor hace que las máquinas que tienen un costo hora-máquina mayor sean al final más baratas en términos del costo unitario. Ya que la productividad de la máquina PB1000 ya fue analizada pasaremos a ver las de las máquinas de 2 estaciones PK75 y PB2000 en comparación con las de 1 estación.

Por ejemplo, supongamos que un producto que tiene 2 moldes que se puede hacer en una máquina de doble estación se puede fabricar también en una máquina de 1 estación, entonces, al saber los costos de las máquinas de 1 estación y las de 2 estaciones tenemos:

Para la máquina PB1000:

Tiene un costo de $10.25/Hora máquina y tiene un molde. Tiene una producción supongamos de X unidades/hora. Las máquinas de doble estación (PB2000 ó PK75) ya que son nuevas producen como mínimo $2X$ unidades/hora o más.

Entonces tenemos para cada máquina:

TABLA VIII

	Costo Unitario
PB 1000	**10.25/x**
Maq Sopladora 2 estaciones	**12/2x**

FUENTE: Elaboración Propia

Vemos que el costo unitario por producir en una máquina de 2 estaciones es menor entonces siguiendo la misma lógica para cualquiera de las otras máquinas de una estación que tienen un costo hora-máquina de $10/hora llegaremos a la misma conclusión. (X al ser número de unidades es un valor entero positivo).

Por tanto en este caso queda demostrado que un producto que tiene 2 moldes debe ser hecho en una máquina de 2 estaciones y no en una máquina de 1 sola estación.

Las máquinas de Soplado de 2 estaciones, al tener los mismos costos por hora-máquina y productividades, serán comparadas también en función de sus tiempos de operación y sus capacidades disponibles, más no de sus costos por hora máquina (ya que son iguales); esto sucederá también con las máquinas de Soplado PET.

Vemos entonces que en todos los procesos de Soplado (1 estación, 2 estaciones y Soplado Pet) las variables a tomar en cuenta a la hora de hacer nuestro modelo de asignación de máquinas serán los tiempos de operación.

Veamos el Proceso de Serigrafía:

TABLA IX **PRODUCTIVIDAD DE MÁQUINAS DE SERIGRAFÍA**

	UNIDADES X HORA			
MÁQUINAS / Cod. de molde	MAQUINA 1	MAQUINA 2	MAQUINA 3	MAQUINA 4
SER-01	500	350	500	350
SER-02	900	630	900	630
SER-03	1000	700	1000	700
SER-06	500	350	500	350
SER-07	500	350	500	350
SER-10	250	175	250	175
SER-12	250	175	250	175
SER-15	900	630	900	630
SER-18	1000	700	1000	700
SER-18-B	500	350	500	350
SER-19	425	298	425	298
SER-21	900	630	900	630
SER-21-B	450	315	450	315
SER-22	1000	700	1000	700
SER-23	850	595	850	595
SER-31	850	595	850	595
SER-35	225	158	225	158
SER-36	1000	700	1000	700
SER-37	1000	700	1000	700
SER-39	1000	700	1000	700
SER-41	500	350	500	350
SER-42	425	298	425	298

FUENTE: Elaboración Propia

Considerando que todas las máquinas de Serigrafía tienen un costo por Hora-máquina igual ($4/hora-máquina) resulta obvio que la variable a considerar serán los tiempos de operación. Como dato importante debemos mencionar que las máquinas serigráficas 1 y 3 poseen las mismas productividades y las máquinas 2 y 4 poseen productividades menores e iguales entre si. Por lo tanto si solamente consideraríamos la función objetivo de minimizar el tiempo total de ejecución de los pedidos, la respuesta del programa lineal sería que toda la producción sea hecha en las máquinas 1 y 3. Es aquí en donde se puede apreciar un claro ejemplo en donde

interviene la restricción de la disponibilidad de máquina, ya que obviamente las máquinas más veloces no es recomendable que estén ocupadas todo el tiempo, dejando a las que son algo más lentas con capacidades ociosas.

APÉNDICE Nº 004

CÁLCULO DEL COSTO POR HORA-MÁQUINA

TABLA I: CÁLCULO COSTO HORA-MÁQUINA INYECTORA

Valor compra máquina inyectora ($):	230271
Vida útil (años):	10
Valor año ($/año):	23027
Valor mes ($/mes):	1918.925
Valor dia ($/dia):	73.805
Valor hora ($/hora):	3.075

Sueldo Asesor Comercial y Mejora Continua ($/mes):	2000
Unidades de inyeccion mensual (u/mes):	923520
Unidades de inyeccion/hora:	740
Valor hora Asesor Comercial y Mej. Continua ($/hora):	1.6026

Sueldo mensual operario inyección ($/mes) :	137.313
Nro operarios inyección :	23
Valor total operarios mensual ($/mes)	3158.209
Unidades de inyeccion mensual (u/mes):	923520
Unidades de inyeccion/hora:	740
Valor hora Operarios Inyección ($/hora):	2.5306

Sueldo mensual Supervisor Inyección-Soplado ($/mes) :	537.313
Nro Supervisores :	3
Valor total Supervisores mensual ($/mes)	1611.940
Unidades de inyeccion mensual (u/mes):	923520
Unidades de inyeccion/hora:	740
Valor hora Supervisores Inyección-Soplado ($/hora):	1.2916

Costo hora-máquina inyectora ($/Hora-máquina):	**8.500**

FUENTE: Empresa en estudio

Para el cálculo del costo hora máquina de una inyectora se procede de la siguiente forma:

En base al valor de compra de la máquina y a su tiempo de depreciación se calcula el valor hora de la máquina, luego en base a los sueldos de todo el personal que se encuentra en el centro de costos de inyección se calcula el valor mensual correspondiente; éste se divide por

las unidades por mes que se producen en el proceso de inyección y finalmente se multiplica por las unidades/hora promedio de una inyectora.

El mismo procedimiento se realiza para el cálculo del costo hora-máquina de los demás procesos.

TABLA II: CÁLCULO COSTO HORA-MÁQUINA SOPLADORA

Valor compra máquina sopladora ($):	596010
Vida útil (años):	10
Valor año ($/año):	59601
Valor mes ($/mes):	4966.751
Valor dia ($/dia):	191.029
Valor hora ($/hora):	7.960

Sueldo Jefe Manufactura ($/mes)	597.015
Unidades de soplado mensual (u/mes):	1070784
Unidades de soplado/hora:	330
Valor hora Jefe Manufactura ($/hora):	0.1840

Sueldo Jefe Logística ($/mes)	597.015
Unidades de soplado mensual (u/mes):	1070784
Unidades de soplado/hora:	330
Valor hora Jefe Logística ($/hora):	0.1840

Sueldo Digitador Plásticos ($/mes)	298.507
Unidades de soplado mensual (u/mes):	1070784
Unidades de soplado/hora:	330
Valor hora Digitador Plásticos ($/hora):	0.0920

Sueldo mensual Analista Control de Calidad ($/mes) :	358.209
Nro Analistas C.C :	3
Valor total Analistas C.C mensual ($/mes)	1074.627
Unidades de soplado mensual (u/mes):	1070784
Unidades de soplado/hora:	330
Valor hora Analistas C.C ($/hora):	0.3312

Sueldo mensual Mecánico de Mantenimiento ($/mes) :	298.507
Nro Mecánicos Mantenimiento :	3
Valor total Mecánicos mantenimiento mensual ($/mes):	895.522
Unidades de soplado mensual (u/mes):	1070784
Unidades de soplado/hora:	330
Valor hora Mecánicos Mntto. ($/hora):	0.2760

Sueldo mensual operario soplado ($/mes) :	137.313
Nro operarios soplado :	23
Valor total operarios mensual ($/mes)	3158.209
Unidades de soplado mensual (u/mes):	1070784
Unidades de soplado/hora:	330
Valor hora Operario soplado ($/hora):	0.9733

Costo hora-máquina sopladora ($/Hora-máquina):	**10.000**

FUENTE: Empresa en estudio

TABLA III: CÁLCULO COSTO HORA-MÁQUINA SERIGRÁFICA

Valor compra máquina serigráfica ($):	70266
Vida útil (años):	10
Valor año ($/año):	7027
Valor mes ($/mes):	585.552
Valor dia ($/dia):	22.521
Valor hora ($/hora):	0.938

Sueldo mensual Supervisor Serigrafía ($/mes) :	537.313
Nro Supervisores :	1
Valor total Supervisor mensual ($/mes)	537.313
Unidades de serigrafía mensual (u/mes):	424320
Unidades de serigrafía/hora:	680
Valor hora Supervisor Serigrafía ($/hora):	0.8611

Sueldo mensual operario serigrafía ($/mes) :	137.313
Nro operarios serigrafía :	10
Valor total operarios mensual ($/mes) :	1373.134
Unidades de serigrafía mensual (u/mes):	424320
Unidades de serigrafía/hora:	680
Valor hora Operario serigrafía ($/hora):	2.2005

Costo hora-máquina serigráfica ($/Hora-máquina):	**4.000**

FUENTE: Empresa en estudio