



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Departamento de Matemáticas

Ingeniería en Logística y Transporte

TEMA

"Planificación de recursos para la manufactura a partir de un plan maestro de producción, aplicado a una empresa de balanceado"

Informe del Proyecto de Graduación

(Dentro de una materia de la malla)

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniería en Logística y Transporte

Presentado por

André I. Villavicencio C.

Cynthia K. Morán C.

Guayaquil-Ecuador

2013

Dedicatoria

A mis padres, quienes son el pilar fundamental en mi vida; sus esfuerzos, consejos, y apoyo incondicional se ven reflejado en la persona que soy el día de hoy. Son ustedes el aliciente para mejorar como persona y profesionalmente.

André I. Villavicencio C.

Dedicatoria

A mis padres, mis hermanas y mi sobrino.

Cynthia K. Morán C.

Agradecimiento

Aquellas personas que directa e indirectamente han ayudado con la realización de este proyecto.

André I. Villavicencio C.

Agradecimiento

Un agradecimiento especial para mi coordinador de Carrera y director de proyecto M. Sc.

Guillermo Baquerizo.

Cynthia K. Morán C.

Declaración Expresa

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Pregrado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la FCNM (Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas) de la ESPOL (Escuela Superior Politécnica Del Litoral).

André I. Villavicencio C.

Cynthia K. Morán C.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

M. Sc. Guillermo Baquerizo Palma.
DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. José Villa Vásquez.
VOCAL

Índice general

Índice	II
Índice de figuras	III
Índice de tablas	IV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.1. Hipótesis de trabajo	3
1.1.2. Justificación del Problema	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
2. Marco Teórico	6
2.1. Estado del Arte	6
2.2. Proceso de planeación y control de la producción	8
2.2.1. Pronósticos	9
2.2.1.1. Métodos de pronósticos	10
2.2.1.2. Tipos de Demanda	11
2.2.2. Planificación Agregada	11
2.2.2.1. Estrategias puras de planificación	13
2.2.3. Plan maestro de producción	14
2.2.3.1. Tipo de Producción	14
2.2.4. Planeación de Requerimiento de materiales	16
2.2.4.1. Conceptos Básicos	16
2.2.4.2. Entradas y salidas al sistema MRP	18
2.2.5. Planificación de requerimientos de capacidad	19
2.2.6. Programación de la producción	20
2.2.6.1. Asignación de cargas	22
2.2.6.2. Secuenciación de pedidos	22
2.2.6.3. Programación detallada	23

3. Caso de Estudio	24
3.1. Antecedentes	24
3.2. Situación Actual	29
3.2.1. Proceso mensual	29
3.2.2. Proceso semanal	31
3.3. Análisis del problema	33
4. Diseño e Implementación	35
4.1. Diseño de un sistema de planificación de recursos para la manufactura . . .	35
4.1.1. Propuesta de mejora de proceso mensual	36
4.1.2. Propuesta de mejora de proceso semanal	37
4.2. Implementación de un sistema de planificación de recursos para la manufactura	39
4.2.1. El entorno Gams	39
4.2.1.1. Características de Gams	39
4.2.1.2. Recursos computaciones empleados	41
4.2.2. Modelos matemáticos	41
4.2.2.1. Modelo matemático para la Planificación agregada	41
4.2.2.2. Modelo matemático para el MRP I	44
4.2.3. Resultados	50
4.2.3.1. Planificación Agregada	50
4.2.3.2. Planificación de Recursos de Materiales MRP I	53
5. Indicadores Claves de Rendimiento	64
5.1. Introducción	64
5.2. Objetivos de los KPI's	65
5.3. Incidencia de lo KPI's en la Mejora Continua	65
5.4. KPI's aplicables	66
5.4.1. OEE (Eficiencia Global del Equipo)	66
5.4.2. Ratio de servicio al cliente (Unit Fill rate)	68
5.4.3. Rotación de Inventario	69
6. Conclusiones y Recomendaciones	71
6.1. Conclusiones	71
6.2. Recomendaciones	72
6.3. Trabajo futuro	73

Índice de figuras

2.1. Proceso de planeación, programación y control de producción	9
2.2. Planificación de requerimientos de materiales	18
3.1. Jornada Laboral	28
3.2. Diagrama de flujo mensual actual	30
3.3. Diagrama de flujo semanal actual	32
4.1. Diagrama de flujo mensual propuesta	37
4.2. Diagrama de flujo semanal propuesta	39
4.3. Entorno Gams	40
4.4. Jornada Laboral Adicional	42
4.5. Ocupación Promedio de Mayo	61
4.6. Ocupación Promedio de Junio	62
4.7. Ocupación Promedio de Julio	63
5.1. Componentes de OEE	67

Índice de tablas

2.1. Diferencias entre la fabricación para pedido y la fabricación para inventarios	14
4.1. Recursos computacionales empleados	41
4.2. Cantidad de horas necesaria por Metodología de Trabajo	51
4.3. Recursos de Horas Hombre necesarias por mes	52
4.4. Recursos Horas Hombre necesarias por período (Enero a Septiembre)	52
4.5. Cantidades a pedir en Mayo	56
4.6. Cantidades a pedir en Junio	58
4.7. Cantidades a pedir en Julio	60
4.8. Ocupación de Bodega	60
4.9. Ocupación Promedio de Mayo	61
4.10. Ocupación Promedio de Junio	62
4.11. Ocupación Promedio de Julio	63
5.1. Las seis grandes pérdidas	66
5.2. Indicador OEE	68

Abreviaturas

MRP I/MRP: Material requirements planning / Planificación de recursos de materiales.

MRP II: Manufacturing Resource Planning / Planificación de recursos de la manufactura.

MPS: Master production schedule.

MP: Materia Prima.

ME: Material de Empaque.

PT: Producto Terminado.

JIT: Just in Time / Justo a tiempo.

KPI: Key Performance Indicators / Indicadores Clave de Desempeño.

JSP: Job Shop Problem.

PA: Planificación Agregada.

SKU: Stock Keeping Unit / Número de Referencia.

MTO: Make to Order / Hacer para Ordenar.

MTS: Make to Stock / Hacer para inventario.

BOM: Bill of Material / Explosión de Materiales.

CRP: Capacity Resource Planning / Planificación de Recursos de Capacidad.

DSA: División Salud Animal.

DAC: División Acuicultura.

DCO: División Consumo.

OEE: Overall Equipment Effectiveness / Eficiencia Global del Equipo.

UFR: Unit Fill Rate / Indicador del Nivel de Servicio.

ROI: Return On investment / Retorno sobre la inversión.

OP: Orden de Pedido.

BP: Business Plan / Plan de negocio.

TON: Toneladas.

Resumen

En este proyecto, se muestra la implementación de la planificación de recursos para la manufactura basándose en un plan maestro de producción. Se presenta el diseño de una metodología MRP II, y la implementación de modelos matemáticos para la planificación agregada y MRP. De esta manera se logrará disminuir el tiempo de horas extras necesarias y las contrataciones externas, también se determinará la cantidad óptima de materia prima necesaria para la producción de tal forma lograr mantener un enfoque justo a tiempo y a su vez definir indicadores para lograr la retroalimentación del proyecto.

Abstract

In this project, we show the implementation of resource planning for manufacturing, based on a master production plan. It presents the design of a MRP II methodology and the implementation of mathematical models for the aggregated planification and MRP. In this way a decrease in the amount of extra hours needed will be achieved and time spent in external hiring, it will also determine the optimal amount of raw materials needed for production to keep a just in time approach and in turn define indicators to achieve feedback on the project.

Capítulo 1

Introducción

La globalización en sus diferentes formas ha permitido la apertura mundial en los mercados; de tal forma que a las organizaciones mundiales con alto poder adquisitivo les resulta oportuno extender sus horizontes e ingresar a un nuevo mercado, generando que organizaciones nacionales y medianas empresas tengan que subsistir y competir para mantener satisfechos a sus clientes y proveedores, es decir, actualmente las organizaciones deben competir no sólo con sus habituales competidores locales sino también con sus similares a nivel mundial. Esto conlleva a que el consumidor final tenga más opciones al momento de elegir un producto y/o servicio; a su vez se han vuelto más exigentes en cuanto a sus necesidades, variables como precios bajos, cumplimiento en tiempo de entrega, mayor flexibilidad, confiabilidad en calidad, son preponderantes para atraer y/o mantener a los consumidores.

Por tal razón, las organizaciones deben tener una gran adaptabilidad al cambio tanto en volumen de producción y variedad de sus productos; así mismo se debe lograr una mejora continua en todos sus procesos de tal forma que se mejoren las actividades que son fuentes de desperdicios o que no generen valor agregado.

Todas estas premisas conllevan a que en la mayoría de organizaciones exista un departamento de planificación; la planificación, se plantea de manera jerárquica en cuanto a sus decisiones y plazos, en el que se logra una integración vertical entre los objetivos estratégicos, tácticos y operativos; los que idealmente también deben expresar la relación horizontal entre las diferentes áreas de la organización. La planificación se la puede definir como un proceso continuo que tiene por objeto anticipar decisiones con la finalidad de optimizar el uso de los recursos productivos.

La planificación de recursos para la manufactura (MRP II) es un sistema integrado de planificación operativa y financiera, nace en los años 80's, como una extensión de la Planificación de los requerimientos de material de ciclo cerrado (MRP). El auge, uso e implementación de este sistema se debe también a los avances tecnológicos, la posibilidad de manejar una extensa base de datos y correlacionarla a los diferentes departamentos de una empresa.

La MRP II, implica la planificación de todos los elementos que se necesitan para llevar a cabo el plan maestro de producción (MPS), no sólo de las necesidades netas de materiales a fabricar y vender, sino de cualquier elemento o recurso como capacidad de fábrica en horas hombre y horas máquina.

Este sistema da respuesta a las preguntas qué, cuánto y cuándo se va a producir, y cuáles son los recursos disponibles para ello.

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Hipótesis de trabajo

- La implementación de un sistema MRP II, permitirá utilizar en forma más eficiente los recursos de producción tales como: reducir tiempos ociosos en producción, reducir los costos de horas extras.
- La implementación de un sistema MRP II, reducirá el capital de trabajo (Working Capital) en el flujo de abastecimiento, eliminando los problemas de sobre stock en la bodega de materia prima (MP).

1.1.2. Justificación del Problema

- La globalización actual, ha obligado a las organizaciones volverse más ágiles y tener mejor tiempo de reacción ante los diferentes cambios en el mercado, con el fin de captar y/o mantener nuevos clientes. Las empresas con una filosofía MRP II, tienen la ventaja de adaptarse a las necesidades de sus clientes.
- El uso de MRP II, permite enfocar a la organización hacia un mejoramiento de niveles de productividad, mediante una planificación óptima de los recursos de manufactura como los insumos, mano de obra, maquinaria, etc., de esta forma se logran los objetivos de disminuir desperdicios, aumentar los niveles de producción y bajar costos de fabricación; permitiendo la mejora continua, logrando un mayor nivel de

servicio, minimizando costos a lo largo de la cadena de suministros.

- El diseño del sistema de planificación y control son temas que surgen gracias a las diversas fuentes de incertidumbre y a las complejas interrelaciones que existen entre los diferentes niveles de planificación; preocupaciones como la pérdida de ventas por bajas existencias, la obsolescencia de productos, costos relacionados con transporte e inventario están presentes permanentemente en el contexto de la producción; por lo que el proceso de toma de decisiones es bastante complejo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar una metodología fundamentada en la planificación de recursos para la manufactura (MRP II), con la finalidad de disminuir el Working Capital a lo largo de la cadena de suministros, sin afectar el nivel de servicio; la misma será aplicada a una empresa manufacturera de alimentos balanceados.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Disminuir costos de inventarios tanto en materia prima como en producto terminado mediante un enfoque "justo a tiempo".

- Definir Indicadores claves de desempeño Key Performance Indicators (KPI por sus siglas en inglés) que sirvan como retroalimentación para la empresa en estudio.
- Disminuir tiempos ociosos en la producción, debido a la falta de materia prima y/o sustituciones.
- Determinar órdenes de producción realistas, de tal forma que aumente la satisfacción del cliente dando a conocer fechas de entregas más acertadas, una vez validado la capacidad de producción e insumos.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Estado del Arte

En la literatura se dispone de una gran variedad de técnicas de investigación de operaciones relacionadas con el diseño, mejora, eficiencia y optimización de todos los recursos de la organización. Muchas de las técnicas utilizan modelos matemáticos que representan o modelizan la parte del proceso productivo o de negocio que se desea mejorar; estos modelos permiten resolver problemas concretos en diferentes eslabones de la cadena de suministros. Con respecto a los modelos de programación de la producción, podemos encontrar que Gessa, Rabadán y Jurado [1] incluyeron aspectos ambientales en la elaboración del plan de producción, específicamente las emisiones de dióxido de carbono, las cuales se consideraron como un recurso y no como un residuo del proceso de producción. El estudio permite a las empresas detectar aquellos procesos o productos que dejan de ser competitivos tras la entrada en funcionamiento del mercado de derechos de emisión, al tener limitadas las emisiones de CO₂.

Por otro lado en [8] se introduce el concepto de incertidumbre en la demanda para la planificación jerárquica de la producción en distintos niveles de desagregación. El problema

considera múltiples períodos de planificación, productos y un conjunto de escenarios de demanda definidos sobre el horizonte de planificación. Así mismo en [10] se muestran tres modelos del sistema MRP cerrado donde cada uno considera de forma independiente la incertidumbre en capacidad, tiempo de entrega y disponibilidad en el inventario e incluye un modelo en el que de forma conjunta analiza la incertidumbre en los tres parámetros antes mencionados.

Por otro lado en la literatura existe una variedad de modelos matemáticos deterministas para sistemas MRP, estos modelos están enfocados para la planeación de la producción y la planeación de materiales; en su mayoría, son problemas multiproducto, multinivel, multiperíodo, con capacidad limitada, cuya función objetivo persigue la reducción de los costos de producción, de inventarios y de capacidad en forma general.

Otro problema relacionado con la programación de la producción es el Problema del Taller de Trabajo (Job Shop Problem) en el cual n piezas (lotes u órdenes) deben realizarse en m máquinas (puestos de trabajo), donde debe establecerse una secuencia de operaciones en cada máquina que optimice un cierto criterio basado en diferentes medidas de resultados o índices de eficiencia [2].

Corominas presenta un modelo de optimización combinatoria y de asignación en programación lineal entera en [3], el cual permite reequilibrar una línea de producción de motocicletas donde la cantidad de personal temporal a usar es un factor clave para lograr la producción deseada, debido a que éste tarda más en realizar tareas que los trabajadores permanentes. El objetivo planteado consistió en reducir al mínimo el número de trabajadores temporales necesarios teniendo en cuenta el tiempo de ciclo y personal

perteneciendo a la nómina de la empresa. La solución óptima obtenida redujo el uso de trabajadores temporales en relación a la solución implementada por la organización .

Por otro lado, en [4] se resalta la importancia del desarrollo e implementación de un sistema MRP II en Pymes, así como también propone un software que cumple con las características más avanzadas del mercado. En [5] se propone el diseño MRP II aplicado a la industria con producción intermitente, mediante una secuencia de diez pasos y procedimientos definidos, los cuales pretenden coordinar de mejor forma las actividades que influyen en el flujo de la manufactura. Así mismo se proponen indicadores de rendimiento para evaluar el funcionamiento de la empresa y lograr una mejora continua.

2.2. Proceso de planeación y control de la producción

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

El proceso de planeación, programación y control de la producción puede describirse

como se muestra en la Figura 2.1.

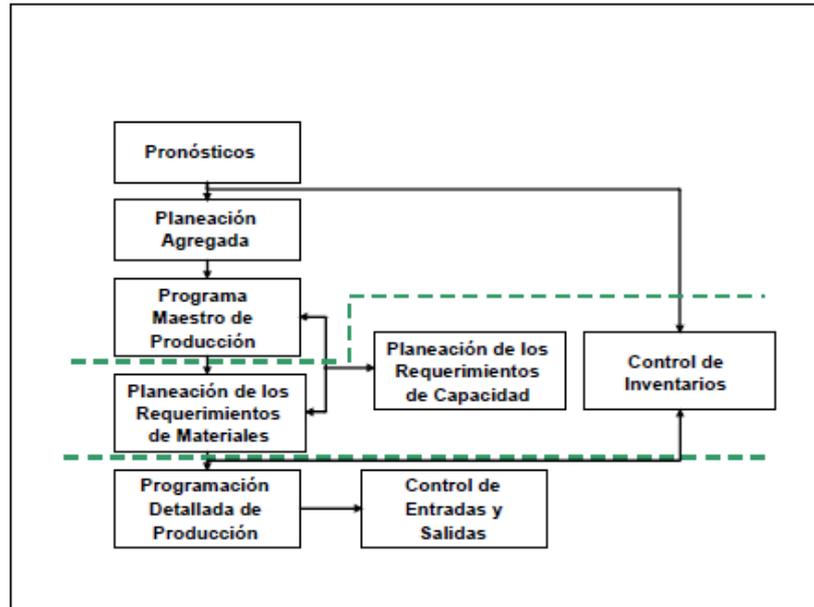


Figura 2.1: Proceso de planeación, programación y control de producción

Fuente:Memorias Diplomado en Productividad

2.2.1. Pronósticos

Un pronóstico es información con cierto grado de probabilidad de lo que puede pasar en un horizonte de tiempo futuro, éste es el primer paso dentro del proceso de planificación y control de la producción. Permite a las organizaciones, visualizar de manera aproximada los acontecimientos venideros y disminuir en gran parte la incertidumbre para reaccionar con rapidez a las condiciones cambiantes con cierto grado de precisión.

2.2.1.1. Métodos de pronósticos

- **Método cualitativo:** Cuando se carece de datos históricos adecuados, como en los casos que se presenta un nuevo producto o se espera un cambio en la tecnología, las empresas confían en la experiencia y buen juicio administrativo para generar pronósticos. Los más representativos son: Consulta a la fuerza de venta, método Delphi, investigación de mercado.
- **Métodos cuantitativos:** Los modelos cuantitativos de pronósticos son modelos matemáticos que se basan en datos históricos. Estos modelos suponen que los datos históricos son relevantes para el futuro. Los más representativos son: Series de tiempo, Promedios móviles, Regresión Lineal.
- **Modelos de simulación:** El ordenador posibilita la elaboración de pronósticos mediante modelos en los que se representan todas las variables que afectan a la demanda de un artículo.
- **Métodos descriptivos o extrapolación de series temporales:** Basados en modelos estadísticos utilizan la demanda del pasado para realizar las previsiones del futuro. Los métodos más empleados son el valor medio móvil y el alisamiento exponencial, tanto para la componente básica como para la tendencia.

2.2.1.2. Tipos de Demanda

- Demanda independiente: Aquellas que se genera a partir de decisiones ajenas a la empresa por ejemplo la demanda del producto terminado en una empresa (La empresa no puede controlar las decisiones de los clientes).
- Demanda dependiente: Aquella que se genera a partir de decisiones propias de la empresa, por ejemplo la empresa decide producir 150 sacos de balanceado; por ende se necesitarán los insumos asociados para producir tal cantidad.

La demanda puede tener ciertos patrones como:

Tendencias: La demanda sube, baja o permanece constante en el tiempo.

Ciclicidad: Presenta patrones que se repiten cada determinado tiempo.

Estacionalidad: Comportamientos que ocurren periódicamente.

Aleatoriedad: Cambios repentinos en el comportamiento de la demanda sin causa conocida o esperada.

2.2.2. Planificación Agregada

La planificación agregada (PA) tiene como objetivo fijar los niveles de mano de obra (propia y subcontratada), producción e inventario para un horizonte de tiempo determinado.

La PA puede desempeñar un papel dominante en la gestión de la empresa, debido a que planifica los recursos de la misma e integra diferentes áreas de la organización como producción, contabilidad, finanzas, recursos humanos, comercial, etc.

La PA no desglosa la cantidad de producción por detalles de productos, sino que los considera en varias familias de productos, sin importar sus diferentes características del producto como color, sabor, forma, etc.; de igual manera son considerados los recursos para la producción; éstos se agrupan en familias de recursos (por ejemplo; materia prima, las instalaciones, procesos productivos, la tecnología, entre otros). Así mismo no se detalla el plan de producción día a día, sino que la producción se planifica en períodos de tiempo (quincenas o meses) que conforman un horizonte temporal de planificación.

Es importante tener en cuenta que los costos se pueden evaluar desde dos puntos de vistas de acuerdo a la estructura de la organización: por unidad producida y por mano de obra.

Entre los métodos propuestos en la literatura se pueden clasificar en tres grupos:

- Tanteo y error: Evalúa desde el punto de vista de los costos varias estrategias y selecciona la más económica. Por ejemplo los métodos gráficos.
- Modelo de Programación lineal: Proporciona la solución óptima pero tanto los costos como la demanda deben ser lineales.
- Modelo de Transporte: Este método se aplica cuando no se tiene como alternativa contratar y/o despedir personal. Solo tiene en cuenta información relacionada con los costos y selecciona la alternativa que arroje el menor costo. Por ejemplo el Método de transporte de Bowman.

2.2.2.1. Estrategias puras de planificación

Las estrategias puras son aquellas que se centran sólo en un aspecto de los tres que influyen en la planificación agregada: Mano de obra, inventario y producción [11].

- **Cambio del nivel de inventario**

Consiste en variar sólo el nivel del inventario. Así, en previsión de períodos de alta demanda la empresa acumula producto terminado. Cuando la demanda desciende, se reducen los niveles de stock. De esta forma se aseguran las ventas y se evitan quiebres de inventario; como contraparte su costo de inventario aumenta, así como la probabilidad de obsolescencia (en caso de PT con poca vida útil).

- **Cambio en el nivel de mano de obra**

Consiste en realizar contrataciones temporales para adecuarse a la demanda; aproximando la capacidad de la empresa a las necesidades de producción; como consecuencia se consiguen bajos niveles de inventario, pero los gastos en formación, contratación y despido aumentan de forma considerable. Esta estrategia se emplea de forma generalizada en empresas de servicios.

- **Variación de la tasa de producción**

Por último, se puede variar la tasa de producción para satisfacer la demanda. Existen distintas formas de aumentar la capacidad de la planta sin recurrir a la compra de maquinarias como definir horas extras, añadir un turno y/o subcontratar.

2.2.3. Plan maestro de producción

En el Plan Maestro de Producción o MPS (por sus siglas en inglés Master Production Scheduling), se especifica la cantidad que debe fabricarse de cada producto en cada período de tiempo. Se puede definir como un mapa de la producción de los siguientes días o semanas. Sus entradas de información son el plan agregado de producción, el pronóstico de venta, pedidos de clientes e inventario disponible.

El MPS debe ser revisado constantemente, con la finalidad de cumplir con las expectativas del mercado y en caso que lo amerite cambiar la secuencia de producción y/o incluir la producción de un SKU.

2.2.3.1. Tipo de Producción

Características	Fabricación para inventarios	Fabricación para pedido
Producto	Especificado por el productor Baja variedad Poco costo	Especificado por el cliente Alta variedad Alto costo
Objetivos	Balancear inventarios capacidad y servicio	Administrar tiempos de entrega y capacidad
Principales problemas en las operaciones	Pronósticos, planeación y control de inventarios	Promesas de entrega y tiempos de entrega

Tabla 2.1: Diferencias entre la fabricación para pedido y la fabricación para inventarios

Fuente: Los Autores

En los procesos de producción es importante definir los dos tipos de producción que

se tiene:

- Producción Lote por Lote: se produce de acuerdo a una cantidad pedida, por lo que la cantidad a producir es variable.
- Producción por Lote: se define un tamaño de lote para producir, por lo que la cantidad será constante o múltiplos de esta cantidad.

En la literatura presentan varios sistemas de producción, estos sistemas depende de las características de la organización o de los productos.

- Fabricación para inventario o Make to Stock (MTS): se produce por lotes para mantener el producto final en inventario y poder satisfacer a sus clientes de manera rápida. Por lo general sus clientes son los consumidores finales. Este enfoque es ideal para productos similares que en su composición solo varía una característica para el producto final.
- Fabricación para pedido o Make to Order (MTO): producción puede ser lote por lote según los pedidos de los clientes, de esta manera no se maneja inventario de productos terminados, los clientes deben tener en cuenta que se comenzará a fabricar cuando se conoce el pedido por lo que se tiene que considerar el tiempo de producción por lo que los tiempos de entregas pueden ser largos. Es ideal para productos con muchas configuraciones y resulta casi imposible anticiparse a los pedidos de los clientes.

Las diferencias entre la fabricación por pedido y la fabricación para inventarios se las puede visualizar en la Tabla 2.1.

2.2.4. Planeación de Requerimiento de materiales

El MRP es un sistema de planeación entre producción, compras y calidad. El objetivo del cálculo del sistema MRP es "Determinar cuánto pedir de cada componente para asegurar la disponibilidad de la cantidad deseada, en el lugar adecuado y en el momento que sean necesarios, partiendo de los datos del plan maestro".

Este sistema trabaja en base a dos parámetros básicos de control de producción, los cuales son tiempo y cantidad. Se debe tomar en cuenta que este sistema se puede automatizar de forma eficiente, si y solo si, los datos que se dispongan para tomar decisiones estén actualizados.

Cabe indicar que aunque en los productos con demanda dependiente, el stock de seguridad no puede eliminarse por completo (pues existe pérdida de componentes debido a mermas o productos defectuosos), puede reducirse de forma importante.

2.2.4.1. Conceptos Básicos

- Lista de Materiales o Bill of Materials (BOM): Representa la estructura del producto, es decir, el tipo de componentes (MP-ME) y la cantidad de cada uno de ellos.
- Maestro de artículos: Indica la disponibilidad de inventario en un determinado momento. Aquí se incluyen el lead time, stock de seguridad, mermas permitidas. Es importante notar que lo que se busca es asegurar que todos los componentes estén disponibles al momento de empezar a producir. En la literatura podemos encontrar que mediante gráficos de Gantt se puede representar un maestro de producción.

- Necesidades Brutas: Indica la cantidad de componentes que se requiere para un período. El MRP considera estas necesidades como los resultados obtenidos en el MPS para todos los componentes (MP-ME)
- Recepciones Programadas: Como su nombre lo indica son componentes que se prevé que arriben al final del período. También conocido como stock en tránsito.
- Inventario disponible: indica el inventario que se debe tener al final de un período.

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Inventario Disponible} = \text{RP}(i) + \text{RPr}(i) + \text{I}(i-1) - \text{NB}(i)$$

Donde:

$\text{RP}(i)$ = Recepciones planeadas del período i

$\text{RPr}(i)$ = Recepciones programadas del período i

$\text{I}(i-1)$ = Inventario disponible del período anterior

$\text{NB}(i)$ = Necesidades brutas del período i

- Necesidades Netas: Indica la cantidad de componentes que se necesita para un período, pero en este caso se toma en cuenta el inventario disponible en el período anterior, el stock en tránsito y el stock de seguridad.

$$\text{Necesidades Netas}(i) = \text{NB}(i) + \text{SS} + \text{I}(i-1) - \text{RPr}(i)$$

Donde:

NB(i) = Necesidades brutas del período i

SS = Inventario de Seguridad

I(i-1) = Inventario disponible del período anterior

RPr(i) = Recepciones programadas del período i

2.2.4.2. Entradas y salidas al sistema MRP

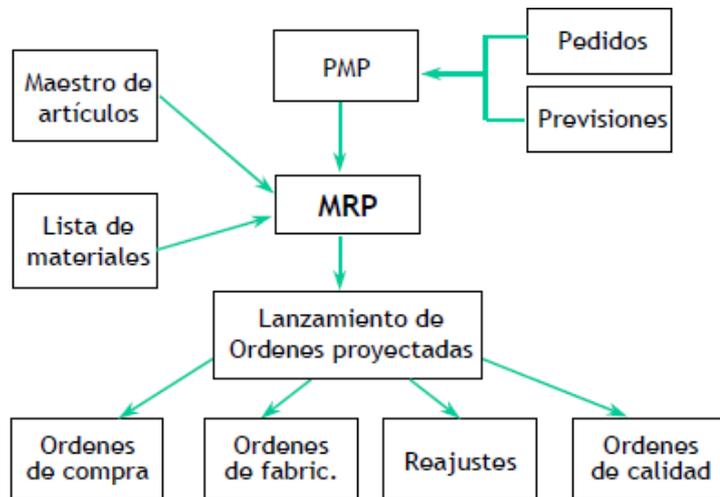


Figura 2.2: Planificación de requerimientos de materiales

Fuente: Organización de la Producción II (2007)

Como podemos visualizar en la Figura 2.2, para el correcto desarrollo del sistema MRP, se debe tener en cuenta como entradas el plan maestro de producción que gracias a la lista de materiales (BOM), se transforman los requerimientos de un PT a componentes (MP- ME); de tal forma se conocerán las necesidades brutas de los insumos necesarios para cumplir con el plan de producción. Ahora para tomar la decisión de cuanto y cuando comprar, se necesita conocer el registro de inventarios, el lead time tanto de la reacción del

proveedor y/o calidad (debido a que los componentes sufren un proceso de revisión por el departamento de Calidad).

Los principales informes que produce el sistema MRP son:

- Órdenes de compra: Indica la necesidad neta y cuando deberá arribar los componentes para continuar con el MPS.
- Órdenes de producción: Indica cuanto y cuando producir para obtener el producto final en la fecha requerida.
- Informes de reprogramaciones debido a cambios (eliminación y/o adición) en los pedidos del PT.

2.2.5. Planificación de requerimientos de capacidad

Planificación de requerimientos de capacidad o CRP (Por sus siglas en inglés Capacity Resource Planning), se define como la planificación de los recursos de máquina y hombre, necesarios para realizar una serie de trabajos en un plazo determinado.

El CRP es una herramienta de gestión que permite la toma de decisiones tanto a largo, medio y corto plazo, dependiendo del horizonte de planificación que se tome.

A largo / mediano plazo el CRP aporta una visión clara sobre la capacidad productiva, permitiendo tomar decisiones tipo subcontratación de trabajos, adquisición de nuevas máquinas, ampliación de instalaciones, ampliación o disminución de mano de obra, ampliación de horas extras durante la jornada de trabajo. A corto plazo el CRP nos permite

tomar decisiones que pueden afectar incluso al MRP, variando la necesidad en fecha de los materiales por falta o exceso de capacidad productiva.

El CRP aporta una visión más clara de la capacidad de trabajo y la cantidad de trabajo que tiene una organización en un período de tiempo, de esta manera poder realizar la planificación de la carga de trabajo repartiéndola sobre la capacidad de trabajo disponible minimizando stocks y ocupando toda la capacidad productiva.

El MRP y el CRP están ligados de manera intrínseca, debido a que el MRP se encarga de controlar y coordinar los materiales para que éstos se encuentren disponibles cuando sean necesarios y el CRP se encarga de controlar y coordinar los recursos de maquinaria, fuerza laboral y disponibilidad de bodega para realizar los trabajos en un determinado lapso de tiempo.

2.2.6. Programación de la producción

La programación de la producción se la define como el último paso dentro del proceso jerárquico de planeación y control, está constituido por el programa final de operaciones, el mismo que permite definir responsabilidad a cada trabajador para poder cumplir con el MPS, el plan agregado de producción y los planes estratégicos de la organización.

Es importante dentro de esta fase tomar en consideración el tipo de configuración productiva que posee el taller de producción de la organización; pues dependiendo de ésta, será la técnica o procedimiento a emplear en su programación y control. Básicamente la configuración de los talleres puede ser de dos tipos:

- Talleres de configuración continua o en serie: Aquellos en donde las máquinas y centros de trabajo se organizan de acuerdo a la secuencia de fabricación (líneas de ensamble), con procesos estables y especializados en uno o pocos productos y en grandes lotes, además hay poco inventario en proceso y el tiempo de producción es corto. En ellos, las actividades de programación están encaminadas principalmente, a ajustar la tasa de producción periódicamente.
- Talleres de configuración por lotes: En los que la distribución de máquinas y centros de trabajo se organizan por funciones o departamentos con la suficiente flexibilidad para procesar diversidad de productos. Éstos pueden ser de dos tipos:
 - Configurados en Flow Shop: Donde los distintos productos siguen una misma secuencia de fabricación.
 - Configurados en Job Shop: Aquellos donde los productos siguen secuencias de fabricación distintas.

En la actualidad, debido a las necesidades de fabricación y exigencias competitivas del mercado, muchas organizaciones manufactureras han adoptado configuraciones híbridas. La más conocida es la configuración celular o celdas de manufactura. En términos generales y en el caso más complejo, las actividades que se presentan en la programación y control de operaciones son:

- Asignación de cargas
- Secuenciación de pedidos

- Programación detallada

2.2.6.1. Asignación de cargas

Ésta se define como la asignación de tareas a cada centro de trabajo o de proceso, que permite controlar la capacidad y la asignación de actividades específicas en cada centro de trabajo. En general las técnicas más empleadas en la asignación de carga son: Gráficos Gantt, perfiles de carga o diagramas de carga, métodos optimizadores (algoritmo de Kuhn o método Húngaro) y soluciones heurísticas (método de los índices).

2.2.6.2. Secuenciación de pedidos

Esta actividad consiste, en determinar el orden en que serán procesados los pedidos en cada centro de trabajo, una vez establecida la existencia de capacidad.

El problema de la secuenciación se hace más complejo en la medida que aumenta el número de centros de trabajo, sin importar la cantidad de pedidos; así mismo, es importante tomar en cuenta el tipo de configuración del taller, pues de esto depende la aplicabilidad de las diferentes técnicas.

En lo referente a talleres configurados en Flow Shop, las técnicas más conocidas para secuenciación de una máquina son algoritmo húngaro, algoritmo de Kauffman y los sistemas Kanban; mientras que para secuenciación de n máquinas son reglas de Johnson para N pedidos y M máquinas, algoritmo de Bera y técnicas de simulación.

Los talleres configurados en Job Shop, debido a la diversidad en la secuencia de

operaciones, no es posible emplear alguna técnica de optimización, por lo cual, la secuencia de operaciones, se establece en función de los objetivos específicos de cada programador, a través del uso de reglas de prioridad como:

FCFS: First come / First serve (primero en llegar, primero en ser atendido)

FISFS: First In System / First Serve (primero en el sistema, primero en ser atendido)

SPT: Shortest Processing Time (menor tiempo de procesamiento)

EDD: Earliest Due date (fecha de entrega más próxima)

CR: Critical Ratio (razón crítica o ratio crítico).

2.2.6.3. Programación detallada

Determina los momentos de comienzo y fin de las actividades de cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuencia realizada. Las técnicas más utilizadas son: programación hacia adelante y hacia atrás, listas de expedición, gráficos Gantt y programación a capacidad finita.

Capítulo 3

Caso de Estudio

3.1. Antecedentes

El presente trabajo se enfoca en diseñar un sistema de planificación de recursos para la manufactura, a partir de un plan maestro de producción (proporcionado por la empresa), el mismo está aplicado a una empresa de balanceados para pollo, cerdo, ganado, camarón, tilapia, perro y gato; para esto cuenta con 7 líneas de producción detalladas a continuación:

- Línea 1: Dedicada a la producción de alimento para pollos, ganado, cerdos.
- Línea 2: Dedicada a la producción de alimento pelletizado¹ camarón.
- Línea 3: Dedicada a la producción de alimento pelletizado camarón.
- Línea 4: Dedicada a la producción de alimento extruido para perros, gatos y alimento para tilapia.
- Línea 5: Anexa a la línea 1, dedicada a la producción de alimento molido para pollo y ganado.

¹Pelletizado: es el proceso de fabricación de pellets (producto con forma de pequeños granos)

- Línea 6: Dedicada a la producción de mezclas, reenvases y fraccionamientos.
- Línea 7: Dedicada a la producción de alimento granulado para camarón.

Más del 90 % de los productos se manufacturan en las líneas 1, 2, 3, 4. En las líneas 5 y 7 actualmente se producen 2 referencias en cada línea. Por otro lado la línea 6 no contempla un proceso sofisticado de producción, tan solo se dedica a mezclas manuales, fraccionamientos y reenvases. Por estos motivos el trabajo se enfoca en las primeras cuatro líneas de producción.

Las Divisiones Comerciales que son abastecidas por los productos manufacturados en la planta son:

- División Salud Animal (DSA): encargada de la comercialización de alimento para pollos, cerdos, ganado.
- División Acuicultura (DAC): encargada de la comercialización de alimento para camarón, tilapia y productos químicos para este sector.
- División Consumo (DCO): encargada de la comercialización de alimento para canes y felinos.

Los balanceados referentes a la DSA y DAC tienen una vida útil de 45 días; mientras que en DCO su vida útil es de 10 meses. Pasada esta fecha el producto es retornado a la planta, y previos resultados microbiológicos y bromatológicos se define si el producto puede ser utilizado como remezcla (reproceso), caso contrario es vendido a algún gestor ambiental como barrido.

En su gran mayoría los productos manufacturados son Make to Stock, los mismos que son trasladados a un centro de distribución y/o almacén; una vez generado el requerimiento del producto, los funcionarios de distribución tienen la política de despachar con un tiempo máximo de 2 días, se realiza previamente la gestión para contar con las flotas de transporte necesarias, de tal forma que la capacidad del transporte se pueda aprovechar en su totalidad. Los productos Make to Order son notificados una vez exista el compromiso de venta por parte del Gerente de división; así mismo una vez manufacturado son trasladados al almacén y/o agencia que notificó el requerimiento.

En los alimentos balanceados de camarón una cierta cantidad de producto terminado salen ya facturados a los muelles del cliente final; para ofrecer este servicio se ha implementado un muelle donde se despacha directamente al consumidor final por medio fluvial. La flota tanto fluvial como terrestre es subcontratada, es por esto la importancia y la necesidad de no incurrir en quiebres de inventario, esto generaría costos adicionales de "stand by" tiempo de espera.

Para la manufactura de los balanceados se necesitan ciertos insumos, los mismos se pueden clasificar en:

- Macro ingredientes: Son componentes principales de cualquier mezcla que constituye un alimento comercial. Éstos se consumen en mayor volumen por ejemplo las harinas de pollo, carne y hueso, pescado, camarón calamar, etc.

Estos macro ingredientes se pueden dosificar manualmente o por medio de software, ya que son depositados en tolvas cuyas capacidades oscilan de 5 a 10 Ton, dependiendo de la densidad de la materia prima.

- Micro ingredientes: Ingrediente o combinación de ingredientes añadidos a la mezcla base del alimento o a parte de ésta para satisfacer una necesidad específica. Normalmente se utiliza en micro cantidades y requiere un mezclado y una manipulación cuidadosa.
- Material de empaque: recipientes o envolturas que contienen el producto de manera temporal. Facilita su manipulación, almacenamiento e identificación

Todos estos insumos son almacenados en la bodega de materiales; los macro ingredientes no pueden ser despachados a la bodega de producción sin antes tener los resultados del departamento de calidad, los resultados de los análisis pueden variar de 1 a 2 días dependiendo de la procedencia de la harina, es decir, si es de origen animal el lead time de liberación por parte de calidad es 2 días y si es origen vegetal es de 1 día. Para los micro ingredientes y ME no existe mucha complicación para que sean liberados.

En caso que la MP salga rechazada es notificada al área de Compras, para que ésta proceda a negociar con el proveedor para su posterior retiro y reposición de la misma. Una vez liberados los insumos son despachados a la bodega de producción cuando exista el requerimiento de producción. Todo producto es palletizado, tanto las materias primas y el producto terminado.

La planta trabaja mediante dos turnos de 12 horas, cuenta con una fuerza laboral en el área operativa de 90 operarios, 3 supervisores y 3 analistas de proceso, se puede trabajar bajo dos metodologías: la primera consiste en tener 2 grupos que trabajen de lunes a viernes y en caso que amerite se trabajan sábados y domingos, en esta metodología un grupo está

compuesto de 2 supervisores, 2 analistas de calidad y 45 operarios; mientras que el otro grupo se compone de 1 supervisor, 1 analista de calidad y 45 operarios).

La segunda metodología consiste en trabajar con un formato 4-2 (cuatro días trabajan dos descansan); cuando sucede esto el personal se lo divide en 3 grupos , cada grupo lo compone 1 supervisor, 1 analista de calidad y 30 operarios, de tal forma que la planta esta operativa de lunes a domingo sin incurrir en horas extras los fines de semana, excepto los feriados.

Ambas metodologías de trabajo cumplen con todas las normas laborales en cuanto al pago de horas ordinarias ² , horas suplementarias ³ , horas nocturnas ⁴ y horas extras ⁵ .

En la figura 3.1, se clasifica las diferentes jornadas de trabajo. En resumen podemos decir que en el primer turno se pagarán 3 horas con un recargo del 50 % y en el segundo turno se pagarán 8 horas con un recargo del 25 % , 2 horas con un recargo del 50 % y 100 % para los días laborales.

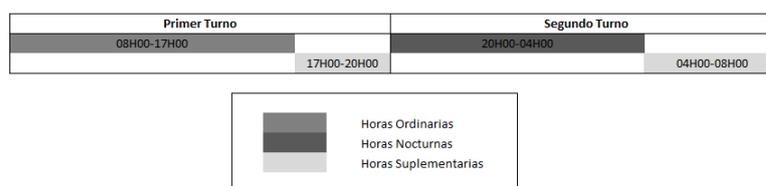


Figura 3.1: Jornada Laboral

Fuente: Los Autores

²Horas ordinarias: es el tiempo que se compromete un trabajador a laborar al servicio del empleador

³Horas suplementarias: es el tiempo adicional a las horas ordinarias, si van desde las 12 AM hasta las 6 AM se tendrá un recargo del 100 % , caso contrario el recargo es del 50 %

⁴Horas nocturnas: es el tiempo ordinario comprendido desde las 7 PM hasta las 6 AM y su recargo es del 25 %

⁵Horas extras: es el tiempo que se labora los fines de semana o días festivos y su recargo es del 100 %

3.2. Situación Actual

A inicios de año, se recepta por parte de los gerentes de división el Business Plan (BP), plan de negocios, en el mismo consta las órdenes de pedido (OP) correspondientes a cada mes. Nutrición realiza fórmulas estándar, cumpliendo con los parámetros nutricionales que ofrece el producto; con esta información Planificación es el encargado de realizar el BOM para el transcurso de todo el año. Acorde estas demandas de materiales, Compras hace negociaciones de las MP importadas.

Adicional a esto cada mes, se reconfirma la orden de pedido (correspondiente al mes próximo a transcurrir), puesto que, puede haber existido algún tipo de peculiaridad que haga cambiar la demanda del PT, como un aumento/disminución en el precio del pollo, promoción, etc. Así mismo cada mes se reafirman las fórmulas nutricionales a utilizar, principalmente debido a que los costos de MP no son constantes en el tiempo y/o puede existir alguna restricción en algún insumo por veda, escasez u otros.

3.2.1. Proceso mensual

Hasta los días 20 del mes n, los gerentes de las divisiones comerciales realizan las órdenes de producción mensuales (OP) del mes n+1 (en base a lo que se proyecta vender y/u órdenes de clientes durante el mes), las mismas que son revisadas por el área de planificación y acorde al ratio promedio del mes n se define si dicha cantidad es factible producir durante el mes n+1.

Paralelamente el departamento de Compras cotiza los precios promedios de MP para

el mes n+1 de los macro y micro ingredientes, así mismo se indica aproximadamente la capacidad máxima que se podrá comprar para el mes n+1 para una referencia en específico (en caso de existir alguna restricción por importación, estacionalidad o escasez); con esta información el departamento de Nutrición elabora las fórmulas nutricionales que regirán durante el mes, las mismas que son actualizadas en las lista de materiales y se procede a realizar el BOM referente al mes n+1. Con esta información, el departamento de Compras confirma si es factible comprar en dichos volúmenes y procede a realizar negociaciones con los proveedores de tal forma que se asegura de abastecerse con las necesidades brutas del mes n+1. Ver Figura 3.2.

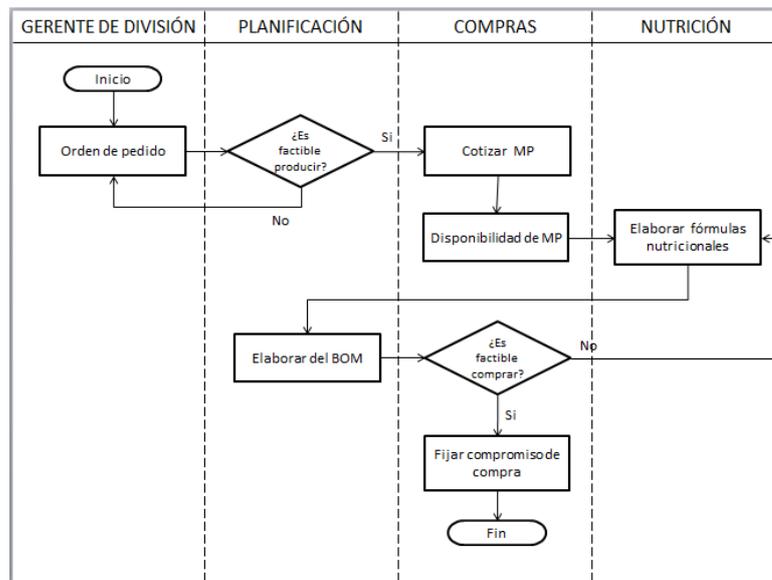


Figura 3.2: Diagrama de flujo mensual actual

Fuente: Los Autores

3.2.2. Proceso semanal

Los jueves de la semana m , el departamento de Planificación envía las necesidades brutas del cierre de la semana m y de la misma forma los viernes de la misma semana se envía al departamento de Calidad las necesidades brutas de la semana $m+1$. Para esto Planificación receipta hasta los miércoles de la semana m las prioridades y demanda estimada por parte de cada División Comercial (OP semanal) a ser considerada en el plan de producción de la semana $m+1$, con esta información se define la secuencia de producción, la cantidad de producción, se comunica el plan semanal de producción (MPS), se ejecuta y se realiza el control del MPS.

- Para definir la secuencia de producción se agrupa por tipo de alimento (cerdo - ganado - pollo), por tipo de matriz de pelletizado y por el nivel de cobertura en la bodega de PT.
- Para definir la cantidad de producción en los productos Make to Stock se define en función de paradas o batch⁶ y en los productos Make to Order una vez confirmado el requerimiento del cliente, siempre y cuando sea mayor o igual de la cantidad mínima de producción.

Con las necesidades brutas del cierre de la semana m y de la semana $m+1$ y bajo las políticas de aprovisionamiento Compras elabora el plan de compras para la semana $m+1$ en la cual se detallan las necesidades netas de la semana y fechas en las que arribarán las materias primas. Este plan de compras de la semana $m+1$, es socializado los viernes

⁶Batch: lote

de la semana m.

- Para comunicar el MPS, se confirma con el departamento de Compras el abastecimiento de los insumos, caso contrario, se reduce la cantidad a producir o no son considerados en el MPS de la semana m+1.
- Una vez inicia la semana m+1, se comunica de manera diaria las cantidades y secuencia a realizar por cada turno y cada línea de producción y se procede a la ejecución y control de la producción. Ver Figura 3.3.

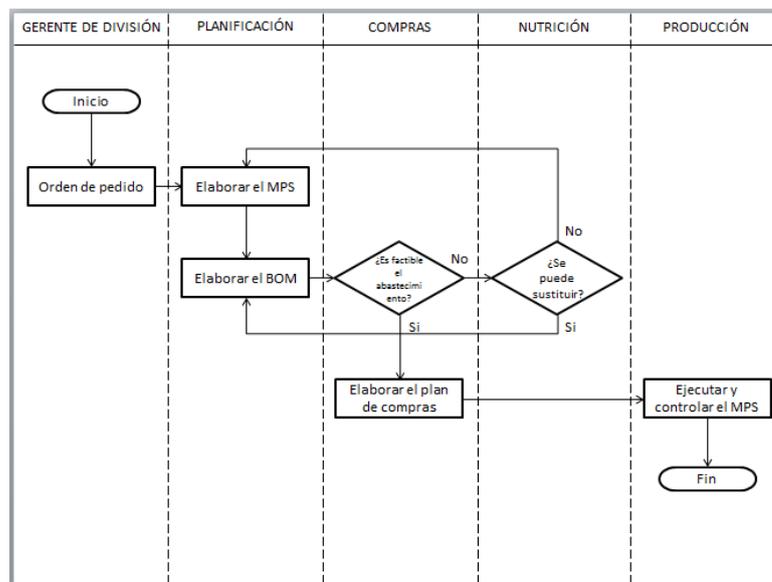


Figura 3.3: Diagrama de flujo semanal actual

Fuente: Los Autores

3.3. Análisis del problema

En el apartado anterior se pueden denotar tres puntos de mejora dentro del procedimiento actual que sigue la empresa.

- El BP que se solicita a principios del año, en ningún momento es actualizado, esto genera graves inconvenientes de desabastecimiento en materias primas importadas, debido a que si en meses consecutivos se consume más de lo indicado en el BP; el inventario previsto en meses posteriores será menor, así consecutivamente, hasta que exista un punto de quiebre de inventario, en el que la necesidad sea mayor al inventario, y la fecha de arribo de la MP importada aún no esté prevista para ese lapso de tiempo.
- No se utiliza eficientemente el personal operativo, puesto que no se analiza con antelación cual sería la mejor metodología de trabajo si con 2 o 3 grupos de trabajo. En ocasiones se trabaja con dos grupos de trabajo hasta los sábados, esto incurre en horas extras al 100 % del personal operativo . Adicional no se analiza cual es el período de tiempo más factible para otorgar vacaciones al personal, puesto que lo ideal fuese que se les conceda vacaciones en temporadas bajas.
- La mala planificación de MP conlleva a que ocasionalmente la planta pare por falta de algún insumo; en ocasiones los insumos ya están en bodega de materiales pero en análisis por el departamento de Calidad (Control de calidad) y en otros casos están previsto llegar días posteriores al día que será necesitado. Esto sucede a que si bien es cierto, el departamento de Compras realiza el plan de compras en

base a las necesidades brutas de la siguiente semana, ellos no saben qué día se utilizará/necesitará este producto. Por ejemplo se desea producir fitobloom 7-1 el día miércoles; para esto la necesidad neta de metasilicato de sodio es 5 Ton., cuando compras realiza el plan de compras en inventario existen 2 Ton., por tal razón se gestiona la compra de 8 Ton., la misma está prevista arribar el jueves en el plan de compras. Con este ejemplo se puede denotar que el MPS no se podrá cumplir debido a que no hay suficiente insumo para la producción de fitobloom 7-1. Esto genera tiempos ociosos/retrasos/inconformidades en los clientes. Por otro lado por este mismo tema se incurre también en horas extras en los analistas de calidad (bromatología - microbiología). Esto sucede debido a que no se toma en cuenta el lead time de los análisis de calidad, ya que una MP puede arribar el viernes de la semana m y es necesario tenerla disponible para el lunes de la semana m+1, cuando sucede esto, los analistas de calidad realizan los análisis el fin de semana.

- Existen restricciones en cuanto a la capacidad de la bodega de materiales, esto no es planificado con antelación de tal forma que los días jueves y/o viernes se producen reprogramaciones, estableciendo prioridades debido a que la bodega ya se encuentra a su límite de capacidad, esto incurre en costos por stand by, o asumir algún porcentaje del costo del flete.

Capítulo 4

Diseño e Implementación

4.1. Diseño de un sistema de planificación de recursos para la manufactura

A inicios de año, se receipta por parte de los gerentes de división el BP, en el mismo constan las OP correspondientes a cada mes.

Nutrición realiza fórmulas estándar, cumpliendo con los parámetros nutricionales que ofrece el producto; con esta información Planificación es el encargado de realizar el BOM para el transcurso del año. Acorde estas demandas de materiales, Compras hace negociaciones de las MP importadas. El BP se actualizará trimestralmente, así mismo las fórmulas estándar y el BOM para el resto del año; con esta información actualizada, Compras elabora las nuevas necesidades de las MP importadas, realizando el aprovisionamiento por un volumen mayor o menor, adelantando o retrasando la compra, según el nuevo requerimiento.

Adicional, Planificación se encargará de realizar la PA, cuya finalidad será determinar los niveles de fuerza laboral, ritmo de producción, cantidad de horas extras y nivel de subcontratación, satisfaciendo la demanda al menor costo. Es importante definir que

Gerencia de Planta es quien decide la estrategia a utilizar para un período. La PA se realizará mediante un modelo matemático el mismo que se detalla en secciones posteriores. Adicional, el proceso de elaborar la PA, se actualizará trimestralmente, una vez actualizado el BP.

4.1.1. Propuesta de mejora de proceso mensual

Hasta los días 20 del mes n , los gerentes de las divisiones comerciales realizan las OP del mes $n+1$ (en base a lo que se proyecta vender y/u órdenes de clientes durante el mes), las mismas son revisadas por Planificación, de tal forma que si las cantidades son reconfirmadas (en comparación al BP) o su variación no es significativa, se trabaja acorde a las decisiones y estrategias antes elaboradas, caso contrario, se realizará una actualización de la PA, con los datos del mes $n+1$. Paralelamente, Compras cotiza los precios promedios para el mes $n+1$ de los macro y micro ingredientes, así mismo se indica aproximadamente la capacidad máxima que se podrá comprar para el mes $n+1$ para una referencia en específico (en caso de existir alguna restricción por importación, estacionalidad o escasez); con esta información el departamento de Nutrición elabora las fórmulas nutricionales que regirán durante el mes, las mismas que son actualizadas en la lista de materiales y se procede a realizar el BOM referente al mes $n+1$. Compras confirma si es factible comprar en dichos volúmenes y procede a realizar negociaciones con los proveedores de tal forma que se asegura de abastecerse con las necesidades brutas del mes $n+1$. Ver Figura 4.1.

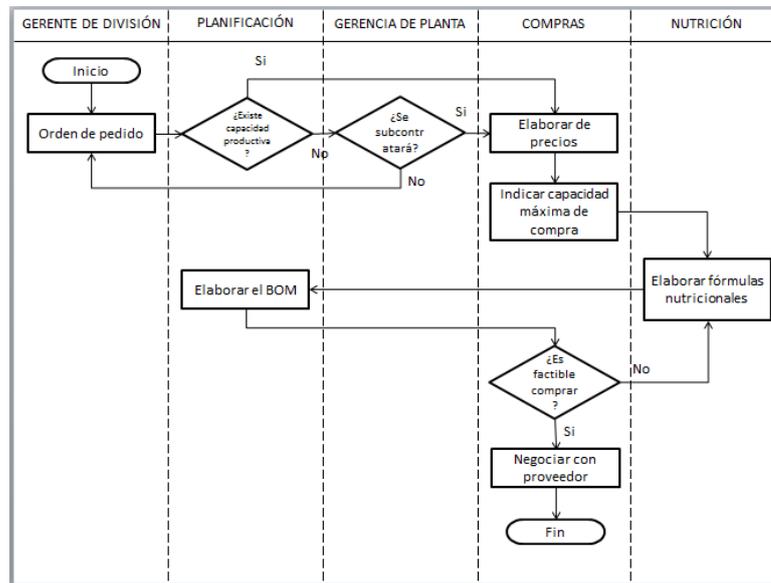


Figura 4.1: Diagrama de flujo mensual propuesta

Fuente: Los Autores

4.1.2. Propuesta de mejora de proceso semanal

Los jueves de la semana m , Planificación envía las necesidades brutas del cierre del mes m , de la misma forma los viernes de la misma semana se envía a Compras las necesidades brutas de la semana $m+1$; para esto, Planificación receipta hasta los miércoles de la semana m las prioridades y demanda estimada por parte de cada División Comercial (OP semanal) a ser considerada en el plan de producción de la semana $m+1$, con esta información Planificación realizará el MPS, el mismo no será socializado hasta confirmar el abastecimiento de las materias primas.

- Para definir la secuencia de producción se agrupa por tipo de alimento (cerdo - ganado - pollo), por tipo de matriz de pelletizado y por el nivel de cobertura en la bodega de PT.

- Para definir la cantidad de producción en los productos Make to Stock se define en función de paradas o batch y en los productos Make to Order una vez confirmado el requerimiento del cliente, siempre y cuando sea mayor o igual de la cantidad mínima de producción.

Con la información del MPS, Planificación procede a elaborar el MRP, en el mismo se identificaran las prioridades de compra para cumplir con el MPS, se realizará el aprovisionamiento acorde a las políticas de MP (asegurando tener stock inicial para el inicio de la semana $m+2$), se analizará la capacidad de la bodega de materiales, y la factibilidad del MPS, en cuanto a la disponibilidad de la fuerza laboral. Una vez identificadas las prioridades y el abastecimiento de las materias primas, Compras confirma con los proveedores para que arriben el día indicado. En caso que una MP definida como prioridad no se pueda abastecer en la fecha requerida, se consulta a Nutrición de manera que indique si es posible reemplazar/sustituir; si Nutrición indica que no es factible sustituir, entonces se procede a reajustar las cantidades a producir en el MPS; otras causales por las que se puede reajustar el MPS, es debido a que en ésta se exceda la fuerza laboral permitida, es decir, el tiempo de set up más el tiempo de producción sea mayor al tiempo disponible para producir, acorde a estrategias indicadas en la PA; este proceso se repite hasta que no exista ninguna restricción. Una vez realizado el procedimiento antes mencionado, se socializa, se ejecuta y se realiza el control del MPS. Ver Figura 4.2.

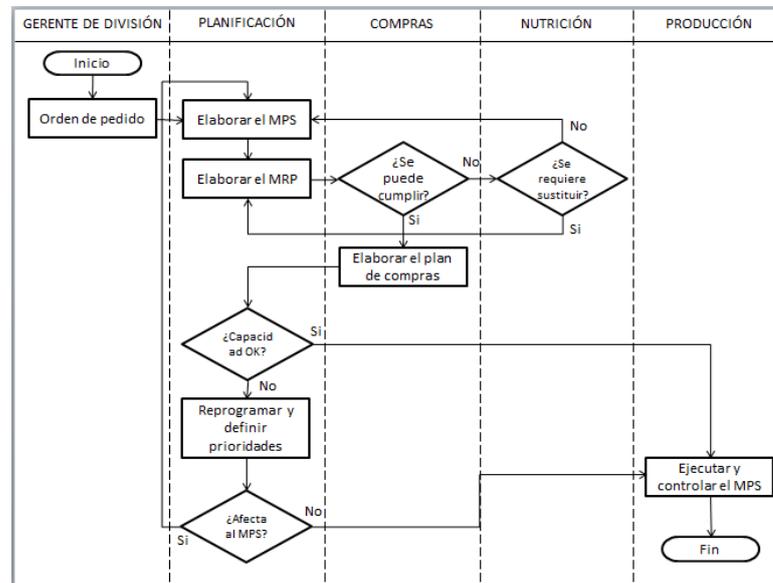


Figura 4.2: Diagrama de flujo semanal propuesta

Fuente: Los Autores

4.2. Implementación de un sistema de planificación de recursos para la manufactura

4.2.1. El entorno Gams

4.2.1.1. Características de Gams

El nombre GAMS deriva de las iniciales de General Algebraic Modelling System, que como su propio nombre indica es un lenguaje de modelización, más que un programa para resolver problemas de optimización [9]. La ventaja que presenta este programa GAMS, es que junto al módulo de modelización (base) incorpora diferentes solver (algoritmos de resolución de problemas) tanto de programación no lineal, como lineal y entera. El lenguaje GAMS posee diferentes versiones (estudiante, profesional, workstation, mainframe, etc.)

que se diferencian básicamente en las posibilidades de resolución de problemas de diferente tamaño. Ver figura 4.3.

En la literatura se destacan algunas de las características que ofrece la herramienta:

- Su capacidad para pasar de resolver problemas de pequeña dimensión (docenas de variables y restricciones) a problemas mayores.
- La forma en que GAMS representa un problema de optimización coincide, prácticamente, con la descripción matemática de ese problema.
- Proporciona los mecanismos necesarios para resolver problemas de optimización con estructuras similares, como son aquellos que se derivan de las técnicas de descomposición.

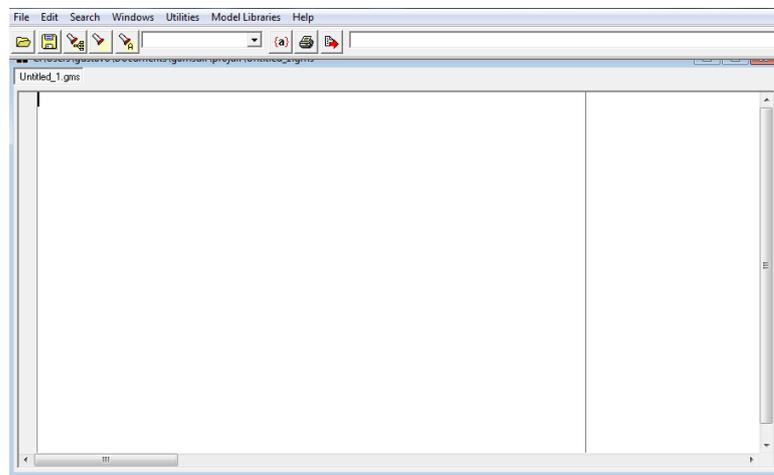


Figura 4.3: Entorno Gams

Fuente: Los Autores

4.2.1.2. Recursos computaciones empleados

La versión de Gams que se ha utilizado es **Gams 23.0** , y los recursos de hardware y software se detallan en la tabla 4.1

Sistema Operativo	Windows 8
Arquitectura	64 bits
Procesador	Intel Core i5 2.5 Ghz
Memoria RAM	8 GB

Tabla 4.1: Recursos computacionales empleados

Fuente: Los Autores

4.2.2. Modelos matemáticos

4.2.2.1. Modelo matemático para la Planificación agregada

Como se mencionó en el capítulo 2, la literatura indica que existen tres métodos para resolver estos tipos de problemas: método gráfico, de programación lineal [12] y de transporte.

El presente modelo se basa en una programación lineal, el mismo tiene como objetivo minimizar los costos de horas extras que se incurrirán para satisfacer el Business Plan; para esto se define la capacidad máxima de fuerza laboral (capacidad normal y capacidad extra) para cada línea de producción, se cuenta con un horizonte de tiempo definido por meses. El modelo permite subcontratar en caso que no se pueda cumplir con la demanda; hay que tomar en cuenta que la decisión de incurrir en horas extras o subcontratar depende de el gerente de planta. Adicional se muestra un análisis, sugiriendo la metodología que

debería utilizarse durante un período determinado en base a disminuir los costos de horas extras, en este análisis se agrega una tercera metodología, como se muestra en la figura 4.4. la cual indica que se trabaja 3 turnos de 8 horas, y en caso que amerite abrir turnos los fines de semana.



Figura 4.4: Jornada Laboral Adicional

Fuente: Los Autores

Las horas extras se calculan acorde a lo establecido por el código de trabajo, adicional por política de la empresa no se permiten contratos ni despidos por altas y/o bajas temporadas, es decir se cuenta con una fuerza laboral fija.

Índices

P Producto terminado ($i = 1, \dots, P$)

T Período ($t = 1, \dots, T$)

R Recursos ($r = 1, \dots, R$)

AR(i, r) Conjunto entre un PT y su recurso r

Parámetros

FC(i) Factor de conversión del PT i

RT(i) Ratios PT i

MHN(t) Máximo tiempo de horas regulares en el período t

MHE(t) Máximo tiempo de horas extras en el período t

ST(r) Tiempo promedio de parada prevista en el recurso r

D(i,t) Demanda de PT i en el mes t

A(r,e) Tiempo promedio de parada por arranque en el recurso r

M1 Valor grande para Horas Normales

M2 Valor grande para Horas Extras

M3 Valor grande para Horas a Maquilar

Variables

HN(t,r) Horas regulares necesarias en el periodo t en el recurso r

HE(t,r) Horas extras necesarias en el periodo t en la línea r

HM(t,r) Horas a maquilar necesarias en el periodo y en el recurso r

Función Objetivo

$$\min z = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R [[M1 * HN(t, r) + M2 * HE(t, r) + M3 * HM(t, r)]], \forall t = 1, \dots, T; r = 1, \dots, R \quad (4.1)$$

Restricciones

$$\sum_{i=1}^P \left[\frac{D(i, t) * FC(i)}{1000 * RT(i)} \right] + ST(r) + A(t, r) \leq HN(t, r) + HE(t, r) + HM(t, r), \forall t = 1, \dots, T; r = 1, \dots, R \quad (4.2)$$

$$HN(t, r) \leq MHN(t, r), \forall t = 1, \dots, T, r = 1, \dots, R \quad (4.3)$$

$$HE(t, r) \leq MHE(t, r), \forall t = 1, \dots, T, r = 1, \dots, R \quad (4.4)$$

$$HN(t, r), HE(t, r), HM(t, r) \leq 0, \forall t = 1, \dots, T, r = 1, \dots, R \quad (4.5)$$

La función objetivo que se presenta en la ecuación (4.1) busca minimizar costos que se incurren por el pago de horas ordinarias, horas extras y horas a maquilar.

En la ecuación (4.2) se determina la fuerza laboral necesaria para cumplir con la demanda para cada período y cada División, para esto se analiza el tiempo de producción, tiempo de set up y el tiempo de arranque de las maquinarias.

En (4.3) y (4.4) son cotas superiores para las horas normales y horas extras.

En (4.5) se declaran las variables positivas para el modelo.

4.2.2.2. Modelo matemático para el MRP I

En la literatura podemos encontrar una extensa variedad de modelos matemáticos para sistemas MRP I [6], [7], [10] ; estos modelos analizan la problemática en diferentes ambientes: deterministas, estocásticos, mediante programación difusa, entre otros. Por lo general se tratan de modelos multiproducto, multinivel, multiperíodo, cuya función objetivo busca reducir costos de inventario y capacidad.

El modelo presentado a continuación es un modelo determinista, multiproducto y multiperíodo. El mismo fue tomado como base del modelo presentado en [10] denominado Determoptimo.

Este modelo parte de una lista de materiales y un Plan Maestro de producción ya establecido por la organización, cuyo horizonte de tiempo a analizar es de una semana; se fijan políticas de inventario y el tiempo de análisis de las MP, las cuales permiten garantizar que siempre exista Stock Inicial la siguiente semana y que la MP pueda ser utilizada una vez realizado los análisis respectivos, garantizando la calidad del producto tomando en cuenta la capacidad máxima en la bodega de materiales, de tal forma que el modelo incurra en un costo extra cada vez que se sobrepase la capacidad de la misma. El modelo también respeta los arribos por lotes, pues el despacho de los proveedores de MP, puede ser un número entero positivo de lotes. Adicional, el modelo analiza si el plan maestro de producción es factible en cuanto a horas hombre; para esto se incluye en el modelo tiempos de set up y ratios promedios de los PT.

Con lo descrito anteriormente y mediante una filosofía justo a tiempo se logra aumentar la rotación y minimizar la edad del inventario de las MP.

Índices

i Conjunto de producto terminado ($i = 1, \dots, P$)

j Conjunto de materia prima ($j = 1, \dots, J$)

k Conjunto de recursos ($k = 1, \dots, K$)

t Período de tiempo ($t = 1, \dots, T$)

Subconjuntos

o(j) Materia prima con lead time de 2 días

p(j) Materia prima con lead time de 1 día

pt(k) Recursos asociado al producto terminado

mp(k) Recursos asociado a las materias primas

Parámetros

LT(j) Lead time de la MP j

P(j) Inventario Final de la MP j

LotMin(j) Lote mínimo de pedido de la MP j

SI(j) Stock Inicial de MP j

CapR(k) Capacidad de regular de recurso k

CapRE(pt) Capacidad extra de recurso pt

MPS(i,pt,t) Demanda de PT i en el recurso pt, en el período t

LDM(j,i) Lista de materiales necesarios de la MP i para hacer el PT

R(i) Ratios para realizar el PT i en el recurso pt

FC(j,mp) Factor de conversión de MP en el recurso mp

ST1(i,i) Matriz de set up de la línea 1 ($i \neq i$)

ST2(i,i) Matriz de set up de la línea 2 ($i \neq i$)

ST3(i,i) Matriz de set up de la línea 3 ($i \neq i$)

ST4(i,i) Matriz de set up de la línea 4 ($i \neq i$)

B(i) Bacht del PT i

Pre(i) Presentación del PT i

M1 Valor grande

M2 Valor pequeño

Variables

$X(j,t)$ cantidad a pedir de MP j en el período t

$Y(j,t)$ 1 si se necesita una MP j en el período t , 0 si no

$I(j,t)$ Inventario de MP j en el período t

$IT(j,t)$ Inventario total

$BOM(j,t)$ Necesidades brutas de MP j en el período t

$NEmp(mp,t)$ Necesidad extra de capacidad de bodega de materiales

$NEpt(pt)$ Necesidad extra de capacidad de líneas de producción

$H(pt)$ Necesidad de horas hombre

$NL(j,t)$ Número de lote

$XC(o,t)$ Cantidad de materia prima en control de calidad cuando el Lead time es 2 días

$PT(pt)$ Producción Total del PT

$OB(t)$ Ocupación de la bodega en el período t

Función Objetivo

$$\min z = \sum_{mp \in K} \sum_{t=1}^T M1 * NEmp(mp, t) + \sum_{j=1}^J \sum_{t=2}^T M2 * IT(j, t) \quad (4.6)$$

Restricciones

$$BOM(j, t) = \sum_{i \in P} \sum_{pt \in K} \frac{[MPS(i, pt, t) * LDM(j, i)]}{B(i)}, \forall j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T \quad (4.7)$$

$$I(j, t - 1) + X(j, t - LT(j)) - BOM(j, t) = I(j, t), \forall j = 1, \dots, J, t = 2, \dots, T - 2 \quad (4.8)$$

$$I(j, t - 1) - BOM(j, t) = I(j, t), \forall j = 1, \dots, J, t = T - 1, T \quad (4.9)$$

$$X(j, t) \leq 1000 * Y(j, t), \forall j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T \quad (4.10)$$

$$X(j, t) \geq LotMin(j) * Y(j, t), \forall j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T \quad (4.11)$$

$$X(j, t) = NL(j, t) * LotMin(j), \forall j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T \quad (4.12)$$

$$IT(j, t) \geq P(j), \forall j = 1, \dots, J, t = T \quad (4.13)$$

$$X(o, t) = XC(o, t + 1), \forall o \in J, t = 1, \dots, T \quad (4.14)$$

$$IT(o, t) = I(o, t) + X(o, t) + XC(o, t), \forall o \in J, t = 2, \dots, T \quad (4.15)$$

$$IT(p, t) = I(p, t) + X(p, t), \forall p \in J, t = 2, \dots, T \quad (4.16)$$

$$\sum_{j=1}^J \left[\frac{IT(j, t)}{FC(j, mp)} \right] \leq CapR(mp) + NEmp(mp, t), \forall mp \in K, t = 2, \dots, T \quad (4.17)$$

$$H(pt) = \sum_{i=1}^P \sum_{t=1}^T \frac{[MPS(i, pt, t) * Pre(i)]}{1000 * R(i)} + \sum_{i=1}^P \sum_{i=1}^P ST1(i, i) + ST2(i, i) + ST3(i, i) + ST4(i, i), \forall pt \in K \quad (4.18)$$

$$H(pt) \leq CapR(pt) + NEpt(pt), \forall pt \in K \quad (4.19)$$

$$NEpt(pt) \leq CapRE(pt), \forall pt \in K, t = 1, \dots, T \quad (4.20)$$

$$OB(t) = \sum_{j=1}^J \frac{[IT(j, t)]}{CapR(mp)}, \forall mp \in K, t = 2, \dots, T \quad (4.21)$$

$$X(j, t), I(j, t), BOM(j, t), NEmp(k, t), NEpt(k), PT(k) \leq 0, \forall i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T, k = 1, \dots, K \quad (4.22)$$

$$NL(j, t) \in N, \forall j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T \quad (4.23)$$

$$Y(j, t) = \{0, 1\}, \forall j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T \quad (4.24)$$

La función objetivo está dada por la ecuación (4.6) la misma que se encarga de minimizar los recursos de materia prima y de producción.

La ecuación (4.7) define la necesidad bruta de las MP para cada período de tiempo. Las restricciones de balance de inventario la encontramos en (4.8) (4.9) para días laborales (lunes a viernes) y fines de semana (en caso que se produzca) respectivamente; se respeta el tiempo de liberación de las MP y que los fines de semana no se receptan MP.

En la restricción (4.10) se aplica el método de la Gran M, con la finalidad que la variable binaria se active cuando la cantidad a pedir sea mayor a cero.

Las restricciones (4.11) y (4.12) indican las cotas mínimas y máximas de la cantidad a pedir, en (4.11) indica una cota mínima de la cantidad a pedir, la cual la establecen los proveedores con el pedido mínimo de despacho, y en (4.12) indica que si la cantidad a pedir sobrepasa esta cota mínima, entonces se debe pedir múltiplos enteros positivos de esta cota mínima.

La restricción (4.13) garantiza que al inicio de cada semana exista Stock acorde a una política de inventario antes definida

La restricción (4.14) indica que las MP cuyo lead time de liberación de calidad son dos días, permanezcan en inventario durante su último día antes de ser liberadas.

La ecuación (4.15) y (4.16) indica el inventario total de las MP, es decir, la MP liberada más la que se encuentra en control de calidad más la cantidad prevista arribar.

La restricción de capacidad de las MP la encontramos en (4.17) , existe la opción de almacenar más de su capacidad, pero se incurrirá en un costo extra.

La ecuación (4.18) define el recurso de horas hombre que se deberá utilizar en cada línea de producción para cumplir el MPS, se suma el tiempo de producción y el tiempo de set up.

Las restricciones de capacidad de recursos de horas hombre la encontramos en (4.19) y (4.20).

En (4.21) se indica cual es el porcentaje de ocupación de la bodega de materiales por día.

4.2.3. Resultados

4.2.3.1. Planificación Agregada

Luego de realizar las corridas en el software Gams, para el período comprendido desde Enero del 2013 hasta Septiembre del 2013, se presentan los siguientes resultados.

Como podemos observar en la tabla 4.2 los meses Febrero, Marzo y Abril para las líneas de acuicultura es recomendable trabajar con el método 4-2, esto resulta muy cierto en la práctica puesto que estos meses son de temporada alta y amérita que la planta trabaje a su capacidad máxima; al trabajar con este método se minimiza los costos por horas extras. Así mismo para el mes de Septiembre también es recomendable trabajar mediante este método.

	Metodología de trabajo	Cantidad total de horas			Metodología recomendada
		Método 4-2	2 Grupos	3 Grupos	
Enero	División Salud Animal	2.730	4.095	1.155	3 Grupos
	División Acuacultura	9.120	19.350	7.950	3 Grupos
	División Consumo	3.705	5.558	1.568	3 Grupos
Febrero	División Salud Animal	3.120	4.680	1.320	3 Grupos
	División Acuacultura	7.740	19.170	8.730	Método 4-2
	División Consumo	2.925	4.388	1.238	3 Grupos
Marzo	División Salud Animal	3.315	4.973	1.403	3 Grupos
	División Acuacultura	10.590	30.060	15.540	Método 4-2
	División Consumo	3.510	5.265	1.485	3 Grupos
Abril	División Salud Animal	3.900	5.850	1.650	3 Grupos
	División Acuacultura	11.700	30.150	15.150	Método 4-2
	División Consumo	2.925	4.388	1.238	3 Grupos
Mayo	División Salud Animal	4.095	6.143	1.733	3 Grupos
	División Acuacultura	8.190	12.285	3.465	3 Grupos
	División Consumo	3.510	5.265	1.485	3 Grupos
Junio	División Salud Animal	3.990	6.930	2.370	3 Grupos
	División Acuacultura	8.070	14.940	5.460	3 Grupos
	División Consumo	2.535	3.803	1.073	3 Grupos
Julio	División Salud Animal	3.705	5.558	1.568	3 Grupos
	División Acuacultura	9.150	15.615	5.235	3 Grupos
	División Consumo	3.315	4.973	1.403	3 Grupos
Agosto	División Salud Animal	3.315	4.973	1.403	3 Grupos
	División Acuacultura	8.670	13.950	4.350	3 Grupos
	División Consumo	2.730	4.095	1.155	3 Grupos
Septiembre	División Salud Animal	3.705	5.558	1.568	3 Grupos
	División Acuacultura	8.190	19.845	8.505	Método 4-2
	División Consumo	2.730	4.095	1.155	3 Grupos

Tabla 4.2: Cantidad de horas necesaria por Metodología de Trabajo

Fuente: Los Autores

	% Capacidad Utilizada de Horas Hombre	Días Regulares	Días Extras
Enero	División Salud Animal	64 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	33 %
	División Consumo	86 %	0 %
Febrero	División Salud Animal	89 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	40 %
	División Consumo	83 %	0 %
Marzo	División Salud Animal	85 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	77 %
	División Consumo	90 %	0 %
Abril	División Salud Animal	91 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	100 %
	División Consumo	68 %	0 %
Mayo	División Salud Animal	100 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	0 %
	División Consumo	86 %	0 %
Junio	División Salud Animal	100 %	10 %
	División Acuacultura	100 %	15 %
	División Consumo	65 %	0 %
Julio	División Salud Animal	83 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	13 %
	División Consumo	74 %	0 %
Agosto	División Salud Animal	77 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	6 %
	División Consumo	64 %	0 %
Septiembre	División Salud Animal	90 %	0 %
	División Acuacultura	100 %	39 %
	División Consumo	67 %	0 %

Tabla 4.3: Recursos de Horas Hombre necesarias por mes

Fuente: Los Autores

% Capacidad Utilizada [Enero- Septiembre]	Días Regulares	Días Extras
División Salud Animal	87 %	1 %
División Acuacultura	100 %	36 %
División Consumo	76 %	0 %

Tabla 4.4: Recursos Horas Hombre necesarias por período (Enero a Septiembre)

Fuente: Los Autores

En las tablas 4.3 y 4.4, se muestran la tasa promedio de rendimiento del personal , el análisis de PA ayuda a tomar decisiones estratégicas como cambio en el nivel de inventario y/o variación de la tasa de producción, por ejemplo se detallan los siguientes puntos:

- No es recomendable autorizar vacaciones al personal de la línea 1 , que produce alimento comercializado por la División salud animal, durante los meses de Abril, Mayo, Junio, Septiembre.
- Es recomendable dar vacaciones al personal que produce alimento comercializado por la División acuacultura, los meses comprendidos desde mayo hasta agosto.
- Para los productos comercializados por la División acuacultura se recomienda levantar el inventario el mes de marzo, puesto que de existir alguna para en la línea durante el mes de abril no se podrá satisfacer la demanda proyectada para dicho mes.

4.2.3.2. Planificación de Recursos de Materiales MRP I

Luego de realizar las corridas en el software Gams, para el período comprendido desde Mayo del 2013 hasta Julio del 2013, se presentan los siguientes resultados.

En las tablas 4.5 , 4.6 , 4.7 se compara la gestión de compras realizada por la empresa, esta comparación resulta de la cantidad comprada (en la empresa a analizar) y la cantidad que sugiere el modelo MRP. En las columnas Real VS Sugerido indica el porcentaje de variación entre la cantidad real y sugerida, si su valor es positivo se entiende que se

compró más de lo que se necesitaba, caso contrario ocurre si su valor es negativo.

En la ecuación 4.25 se puede observar la fórmula para calcular el porcentaje mencionado.

$$\frac{(QteReal - QteSugerida)}{QteReal} \quad (4.25)$$

	Qte. Comprada Mayo		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J1	60,000	71,000	15 %
J2	42,000	73,000	42 %
J3	2,000	27,000	93 %
J4	-	700	100 %
J5	-	1,600	100 %
J6	-	-	0 %
J7	45,000	45,000	0 %
J8	60,000	132,000	55 %
J9	50,000	72,000	31 %
J10	-	-	0 %
J11	-	-	0 %
J12	100	50	-100 %
J13	45,000	79,380	43 %
J14	500	300	-67 %
J15	4,500	13,000	65 %
J16	50	75	33 %
J17	25	50	50 %
J18	200	400	50 %
J19	40,000	60,000	33 %
J20	100	100	0 %
J21	-	-	0 %
J22	-	-	0 %
J23	25	-	0 %
J24	-	-	0 %
J25	2,450	2,500	2 %
J26	300	200	-50 %
J27	100	5,000	98 %
J28	18,000	19,000	5 %
J29	6,000	4,000	-50 %
J30	-	1,000	100 %
J31	-	-	0 %
J32	200	300	33 %
J33	15,000	10,000	-50 %
J34	40,000	52,000	23 %

	Qte. Comprada Mayo		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J35	40,000	73,000	45 %
J36	20,000	35,000	43 %
J37	210,000	264,000	20 %
J38	100,000	144,000	31 %
J39	-	60,000	100 %
J40	-	-	0 %
J41	3,500	3,550	1 %
J42	16,000	-	0 %
J43	30,000	30,000	0 %
J44	-	-	0 %
J45	4,000	3,800	-5 %
J46	8,000	10,000	20 %
J47	300	100	-200 %
J48	6,800	10,800	37 %
J49	2,000	-	0 %
J50	-	500	100 %
J51	-	4,500	100 %
J52	750	600	-25 %
J53	140	25	-460 %
J54	-	57,000	100 %
J55	504,000	580,608	13 %
J56	-	-	0 %
J57	50	-	0 %
J58	-	-	0 %
J59	600,000	746,172	20 %
J60	2,500	-	0 %
J61	1,100	1,150	4 %
J62	200	350	43 %
J63	2,000	4,500	56 %
J64	-	750	100 %
J65	6,000	6,800	12 %
J66	-	-	0 %
J67	6,000	3,000	-100 %
J68	27	13	-116 %
J69	800	675	-19 %
J70	-	-	0 %
J71	4,000	2,200	-82 %
J72	12,000	15,000	20 %
J73	-	-	0 %
J74	700	600	-17 %
J75	25	25	0 %
J76	75	100	25 %

	Qte. Comprada Mayo		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J77	200	300	33 %
J78	1,700	1,550	-10 %
J79	550	600	8 %
J80	350	50	-600 %
J81	125	100	-25 %

Tabla 4.5: Cantidades a pedir en Mayo

Fuente: Los Autores

	Qte. Comprada Junio		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J1	80,000	80,000	0 %
J2	28,000	53,000	47 %
J3	4,000	13,800	71 %
J4	150	-	0 %
J5	-	150	100 %
J6	200	525	62 %
J7	36,000	27,000	-33 %
J8	84,000	133,608	37 %
J9	30,000	27,000	-11 %
J10	120	700	83 %
J11	50	50	0 %
J12	50	25	-100 %
J13	90,000	90,720	1 %
J14	-	-	0 %
J15	-	-	0 %
J16	-	-	0 %
J17	25	-	0 %
J18	400	425	6 %
J19	40,000	92,000	57 %
J20	-	75	100 %
J21	-	-	0 %
J22	-	-	0 %
J23	100	200	50 %
J24	20	25	20 %
J25	2,100	3,300	36 %
J26	200	-	0 %
J27	1,950	-	0 %

	Qte. Comprada Junio		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J28	12,000	5,500	-118 %
J29	6,000	9,000	33 %
J30	2,000	4,000	50 %
J31	-	-	0 %
J32	450	625	28 %
J33	15,000	60,000	75 %
J34	20,000	20,000	0 %
J35	60,000	12,000	-400 %
J36	35,000	53,500	35 %
J37	150,000	240,000	38 %
J38	150,000	64,000	-134 %
J39	15,000	90,000	83 %
J40	20	-	0 %
J41	2,500	4,700	47 %
J42	12,000	-	0 %
J43	30,000	30,000	0 %
J44	-	6,000	100 %
J45	3,000	3,300	9 %
J46	5,000	4,800	-4 %
J47	400	1,100	64 %
J48	5,100	5,500	7 %
J49	5,000	-	0 %
J50	200	300	33 %
J51	-	-	0 %
J52	700	800	13 %
J53	200	100	-100 %
J54	-	24,000	100 %
J55	324,000	399,168	19 %
J56	-	50	100 %
J57	150	260	42 %
J58	2,500	2,500	0 %
J59	645,000	625,968	-3 %
J60	2,000	-	0 %
J61	1,000	1,000	0 %
J62	500	500	0 %
J63	2,000	7,500	73 %
J64	-	750	100 %
J65	6,000	7,500	20 %
J66	-	1,000	100 %
J67	6,000	9,000	33 %
J68	41	50	19 %
J69	600	800	25 %

	Qte. Comprada Junio		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J70	-	-	0 %
J71	3,000	2,800	-7 %
J72	10,000	10,000	0 %
J73	-	1,600	100 %
J74	700	850	18 %
J75	25	-	0 %
J76	25	25	0 %
J77	200	1,000	80 %
J78	900	1,500	40 %
J79	-	-	0 %
J80	325	-	0 %
J81	100	200	50 %

Tabla 4.6: Cantidades a pedir en Junio

Fuente: Los Autores

	Qte. Comprada Julio		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J1	20,000	60,000	67 %
J2	42,000	62,000	32 %
J3	12,000	-	0 %
J4	150	-	0 %
J5	-	-	0 %
J6	100	-	0 %
J7	45,000	27,000	-67 %
J8	84,000	129,000	35 %
J9	40,000	59,000	32 %
J10	660	1,500	56 %
J11	-	50	100 %
J12	50	-	0 %
J13	90,000	154,224	42 %
J14	-	-	0 %
J15	-	-	0 %
J16	-	-	0 %
J17	-	-	0 %
J18	250	100	-150 %
J19	40,000	60,000	33 %
J20	100	100	0 %

	Qte. Comprada Julio		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J21	-	150	100 %
J22	25	-	0 %
J23	25	100	75 %
J24	-	-	0 %
J25	2,100	3,840	45 %
J26	100	125	20 %
J27	2,550	-	0 %
J28	15,000	5,000	-200 %
J29	6,000	3,000	-100 %
J30	5,000	4,500	-11 %
J31	-	-	0 %
J32	200	525	62 %
J33	15,000	20,000	25 %
J34	20,000	60,000	67 %
J35	100,000	62,000	-61 %
J36	25,000	30,500	18 %
J37	120,000	220,000	45 %
J38	75,000	65,000	-15 %
J39	15,000	40,000	63 %
J40	20	-	0 %
J41	2,000	700	-186 %
J42	11,000	-	0 %
J43	15,000	30,000	50 %
J44	9,000	12,000	25 %
J45	2,500	2,225	-12 %
J46	5,000	6,625	25 %
J47	400	-	0 %
J48	6,800	7,000	3 %
J49	3,000	-	0 %
J50	-	300	100 %
J51	-	4,000	100 %
J52	550	1,175	53 %
J53	40	-	0 %
J54	-	42,000	100 %
J55	396,000	471,744	16 %
J56	-	75	100 %
J57	300	520	42 %
J58	1,500	2,500	40 %
J59	540,000	367,416	-47 %
J60	1,750	-	0 %
J61	1,000	550	-82 %
J62	200	-	0 %

	Qte. Comprada Julio		
	Sugerido	Real	Real Vs Sugerido
J63	1,250	-	0 %
J64	100	-	0 %
J65	5,000	2,250	-122 %
J66	1,000	1,000	0 %
J67	6,000	9,000	33 %
J68	27	25	-8 %
J69	550	-	0 %
J70	-	-	0 %
J71	2,000	1,000	-100 %
J72	12,000	26,000	54 %
J73	2,250	4,000	44 %
J74	400	300	-33 %
J75	-	-	0 %
J76	-	25	100 %
J77	-	-	0 %
J78	900	-	0 %
J79	-	-	0 %
J80	425	1,000	58 %
J81	50	-	0 %

Tabla 4.7: Cantidades a pedir en Julio

Fuente: Los Autores

En la tabla 4.8 se muestra el porcentaje de ocupación promedio de la bodega de materias primas. Podemos observar que con el modelo sugerido se ha disminuido aproximadamente el 14 % de ocupación en la bodega, esto denota una mejor gestión de inventarios.

Mes	Porcentaje de ocupación de bodega	
	Real	Sugerido
Mayo	85 %	67 %
Junio	79 %	66 %
Julio	75 %	64 %

Tabla 4.8: Ocupación de Bodega

Fuente: Los Autores

Para presentar las tablas 4.9 , 4.10 , 4.11 antes se realizó el Principio de Pareto¹ de tal forma que en las tabla se encuentran las 15 materias primas que representan el mayor

¹El Principio de Pareto dice que el 20 % del esfuerzo genera el 80 % de los resultados

porcentaje de ocupación de la bodega. Estas 15 materias primas representan el 20 % y la ocupación de la bodega de materiales para estas 15 materias primas representan el 74 % , 68 % y 64 % para los meses de Mayo, Junio y Julio respectivamente, es decir, si se cumple el Principio de Pareto como se muestra en las figuras 4.5, 4.6, 4.7.

Materia Prima	Mayo		% de Ocupación
	Inventario Promedio		
	Sugerido	Real	
J59	101,38	162,91	18 %
J55	73,33	120,30	14 %
J8	35,61	66,54	8 %
J37	44,02	55,87	6 %
J35	22,39	52,00	6 %
J13	30,03	37,48	4 %
J9	22,45	26,59	3 %
J43	26,93	22,00	2 %
J36	10,09	18,84	2 %
J42	2,87	18,50	2 %
J39	21,24	17,39	2 %
J19	21,56	17,12	2 %
J54	13,64	16,52	2 %
J38	24,72	15,23	2 %
J70	16,76	11,36	1 %

Tabla 4.9: Ocupación Promedio de Mayo

Fuente: Los Autores

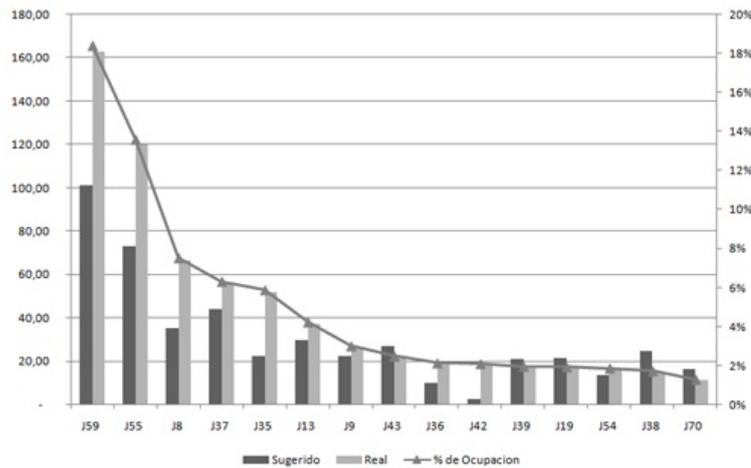


Figura 4.5: Ocupación Promedio de Mayo

Fuente: Los Autores

Materia Prima	Junio		% de Ocupación
	Inventario Promedio		
	Sugerido	Real	
J59	124,31	133,13	15 %
J37	46,02	73,72	8 %
J55	57,27	52,73	6 %
J34	26,59	40,18	5 %
J35	28,47	35,81	4 %
J7	18,05	33,61	4 %
J9	21,47	32,84	4 %
J13	23,69	31,22	4 %
J42	3,80	29,98	3 %
J8	27,68	28,63	3 %
J38	41,69	25,80	3 %
J43	30,18	25,34	3 %
J19	20,95	22,98	3 %
J33	8,87	17,86	2 %
J54	13,77	14,16	2 %

Tabla 4.10: Ocupación Promedio de Junio

Fuente: Los Autores

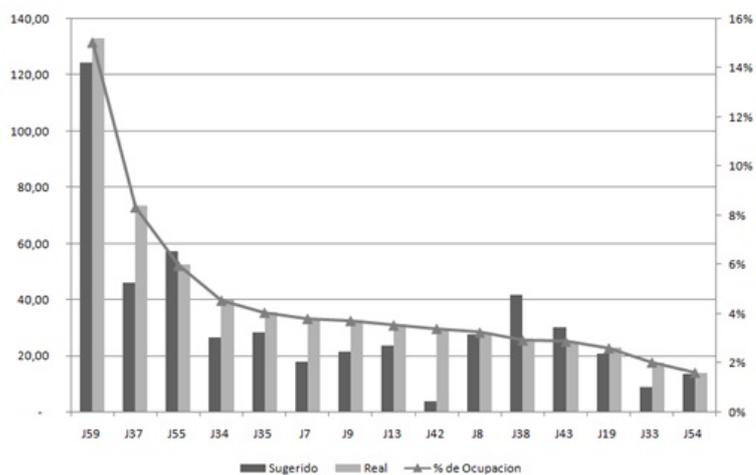


Figura 4.6: Ocupación Promedio de Junio

Fuente: Los Autores

Materia Prima	Julio		% de Ocupación
	Inventario Promedio		
	Sugerido	Real	
J59	117,42	174,64	20 %
J55	64,17	87,23	10 %
J37	37,93	64,48	7 %
J8	28,18	41,72	5 %
J7	22,13	32,17	4 %
J43	28,55	24,32	3 %
J39	14,58	22,34	3 %
J42	3,38	21,03	2 %
J13	21,23	17,48	2 %
J9	19,34	15,63	2 %
J19	20,21	15,25	2 %
J36	7,61	14,35	2 %
J70	16,76	12,58	1 %
J15	4,21	11,35	1 %
J54	13,64	11,10	1 %

Tabla 4.11: Ocupación Promedio de Julio

Fuente: Los Autores

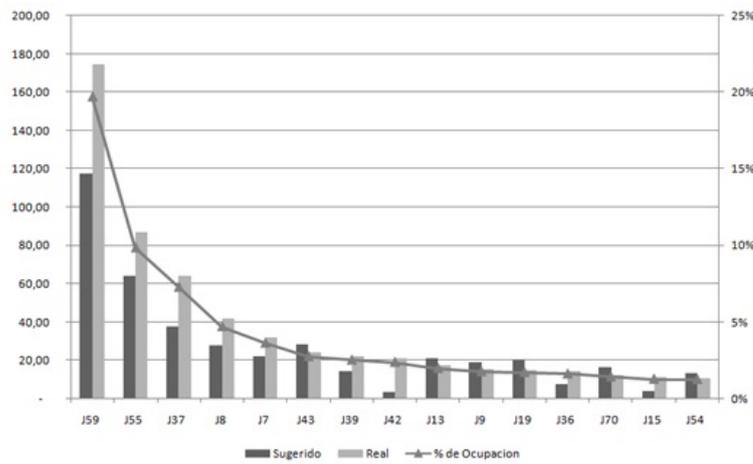


Figura 4.7: Ocupación Promedio de Julio

Fuente: Los Autores

Capítulo 5

Indicadores Claves de Rendimiento

5.1. Introducción

Los Indicadores Claves de Rendimiento o KPI (por sus siglas en inglés Key Performance Indicators), pueden ser definidos como medidores cuantificables los cuales reflejan los factores de éxito más críticos para una organización. Las mediciones más comunes son los indicadores de la productividad de los empleados, la calidad de los productos y servicios, la rentabilidad del negocio, el cumplimiento de plazos, la eficacia de los procesos, los tiempos de desarrollo de trabajos, el uso y crecimiento de los recursos, control de costos.

Los KPI están orientados para diferentes áreas, como la gerencia general y para áreas específicas como ventas, finanzas, producción y servicio al cliente.

Los Indicadores de Rendimiento deben reflejar metas de la organización, de manera cuantificable, por lo general son mediciones basadas en eventos y correlaciones entre las tareas productivas y operaciones de una empresa, como las que normalmente deben ejecutarse en un período de tiempo o un plazo máximo.

5.2. Objetivos de los KPI's

- Identificar y tomar acciones sobre los problemas operativos.
- Medir el grado de competitividad de la organización frente a sus competidores nacionales e internacionales.
- Mejorar el uso de los recursos y activos asignados, para aumentar la productividad y efectividad en las diferentes actividades hacia el cliente final.
- Reducir gastos y aumentar la eficiencia operativa.
- Compararse con las empresas del sector en el ámbito local y mundial (Benchmarking).

5.3. Incidencia de lo KPI's en la Mejora Continua

La solidez de la retroalimentación es la clave del éxito del proceso de mejora continua, para lograrlo es necesario controlar y comparar resultados de los actuales procesos frente a procesos de mejora. Esta sección se encargará de la retroalimentación del MRP II, presentando Indicadores de Rendimiento aplicables a la organización en estudio, de tal forma poder evaluar el desempeño de la misma.

5.4. KPI's aplicables

5.4.1. OEE (Eficiencia Global del Equipo)

Objetivo general

La Eficiencia Global del Equipo (OEE por sus siglas en inglés Overall Equipment Effectiveness), tiene como objetivo medir las pérdidas sufridas durante el proceso productivo.

Definición

La OEE permite identificar las pérdidas diferenciadas en los siguientes factores:

- Disponibilidad: Tiempo real de producción de la máquina.
- Rendimiento: Producción real de la máquina en un determinado período de tiempo.
- Calidad: Producción generada sin defectos.

Al mismo tiempo, la OEE analiza y califica los diferentes tipos de pérdidas que pueden producirse, estas se definen las “Seis Grandes Pérdidas” las mismas que se muestran en la tabla 5.1. Estas pérdidas reducen el tiempo efectivo de proceso y la producción óptima a alcanzar.

1	Paradas / Averías	Disponibilidad
2	Configuración y ajustes	
3	Pequeñas paradas	Rendimiento
4	Reducción de velocidad	
5	Rechazos por puesta en marcha	Calidad
6	Rechazos de producción	

Tabla 5.1: Las seis grandes pérdidas

Fuente: Los Autores

La OEE indica con cuánta efectividad las máquinas están siendo utilizadas, comparada con la Máquina ideal (OEE = 100 %).

Cálculo

Conceptualmente, la OEE es el resultado del producto de estos tres factores (Disponibilidad, Rendimiento y Calidad), como se muestra en la figura 5.1.

OEE = Disponibilidad x Rendimiento x Calidad

OEE = E/D x D/C x C/B = E/B

Donde;

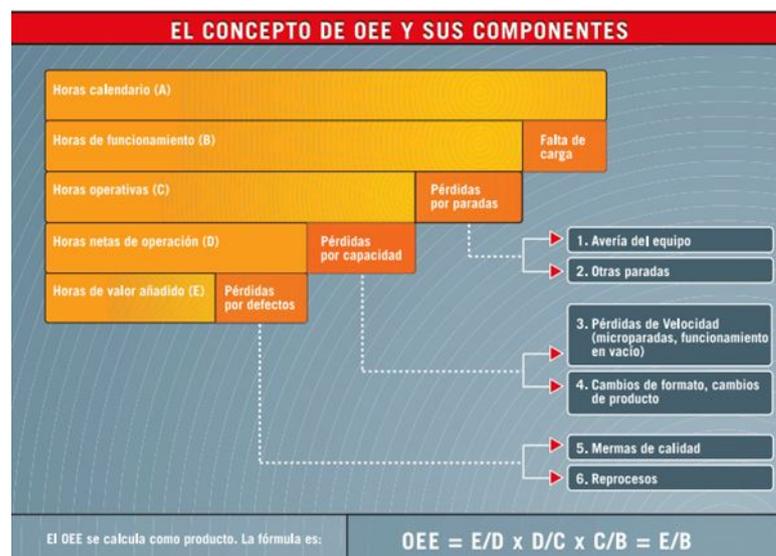


Figura 5.1: Componentes de OEE

Fuente: El concepto de OEE y sus componentes (I)

Periodicidad

Este indicador se calcula cada mes.

Impacto

La OEE genera información diaria sobre el nivel de efectividad de una máquina o

conjunto de máquinas. También identifica en cual o cuales de las "Seis Grandes Pérdidas", se debe priorizar el enfoque de análisis y solución. La OEE no es sólo un indicador con el cual medir el rendimiento de un sistema productivo, sino que es un instrumento importante para realizar mejoras específicas una vez determinadas las causas raíces [13].

Actualmente, si se utiliza este indicador en la empresa en estudio. A continuación en la tabla 5.2 se muestra los resultados obtenidos del mes de enero hasta agosto.

	OEE	Línea 1	Línea 2	Línea 3
Enero	91 %	79 %	99 %	95 %
Febrero	91 %	89 %	92 %	91 %
Marzo	95 %	95 %	91 %	98 %
Abril	97 %	96 %	97 %	97 %
Mayo	96 %	95 %	95 %	97 %
Junio	96 %	95 %	95 %	98 %
Julio	96 %	95 %	95 %	98 %
Agosto	95 %	97 %	93 %	94 %

Tabla 5.2: Indicador OEE

Fuente: Los Autores

5.4.2. Ratio de servicio al cliente (Unit Fill rate)

Objetivo general

Este indicador tiene como objetivo, medir el nivel de cumplimiento de la organización en la entrega de pedidos completos al cliente, siendo así un sinónimo de servicio al cliente.

Definición

El Unit Fill rate, mide la cantidad de producto entregado vs. la cantidad solicitada por el cliente.

Cálculo

FillRate= Cantidades Surtidas / Cantidades demandadas

Periodicidad

Este indicador se calcula cada mes.

Impacto

El nivel de inventario es fundamental en este indicador, un nivel elevado de inventario no es indicio de un mejor servicio al cliente. Por otra parte, cuando se presenta un nivel bajo de inventario sin un control eficiente, resulta en productos faltantes y esto se presentaría como un bajo servicio al cliente.

En la empresa en estudio, no se utiliza este indicador, por lo tanto no se puede cuantificar las pérdidas generadas al dejar de vender un producto durante un período de tiempo.

5.4.3. Rotación de Inventario

Objetivo general El objetivo de la Rotación de Inventario, es expresar el número de veces o vueltas que se han renovado las existencias que se tiene en stock, durante un período de tiempo.

Definición

La Rotación de Inventario es la relación entre la cantidad del ítem que se movilizó durante el período y la cantidad promedio de inventario durante el período.

Cálculo

$ROI = \text{Costo mercancía vendida} / \text{Inventario Promedio}$

Periodicidad

Este indicador se calcula cada mes.

Impacto

La alta rotación del inventario significa que la mercadería permanece poco tiempo almacenada, a consecuencia de una buena administración y gestión de inventarios. A menor tiempo de estancia de la mercadería en el almacén, menor será el Capital de trabajo invertido en el inventario. Una empresa que posee mercadería la cual tenga un mes como período de rotación, requerirá más recursos que una con período de una semana. Es necesario recalcar que cualquier recurso inmovilizado que posea una organización, es un costo adicional para la misma y tener inventarios que no rotan es un factor negativo para la organización en términos financieros. No es rentable mantener un producto en almacenes por más de un mes. El ideal para toda empresa debería ser logra mantener un inventario cero, donde en almacenes solo se deberá tener lo necesario para cubrir con la demanda diaria, esto quiere decir la mercadería debería tener una rotación de 365 días, de esta manera no tener recursos ocios. La política de inventario de la organización debe conseguir una alta rotación de inventario, para así lograr maximizar la utilización de los recursos disponibles.

En la empresa en estudio, no se utiliza este indicador. La falta del mismo no permite visualizar aquellas MP/PT con mayor rotación y aquellas con poca o nula rotación (lo que permitiría disminuir los incidentes de MP/PT caducados). Los funcionarios de la empresa en estudio conocen a priori , en base a la experiencia aquellas MP/PT con mayor rotación.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

La planificación es un pilar fundamental en toda empresa, en el presente trabajo se muestran las ventajas que ofrece el trabajar, planificando los recursos para la manufactura.

Entre las ventajas podemos mencionar las siguientes:

- La elaboración de los modelos matemáticos permiten sistematizar, automatizar y simular en un corto período de tiempo procesos, lo cual brinda una ventaja competitiva a la empresa.
- Se puede disminuir el pago de horas extras al personal, eligiendo la metodología de trabajo correcta, de tal forma que desde enero hasta septiembre del 2013 se ha incurrido en 216.600 horas extras; al realizar el análisis de Planificación Agregada se indica que este factor pudo disminuir a 90.645 horas extras, una reducción del 58.15%.
- El modelo del MRP I, sugiere y demuestra que es factible disminuir un 14% de ocupación de la bodega de materiales, sin afectar ni generar tiempos ociosos en la

producción. Esta mejor gestión de inventarios ayuda también a disminuir el Working Capital de la empresa.

- Realizar una mejor gestión de inventarios a las 15 MP que representan mayor porcentaje de ocupación de la bodega, puesto que se ha demostrado que estas representan aproximadamente el 68.7 % de la ocupación de la bodega.
- El tener planes de producción factibles ayudará a mejorar la satisfacción de clientes internos y externos.
- Los indicadores claves de rendimiento son herramientas de suma importancia para la evaluación y control del sistema de planificación para la manufactura, ayudan a tomar acciones correctivas y lograr la mejora continua.

6.2. Recomendaciones

- Se debe tener presente que la implementación de un sistema de planificación para la manufactura, requiere de mucho compromiso e intervención de las diferentes áreas involucradas (Compras, Calidad, Nutrición, Bodega de Materiales, Planificación), ya que si un eslabón dentro de la cadena de suministros falla, esto repercute en los resultados finales.
- Se recomienda revisar, analizar periódicamente los resultados de los indicadores claves de rendimiento para tomar las acciones correctivas pertinentes en caso que lo amerite.

- Se recomienda revisar y actualizar trimestralmente el Business Plan, con el fin de anticipar cualquier variación significativa en la demanda que requiera algún cambio en la estrategia de planificación.
- El MPS, socializado por el departamento de planificación debe ser factible en cuanto a capacidades de planta e infraestructura, para cumplir con los tiempos y compromisos de entrega a los clientes finales.
- La actualización de información como inventarios, lista de materiales, entre otras es clave para el correcto funcionamiento del sistema de planificación para la manufactura.
- La administración y control de inventario es un objetivo clave para toda organización, por lo que se recomienda definir por métodos más formales políticas de inventario a las MP.
- Debido a la gran cantidad de información que se maneja en la empresa, se recomienda hacer uso de ERP's.

6.3. Trabajo futuro

El presente trabajo sugiere un sistema de planificación de manufactura a partir de un plan maestro dado, se incluyen modelos matemáticos para planificación a largo plazo (PA) y a corto plazo (MRP I); como extensión podríamos considerar los siguientes aspectos.

- Revisar y definir modelos de predicción de la demanda para cada referencia o SKU, al momento de actualizar el BP.

- El presente trabajo se basa en un plan maestro dado, el cual es elaborado por el planificador de planta, en base a los pedidos confirmados y políticas de aprovisionamiento; se recomienda elaborar un modelo matemático para la programación de la producción, con el fin de automatizar, sistematizar y agilizar el proceso.

Bibliografía

- [1] A. Gessa, I. Rabadán, J. Jurado (2008). *Aplicación de la programación lineal en la planificación de la producción*. XII Congreso de Ingeniería de Organización, pp. 1163-1172
- [2] J. Osorio, T. Motoa. *Planificación jerárquica de la producción en un job shop flexible*. Revista EIA, N° 44, 2008, pp. 158-171
- [3] A. Corominas, R. Pastor. (2011) *Aproximación a un procedimiento general para el diseño y la asignación de tareas en líneas de producción y montaje*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.
- [4] F. Lopez. *Propuesta de implementación de un MRP II para una planta de confecciones textiles*. Magister Tesis, Universidad Católica de Perú, 2013
- [5] J. Ovando. *Diseño de un sistema de planeación de los recursos para la manufactura (MRP II), aplicado a la industria con producción intermitente*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.
- [6] C. Serna . *Desarrollo de modelos de programación matemática fuzzy para la planificación de la producción en contextos de incertidumbre. Un caso aplicado a la industria automotriz*. Magister Tesis, Universidad Nacional de Colombia, 2009
- [7] R. Viveros , E. Salazar. *Modelo de planificación de producción para un sistema multiproducto con múltiples líneas de producción*. Revista Ingeniería de Sistemas, Volumen XXIV, 2010.
- [8] V. Albornoz, V. Ortiz. *Planificación jerárquica de la producción bajo incertidumbre*. 5th Americas International Conference on Production Research, Chile, 2010.
- [9] T. Casassus, M. Mocholi, V. Sanchis , R. Sala. *Optimización económica con Gams*. V Jornadas ASEPUMA, España, 1997
- [10] D. Matin, J. Cano, K. Alvarez. *Modelos de sistema MRP Cerrados Integrando Incertidumbre*. Revista EIA, N° 18, 2012, pp. 61-76
- [11] .J. García (2007) *Organización de la producción II. Planificación de procesos productivos.*, pag. 21-22.

- [12] O. Dante, R. Forradella, R. Palma . *Modelo Matemático para la planificación agregada de la producción de IMPSA*. Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial, Volumen 2, Nº 2, 2010, pp. 90-112
- [13] B. Juanes(2005, Septiembre). *El concepto de OEE y sus componentes*. Recuperado de <http://www.cel-logistica.org/subidasArticulos/39.pdf>