



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Propuesta de un plan agregado de producción para el área de
fabricación de productos rotomoldeados para el periodo 2015 en
una empresa plástica"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA INDUSTRIAL

Presentado por:

Priscila Cecilia Terán Jaramillo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

A mi madre y mi padre por su incondicional cariño y apoyo.

A mi hija por ser mi principal razón de superación y a mi esposo por su apoyo para convertirme en profesional.

DEDICATORIA

A ADRIANA

TRIBUNAL EVALUADOR



Marcos Buestán B. PhD.

TRIBUNAL EVALUADOR



Jaime Macías A. Msc.

TRIBUNAL EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Priscila Cecilia Terán Jaramillo

RESUMEN

El proyecto se realiza luego de detectar un nivel de servicio deficiente en el abastecimiento de productos rotomoldeados en una fábrica de productos plásticos durante los últimos dos años, esto a pesar de que se incrementó la capacidad instalada mediante la adquisición de nuevas maquinarias destinadas al incremento de producción. El proyecto tiene como objetivo buscar la selección de una mejor estrategia de planeación para la producción de productos rotomoldeados, la misma que permita equilibrar la oferta y demanda al mismo tiempo que se minimice los costos de producción que se ocasionaron en el año 2015. Para el desarrollo de este proyecto, se calcularon y analizaron los costos asociados a cada una de las tres estrategias de planeación esenciales, las cuales son: de ajuste, de nivel y de fuerza laboral constante con horas extras, se utilizaron tablas en Excel para facilitar la toma de decisión, posteriormente se seleccionó la mejor alternativa, mediante la comparación de los costos de cada plan. El análisis dio como resultado que la estrategia de planeación “Fuerza laboral constante y horas extras” era la de menor costo, además, esta permitía equilibrar mejor la capacidad de planta, con la demanda de productos rotomoldeados.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE GRÁFICOS	X
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.1 Descripción de la Empresa	2
1.1.2 Análisis crítico	3
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivo.	4
1.3.1 Objetivo Principal	4
1.3.2 Objetivos específicos	4

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Plan agregado de producción.	6
2.2 Variables y consideraciones de un plan agregado.	7
2.3 Estrategias de planeación de la producción.	9
2.4 Técnicas de planeación	11

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DE PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN

3.1 Descripción del proceso de producción.	12
3.1.1 Descripción de elementos básicos del proceso de rotomoldeo	12
3.1.2 Proceso de Rotomoldeo	15
3.2 Capacidad Instalada de planta	16
3.3 Pronóstico de la demanda	19
3.3.1 Selección del método de pronóstico	21
3.3.2 Pronóstico de Ventas para productos rotomoldeados para el año 2015.	24
3.4 Inventario de seguridad	29
3.5 Costos de producción	30
3.5.1 Salario mensual de un trabajador	30

3.5.2 Costo de contratar	31
3.5.3 Costos de despedir	32
3.5.4 Costos de horas extra	32
3.5.5 Costo de trabajador eventual	33
3.5.6 Costo de mantenimiento de inventario	34
3.5.7 Costo del inventario Agotado	37
3.6 Plan agregado de producción	38
3.6.1 Plan de producción 1	40
3.6.2 Plan de producción 2	42
3.6.3 Plan de producción 3	45
3.6.4 Análisis de resultados de cada uno de las estrategias	48
CAPÍTULO 4	
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1 Conclusiones	50
4.2 Recomendaciones	51
BIBLIOGRAFÍA	
LINKOGRAFÍA	
ANEXOS	

ABREVIATURAS

CC	Costo de contratación y capacitación
CD	Costo de despido
CF	Costo marginal de Inventario Agotado
CMI	Costo de mantenimiento de inventario
CMOE	Costo MO por hora trabajador eventual
CMON	Costo de tiempo regular
CMOX	Costo de tiempo extra
DHM	Días hábiles por mes
DM	Pronóstico de la demanda
HLD	Horas laborables diarias
It-1	Inventario inicial
Rend	Rendimiento
SE	Salario mensual trabajador eventual
SM	Salario mensual mas beneficios
SS	Inventario de seguridad
Tt	Número de trabajadores mes actual
Tt-1	Trabajadores iniciales

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Molde de rotomoldeo	12
Figura 3.2 Máquina llama abierta	14
Figura 3.3 Esquema de maquinarias de rotomoldeo	14
Figura 3.4 Proceso de rotomoldeo	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Maquinaria de rotomodeo	16
Tabla 2	Extracto de reporte de capacidad instalada	17
Tabla 3	Resumen de días disponibles de producción año 2015	18
Tabla 4	Cálculo de Capacidad instalada de rotomoldeo	18
Tabla 5	Selección del método para el pronóstico de la demanda	24
Tabla 6	Cálculo de demanda no estacional para el año 2013 y 2014	26
Tabla 7	Resumen de regresión lineal de la demanda no estacional	27
Tabla 8	Cálculo de pronóstico 2015	29
Tabla 9	Desglose de salario mensual MO regular	30
Tabla 10	Desglose de salario mensual MO regular	31
Tabla 11	Desglose de costo de despedir	32
Tabla 12	Desglose de costo de MO contrato eventual	33
Tabla 13	Información cálculo de costo de mantenimiento de inventarios	35
Tabla 14	Costo y precio de venta promedio año 2014	37

Tabla 15	Información para el costeo de estrategia	39
Tabla 16	Plan de producción 1. Producción exacta, fuerza de trabajo variable	41
Tabla 17	Resumen de costos plan 1	42
Tabla 18	Cálculo de personal constante requerido	43
Tabla 19	Plan de producción 2: Fuerza de trabajo constante, varia inventario y permite inventario agotado	44
Tabla 20	Resumen de costos de plan 2	45
Tabla 21	Cálculo de personal constante requerido plan 3	46
Tabla 22	Plan de producción 3. Fuerza de trabajo estable, horas extra	47
Tabla 23	Resumen de costos plan 3	48
Tabla 24	Resumen de costos de los tres planes de producción	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1	Variación porcentual de la demanda	20
GRÁFICO 3.2	Dispersión de la demanda mensual de Rotomoldeo 2014	21

Introducción

El presente trabajo se encuentra dividido en 4 capítulos los cuales se describen a continuación:

En el capítulo 1, se analiza el problema en el cual está enfocado este proyecto, se da una descripción de la situación de la empresa, la justificación del presente proyecto y los objetivos que se requieren alcanzar.

En el capítulo 2, muestra el marco teórico el cual contiene conceptos y definiciones sobre la temática de la planeación agregada, también describe las estrategias de planeación esenciales que se desarrollaran en el siguiente capítulo.

En el capítulo 3, se realizará el diseño de los planes de producción aplicando las estrategias de producción las cuales serán posteriormente evaluadas para realizar la selección del plan. También se presenta el pronóstico de la demanda para el año 2015, se describe el proceso productivo de estudio y se define los costos que servirán de criterio de selección.

En el capítulo 4, se dará las respectivas conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en el capítulo 3.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción de la Empresa

El presente proyecto se desarrolla en el área de fabricación de productos rotomoldeados en una empresa dedicada a la fabricación de productos plásticos para la conducción y almacenamiento de fluidos, aunque inicialmente fue creada hace 57 años con el propósito de fabricar fundas de polietileno para banano. Actualmente la empresa cuenta con 494 trabajadores, de los cuales 110 son administrativos, 384 son obreros, estos últimos están distribuidos en cuatro áreas principales de producción según el tipo de proceso de fabricación: Extrusión, Inyección, Rotomoldeo y Envasado de soldaduras líquidas. La ventaja competitiva de esta empresa se basa en una estrategia de diferenciación de sus productos por sus altos estándares de calidad, aun cuando sus precios pueden ser más altos que el promedio. Cabe destacar que la empresa cuenta con triple certificación de sistemas de gestión: ISO 9001(Calidad), ISO 14001 (Medio Ambiente), OSHAS 18001 (Seguridad y Salud) y con certificaciones de calidad INEN de sus productos.

1.1.2 Análisis crítico

En el año 2013 se registró un incremento en las ventas del 23% en la familia de productos de rotomoldeado, al mismo tiempo que los niveles de servicio fueron decreciendo debido al aumento en el backorder, esto a pesar de que se incrementó la capacidad de planta, lo cual provocó que se modificaran algunos de los parámetros de planeación como son los lotes de producción e inventarios de seguridad y a nivel operativo, la redistribución del personal de planta, sin embargo, estos cambios fueron realizados de manera experimental, sin un fundamento técnico que tomara en cuenta la capacidad de planta, de tal manera que las decisiones tomadas permitan cumplir con la demanda actual y conseguir una producción eficiente, dando como resultado paradas de planta por altos inventarios en unos meses y backorder por falta de inventario debidos a la falta de personal en otros, esto continuó hasta el año 2014 en menor grado, a pesar de que en este año se presentó una contracción en la demanda.

1.2 Justificación

Actualmente es notable el ingreso de nuevos fabricantes de línea de productos rotomoldeados para el almacenamiento de líquidos en el país, la competencia en variedad de productos y precios hace imprescindible la consolidación del proceso de planeación de ventas con los procesos de la cadena de suministros,

esto con el propósito de ofrecer un mejor servicio al cliente, manejar inventarios más bajo y reducir costos de mano de obra. Este plan debe estar diseñado para equilibrar la oferta con la demanda, con el tiempo lo que se pretende es garantizar mantener la capacidad total suficiente para satisfacer la demanda.

1.3 Objetivo.

1.3.1 Objetivo Principal

Definir un plan agregado de producción que permita combinar de forma óptima los índices de producción, nivel de la fuerza de trabajo e inventario reduciendo los costos de mano de obra directa y los costos de mantenimiento del inventario de seguridad.

1.3.2 Objetivos específicos

- Calcular el inventario de seguridad necesario para lograr un nivel de servicio deseado del 95%.
- Calcular el costo de mano de obra directa y costo de mantenimiento de inventario para cada plan de producción desarrollado con cada una de las tres estrategias esenciales de planeación: De Ajuste, De nivel, y de personal constante con horas extra, con el fin de seleccionar la estrategia óptima.

- Seleccionar un plan de producción de menor costo que además permita contar con un inventario de seguridad, el mismo que considere una mejora en nivel de servicio en el abastecimiento de producto terminado.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Plan agregado de producción

La planeación o planificación es un proceso cuyo principal objetivo es determinar una estrategia de forma anticipada que permita que se satisfagan unos requerimientos de producción, optimizando los recursos de un sistema productivo. La **planeación agregada** aborda la determinación de la fuerza laboral, la cantidad de producción, los niveles de inventario y la capacidad externa (subcontratación), con el objetivo de satisfacer los requerimientos para un horizonte de planificación de medio plazo (3 a 18 meses)¹. A la planeación efectuada en un horizonte temporal de medio plazo se le conoce como "agregada" debido a que no desglosa una cantidad de producción detallada en referencias, sino que considera familias de productos. Así mismo se consideran los recursos del sistema, en familias de recursos, así por ejemplo, el tiempo de planificación no se detalla a un nivel de órdenes de trabajo (día a día), sino que se planifica en periodos de tiempo que conforman un horizonte temporal de planificación a medio plazo. Ésta planeación será posteriormente desagregada

¹ Bryan Salazar López, Herramientas para el ingeniero industrial. Planeación agregada, Agosto 30, 2015, <http://ingenieríaindustrialonline.com>

en el Plan Maestro de Producción y en la planeación a corto plazo o "planeación de taller".

2.2 Variables y consideraciones de un plan agregado de producción

A la hora de elaborar un **plan agregado** se debe tener en cuenta que existen una serie de consideraciones de tipo económico, comercial, tecnológico e incluso social o de comportamiento que alimentan y afectan la estrategia. Así mismo, se deben considerar las variables de decisión y restricciones para la planificación. La eficiencia del plan depende en gran medida de la calidad de la información recolectada, es por ello que se debe optar por elaborar un plan agregado sobre procesos estandarizados².

Consideraciones económicas³

En planeación agregada el criterio económico consiste en la minimización del costo, que ínsitamente implica maximizar el beneficio, por ello deben considerarse todos los factores que dentro del plan afecten el costo.

- Mano de obra (costo del tiempo normal, costo del tiempo extra).
- Contratación (entrevistas, evaluaciones, exámenes, inducción)
- Despidos (compensaciones legales)
- Subcontratación (costo de servicio, costo de servicio y materia prima)

² Bonilla Daniel, Planeación agregada, Agosto 30, 2015, <https://www.scribd.com/doc/311010637>

³ Bryan Salazar Lopez, Herramientas para el ingeniero industrial. Planeación agregada, Agosto 30, 2015, <http://ingenieríaindustrialonline.com>

- Inventario (costos de mantenimiento, costo de oportunidad)
- Ruptura de inventario o faltantes

Consideraciones comerciales y otros

- Tiempos y términos de entrega
- Nivel de servicio
- Curvas de aprendizaje
- Tasas de producción

Variables de decisión

- Nivel de fuerza laboral: interna y externa
- Nivel de producción
- Horas de trabajo: normales y extras
- Niveles y políticas de inventario.

Requerimientos de producción

Los requerimientos se ven afectados básicamente por 3 factores:

- Pronóstico de la demanda
- Inventario inicial de la unidad agregada
- Inventario de seguridad

2.3 Estrategias de planeación de la producción⁴

En esencia, hay tres estrategias de planeación de la producción, que comprenden cambios en el tamaño de la fuerza de trabajo, las horas de trabajo, el inventario y la acumulación de pedidos.

1. Estrategia de ajuste. Igualar el índice de producción con el índice de pedidos contratado y despedir empleados conforme varía el índice de pedidos.

2. Fuerza de trabajo estable, horas de trabajo variables. Variar la producción ajustando el número de horas trabajadas por medio de horarios de trabajo flexibles u horas extra.

3. Estrategia de nivel. Mantener una fuerza de trabajo estable con un índice de producción constante. La escasez y el superávit se absorben mediante la fluctuación de los niveles de inventario, los pedidos acumulados y las ventas perdidas.

Cuando sólo se utiliza una de estas variables para absorber las fluctuaciones de la demanda, se conoce como una **estrategia pura**; dos o más estrategias utilizadas en combinación constituyen una **estrategia mixta**. Como puede imaginar, las estrategias mixtas se aplican con mayor frecuencia en la industria.

Subcontratación Además de estas estrategias, los gerentes también pueden subcontratar parte de la producción. Esta estrategia es similar a la de ajuste,

⁴ Richard B. Chase, F. Robert Jacobs y Nicholas J. Aquilano. Administración de la Producción y Operaciones, 10ª ed., 2005, México

pero las contrataciones y despidos se cambian por la decisión de subcontratar o no.

Costos relevantes

Existen cuatro costos relevantes para el plan de producción conjunta; éstos se relacionan con el costo de producción mismo, así como con el costo de mantener un inventario y de tener pedidos sin cubrir. De manera más específica, estos costos son

1. Costos de producción básicos. Son los costos fijos y variables en los que se incurre al producir un tipo de producto determinado en un periodo definido. Entre ellos se incluyen los costos de la fuerza de trabajo directos e indirectos, así como la compensación regular y de tiempo extra.

2. Costos asociados con cambios en el índice de producción. Los costos típicos en esta categoría son aquellos que comprenden la contratación, la capacitación y el despido del personal. Contratar ayuda temporal es una forma de evitar estos costos.

3. Costos de mantenimiento de inventario. Un componente importante es el costo de capital relacionado con el inventario. Otros componentes son el almacenamiento, los seguros, los impuestos, el desperdicio y la obsolescencia.

4. Costos por faltantes. Por lo regular, son muy difíciles de medir e incluyen costos de expedición, pérdida de la buena voluntad de los clientes y pérdidas de los ingresos por las ventas.

2.4 Técnicas de planeación

Según (Richard B. Chase, 2005). Indica que: “Para desarrollar los planes totales, las compañías utilizan unas sencillas representaciones empíricas y métodos gráficos. Un enfoque empírico implica calcular el costo de las diferentes alternativas de planeación y seleccionar el que sea mejor. Se desarrollan hojas de cálculo elaboradas para facilitar el proceso de decisión; con alguna frecuencia se incorporan a estas hojas de cálculo unos enfoques sofisticados que involucran la programación lineal y simulación.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN

3.1 Descripción del proceso de producción

3.1.1 Descripción de elementos básicos del proceso de rotomoldeo

El proceso productivo donde se desarrolla el presente proyecto es el de rotomoldeo donde se fabrican los tanques para almacenamiento de líquido y complementos para alcantarillado de polietileno. A continuación se describen brevemente los elementos básicos que interviene en el proceso en lo referente a equipos y maquinarias:

Moldes: Pueden ser tan simples como un objeto redondo, o complicados con hendeduras y nervaduras. En la figura 3.1 se muestra un molde de rotomoldeo.



Figura 3.1 Molde de rotomoldeo

Maquinaria: La fábrica cuenta con tres tipos de máquina de moldeo rotacional: Tipo carrusel de tres brazos, Tipo Shuttle de dos brazos y tipo llama abierta, las dos primeras máquinas son de horno mientras que la última es de llama abierta, no tiene horno, existen dos en planta de rotomoldeo y cada una tiene un solo un brazo.

La máquina carrusel tiene su nombre debido a que su configuración se asemeja a los carruseles de los parques de diversiones. Las etapas de carga, descarga y enfriamiento son dependientes entre sí.

La máquina Shuttle solo cuenta con una cámara de calentamiento. La carga y descarga están junto con el enfriamiento. Al igual que la máquina carrusel, esta también tiene brazos dependientes entre sí puesto que comparten el horno.

En la figura 3.2 se muestra el esquema de los tres tipos de máquinas de moldeo rotacional.



Figura 3.2 Máquina de llama abierta

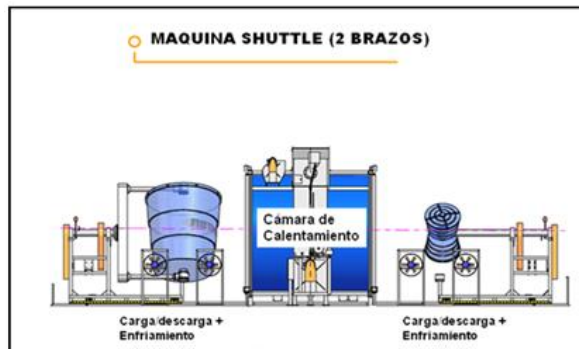


Figura 3.3 Esquema de maquinarias de rotomoldeo

3.1.2 Proceso de Rotomoldeo

Este proceso se compone de las siguientes etapas:

1. Se deposita la materia prima según el peso del producto a fabricarse dentro del molde. Una vez hecho esto, se cierra el molde asegurando su estanqueidad, aunque éste deberá haber sido construido de forma que al final del proceso sea posible abrirlo y recuperar la pieza elaborada. La cantidad de polímero necesaria es previamente calculada según las dimensiones requeridas para la pieza a fabricar.
2. El molde ya cerrado es introducido en un horno a temperaturas entre 250-450° C (fundiendo o sinterizando el material), donde comienza a girar lentamente alrededor de dos ejes perpendiculares que pasan por el centro de gravedad de la pieza.
3. Posteriormente se enfría el molde mediante ventiladores que expulsan además de aire agua atomizada.
4. Se extrae o desmolda la pieza ya solidificada.

Si el producto final está compuesto de más de una capa de polímero se repite los pasos del 1 al 3 según el número de capas, en este caso hay productos de una, dos y tres capas, los tiempos de ciclo entonces son más largos mientras más capas tengan.

La figura 3.4 muestra el esquema principal del proceso de rotomoldeo en 4 pasos básicos.

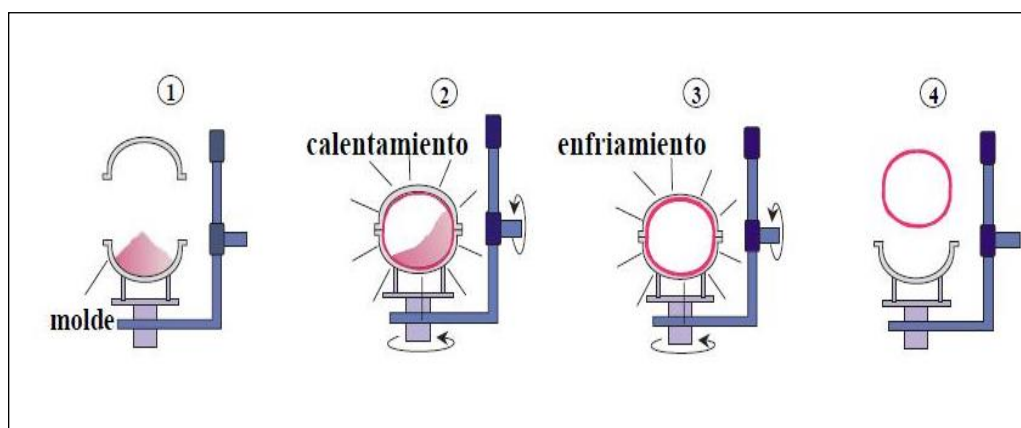


Figura 3.4 Proceso de rotomoldeo

3.2 Capacidad instalada de planta

La capacidad de la planta estudiada será la de producción de tanques y complementos de alcantarillado rotomoldeados, esta planta cuenta con 4 Rotomoldeadoras, las cuales se subdividen en 7 puestos de trabajo según la distribución mostrada en la tabla.

Tabla 1. Maquinaria de rotomoldeo

Equipo	Puestos de trabajo
Rotomoldeadora de Carrusel	3 BRAZOS
Rotomoldeadora Shuttler	2 BRAZOS
Rotomoldeadora de llama abierta 1	1 BRAZO
Rotomoldeadora de llama abierta 1	1 BRAZO
Total brazos/puestos de trabajo	7 BRAZOS

Según los registros de horas de paro de mantenimiento (correctivo y preventivo) y paros por set up que corresponden a los paros por cambio de molde, se calcula un promedio de 5.12% de horas de paro. El rendimiento promedio por máquina del año 2014 es de 1.9 unidades por hora. El resumen de registros usados se puede ver en el reporte acumulado de capacidad instalada del año 2014. Un extracto de ese reporte se presenta a continuación en la tabla 2

Tabla 2. Extracto de reporte de capacidad instalada

Maquinaria de rotomoldeo	PUESTO DE TRABAJO	% PAROS POR SET UP	% PAROS POR MANTENIMIENTO	% PAROS SETUP+MANTE NIMIENTO	RENDIMIENTO (UNIDADES/HORAS)
Rotomoldeadora de carrusel	BRAZO 1	0.60%	6.01%	6.61%	1.66
	BRAZO 2	0.70%	5.61%	6.31%	1.23
	BRAZO 3	0.93%	5.63%	6.56%	1.37
Rotomoldeadora Shuttler	BRAZO 4	0.47%	8.83%	9.30%	1.78
	BRAZO 5	0.64%	2.95%	3.59%	1.83
Rotomoldeadora de llama abierta 1	BRAZO 6	0.05%	1.28%	1.33%	2.02
Rotomoldeadora de llama abierta 2	BRAZO 7	0.15%	1.99%	2.14%	1.71
PROMEDIO PAROS SETUP+MANTENIMIENTO				5.12%	
RENDIMIENTO DE PLANTA (UNIDADES/HORA)				1.9	

Para los futuros cálculos de capacidad de producción se considera como días disponibles para producción la diferencia entre días laborables del mes menos el porcentaje de paros del 5.12 %. En la tabla 3 se muestra un resumen de días disponibles de producción para el año 2015.

Tabla 3. Resumen de días disponibles de producción año 2015

Resumen de días disponibles de producción 2015												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Días laborables por mes	22	20	22	22	21	22	23	21	22	22	21	23
Días de fin de semana (sábado y domingo)	9	8	9	8	10	8	8	10	8	9	9	8
Días feriados	2	2		1	1			1		1	2	1
Días laborables netos por Días laborables - días feriados	20	18	22	21	20	22	23	20	22	21	19	22
% Paros por set up y mantenimiento	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12
Días disponibles de máquina Días laborables netos *(1-% de paros)	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21

El cálculo de capacidad de producción máxima considera 21 personas debido a que cada puesto de trabajo ocupa a una persona, siendo 7 puestos de trabajo trabajando 3 turnos, se requeriría 21 personas para producir con todos los equipos.

La tabla 4 describe el cálculo de la capacidad instalada de rotomoldeo.

Tabla 4 Cálculo de Capacidad instalada de rotomoldeo

CAPACIDAD DE PLANTA	
Rendimiento promedio	1.9 Unidades/Hora
Número de personas máximo	21 Personas
Días por año	365 Días
% de paros	5%
Capacidad Instalada 2015 1.9 un/h * 21 personas *365*(1-5.12%)	110543 Unidades

3.3 Pronóstico de la demanda

Los productos rotomoldeados son el área comercial de mayor crecimiento en esta empresa, con el tiempo se ha incrementado la demanda de manera significativa debido al incremento en la variedad de productos complementarios de alcantarillado en el área de infraestructura mientras que aumento también la de demanda de los tanques de grandes volúmenes en el sector de la construcción, debido a este incremento, en el año 2013 se optó por aumentar la capacidad de planta mediante la instalación de nuevas máquinas para rotomoldeo, sin embargo en el 2014 no se continuo con el incremento de la demanda conseguido en el año 2013, esto debido al ingreso de más competidores al mercado y a la contracción de la demanda.

En el gráfico 1 se observa el comportamiento de la demanda en los últimos años.

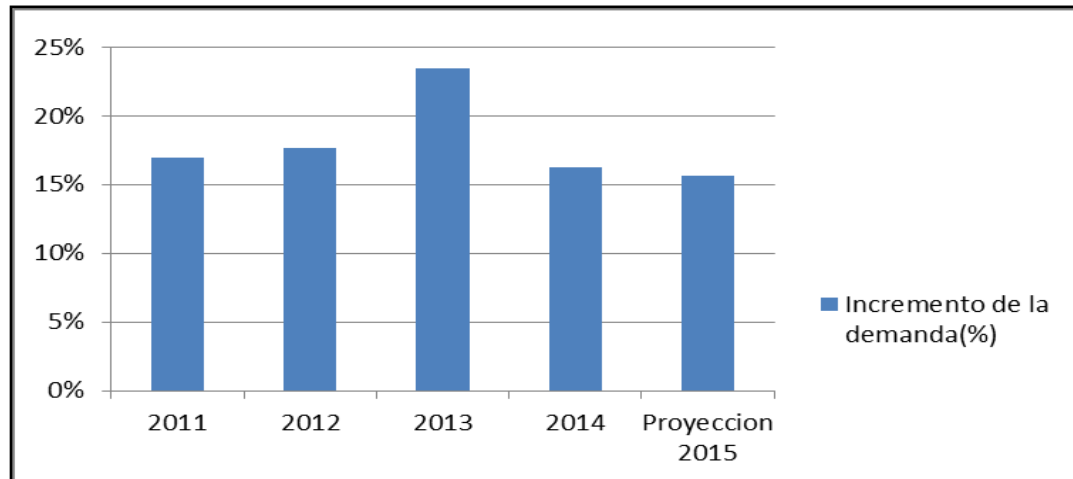


Gráfico 3.1 Variación porcentual de la demanda

Para establecer cuál es el mejor método de pronóstico de demanda para esta área de producción se tomó como muestra las ventas realizadas durante el primer semestre del año 2014 y se pronosticó con tres métodos (promedio móvil, suavización exponencial y regresión lineal) para el segundo semestre del 2014 y se comparó los resultados de cada método con las ventas reales del segundo semestre, la comparación se hizo mediante la desviación absoluta media (MAD), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el error porcentual absoluto medio (MAPE).

El gráfico 2 muestra las ventas del área de rotomoldeo del año 2014.

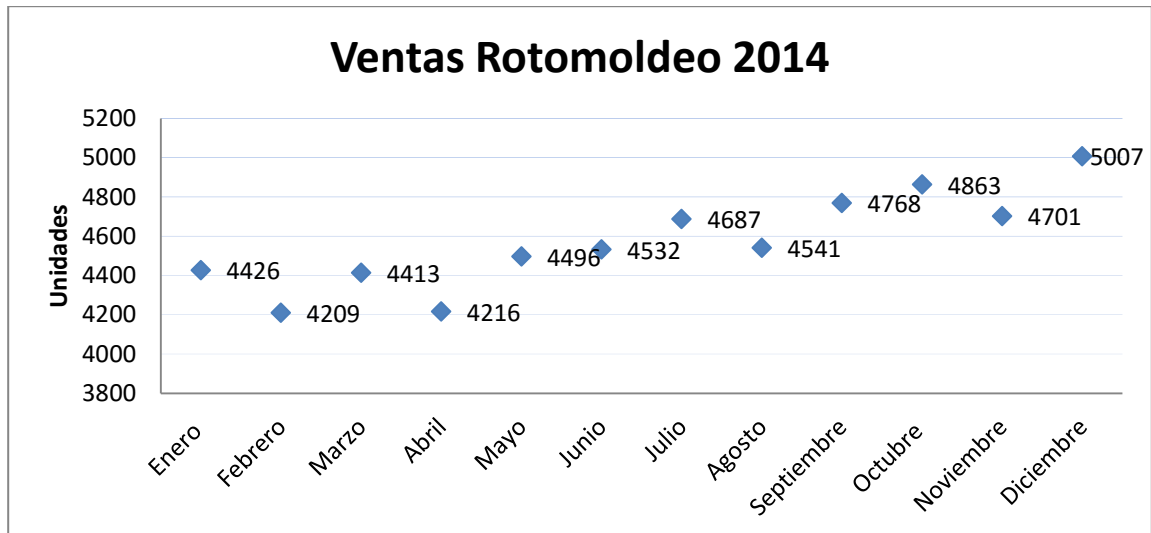


Gráfico 3.2. Dispersión de la demanda mensual de Rotomoldeo 2014

3.3.1 Selección del método de pronóstico

Una vez que se tienen identificados los datos que se usaran, se sabe cuáles técnicas de estimación se pueden aplicar, con ellas podría determinar cuál sería la estimación óptima o más eficaz de la serie de datos, para la selección se debe de comparar la precisión de cada una de las técnicas, midiendo el error que existe en el pronóstico, evaluando la diferencia de la demanda real menos la demanda estimada.

Los métodos para poder seleccionar de forma eficiente la estimación que sería óptima y más ajustada según los datos obtenidos para la demanda futura, son:

La **desviación absoluta media** (MAD, mean absolute deviation) es una forma sencilla y útil de medir el error y se obtiene con el promedio de todos los errores de la proyección, independientemente de que los errores sean positivos o negativos. La ecuación de la MAD es:

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

t = Número del periodo

A = Demanda real para el periodo

F = Demanda pronosticada para el periodo

n = Número total de periodos

| | = Símbolo utilizado para indicar el valor absoluto sin tomar en cuenta los signos positivos y negativos

La **Raíz del error cuadrático medio** (RMSE, Root Mean Squared Error) es otra forma de medir el error y se obtiene al promediar los residuos al cuadrado, este indicador asigna más ponderación a los errores más grandes y es por eso que se lo considera al momento de seleccionar el mejor método de pronóstico. La fórmula de cálculo del RMSE se muestra a continuación:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2}$$

t = Número del periodo

A = Demanda real para el periodo

F = Demanda pronosticada para el periodo

n = Número total de periodos

El **Error Porcentual Absoluto Medio** (MAPE o *Mean Absolute Percentage Error*) es un indicador del desempeño del pronóstico de demanda que mide el tamaño del error (absoluto) en términos porcentuales. Su fórmula es:

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n}$$

t = Número del periodo

A = Demanda real para el periodo

F = Demanda pronosticada para el periodo

n = Número total de periodos

Una vez se han evaluado los diferentes métodos de pronósticos y se han calculado los diferentes errores, se selecciona la técnica que genere el menor error del pronóstico de la serie de tiempo evaluada.

Tabla 5. Selección del método para el pronóstico de la demanda

Selección del método para el pronóstico de la demanda									
Métodos de pronóstico	Julio 2014	Agosto 2014	Septiembre 2014	Octubre 2014	Noviembre 2014	Diciembre 2014	MAD	RMSE	MAPE
Regresión lineal	4601	4661	4720	4780	4839	4899	97.1	101.4	12%
Suavización exponencial	5616	4873	4607	4736	4838	4728	207.0	222.9	22%
Promedio móvil simple	4382	4426	4481	4540	4648	4682	234.8	258.7	29%
Demanda Real	4687	4541	4768	4863	4701	5007			

Como se puede observar en la tabla 5, el valor menor de MAD, RMSE y MAPE se obtuvo al aplicar el método de pronóstico de regresión lineal, lo que significa que la dispersión de los valores pronosticados mediante la regresión lineal con respecto a las ventas reales son menores que con los otros métodos usados.

3.3.2 Pronóstico de Ventas para productos rotomoldeados para el año 2015.

Según se determinó anteriormente se usara el método de regresión lineal para hallar la tendencia en la demanda del año 2015. La regresión lineal es útil para el pronóstico a largo plazo de eventos importantes, así como la planeación

agregada, dado que aun cuando la demanda de productos individuales dentro de una familia puede variaren gran medida durante un periodo, la demanda de toda la familia de productos es sorprendentemente suavizada. A este procedimiento se añadirá el factor estacional que es la cantidad de corrección necesaria en una serie temporal para ajustarse a cada periodo del año.

Descomposición con regresión por mínimos cuadrados

La descomposición de una serie de tiempo significa encontrar los componentes básicos de la serie de tendencia, estacional y cíclico. Los índices se calculan por estaciones y ciclos. El procedimiento del pronóstico después invierte el proceso con el pronóstico de la tendencia y su ajuste mediante los índices estacionales y cíclicos, determinados en el proceso de descomposición. En términos formales:

1. Descomponer las series de tiempo en sus componentes.
 - a) Encontrar el componente estacional. Se promedia las demandas del mismo mes de cada año (2013 y 2014),
 - b) Se obtiene el factor estacional dividiendo la demanda real de cada mes con el promedio mensual.
 - c) Para obtener la demanda no estacional, se descuenta las variaciones de temporada de la demanda dividiendo la demanda real para el factor estacional.

En la tabla 6 se muestra los valores calculados de demanda no estacional.

Tabla 6. Cálculo de demanda no estacional para el año 2013 y 2014

Demanda 2013		Promedio mensual de Demanda (a)	Factor estacional (b)	Demanda No estacional (c)
Enero	3468	3946.92	0.93	3739.28
Febrero	3236	3722.28	0.87	3699.37
Marzo	3807	4109.96	0.97	3942.06
Abril	3841	4028.72	0.95	4058.02
Mayo	3577	4036.32	0.95	3771.17
Junio	3707	4119.44	0.97	3829.63
Julio	4287	4487.04	1.05	4066.20
Agosto	4094	4317.72	1.01	4035.78
Septiembre	4305	4536.56	1.07	4038.74
Octubre	4205	4533.96	1.07	3947.00
Noviembre	4199	4449.92	1.05	4015.73
Diciembre	4556	4781.44	1.12	4055.09
Demanda 2014		Promedio mensual de Demanda (a)	Factor estacional (b)	Demanda No estacional (c)
Enero	4426	3946.92	0.93	4772.44
Febrero	4209	3722.28	0.87	4812.35
Marzo	4413	4109.96	0.97	4569.65
Abril	4216	4028.72	0.95	4453.70
Mayo	4496	4036.32	0.95	4740.54
Junio	4532	4119.44	0.97	4682.08
Julio	4687	4487.04	1.05	4445.51
Agosto	4541	4317.72	1.01	4475.94
Septiembre	4768	4536.56	1.07	4472.98
Octubre	4863	4533.96	1.07	4564.71
Noviembre	4701	4449.92	1.05	4495.99
Diciembre	5007	4781.44	1.12	4456.62
Promedio demanda mensual			4256	

Una vez que se definen los valores de demanda no estacional se puede obtener la ecuación de la recta, para esto se hizo uso de la herramienta de análisis de datos de Microsoft Excel para regresión, el resultado se muestra en la tabla 7, en la cual se presentan como los resultados los coeficientes de la secante y la variable x que corresponden a los valores de secante y pendiente en la ecuación lineal.

Tabla 7. Resumen de regresión lineal de la demanda no estacional

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple								
								0.8
Coefficiente de determinación R²								0.7
R ² ajustado								0.7
Error típico								212.8
Observaciones								23
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	1	1918042.85	1918042.85	42.35	0.00			
Residuos	21	951166.73	45293.65					
Total	22	2869209.58						
	Coefficientes	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	Probabilidad	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	3724.707	91.729	40.605	1.979E-21	3533.946	3915.468	3533.946	3915.468
Variable X 1	43.535	6.690	6.507	1.902E-06	29.622	57.448	29.622	57.448

Entonces la recta de regresión a la que se ajustan mejor los datos de demanda sería:

$$y = a + bx \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$y = 3724.707 + 43.535x$$

Para determinar si un coeficiente es estadísticamente significativo se debe observar que el valor de la probabilidad para los coeficientes sea menor a 0.05 lo cual si se cumple. También al observar el valor del coeficiente de determinación R^2 el cual nos permite evaluar la bondad del ajuste, en este caso el valor de R^2 es 0.7, dado que el valor de R^2 es cercano a 1 se puede decir que los puntos quedan cerca del modelo lineal ajustado lo cual es importante para que nuestras predicciones sean fiables.

Una vez que se obtiene la recta de regresión con los valores de demanda no estacional se pronostica para los meses del año 2015.

2. Pronosticar valores futuros de cada mes.

a) Tomando en cuenta la ecuación de la recta (tendencia) para los meses del año 2015 se obtiene los valores Y de la regresión.

b) Para obtener el pronóstico a usarse, se multiplica el componente de la tendencia por el componente estacional. Los resultados de este cálculo se presentan la tabla 8.

Tabla 8. Cálculo de pronóstico 2015

Periodos 2015	Y de la recta de regresión (a)	Factor estacional	Pronóstico 2015 (b)
Enero	4814	0.93	4465
Febrero	4857	0.87	4249
Marzo	4901	0.97	4733
Abril	4944	0.95	4681
Mayo	4988	0.95	4731
Junio	5031	0.97	4870
Julio	5075	1.05	5351
Agosto	5118	1.01	5193
Septiembre	5162	1.07	5503
Octubre	5205	1.07	5546
Noviembre	5249	1.05	5489
Diciembre	5292	1.12	5946

3.4 Inventario de seguridad

Se considera un Inventario de seguridad (SS) según se indica a continuación:

Inventario de seguridad = Factor de servicio x desviación estándar demanda

El factor de servicio deseado es del 95%, de la tabla de probabilidad acumulada inferior para distribución normal, se obtiene que el Factor de servicio es 1.64.

La desviación estándar de la demanda proyectada para el 2015 es de 514.34

Entonces,

$$\text{Inventario de seguridad (SS)} = 1.64 * 514.34 \approx 843 \text{ unidades}$$

3.5 Costos de producción

Para este proyecto de investigación, se necesita conocer algunos costos importantes que intervienen en la producción, estos son: costo de contratar y de despedir a un empleado, costo de un trabajador en el mes, costo por trabajar tiempo extra, costo del mantenimiento del inventario y costo marginal del inventario agotado.

3.5.1 Salario mensual de un trabajador

Los trabajadores de esta empresa trabajan en tres diferentes horarios, el primer turno esta en horarios normales, mientras que cuando un trabajador rota al segundo y tercer turno esta fuera de horarios laborales normales por lo que el costo por hora de un trabajador se incrementa en un 25%. En total un trabajador debe trabajar en los tres horarios por lo que el costo de mano de Obra directa mensual es de \$398.3. En la tabla 9 se muestra el desglose de salario para personal regular.

Tabla 9. Desglose de salario mensual MO regular

Costo de MO	
Salario mensual	436.80
Días laborables promedio al mes	21
Costo por hora MO en laborables	2.6

Beneficios mensualizados	Costo (\$ USD)
Décimo tercer sueldo	36.4
Décimo cuarto sueldo	29.5
Fondo de reserva	36.4
Vacaciones	18.2
Aporte patronal	48.7
Alimentos	42.0
Transporte	15.8
Total beneficios	226.9
TOTAL BENEFICIOS	663.74

3.5.2 Costo de contratar

Es uno de los costos más importantes y delicados para una empresa, ya que son los gastos a los que se enfrenta la empresa o el empleador, al adquirir o recibir a una persona para desenvolver una tarea o un trabajo. Este costo se desglosa en la tabla 10 de la siguiente manera:

Tabla 10. Desglose de costo de contratación de personal

COSTO DE CONTRATACIÓN		
Publicación del requerimiento	\$80.0	Publicación de avisos en periódico e Internet
Selección del trabajador	\$15.0	Costo administrativo de realizar exámenes y pruebas
Exámenes médicos preocupacionales	\$80.0	Control médico inicial
Inducción	\$25.0	El personal es capacitado por el supervisor del área durante una semana
Total costos de contratación	\$200.0	

3.5.3 Costos de despedir

Los costos asociados al despido de un trabajador incluyen en la liquidación el valor del deshaucio y un subsidio por antigüedad, se toma en consideración el despido de personal de hasta un año de antigüedad. El desglose de costos se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Desglose de costo de despedir

COSTO DE DESPEDIR		
Liquidación	\$273.0	Bonificación de deshaucio y subsidio por antigüedad
Exámenes médicos	\$80.0	Costo de exámenes médicos al desvincularse al trabajador
Total costo de despedir	\$353.0	

En este costo no se incluyó el décimo tercer y décimo cuarto sueldo debido a que estos valores ya están incluidos en el sueldo mensual.

3.5.4 Costos de horas extra

El costo de horas extra corresponde al 100% más del costo de hora normal de trabajo, para fines de semana, si el costo por hora de un trabajador es de \$2.6, el costo por hora en el fin de semana sería de un 100% más que la hora normal, esto es \$5.2.

3.5.5 Costo de trabajador eventual

Un trabajador con contrato eventual según el artículo 17 del código de trabajo: “el sueldo que se pague en los contratos eventuales tendrá un incremento del 35% del valor del salario básico del sector al que corresponda el trabajador”. El resumen de costos de mano de obra de trabajador eventual se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Desglose de costo de MO contrato eventual

Costo de MO contrato eventual	
Salario mensual	589.68
Días laborables promedio al mes	21
Costo por hora MO en horario normal	3.5

Beneficios mensualizados	Costo (\$ USD)
Décimo tercer sueldo	49.1
Décimo cuarto sueldo	29.5
Fondo de reserve	49.1
Vacaciones	24.6
Aporte patronal	65.7
Alimentos	42.0
Transporte	15.8
Total beneficios	275.8

TOTAL BENEFICIOS	865.51
-------------------------	---------------

3.5.6 Costo de mantenimiento de inventario

Es el costo que se origina por poseer el inventario o por mantener los productos en bodegas por un tiempo determinado, en la cual intervienen una serie de factores como: el alquiler de bodegas, seguros, obsolescencia, etc. Todo producto en bodega genera costo, al cual se le conoce como costos de almacenamiento, este depende de la cantidad de productos en bodega y del tiempo que se tenga a los mismos; a continuación se presenta la ecuación que permite calcular el costo de almacenamiento.

$$CA = Q/2 * T * P * I \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

Q = Cantidad de materia en existencia en un cierto tiempo.

T = Tiempo de almacenamiento.

P = Precio unitario del producto.

I = Taza de almacenamiento expresada en porcentaje del precio unitario

El costo de almacenamiento, está conformado por una parte variable como: la cantidad del material y el tiempo que el material se encuentra en bodega, y por una parte fija que son: los seguros, alquiler de bodega, salarios de trabajadores, maquinarias y equipos instalados, entonces la tasa de almacenamiento (TA) es la suma de las siguientes tazas expresadas a continuación en:

$$TA = Ta + Tb + Tc + Td + Te \quad (\text{Ec. 3.3})$$

La empresa nos otorgó la siguiente información en la tabla 13:

Tabla 13. Información cálculo de costo de mantenimiento de inventarios

Información	
Venta promedio mensual 2014	4572
Costo de producción promedio	103.53
Precio de venta promedio	117.13
Costo del seguro	21420.00
Devaluación mensual del equipo	300.00
Pérdidas mensuales	377.5

Tasa de almacenamiento físico (Ta).

En este caso el valor de Ta es 0 debido a que el área de almacenamiento es propia.

$$Ta = \frac{100 * A * Ca}{C * P} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Tasa de retorno de capital detenido en existencia (Tb)

$$Tb = \frac{100 * \text{Ganancia}}{Q * P}$$

$$Tb = \frac{100 * 62160.91}{4572 * 117.126}$$

$$Tb = 11.6\%$$

Tasa de seguros del material almacenado (Tc)

$$T_c = \frac{100 * \text{Costo de seguro}}{Q * P}$$

$$T_c = \frac{100 * 21420}{4572 * 117.13}$$

$$T_c = 4.0\%$$

Tasa de transporte, manipulación y distribución del material (Td)

$$T_d = \frac{100 * \text{Devaluación mensual del equipo}}{Q * P}$$

$$T_d = \frac{100 * 300}{4572 * 117.13}$$

$$T_d = 0.005\%$$

Tasa de obsolescencia del material (Te)

$$T_e = \frac{100 * \text{Pérdida mensual}}{Q * P}$$

$$T_e = \frac{100 * 377.5}{4572 * 117.13}$$

$$T_e = 0.08\%$$

Entonces TA es:

$$TA = T_b + T_c + T_d + T_e$$

$$TA = 15.7\%$$

$$I = 0.16$$

Finalmente CA es:

$$CA = Q/2 * T * P * I$$

$$CA = 4572/2 * 1 \text{ mes} * 117.13 * 0.16$$

$$CA = 42019.3$$

Llevado a valores unitarios:

$$\text{Costo de mantener una unidad de inventario} = 42019/4572$$

$$\text{Costo de mantener una unidad de inventario} = 9.19 \text{ \$ /unidad}$$

3.5.7 Costo del inventario Agotado

Son las pérdidas monetarias que sufre la empresa, por no tener producto para vender. En la tabla 14 se muestra los valores promedios de costo y precio de venta.

Tabla 14. Costo y precio de venta promedio año 2014

Costo de producción promedio	103.53
Precio de venta promedio	117.126

$$\text{Costo de inventario agotado por unidad} = 117.13 - 103.53$$

$$\text{Costo de inventario agotado por unidad} = 13.6$$

3.6 Plan agregado de producción

Para la realización del plan agregado de producción se usó una técnica práctica elaborando tablas en la herramienta Microsoft Excel con las diferentes estrategias de planeación, esto facilitó el proceso de selección posterior.

Se estableció usar las tres estrategias esenciales de planeación agregada, estrategia de ajuste, estrategia de nivel y estrategia de fuerza de trabajo estable y horas de trabajo variables. Según solicitud gerencial se requiere mantener stock de seguridad el cual se calculó en cualquier estrategia planteada y es poco deseado tener inventario agotado dado que uno de los objetivos del presente proyecto era mejorar el nivel de servicio.

El inventario inicial es de 791 unidades y el inventario de seguridad calculado es de 843 unidades.

La información usada en el costeo por estrategia se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Información para el costeo de estrategia

Demanda y días hábiles												
Información	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pronóstico de la demanda	4465	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Días Hábiles al mes	20	18	22	21	20	22	23	20	22	21	19	22
Paros por set up y mantenimiento	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%
Días disponibles de máquina	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21

Requisitos												
Requisitos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inventario Inicial	791	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Pronóstico de la demanda	4465	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Inventario de seguridad	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Requerimientos de producción (DM + SS - It-1)	4517	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Inventario Final (It-1+ Tt * Rend * DHM * HL - DM)	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843

Adicional a la información indicada en los cuadros anteriores, se debe aclarar que el costo de mantener inventario está dado por la siguiente formula

$$\text{Costo de mantenimiento de inventario} = \text{Inv Promedio} * \text{CMI} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

$$\text{Inventario promedio} = \frac{\text{Inventario final} + \text{Inventario Inicial}}{2} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

3.6.1 Plan de producción 1

Estrategia de ajuste. Producción exacta, fuerza de trabajo variable

Este plan consiste en producir únicamente la demanda y el inventario de seguridad definido en días regulares de 8 horas durante los días laborables en el mes aumentando o disminuyendo el personal operativo mediante contratación o despido. Este es un esquema que no se había utilizado antes en esta empresa pero dada la situación actual del mercado en la que se requiere reducir costos mediante la utilización óptima de recursos se la puso en consideración.

Los requerimientos de producción definidos mensualmente por la demanda y el stock de seguridad se convierten a horas de producción requeridas dividiéndolos para el rendimiento, para obtener el número de trabajadores requeridos por mes se divide las horas requeridas para las horas laborables por trabajador. Si el personal requerido es menor al número de trabajadores del mes anterior entonces se despide la diferencia entre ambos, por otro lado, si el número de trabajadores requeridos es mayor al número de trabajadores del mes anterior, entonces se contrata, los trabajadores contratados se consideran eventuales por lo que el costo por salarios es distinto al de un trabajador regular.

La tabla 16 con la descripción de cálculos se presenta a continuación:

Tabla 16. Plan de producción 1. Producción exacta, fuerza de trabajo variable

Plan de producción 1: Producción exacta, fuerza de trabajo variable												
Descripción del calculo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inventario inicial	791	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Requerimiento de producción	4517	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Horas de producción requeridos (requerimiento de producción/rend)	2378	2237	2492	2464	2490	2564	2817	2734	2897	2919	2889	3130
Días hábiles por mes	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21
Horas mes trabajador (DHM * HLD)	151.8	136.6	167.0	159.4	151.8	167.0	174.6	151.8	167.0	159.4	144.2	167.0
Trabajadores requeridos (horas de producción requeridos/horas mes trabajador)	16	17	15	16	17	16	17	19	18	19	21	19
Nuevos trabajadores contratados (trabajadores requeridos - trabajadores del mes anterior)	0	1	0	1	1	0	1	2	0	1	2	0
Costo de contratación (nuevos trabajadores contratados *CC)	0.0	200.0	0.0	200.0	200.0	0.0	200.0	400.0	0.0	200.0	400.0	0.0
Número de trabajadores despedidos	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	2
Costo de despido (Trabajadores despedidos * CD)	0.0	0.0	706.0	0.0	0.0	353.0	0.0	0.0	353.0	0.0	0.0	706.0
Costo de MO trabajador regular (Trabajadores requeridos - nuevos trabajadores contratados) * SM	10619.8	10619.8	9956.1	9956.1	10619.8	10619.8	10619.8	11283.6	11947.3	11947.3	12611.1	12611.1
Costo de MO trabajador eventual (Trabajadores eventuales requeridos * SE)	0.0	865.5	0.0	865.5	865.5	0.0	865.5	1731.0	0.0	865.5	1731.0	0.0
Inventario Final	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Costo de mantener inventario	7508.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2	7747.2
Costos Totales mensuales	18128.1	19232.5	17703.3	18568.8	19232.5	18367.0	19232.5	20761.8	19694.5	20560.0	22089.3	20358.2

Como se puede observar la demanda está balanceada con la capacidad de planta de tal manera que los inventarios finales corresponden al inventario de seguridad deseado.

En la tabla 17 se puede apreciar el desglose de costos para el plan de producción agregada según la estrategia de ajuste.

Tabla 17. Resumen de costos plan 1

Resumen de Costos Plan 1	
Costo de contratación	1800.0
Costo de despido	2118.0
Costo de MO trabajador regular	133411.7
Costo de MO trabajador eventual	7789.6
Costo de mantener inventario	92727.1
Costo Total del Plan 1	237846.4

3.6.2 Plan de producción 2.

Estrategia de Nivel. Fuerza de trabajo constante, varia inventario y permite inventario agotado

Este plan de producción, consiste en producir a plena capacidad de planta sin depender de la demanda, ya que al momento de sobrar producto, se puede cubrir la demanda promedio de los meses en donde el producto haga falta, y esto con el fin de tener una fuerza de trabajo constante.

Para desarrollar este plan se debe iniciar calculando el número de trabajadores constantes que se requerirá para cubrir con los requerimientos de producción, el cálculo se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Cálculo de personal constante requerido

Cálculo de personal constante requerido	
Producción anual	60809
Horas de producción anuales requeridas (Producción anual/rend)	32005
Horas hábiles por trabajador al año (Suma de días hábiles de todo el año* 8 horas laborables diarias)	1898
Número de trabajadores	17

La tabla 19 con la descripción de cálculos y resultados del plan de producción 2 se presenta a continuación:

Tabla 19. Plan de producción 2: Fuerza de trabajo constante, varía inventario y permite inventario agotado(backorder) y permite inventario agotado (backorder)

Plan de producción 2: Fuerza de trabajo constante, varía inventario y permite inventario agotado(backorder)												
Descripción del cálculo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inventario Inicial	791	1229	1393	2054	2522	2694	3218	3505	3215	3106	2709	1879
Días hábiles por mes	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21
Horas de producción disponibles (días hábiles * HLD * Número de trabajadores constante)	2581	2323	2839	2710	2581	2839	2968	2581	2839	2710	2452	2839
Producción real	4903	4413	5394	5149	4903	5394	5639	4903	5394	5149	4658	5394
Pronóstico de la demanda DM	4465	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Inventario Final	1229	1393	2054	2522	2694	3218	3505	3215	3106	2709	1879	1326
Costos de escasez (unidades faltantes * CF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo de inventario (Inventario Promedio * CMI)	9284	12052	15842	21026	23967	27165	30890	30878	29045	26721	21082	14727
Costo del tiempo regular	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284
Costos Totales mensuales	20567.3	23335.5	27125.3	32309.8	35250.4	38449	42173.8	42161.4	40328.5	38004.7	32365.7	26010.5

Como se puede observar el inventario en este caso no se agota, esto es debido a que los meses con mayor demanda son los últimos del año 2015 por lo que no se podría compensar en este mismo año en caso de escases si se planeara la producción con menos personal del calculado. La tabla 20 a continuación muestra el resumen de costos de este plan.

Tabla 20. Resumen de costos de plan 2

Resumen de Costos Plan 2	
Costo de escasez	0.0
Costo de mantener inventario	262679.0
Costo de MO trabajador regular	135403.0
Costo Total del Plan 1	398081.9

Como era de esperarse el costo de producción es alto debido a los altos inventarios promedio por una capacidad de planta que supera por mucho la demanda pronosticada, el costo de MO también es alto debido al número de trabajadores constante.

3.6.3 Plan de Producción 3

Estrategia de Fuerza de trabajo constante y tiempo extra

Este plan consiste en producir los requerimientos de producción usando mano de obra constante y en el caso de que la demanda supere a la capacidad de planta, entonces se haga uso de horas extras para cubrir este déficit.

En este plan en particular el número de trabajadores es más complicado de especificar puesto que aunque el cálculo para definir el personal requerido usado en los planes anteriores nos da una idea del número de trabajadores que requeriremos, no significa que este cálculo nos del número de trabajadores óptimo para este plan. Debido a esto, se debe hacer una serie de pruebas variando el número de personas de tal manera que el inventario final se acerque lo más posible al inventario de seguridad, para esto usamos una tabla con fórmulas vinculadas al número de trabajadores para facilitarnos el cambio de valor en esta variable. En la tabla 21, el cálculo de número de trabajadores

Tabla 21. Cálculo de personal constante requerido plan 3

Cálculo de personal constante requerido	
Producción anual	60809
Horas de producción anuales requeridas (Producción anual/rend)	32005
Horas hábiles por trabajador al año (Suma de días hábiles de todo el año * 8 horas laborables diarias)	1898
Número de trabajadores	17

Después de realizadas las pruebas haciendo variar el número de trabajadores, se obtuvo que la cantidad de 15 personas lograba un mayor acercamiento al inventario de seguridad al mismo tiempo que mejoraban los costos. A continuación tabla con resultados usando personal constante de 15 personas.

Tabla 22. Plan de producción 3. Fuerza de trabajo estable, horas extra

Plan de producción 3: Fuerza de trabajo constante, tiempo extra												
Descripción del cálculo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inventario Inicial	791	843	843	869	843	843	843	843	843	843	843	843
Días hábiles por mes	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21
Horas de producción disponibles (días hábiles * HLD * Número de trabajadores)	2277	2049	2505	2391	2277	2505	2619	2277	2505	2391	2163	2505
Producción en horas laborables	4327	3894	4759	4543	4327	4759	4975	4327	4759	4543	4110	4759
Pronóstico de la demanda	4465	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Unidades disponibles antes del tiempo extra (It-1 + producción en tiempo regular - DM)	663	488	869	731	439	732	466	-23	99	-159	-536	-344
Días no laborables	11	10	9	9	11	8	8	11	8	10	11	9
Producción máxima en días no laborables	2508	2280	2052	2052	2508	1824	1824	2508	1824	2280	2508	2052
Unidades a producirse en tiempo extra	190	355	0	112	404	111	377	866	744	1002	1379	1187
Costo MO en tiempo extra	521	972	0	306	1107	303	1030	2371	2036	2743	3774	3248
Inventario Final	843	843	869	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Inventario de seguridad	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Costo de inventario (Inventario Final * Costo de mantener inventario)	7508	7747	7867	7867	7747	7747	7747	7747	7747	7747	7747	7747
Costo de MO en tiempo regular	9956	9956	9956	9956	9956	9956	9956	9956	9956	9956	9956	9956
Costos Totales mensuales	17986	18675	17824	18130	18810	18007	18734	20075	19739	20446	21477	20951

En los anexos se puede encontrar las tablas de cálculo de costos usando 17 y 16 personas por mes.

Este plan permite balancear la capacidad de producción con los requerimientos de demanda aumentando el uso de la capacidad de planta sin incurrir a despidos ni a contratos eventuales, lo cual beneficia al trabajador porque le ofrece continuidad de su trabajo.

El resumen de costos del Plan de producción 3 se presenta en la tabla 23 a continuación:

Tabla 23. Resumen de costos plan 3

Resumen de Costos Plan 3	
Costo de producción en tiempo extra	18412.1
Costo de mantener inventario	92967.6
Costo de MO trabajador regular	119473.2
Costo Total del Plan 3	230852.9

3.6.4 Análisis de resultados de cada uno de las estrategias desarrolladas

Según el resumen de costos presentados en la tabla 24, el plan de producción 1 con estrategia de ajuste y el plan de producción 3 con personal constante y horas extras tienen costos totales similares debido a que en ambos casos se procuró producir para la demanda pronosticada y un inventario de seguridad

establecido, la diferencia radica en que en el plan 3 se utiliza menos mano de obra estable y se cubre el déficit de personal con el mismo personal regular trabajando horas extra, esto significa que no se incrementa el costo por los beneficios adicionales del salario mensual (\$226.9 por cada trabajador) al tener menos personal estable. Por otro lado, el mantener personal estable continuo beneficia a la empresa debido a que habría menos fallas de calidad o desperdicio de recursos dado que el operador gana experiencia con el tiempo trabajado, también beneficia al empleador dado que existe estabilidad en su trabajo.

Tabla 24. Resumen de costos de los tres planes de producción

Resumen de Costos			
Costos	Plan 1	Plan 2	Plan 3
Costo de MO trabajador regular	133411.7	135403.0	119473.2
Costo de contratación	1800.0	0.0	0.0
Costo de despido	2118.0	0.0	0.0
Costo de MO trabajador eventual	7789.6	0.0	0.0
Costo de producción en tiempo extra	0.0	0.0	18412.1
Costo de mantener inventario	92727.1	262679.0	92967.6
Costo de escasez	0.0	0.0	0.0
Costo Total del Plan	237846.4	398081.9	230852.9

En el caso del plan 2, el costo es significativamente más alto debido al alto número de trabajadores y al alto valor del inventario promedio durante casi todo el año 2015.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. La estrategia a escoger, para optimizar los costos, será la de “Fuerza laboral constante y tiempo extra”. Esta estrategia cumple con los objetivos planteados, la cual esperaba mejorar el nivel de servicio y garantizar la producción del inventario de seguridad adicional a la demanda.
- 2.- El stock de seguridad fue calculado para un nivel de servicio del 95%; este sería mayor al nivel de servicio del año 2014, el cual fue de 86%.
- 3.- La estrategia seleccionada, “Fuerza laboral constante y tiempo extra”, representa una reducción del %8.3 con respecto al costo real incurrido en el año 2014.

4.2 Recomendaciones

Seguir las nuevas reglas para la planeación de la producción, estas reglas deben considerar la distribución de personal y las cantidades a producirse en planta de producción según el plan escogido.

Considerar que las variaciones de demanda son inevitables, de modo que el sistema de planeación debe tener la flexibilidad suficiente para adaptarse a esas variaciones.

Realizar una revisión trimestral de las ventas reales, a fin de que se puedan hacer ajustes a los pronósticos de ventas con información actualizada.

Adquirir un software de soporte que facilite el cálculo de pronósticos permitiendo realizar el recalcu de cada plan de producción y de esta forma simplificar el análisis de la nueva información, concluyendo siempre con el mejor plan agregado de producción.

BIBLIOGRAFÍA

Richard B. Chase, F. Robert Jacobs y Nicholas J. Aquilano (2005).
Administración de la Producción y Operaciones (10ª ed.). México: McGraw-Hill
Interamericana. ISBN 007-284507-4

Norman Gaither y Greg Frazier (2000). Administración de Producción y
Operaciones, (8ª ed.). CengageLearning Editores. Shane Moriarity y Carl P.
Allen (1981). Contabilidad de Costos.

LINKOGRAFIA

Bonilla Daniel. Planeación agregada. (2010). México.
<https://www.scribd.com/doc/311010637/PLANEACION-AGREGADA>

Salazar Lopez Bryan Herramientas para el ingeniero industrial: Planeación
agregada. Colombia. [https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-
para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/planeaci%C3%B3n-agregada/](https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/planeaci%C3%B3n-agregada/)

ANEXOS

Anexo 1. Probabilidad acumulada inferior para distribución normal

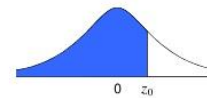
Probabilidad acumulada inferior para distribución normal N(0,1)

www.vaxasoftware.com

μ = Media

σ = Desviación típica

$$P(z \leq z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



Tipificación: $z_0 = \frac{x - \mu}{\sigma}$

z_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	z_0
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359	0,0
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753	0,1
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	0,2
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517	0,3
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	0,4
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224	0,5
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549	0,6
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	0,7
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133	0,8
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389	0,9
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	1,0
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830	1,1
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015	1,2
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	1,3
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	1,4
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441	1,5
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	1,6
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	1,7
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706	1,8
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767	1,9
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	2,0
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857	2,1
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890	2,2
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	2,3
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	2,4
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952	2,5
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964	2,6
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	2,7
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981	2,8
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	2,9
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900	3,0
3,1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929	3,1
3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950	3,2
3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965	3,3
3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976	3,4
3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983	3,5
3,6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989	3,6
3,7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992	3,7
3,8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995	3,8
3,9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997	3,9

$1-\alpha$	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
α	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	1%
$z_{0,2}$	1,645	1,751	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
z_{α}	1,282	1,405	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Siendo:
 $1-\alpha$ = Nivel de confianza
 α = Nivel de significación

www.vaxasoftware.com

Anexo 2. Plan de producción 3. Número de trabajadores = 17

Plan de producción 3: Fuerza de trabajo constante, tiempo extra												
Descripción del cálculo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inventario inicial	791	1229	1393	2054	2522	2694	3218	3505	3215	3106	2709	1879
Días hábiles por mes	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21
Horas de producción disponibles (días hábiles * HLD * Número de trabajadores)	2581	2323	2839	2710	2581	2839	2968	2581	2839	2710	2452	2839
Producción en horas laborables	4903	4413	5394	5149	4903	5394	5639	4903	5394	5149	4658	5394
Pronóstico de la demanda	4465	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Unidades disponibles antes del tiempo extra (It-1 + producción en tiempo regular - DM)	1229	1393	2054	2522	2694	3218	3505	3215	3106	2709	1879	1326
Días no laborables	11	10	9	9	11	8	8	11	8	10	11	9
Producción máxima en días no laborables	2842	2584	2326	2326	2842	2067	2067	2842	2067	2584	2842	2326
Unidades a producirse en tiempo extra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo MO en tiempo regular	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario Final	1229	1393	2054	2522	2694	3218	3505	3215	3106	2709	1879	1326
Inventario de seguridad	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Costo de inventario (Inventario Final *Costo de mantener inventario)	9284	12052	15842	21026	23967	27165	30890	30878	29045	26721	21082	14727
Costo del tiempo regular	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284	11284
Costos Totales mensuales	20567.3	23335.5	27125.3	32309.8	35250.4	38449	42173.8	42161.4	40328.5	38004.7	32365.7	26010.5

Anexo 3. Plan de producción 3. Número de trabajadores = 16

Plan de producción 3: Fuerza de trabajo constante, tiempo extra												
Descripción del cálculo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inventario inicial	791	941	845	1189	1354	1238	1444	1399	843	843	843	843
Días hábiles por mes	19	17	21	20	19	21	22	19	21	20	18	21
Horas de producción disponibles (días hábiles * HLD * Número de trabajadores)	2429	2186	2672	2550	2429	2672	2793	2429	2672	2550	2307	2672
Producción en horas laborables	4615	4153	5076	4846	4615	5076	5307	4615	5076	4846	4384	5076
Pronóstico de la demanda	4465	4249	4733	4681	4731	4870	5352	5193	5503	5545	5489	5946
Unidades disponibles antes del tiempo extra (It-1 + producción en tiempo regular - DM)	941	845	1189	1354	1238	1444	1399	821	416	144	-262	-27
Días no laborables	11	10	9	9	11	8	8	11	8	10	11	9
Producción máxima en días no laborables	2675	2432	2189	2189	2675	1946	1946	2675	1946	2432	2675	2189
Unidades a producirse en tiempo extra	0	0	0	0	0	0	0	22	427	699	1105	870
Costo MO en tiempo regular	0	0	0	0	0	0	0	60	1167	1914	3024	2380
Inventario Final	941	845	1189	1354	1238	1444	1399	843	843	843	843	843
Inventario de seguridad	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Costo de inventario (Inventario Final * Costo de mantener inventario)	7958	8208	9347	11682	11906	12321	13064	10303	7747	7747	7747	7747
Costo del tiempo regular	10620	10620	10620	10620	10620	10620	10620	10620	10620	10620	10620	10620
Costos Totales mensuales	18578.2	18828.2	19967.3	22302.3	22525.9	22941.3	23684.0	20982.5	19534.4	20280.9	21390.7	20746.8