



*Universidad Autónoma del Estado de  
Hidalgo*

**Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**T E S I S**

**IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE GESTIÓN DE LA  
PRODUCCIÓN PARA LA MEJORA OPERATIVA DE UNA  
PYME DEL ESTADO DE HIDALGO**

Para obtener el título de  
Ingeniero Industrial

**PRESENTA**

**Carlos Valdez Castro**

Director

**Dr. Héctor Rivera Gómez**

Codirector

**Dr. Gustavo Erick Anaya Fuentes**

Mineral de la reforma, Hidalgo, México, octubre del 2024



Mineral de la Reforma, Hgo., a 24 de octubre de 2024

Número de control: ICBI-AAIyA/2607/2024

Asunto: Autorización de impresión de tesis.

**MTRA. OJUKY DEL ROCIO ISLAS MALDONADO**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

De conformidad con el Artículo 13, fracción III del Reglamento de Titulación vigente, el Comité Tutorial de la Tesis titulada **“Implementación de técnicas de gestión de la producción para la mejora operativa de una PyME del estado de Hidalgo”**, realizada por el sustentante CARLOS VALDEZ CASTRO, con número de cuenta 338082 perteneciente al programa educativo de la licenciatura de Ingeniería Industrial, una vez que se ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional, tiene a bien extender la presente:

**AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Titulación vigente para obtener el título profesional de licenciatura por elaboración de tesis.

Atentamente  
 “Amor, Orden y Progreso”  
 Comité Tutorial

  
 Dr. Héctor Rivera Gómez  
 Director de Tesis

  
 Dr. Gustavo Erick Anaya Fuentes  
 Codirector de Tesis

  
 Dra. Nadia Samantha Zúñiga Peña  
 Integrante del Comité

  
 Dr. Irving Barragán Vite  
 Integrante del Comité



JGG/MABC

## Índice

Resumen .....	7
Abstract.....	9
Agradecimientos .....	10
Dedicatorias.....	10
<b>CAPITULO 1. PROPOSITO Y ORGANIZACIÓN (GENERALIDADES) .....</b>	<b>11</b>
1.1. Introducción .....	11
1.2. Antecedentes.....	12
1.3. Planteamiento del Problema .....	13
1.4. Propósito de la investigación .....	14
1.5. Justificación .....	15
1.6. Conveniencia.....	16
1.7. Relevancia social .....	17
1.8. Implicaciones prácticas.....	18
1.9. Objetivo General.....	19
1.10. Objetivos Específicos.....	19
1.11. Hipótesis.....	20
1.12. Alcances .....	21
1.13. Limitantes .....	22
1.14. Organización del estudio .....	23
<b>CAPITULO 2. MARCO TEORICO .....</b>	<b>25</b>
2.1. Pronósticos .....	25
2.1.1. Introducción a los pronósticos.....	25
2.1.2. Clasificación de los pronósticos .....	26
2.1.3. Diferencia entre métodos con series de tiempo y de regresión .....	26
2.1.4. Métodos de series de tiempo.....	27
2.1.5. Conceptos Fundamentales para la Elaboración de Pronósticos ...	33
2.1.6. Estudios de investigación sobre pronósticos.....	34
2.2. Planeación agregada .....	35

2.2.1. Introducción a la planeación agregada.....	35
2.2.2. Técnicas y características de la planeación agregada.....	36
2.2.3. Importancia de la planeación agregada.....	37
2.2.4. Estudios de investigación de planeación agregada.....	38
2.3. Planeación de Requerimiento de Materiales MRP .....	41
2.3.1. Introducción al MRP .....	41
2.3.2. Costos de MRP.....	48
2.3.3. Estudios de investigación de MRP.....	50
2.4. Programación de actividades .....	54
2.4.1. Introducción a la programación de actividades.....	54
2.4.2. Programación de la producción y jerarquía de las decisiones de producción .....	54
2.4.3. Artículos sobre programación de actividades .....	57
<b>CAPITULO 3: METODOLOGIA.....</b>	<b>61</b>
3.1. Tipo .....	61
3.2. Nivel .....	61
3.3. Diseño .....	61
3.4. Contribución académica de la tesis .....	62
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
4.1. Resultados de los pronósticos.....	64
4.1.1. Módulo del software WinQSB para pronósticos.....	65
4.1.2. Suavizamiento exponencial simple (SES) .....	67
4.1.3 Regresión lineal .....	69
4.1.4. Suavizamiento exponencial simple con tendencia (SEST) .....	73
4.1.5. Elección del mejor pronóstico.....	76
4.2. Resultados de la planeación agregada .....	78
4.2.1. Estrategia de caza.....	82
4.2.2. Método de fuerza de trabajo constante .....	83
4.2.3. Uso del software WinQSB para Planeación agregada.....	85
4.2.4. WinQSB para método de caza .....	88

4.2.5. Gráficos del método de caza .....	90
4.2.6. WinQSB para método de fuerza de trabajo constante .....	92
4.3. Resultados de la planeación de requerimiento de materiales (MRP)...	94
4.3.1. Cálculo de explosión .....	95
4.3.2. WinQSB para MRP .....	96
4.4. Resultados de la programación de actividades .....	102
4.4.1 WinQSB para el balanceo de línea .....	109
4.4.2. Sensibilidad del tiempo de ciclo.....	112
<b>CAPITULO 5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>Conclusión general.....</b>	<b>116</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>118</b>

## Resumen

La investigación presentada en esta tesis se enfoca en el contexto de una PYME en el estado de Hidalgo, empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos químicos de limpieza. La tesis se centra específicamente en el área de producción, cuya misión es abastecer de manera eficiente a las 39 sucursales que conforman la red de distribución de la empresa.

El objetivo primordial de este estudio es la implementación de técnicas de gestión de producción para el colorante industrial líquido azul, una materia prima de vital importancia para asegurar el funcionamiento óptimo de las distintas sucursales de la empresa. Esta iniciativa surge como respuesta a la necesidad de optimizar los procesos de producción y logística, garantizando así la disponibilidad adecuada de este insumo clave en el momento y cantidad requeridos.

Para llevar a cabo esta investigación, se recurrió a una variedad de herramientas y técnicas de ingeniería industrial, las cuales fueron empleadas tanto para la recolección de datos como para la evaluación de resultados. En una primera etapa, se realizó una recolección de datos lo que permitió establecer un punto de referencia fundamental para la posterior comparación con los resultados obtenidos luego de la aplicación de las técnicas que se abordan en la tesis.

En la implementación de estos modelos se involucró un análisis detallado de datos históricos de demanda, patrones de consumo, tendencias del mercado y otros factores relevantes que influyen en la demanda del colorante líquido azul. A partir de esta información, se desarrolló y ajustó varios modelos de gestión de operaciones, teniendo en cuenta las particularidades del contexto operativo y las necesidades específicas de la empresa.

Una vez implementados los modelos, se procedió a la evaluación de su efectividad y precisión en la predicción de la demanda. Para ello, se compararon los resultados pronosticados con los datos reales de demanda durante un período determinado, analizando la capacidad del modelo para anticipar con precisión las fluctuaciones en la demanda y adaptarse a las variaciones del mercado.

Los hallazgos obtenidos a través de esta investigación proporcionan una base sólida para la mejora continua de los procesos de producción y gestión de operaciones en el área, así como también establecen un precedente importante para una posible replicación en otras áreas y productos dentro de la empresa. En última instancia, este estudio contribuye a fortalecer la competitividad y la eficiencia operativa de la compañía en un mercado dinámico y exigente.

## **Abstract**

The research presented in this thesis is conducted within the context of a small and medium-sized enterprise (SME) in the state of Hidalgo, a company dedicated to the manufacture and commercialization of chemical cleaning products. The thesis focuses specifically on the production area, whose mission is to efficiently supply the 39 branches that make up the company's distribution network.

The main objective of this study is the implementation of production management techniques for blue liquid industrial dye, a raw material of vital importance to ensure the optimal operation of the different branches of the company. This initiative arises in response to the need to optimize production and logistics processes, thus ensuring the adequate availability of this key input at the required time and quantity.

In order to carry out this research, a variety of industrial engineering tools and techniques were used for both data collection and evaluation of results. In a first stage, a data collection was carried out, which allowed establishing a fundamental reference point for the later comparison with the results obtained after the application of the techniques discussed in the thesis.

The implementation of these models involved a detailed analysis of historical demand data, consumption patterns, market trends and other relevant factors that influence the demand for blue liquid dye. Based on this information, several operations management models were developed and adjusted, taking into account the particularities of the operating context and the specific needs of the company.

Once the models were implemented, their effectiveness and accuracy in predicting demand was evaluated. To this end, the predicted results were compared with actual demand data for a given period, analyzing the model's ability to accurately anticipate fluctuations in demand and adapt to market variations.

The findings obtained through this research provide a solid foundation for continuous improvement of production processes and operations management in the area, as well as establish an important precedent for possible replication in other areas and

products within the company. Ultimately, this study contributes to strengthening the company's competitiveness and operational efficiency in a dynamic and demanding market.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han contribuido a la culminación de este trabajo. En primer lugar, quiero agradecer a mi director/a de tesis por su orientación y apoyo a lo largo del proceso de investigación. También quiero agradecer a mis compañeros/as y amigos/as por su aliento y ayuda. Además, extiendo mi aprecio al personal y los recursos proporcionados por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Sin su invaluable ayuda, este proyecto no habría sido posible. Finalmente, agradezco a mi familia por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de este camino académico.

## **Dedicatorias**

A mis padres, por su amor, apoyo incondicional y sacrificios que hicieron posibles mis estudios.

A mi director/a de tesis, por su orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso académico.

A mis amigos/as, por su compañía, ánimo y comprensión en los momentos difíciles.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por brindarme los recursos y el ambiente propicio para llevar a cabo esta investigación.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo, ¡gracias!

# **CAPITULO 1. PROPOSITO Y ORGANIZACIÓN (GENERALIDADES)**

## **1.1. Introducción**

La venta de productos químicos de limpieza a granel ha emergido como un próspero nicho en el mercado mexicano, con una creciente aceptación a lo largo de décadas. Este fenómeno se impulsa principalmente por individuos preocupados por el ahorro y la sustentabilidad, lo que refleja una creciente conciencia en la sociedad mexicana sobre la importancia de adoptar prácticas responsables tanto para el medio ambiente como para el bienestar de la economía familiar.

En este contexto, esta tesis se centra en proponer mejoras significativas en el proceso de gestión de la producción de una empresa PYME, aplicando técnicas de pronósticos y gestión de operaciones. El enfoque estará dirigido hacia la producción del colorante líquido azul, un componente esencial en la fabricación de productos de limpieza. El objetivo principal es reducir el exceso de trabajo, aumentar la productividad y competitividad de la empresa, así como también disminuir los costos asociados con la producción.

Para alcanzar este propósito, se llevará a cabo un exhaustivo análisis de diversas técnicas disponibles para la mejora de procesos en la gestión de la producción. Este análisis se detallará en los siguientes capítulos de la tesis, donde se abordarán diferentes aspectos como generalidades del mercado, el marco teórico que sustenta las metodologías propuestas, y se presentarán los resultados obtenidos.

El primer capítulo brindará una visión general del contexto en el que se desarrolla la investigación, ofreciendo información relevante sobre el mercado de productos de limpieza a granel y las tendencias observadas en México. El segundo capítulo profundizará en el marco teórico, explorando las técnicas de pronósticos y gestión de operaciones disponibles y su aplicabilidad al proceso de gestión de la producción de la empresa.

Posteriormente, en el cuarto capítulo se presentan los resultados del análisis, destacando las propuestas de mejora identificadas y su potencial impacto en el proceso de producción del colorante líquido azul. Finalmente, en el cuarto capítulo

se expondrán las conclusiones derivadas del estudio, junto con recomendaciones para la implementación efectiva de las mejoras propuestas.

En resumen, esta investigación busca ofrecer una contribución significativa al campo de la gestión de la producción en el sector de productos químicos de limpieza a granel en México, proporcionando herramientas y recomendaciones prácticas para mejorar la eficiencia y competitividad de las empresas en este mercado en constante evolución.

## **1.2. Antecedentes**

WinQSB es una herramienta informática ampliamente reconocida en el ámbito de la Ingeniería Industrial. Desarrollada por el Dr. Yih-Long Chang de la Universidad de Cincinnati y distribuida por Prentice-Hall, este software ha ganado popularidad gracias a su capacidad para modelar y resolver una variedad de problemas en áreas como la ingeniería industrial, la gestión de operaciones, la investigación de operaciones y la logística (Chang, 2000). Su efectividad ha sido demostrada en diversos estudios, como el análisis de inventarios en la manufactura (González & Pérez, 2015) y la optimización de rutas de transporte (Hernández & García, 2018), donde se destacó su versatilidad y simplicidad de uso.

Inicialmente basado en Quantitative System Builder (QSB, por sus siglas en inglés, Constructor de Sistemas Cuantitativos), un software anterior diseñado para entornos DOS, WinQSB fue concebido para aprovechar las capacidades gráficas y la interfaz de usuario de los sistemas operativos modernos de Windows. Esta transición ha facilitado su adopción y uso por parte de estudiantes, académicos y profesionales que buscan herramientas eficaces para abordar desafíos en sus respectivos campos. Por ejemplo, Ríos y Martínez (2020) demostraron la eficiencia de WinQSB en la planificación de la producción en empresas medianas.

WinQSB ofrece una interfaz gráfica de usuario fácil de usar que simplifica tareas complejas, permitiendo a los usuarios modelar sistemas, analizar datos y resolver

problemas de manera eficiente (López et al., 2017). Aunque su uso se ha extendido en disciplinas específicas como la ingeniería industrial y la gestión de operaciones, su versatilidad lo convierte en una opción valiosa para cualquier profesional que requiera herramientas de análisis cuantitativo.

A pesar de que WinQSB ha sido ampliamente adoptado y ha demostrado ser útil en numerosos contextos, es importante destacar que no es la única opción disponible en el mercado. Existen otras herramientas similares con características y funcionalidades diferentes, y la elección de la herramienta más adecuada dependerá de las necesidades específicas de cada usuario y del contexto en el que se utilice (Smith & Wang, 2019).

En resumen, WinQSB representa una opción sólida para aquellos que buscan herramientas de modelado y análisis en el ámbito de la gestión y los negocios. Su interfaz fácil de usar y su capacidad para resolver una variedad de problemas lo convierten en una herramienta valiosa para profesionales y estudiantes por igual.

### **1.3. Planteamiento del Problema**

En el ámbito de la gestión de operaciones y la cadena de suministro, la empresa enfrenta dificultades que han afectado su eficiencia operativa y su capacidad para cumplir con la demanda del mercado. Entre los principales síntomas observados se encuentran retrasos recurrentes en la producción, acumulación de inventarios innecesarios, y dificultades para ajustar los niveles de producción a las fluctuaciones de la demanda. Estos problemas han impactado negativamente la rentabilidad de la empresa, generando sobrecostos y tiempos de entrega inconsistentes.

Uno de los productos más críticos para la compañía es el colorante líquido azul, utilizado ampliamente en la producción de productos de limpieza, el cual presenta una alta variabilidad en la demanda. A pesar de la disponibilidad de herramientas modernas como los sistemas ERP, la empresa sigue enfrentando retos significativos

para gestionar de manera eficiente su producción y mantener los niveles adecuados de inventario. Esto sugiere la existencia de brechas en la planificación de operaciones y en la precisión de los pronósticos de demanda.

El presente análisis se enfoca en identificar y abordar los problemas de gestión de operaciones que enfrenta la empresa, con especial énfasis en la planeación de la producción. Se evaluará la efectividad de los métodos de pronóstico y gestión de inventarios empleados actualmente, y se considerará la implementación de herramientas como WinQSB para optimizar la toma de decisiones en el área de operaciones.

El objetivo es proporcionar un marco de acción que permita a la empresa mejorar su capacidad para ajustar la producción a las condiciones del mercado, reducir el exceso de inventarios, y mejorar la eficiencia operativa.

#### **1.4. Propósito de la investigación**

El presente estudio se enfoca en un objetivo claro y específico: La mejora de la gestión de operaciones de una empresa PYME del estado de Hidalgo, con un énfasis en la materia prima "Colorante líquido azul" en el entorno operativo de la compañía. Este enfoque permite una exploración detallada de las necesidades y desafíos únicos asociados con este producto crucial para la empresa.

El propósito fundamental de este estudio es investigar las limitaciones y ventajas de la situación actual de la empresa, en comparación con enfoques más modernos y avanzados en el ámbito de la gestión de operaciones. Al hacerlo, se pretende determinar su viabilidad y efectividad en el contexto operativo de la empresa, evaluando su capacidad para satisfacer las demandas cambiantes del mercado y optimizar los procesos de producción.

Los problemas actuales se convierten en el punto focal de la investigación, ya que representan una oportunidad clave para identificar áreas de mejora y proponer soluciones innovadoras que impulsen la eficiencia y la competitividad de la empresa.

Al abordar específicamente las dificultades asociadas con la gestión de operaciones del colorante líquido azul, este estudio busca ofrecer un estudio integral que no solo resuelva los desafíos actuales de la empresa, sino que también anticipe y se adapte a las demandas futuras del mercado.

A través de un enfoque riguroso y sistemático, este estudio se propone proporcionar recomendaciones prácticas y aplicables que permitan a la empresa mejorar su eficiencia en la producción de productos químicos de limpieza. Al final, el objetivo es impulsar el crecimiento y la sostenibilidad de la empresa, posicionándola como un fuerte competidor en su sector gracias a su capacidad para gestionar de manera eficaz y estratégica la producción de colorante líquido azul.

## **1.5. Justificación**

La implementación de las técnicas de gestión de operaciones propuestas representa una estrategia integral para mejorar el nivel de satisfacción de las sucursales de la empresa con la cadena de suministro. Al garantizar operaciones eficientes en la gestión de materia prima, se asegura una disponibilidad óptima de productos, lo que se traduce directamente en una mejora en la satisfacción del cliente final.

La organización precisa de los tiempos en el área de producción facilita la ejecución eficiente de órdenes de trabajo, optimizando los recursos internos de la empresa. Esta mejora en la eficiencia operativa se traduce en una cadena de suministro más ágil y flexible, permitiendo a la empresa responder de manera efectiva a las fluctuaciones en la demanda del mercado y a las necesidades cambiantes de los clientes.

La satisfacción del cliente se ve directamente beneficiada por la implementación exitosa de las técnicas propuestas, ya que garantiza que las sucursales cuenten con inventarios bien abastecidos y puedan responder de manera efectiva a las necesidades y preferencias del cliente. Esta capacidad de anticipar y adaptarse a la

demanda del mercado no solo cumple con las expectativas del cliente, sino que también consolida la reputación de la empresa como líder en la entrega de un servicio de alta calidad.

Además, la flexibilidad en la respuesta a la demanda se convierte en un diferenciador clave para la empresa. La capacidad de gestionar eficientemente picos de demanda, promociones especiales o eventos refuerza la reputación de la empresa como un socio comercial confiable y adaptable, fortaleciendo las relaciones con los clientes y contribuyendo a la fidelización de estos.

Por último, el modelo contribuye significativamente a la reducción de pérdidas al evitar situaciones de agotamiento o exceso de inventarios. La alineación precisa entre la producción y la demanda garantiza la disponibilidad constante de productos para los clientes, minimizando las pérdidas asociadas con productos no vendidos o caducados, optimizando así la rentabilidad y la eficiencia financiera de la empresa. En resumen, la implementación de las técnicas propuestas no solo mejora la calidad del servicio al cliente, sino que también fortalece la posición competitiva y la sostenibilidad económica de la empresa en el mercado.

## **1.6. Conveniencia**

La conveniencia de este estudio radica en su capacidad para abordar directamente las necesidades y desafíos específicos que enfrenta la empresa en la gestión de operaciones de su materia prima "Colorante líquido azul ". Al desarrollar un modelo de pronóstico de demanda y gestión de la producción adaptado a las características únicas de este producto, este estudio ofrece soluciones prácticas y aplicables que pueden tener un impacto inmediato y significativo en la operación diaria de la empresa.

Además, la conveniencia de este estudio se ve reforzada por su enfoque integral y centrado en costos. Al combinar métodos cuantitativos, así como técnicas avanzadas de gestión de operaciones, este estudio proporciona una visión completa

y detallada de los desafíos de producción. Esto permite que las recomendaciones derivadas del estudio sean prácticas y orientadas a resultados, asegurando su relevancia y aplicabilidad en el contexto operativo de la empresa.

Asimismo, la conveniencia de este estudio se extiende más allá de la empresa, ya que las lecciones aprendidas y las mejores prácticas identificadas pueden ser extrapoladas y aplicadas a otras empresas del sector de productos químicos. Esto hace que el estudio sea también de interés para la industria en general, contribuyendo así al avance y la mejora continua de las prácticas de gestión de operaciones en este sector.

En resumen, la conveniencia de este estudio radica en su capacidad para proporcionar soluciones prácticas y aplicables a los desafíos específicos de gestión de operaciones en una PYME y la industria de productos químicos de limpieza en general. Al abordar directamente estas necesidades y desafíos, el estudio ofrece un valor tangible y significativo tanto para la empresa como para el sector en su conjunto.

## **1.7. Relevancia social**

La relevancia social de este estudio radica en su capacidad para impactar positivamente en varios aspectos clave de la sociedad y la economía:

La optimización de los procesos de producción y gestión de operaciones en la empresa puede llevar a una mayor eficiencia operativa, lo que potencialmente resultaría en un aumento en la producción y, por ende, en la necesidad de contratar más personal. Esto contribuiría a la generación de empleo en la comunidad local y al fortalecimiento de la economía regional.

Al garantizar una gestión más eficiente de las operaciones del proceso de producción del colorante líquido azul, se espera que este estudio contribuya a una mayor disponibilidad de productos en el mercado. Esto no solo beneficiaría a los clientes al garantizarles un acceso constante a los productos que necesitan, sino

que también tendría un impacto positivo en la sociedad en general al promover la higiene y la salud pública.

Al mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta a la demanda del mercado, la empresa estaría en una posición más sólida para competir tanto a nivel local como nacional. Esto no solo beneficiaría a la empresa en términos de crecimiento y rentabilidad, sino que también contribuiría al desarrollo económico general de la región al impulsar la actividad empresarial y la innovación.

En resumen, este estudio no solo tiene el potencial de mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la compañía, sino que también puede tener un impacto positivo más amplio en la sociedad al generar empleo, mejorar la disponibilidad de productos, reducir desperdicios y promover la competitividad empresarial.

## **1.8. Implicaciones prácticas**

El valor teórico de este estudio radica en su contribución al aplicar técnicas de gestión de operaciones en una PYME del estado de Hidalgo, específicamente en el contexto de la industria de productos químicos de limpieza. Al abordar los desafíos específicos asociados con la gestión de operaciones del colorante líquido azul en la empresa, este estudio proporciona nuevas perspectivas y enfoques para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad de la empresa.

En primer lugar, este estudio aporta conocimientos originales a las prácticas actuales de producción de la empresa, al aplicar modelos de pronóstico de demanda y otras técnicas de gestión de operaciones adaptado a las necesidades y características de la materia prima "Colorante líquido azul". Esta contribución es importante ya que la literatura existente en este campo generalmente se centra en industrias más grandes y no aborda las peculiaridades específicas de las necesidades de una PYME.

Además, este estudio evalúa la efectividad y viabilidad de las técnicas de gestión de operaciones en el contexto operativo. Al analizar críticamente las limitaciones y

ventajas de los modelos propuestos, así como su comparación con las prácticas actuales de la empresa, se obtiene conocimiento sobre las mejores prácticas en la gestión de operaciones de este sector.

Por último, este estudio proporciona un marco teórico sólido para futuras investigaciones en este campo, al identificar áreas de investigación adicionales y posibles extensiones de las técnicas propuestas. Al hacerlo, contribuye al desarrollo continuo de la teoría y la práctica en la gestión de operaciones y pronóstico de demanda, beneficiando tanto a la comunidad académica como a la industria en general.

### **1.9. Objetivo General**

Mejorar la eficiencia operativa de una PYME del estado de Hidalgo mediante la aplicación de técnicas de gestión de operaciones tales como modelos de pronósticos, planeación agregada, planeación de requerimiento de materiales y programación de actividades, en el proceso productivo del colorante líquido azul para una mejor coordinación y organización de las actividades productivas y asegurar la disponibilidad constante de productos en las sucursales, elevando la satisfacción del cliente final.

### **1.10. Objetivos Específicos**

- Analizar y comprender el proceso de producción del colorante líquido azul identificando sus principales características y requerimientos de materia prima.
- Evaluar la disponibilidad y calidad de los datos históricos de demanda del colorante líquido azul, así como identificar posibles fuentes de variabilidad en la demanda.
- Seleccionar y aplicar métodos apropiados de pronósticos de demanda, incluyendo análisis de series temporales, técnicas de regresión y suavizamiento exponencial, para prever la demanda futura del colorante azul líquido azul con precisión.

- Diseñar estrategias de planeación agregada para el colorante líquido azul, considerando factores como el lead time (tiempo de entrega), que se refiere al período desde que se realiza un pedido hasta que se recibe el producto; así como los costos de almacenamiento y los niveles de servicio deseados.
- Integrar el modelo de pronósticos de demanda y las estrategias de planeación de requerimiento de materiales, buscando optimizar la asignación de recursos y minimizar los costos asociados.
- Aplicar técnicas de programación de actividades utilizando datos históricos de demanda del colorante líquido azul, evaluando su desempeño en términos de económicos.
- Realizar análisis de sensibilidad para identificar posibles áreas de mejora y adaptación de las técnicas propuestas en respuesta a cambios en las condiciones del mercado o en la operación de la compañía.

### **1.11. Hipótesis**

Se plantea la hipótesis de que la implementación de técnicas de gestión de operaciones para el colorante líquido azul tendrá un impacto sustancial en la eficiencia operativa y la rentabilidad operativa. Se anticipa que este enfoque cuantitativo permitirá una planeación más precisa y un uso más efectivo de los recursos disponibles, lo que resultará en una reducción significativa de los costos asociados con el almacenamiento y manejo de inventarios. Además, se espera que la implementación de estas técnicas conduzca a una mejora sustancial en la satisfacción del cliente al garantizar una mayor disponibilidad de productos y una respuesta más ágil a las demandas del mercado, lo que a su vez fortalecerá la posición competitiva de la empresa en la industria.

## 1.12. Alcances

En este estudio, se llevará a cabo la aplicación de diversas técnicas de pronósticos de demanda que permita anticipar con precisión la demanda futura del colorante líquido azul. Para ello, se emplearán métodos cuantitativos, abarcando análisis de series temporales, técnicas de regresión y suavizamiento exponencial. Este enfoque permitirá capturar la variación de la demanda, mejorando así la precisión de las predicciones y proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

En cuanto a la planeación de la producción, se diseñarán estrategias específicas para el colorante líquido azul, considerando factores clave como el lead time (tiempo de entrega), que es el período desde que se realiza un pedido hasta que se recibe el producto; así como los costos de almacenamiento, los costos de contratación y los costos de despido. Se explorarán enfoques como la estrategia de inventario cero y la estrategia de fuerza de trabajo constante.

Además, se abordará la determinación de la mejor estrategia de la planeación de la producción, integrando el modelo de pronósticos. El objetivo será alcanzar un equilibrio entre la oferta y la demanda, maximizando la eficiencia de la del proceso productivo y minimizando los riesgos de escasez o exceso de inventario. Esto se logrará mediante una cuidadosa coordinación de las actividades de producción, asegurando una respuesta ágil y adaptable a las fluctuaciones del mercado.

La implementación de herramientas proporcionadas por WINQSB desempeñará un papel fundamental en este estudio. Se utilizarán estas herramientas para realizar análisis de series temporales, pronósticos de demanda, planeación de la producción, planeación de requerimiento de materiales MRP y programación de actividades específicamente para el caso del colorante líquido azul. Se explorará las funcionalidades del software WINQSB para ajustar los parámetros de los modelos a datos de la empresa y evaluar su desempeño en diferentes escenarios operativos, lo que permitirá una optimización continua de las estrategias propuestas.

Finalmente, se llevará a cabo una exhaustiva validación y evaluación de las técnicas propuestas. Esto implicará pruebas y validaciones utilizando datos históricos de demanda y métricas de desempeño relevantes. Se compararán los resultados obtenidos con las prácticas actuales de la compañía para evaluar la eficacia y precisión del modelo, identificando áreas de mejora y oportunidades de optimización. Este enfoque garantizará la validez y robustez de las técnicas propuestas, sentando las bases para su implementación exitosa en la gestión operativa de la empresa.

### **1.13. Limitantes**

Considerando las siguientes limitaciones identificadas, es importante abordarlas de manera proactiva para mitigar su impacto en el desarrollo y la implementación de las técnicas propuestas:

#### 1. Calidad de los datos históricos:

Para superar las limitaciones relacionadas con la disponibilidad y calidad de los datos históricos de demanda, se deberá realizar un análisis exhaustivo de la información disponible y, en caso de ser necesario, buscar fuentes adicionales de datos. Además, es necesario analizar con cuidado los datos disponibles para asegurar su calidad y confiabilidad.

#### 2. Complejidad del proceso de producción:

Dada la complejidad del proceso de producción del colorante líquido azul, se requerirá un análisis detallado de las operaciones y flujos de trabajo involucrados. Esto permitirá identificar posibles puntos de mejora y optimización en la gestión de inventarios, así como la implementación de estrategias específicas adaptadas a las características únicas del proceso de producción.

### 3. Variabilidad en la demanda:

Es muy importante reconocer la influencia de factores externos impredecibles en la demanda del colorante líquido azul. Las técnicas de pronóstico propuestas permiten analizar los patrones de demanda. Además, sería importante considerar la implementación de sistemas de alerta temprana para detectar cambios significativos en la demanda y ajustar las estrategias de gestión de inventarios en consecuencia.

### 4. Restricciones tecnológicas o de recursos:

Para abordar posibles limitaciones tecnológicas o de recursos en la implementación de herramientas como WINQSB, es necesario realizar una evaluación exhaustiva de los requisitos de infraestructura y capacidades de la organización. En caso de ser necesario, se podrían explorar alternativas tecnológicas o buscar oportunidades de capacitación y desarrollo de habilidades dentro del equipo para garantizar una implementación exitosa y efectiva de las herramientas seleccionadas.

Al reconocer y abordar proactivamente estas limitaciones, se podrá fortalecer la robustez y la eficacia de las técnicas propuestas, permitiendo así una mejor adaptación a las complejidades y desafíos inherentes a la gestión de la demanda y las operaciones del colorante líquido azul.

## **1.14. Organización del estudio**

Esta investigación está dividida en cinco capítulos. En el primer capítulo se presenta el planteamiento del problema, el propósito de investigación, la justificación, el objetivo general y específicos de la tesis, los alcances y sus limitaciones. En el segundo capítulo se define el marco teórico que da soporte a la investigación, enfatizando en la revisión de la literatura de los modelos de pronósticos, planeación de la producción, planeación de requerimiento de materiales, programación de actividades de autores relevantes en el área de gestión de operaciones. En el tercer

capítulo se aborda la metodología, niveles y técnicas de diseño de esta tesis, que son necesarios para poder llevar a cabo esta investigación.

El cuarto capítulo se presentan los resultados de aplicar las técnicas de gestión de operaciones a la empresa PYME bajo estudio, se discute ampliamente los resultados y se presentan y analizan diversos casos a fin de estudiar a profundidad a la empresa. El quinto capítulo presenta las conclusiones generales de la investigación.

## **CAPITULO 2. MARCO TEORICO**

En esta sección, se presenta el marco teórico que fundamenta el análisis y las estrategias propuestas en esta investigación. Se abordarán los conceptos y teorías relevantes relacionados con la planeación agregada de la producción, el manejo de inventarios y la gestión de costos. Además, se explorarán modelos y enfoques que han sido utilizados en la industria para optimizar procesos productivos y mejorar la eficiencia operativa. A través de la revisión de la literatura existente, se busca proporcionar una base sólida que permita entender las decisiones tomadas en el diseño de estrategias específicas para el colorante líquido azul, así como los factores que influyen en la toma de decisiones en el contexto de la producción industrial.

### **2.1. Pronósticos**

Se inicia la discusión del marco teórico con la presentación de varios conceptos clave en torno el tema de pronósticos.

#### **2.1.1. Introducción a los pronósticos**

El pronóstico es un proceso esencial en la gestión empresarial que se centra en prever el futuro, proporcionando una guía crucial para la planificación y la toma de decisiones. Es importante destacar varias características clave de los pronósticos:

- Es común que los pronósticos no sean completamente precisos.
- Un pronóstico de calidad también proporciona un indicador del margen de error.
- Es más sencillo prever las unidades en su conjunto que de manera individual.
- Cuanto más lejos en el tiempo se proyecta un pronóstico, menor será su exactitud.

### **2.1.2. Clasificación de los pronósticos**

Los pronósticos pueden clasificarse en dos categorías principales: subjetivos y objetivos. Los pronósticos subjetivos se basan en la opinión de individuos o grupos, y algunos de los métodos más comunes incluyen:

- Agregados de la fuerza de ventas: Utiliza la experiencia y conocimientos del equipo de ventas para proyectar futuras ventas.
- Encuestas al cliente: Recopila datos directamente de los clientes para anticipar sus necesidades y comportamientos futuros.
- Juicio de opinión ejecutiva: Se basa en la evaluación y perspectiva de los líderes y expertos de la industria.
- Método Delphi: Consiste en obtener consenso de opiniones de expertos a través de rondas de preguntas y retroalimentación anónima.

La tesis se enfoca en métodos objetivos para para estimar valores futuros a partir de datos previos, brindando un marco sólido para la toma de decisiones informadas y estratégicas.

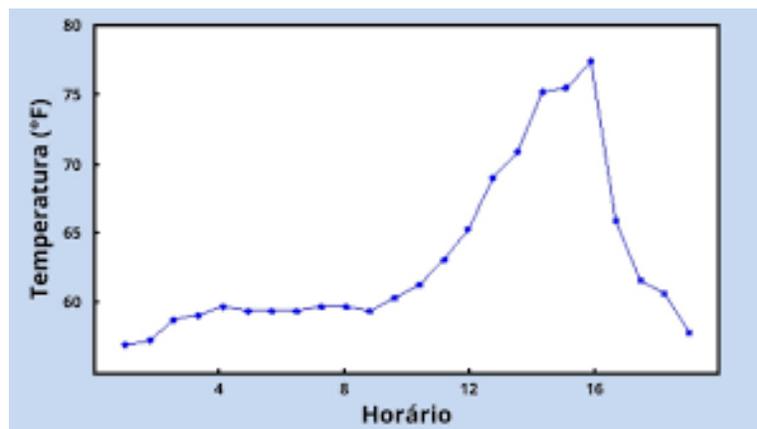
Los métodos de pronóstico objetivos, incluyendo aquellos que emplean series de tiempo y regresión, generan predicciones a partir del análisis de datos históricos (Nahmias,2007).

### **2.1.3. Diferencia entre métodos con series de tiempo y de regresión**

Los pronósticos basados en series de tiempo se centran exclusivamente en el historial de la serie que se pretende prever, mientras que los modelos de regresión con frecuencia incluyen datos de otras series. El propósito de los pronósticos con series de tiempo es encontrar patrones repetitivos y predecibles en los datos históricos. Dependiendo del patrón detectado, pueden aplicarse diversos métodos. Algunos de estos patrones repetitivos incluyen tendencias lineales ascendentes o descendentes, tendencias curvilíneas (como el crecimiento exponencial) y fluctuaciones estacionales.

En cambio, al utilizar la regresión, se construye un modelo causal que predice un fenómeno (la variable dependiente) basándose en la evolución de uno o más fenómenos diferentes (las variables independientes). Un ejemplo de esto es predecir el inicio o el final de una recesión utilizando los proyectos de vivienda, considerados un indicador clave de la salud económica.

Se muestra a continuación la Figura 1, en la cual destaca el concepto de encontrar patrones predecibles y repetibles en los datos previos, en este caso visualmente.



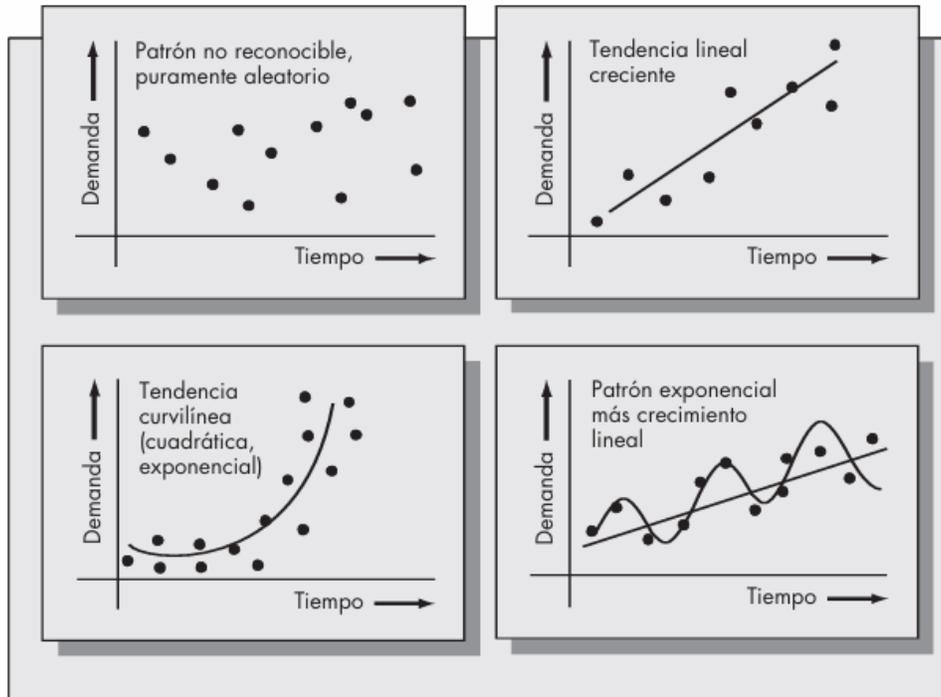
**Figura 1. Gráfica de ejemplo**

#### **2.1.4. Métodos de series de tiempo**

Los métodos de series de tiempo a menudo se consideran simples, ya que solo requieren los valores históricos de la variable que se desea prever. La idea detrás de estos métodos es que los patrones observados en el pasado pueden inferirse y utilizarse para pronosticar valores futuros de la serie. En el análisis de series de tiempo, el objetivo es identificar los patrones que ocurren con mayor frecuencia, entre los cuales se destacan:

**Tendencia:** Este término se refiere a la tendencia de una serie de tiempo a mostrar un patrón de crecimiento o declive constante. La tendencia lineal se representa por una línea recta, mientras que la tendencia no lineal se representa por funciones no lineales, como una curva exponencial o cuadrática, como se ilustra en la Figura 2. El patrón de la tendencia generalmente se asume lineal si no se indica.

Estacionalidad: Un patrón estacional es uno que se repite de manera regular en intervalos específicos. En series de tiempo, este patrón suele repetirse anualmente, aunque también pueden presentarse patrones estacionales mensuales, semanales o diarios. Por ejemplo, la moda, el consumo de helado y de combustible muestran patrones estacionales anuales, mientras que el consumo de electricidad tiende a seguir un fuerte patrón estacional diario. (Nahmias,2007)



**Figura 2. Patrones en la demanda (Nahmias,2007).**

Los promedios móviles y el suavizamiento exponencial son técnicas particularmente útiles para pronósticos de series de tiempo exponenciales, en las cuales cada observación se puede expresar como una constante sumada a una variación impredecible.

$$D_t = \mu + \epsilon_t,$$

En donde  $\mu$  es una constante no concuerda que corresponde a la media de la serie y  $\epsilon$  un error aleatorio con una media igual a cero y varianza  $\sigma^2$ .

Promedios móviles:

Es un método de pronóstico simple pero efectivo. Un promedio móvil de orden N generalmente se calcula como el promedio aritmético de las N observaciones más recientes. En un momento dado, nos enfocamos en pronósticos de un paso hacia adelante. Así,  $f_t$ , el pronóstico realizado en el período  $t - 1$  para el período  $t$ , se determina mediante este cálculo.

$$F_t = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=t-N}^{t-1} D_i = \left(\frac{1}{N}\right)(D_{t-1} + \dots + D_{t-N})$$

En resumen, esto indica que el promedio de las N observaciones más recientes se emplea como el pronóstico para el período posterior. Utilizaremos la notación PM(N) para referirnos a los promedios móviles de orden N.

Suavizamiento exponencial:

Otro método de pronóstico ampliamente utilizado para series de tiempo estacionarias es el suavizamiento exponencial. En este enfoque, el pronóstico más reciente se calcula como un promedio ponderado del pronóstico previo y del valor actual de la demanda. Es decir,

*Nuevo pronóstico =  $\alpha$  (Observación actual de demanda) + (1 -  $\alpha$ ) (Último pronóstico).*

$$F_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1},$$

Donde:

$$0 < \alpha < 1$$

Es la constante de suavizamiento, que define el grado de ponderación aplicado al valor actual de la demanda. El término  $(1 - \alpha)$ , representa el peso asignado a las observaciones de demanda anteriores. Mediante un simple reordenamiento de términos, la fórmula de suavizamiento exponencial para  $f_t$ , puede expresarse de la siguiente manera:

$$F_t = F_{t-1} - \alpha(F_{t-1} - D_{t-1}) = F_{t-1} - \alpha e_{t-1}$$

De este modo se observa que el suavizamiento exponencial puede interpretarse de la siguiente forma:

El pronóstico para cualquier periodo  $t$  se calcula tomando el pronóstico del periodo  $(t - 1)$  y ajustándolo en función de una fracción del error de pronóstico observado en el periodo  $(t - 1)$ . Es decir, si el pronóstico para el periodo  $(t - 1)$  fue excesivamente alto, el error  $e_{(t-1)}$  será positivo y se deberá reducir el pronóstico. De manera inversa, si el pronóstico para el periodo  $t - 1$  fue bajo, el error será negativo y se deberá incrementar el pronóstico para el periodo actual. Además,  $F_t$ , representa el pronóstico para el periodo  $t$  realizado en el periodo  $(t - 1)$ .

$$F_{t-1} = \alpha D_{t-2} + (1 - \alpha)F_{t-2}$$

esto se convierte en lo que se muestra a continuación.

$$F_t = \alpha D_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)D_{t-2} + (1 - \alpha)^2 F_{t-2}$$

Para posteriormente sustituir  $F_{t-2}$  de la misma forma y si de esta manera continuamos obtenemos la expansión infinita para  $F_t$ .

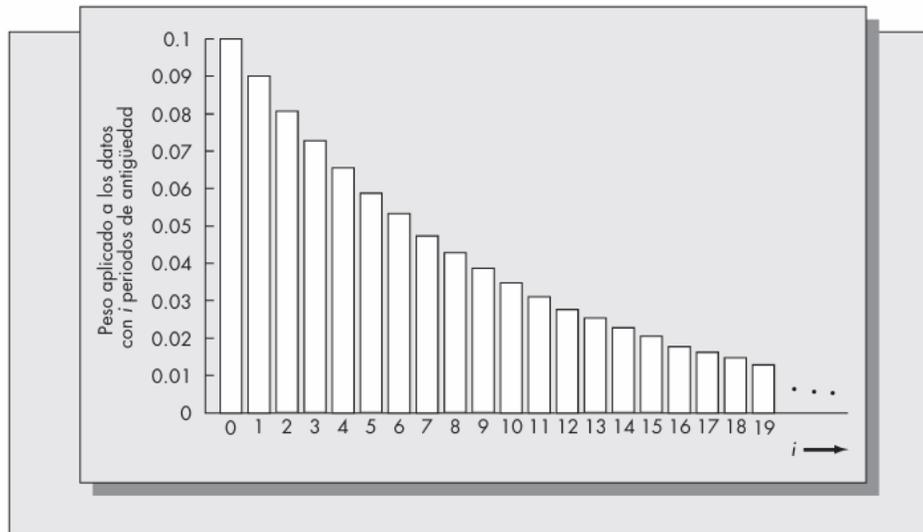
$$F_t = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(1 - \alpha)^i D_{t-1-i} = \sum_{i=0}^{\infty} a_i D_{t-i-1}$$

Donde los pesos son  $a_0 > a_1 > a_2 \dots > a_i = \alpha(1 - \alpha)^i$ , y

$$\sum_{i=0}^{\infty} a_i = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(1 - \alpha)^i = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \alpha)^i = \alpha \times 1/[1 - (1 - \alpha)] = 1$$

El suavizamiento exponencial aplica un conjunto de ponderaciones decrecientes a todos los datos históricos. Estas ponderaciones se representan gráficamente como una función de  $i$  en la Figura 3. En realidad, es posible ajustar una curva exponencial continua  $g(i) \exp(-\alpha i)$  a estas ponderaciones, lo que da origen al nombre del método de suavizamiento exponencial. La constante de suavizamiento desempeña un papel similar al valor de  $N$  en los promedios móviles. Cuando esta constante es alta, se da mayor peso a la observación actual de la demanda y menor a las observaciones

pasadas, lo que genera pronósticos que responden rápidamente a los cambios en los patrones de demanda, aunque con una mayor variabilidad entre periodos. Por otro lado, si la constante es baja, se asigna más peso a los datos históricos, lo que produce pronósticos más estables (Nahmias,2007).



**Figura 3. Peso aplicado a los datos en el suavizamiento exponencial (Nahmias,2007).**

### **Modelos ARIMA (Promedio Móvil Integrado Auto regresivo).**

Los modelos ARIMA son una herramienta avanzada para el pronóstico de series temporales que combina tres componentes clave: autor regresión (*AR*), diferenciación (*I*), y medias móviles (*MA*). A diferencia de los métodos como los promedios móviles y el suavizamiento exponencial, los modelos ARIMA tienen la capacidad de capturar la estructura dependiente entre observaciones pasadas y actuales en la serie temporal, así como corregir la no estacionariedad en los datos (Box et al., 2015).

Un modelo ARIMA ( $p, d, q$ ) se define por:

- $p$ : El número de términos autorregresivos (*AR*), es decir, la cantidad de valores pasados de la serie que influyen directamente en el valor actual.

- d: El número de diferenciaciones necesarias para que la serie se vuelva estacionaria (es decir, para eliminar tendencias o patrones de no estacionariedad).
- q: El número de términos de media móvil (MA), que captura la relación entre los errores de pronóstico pasados y los valores actuales de la serie.

La ecuación básica de un modelo ARIMA ( $p, d, q$ ) puede representarse como:

$$Y_t = c + \sum_{i=0}^p \phi_i Y_{t-1} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \epsilon_t$$

Donde:

- $Y_t$  es el valor de la serie en el tiempo  $t$ .
- $\phi_i$  son los coeficientes autorregresivos.
- $\theta_j$  son los coeficientes de media móvil.
- $\epsilon_t$  es el término de error aleatorio (ruido blanco).

Los modelos ARIMA son especialmente útiles cuando la serie temporal presenta patrones complejos que no pueden ser capturados completamente con técnicas más simples como el suavizamiento exponencial o los promedios móviles. Al incorporar los términos autorregresivos y de media móvil, los modelos ARIMA pueden generar pronósticos más precisos en situaciones donde hay una clara dependencia entre los valores pasados y futuros de la serie (Box et al., 2015).

Comparación con el suavizamiento exponencial:

Mientras que el suavizamiento exponencial aplica ponderaciones decrecientes a los valores pasados, los modelos ARIMA son capaces de ajustar no solo las ponderaciones de los valores anteriores, sino también los errores pasados (mediante el componente MA). Además, ARIMA maneja la no estacionariedad a través de la diferenciación de la serie (componente I), lo que lo convierte en un método más robusto cuando la serie temporal tiene una tendencia o variabilidad a largo plazo (Box et al., 2015).

El uso de ARIMA es particularmente relevante en series temporales donde la demanda no solo sigue un patrón de corto plazo, sino que puede estar influenciada por variaciones cíclicas o tendencias estacionales. Para identificar el modelo ARIMA más adecuado, es común realizar un análisis exploratorio de la serie temporal mediante técnicas como la autocorrelación y la autocorrelación parcial.

### **2.1.5. Conceptos Fundamentales para la Elaboración de Pronósticos**

Primeramente, es necesario recordar conceptos importantes en el tema de los pronósticos, como lo es:

*MSE (Mean Squared Error):* Es una medida de la calidad de un predictor o un estimador. Se calcula como el promedio de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Cuanto menor sea el MSE, mejor será el ajuste del modelo a los datos observados.

*MAPE (Mean Absolute Percentage Error):* Es una medida de precisión para modelos de pronóstico que calcula el promedio del valor absoluto de los errores porcentuales entre los valores observados y los valores predichos. Es especialmente útil para evaluar modelos en términos de precisión porcentual.

*MAD (Mean Absolute Deviation):* Es una medida de la dispersión de un conjunto de datos. Se calcula como el promedio del valor absoluto de las desviaciones de cada punto de datos con respecto a la media del conjunto de datos. Cuanto menor sea el MAD, menor será la dispersión de los datos y mayor será la precisión del modelo.

*Track Signal:* Se refiere a una señal que se utiliza para rastrear o monitorear el comportamiento de una variable a lo largo del tiempo. En el contexto de pronósticos, una "track signal" podría ser una señal de seguimiento que indica el rendimiento de un modelo de pronóstico en tiempo real.

Estos conceptos son fundamentales para entender y evaluar la precisión y la calidad de los modelos de pronóstico. El dominarlos es crucial para para lograr resultados más fiables y efectivos.

### **2.1.6. Estudios de investigación sobre pronósticos**

La mejora en la precisión de las predicciones es esencial para la gestión de riesgos en entornos con eventos extremos en la gestión de operaciones de las empresas. El artículo de Farhangi et al. (2023) presenta un marco de pronóstico (AA-forecast) que incorpora eventos extremos y anomalías de manera automática, mejorando así la precisión de las predicciones durante tales eventos. Este modelo utiliza un mecanismo de atención y un algoritmo de optimización de incertidumbre dinámica para aumentar la exactitud de los pronósticos y reducir la incertidumbre en línea.

Por otro lado, Beletskaya & Petrushevich (2022) exploran la construcción óptima de combinaciones lineales de modelos de series temporales para minimizar la varianza del pronóstico. Su investigación incluye la combinación ponderada de modelos ARIMA y ADL, demostrando que la combinación ponderada puede reducir la varianza del pronóstico en comparación con modelos individuales, aunque combinar más de dos modelos no siempre produce resultados claros.

Ivanyuk (2023) propone un enfoque de promedio de bootstrap basado en residuos (RBBA) para mejorar las predicciones de diferentes tipos de conjuntos de pronósticos. Este método optimiza los pesos de los residuos en un conjunto de pronósticos, mostrando una mayor capacidad de generalización en estudios empíricos con series temporales del mercado de valores.

El desafío de predecir la demanda intermitente encuentra una solución innovadora en el trabajo de Zhang et al. (2023), quienes introducen Transformer, un enfoque de aprendizaje profundo. Comparado con métodos tradicionales y otras arquitecturas de redes neuronales, Transformer demuestra superioridad en diversas configuraciones de datos de demanda intermitente.

La importancia de la coherencia en las predicciones de series temporales jerárquicas se aborda en el trabajo de Zambon et al. (2023), quienes proponen un enfoque de reconciliación probabilística eficiente. Este enfoque garantiza la coherencia entre las predicciones base y las series temporales, utilizando un algoritmo de muestreo de importancia de abajo hacia arriba.

En el contexto de la optimización de hiperparámetros, Singh et al. (2024) presentan un modelo distribuido para pronósticos de series temporales multivariantes, demostrando su superioridad frente a modelos tradicionales en términos de precisión. Este modelo utiliza una red neuronal profunda en sincronización con la optimización de hiperparámetros de manera distribuida para acelerar el cálculo y mejorar la precisión del pronóstico.

Musaev (2024) ofrece una solución innovadora para la predicción a corto plazo en entornos caóticos, utilizando correlaciones multidimensionales para mejorar la precisión de los pronósticos en sistemas dinámicos no lineales. Este enfoque se basa en la inercia de las conexiones mutuas para formar un pronóstico a corto plazo, superando las limitaciones de los métodos de pronóstico computacional tradicionales.

Por último, Dong et al. (2022) analizan la precisión de los pronósticos sobrepresos y su relación con la experiencia del analista, desafiando la noción de que una mayor precisión implica una mayor exactitud. Su estudio revela que los analistas menos experimentados tienden a emitir pronósticos con una precisión excesiva que son menos exactos, y que la experiencia mitiga esta asociación negativa.

## **2.2. Planeación agregada**

### **2.2.1. Introducción a la planeación agregada**

La planificación agregada es un conjunto de métodos para agregar unidades de producción y determinar los niveles de producción y fuerza laboral adecuados basados en la demanda prevista de unidades agregadas.

La planeación agregada es utilizada en la gestión de la cadena de suministro y la producción para manejar la capacidad y la demanda a largo plazo de una manera eficiente. Se centra en tomar decisiones estratégicas sobre la capacidad de producción, el nivel de empleo, el inventario y otros recursos para satisfacer la demanda proyectada durante un período de tiempo determinado, generalmente de 6 a 18 meses.

En lugar de tomar decisiones detalladas sobre la producción diaria o semanal, la planificación agregada se enfoca en decisiones a un nivel más alto, considerando variables como el nivel de producción, la cantidad de mano de obra necesaria y los niveles de inventario general. Esto permite a las empresas ajustar sus recursos de manera más efectiva para satisfacer la demanda fluctuante y minimizar los costos asociados con la variabilidad de la demanda. (Box et al., 2015).

### **2.2.2. Técnicas y características de la planeación agregada**

Algunas de las técnicas comunes utilizadas en la planeación agregada de la producción incluyen el ajuste de la fuerza laboral, la subcontratación, la acumulación de inventario y la modificación de la capacidad de producción. Estas decisiones se toman en función de pronósticos de demanda, políticas de inventario, limitaciones de recursos y otros factores relevantes para la empresa.

La siguiente es una lista de las características más importantes de la planificación general:

- Suavizamiento. Costos relacionados con los cambios en la producción y el empleo.
- Cuellos de botella. Anticipación de la demanda máxima.
- Horizonte de planeación. Es esencial elegir cuidadosamente la cantidad de tiempo que se considera. Si la duración del horizonte es demasiado corta, es imposible anticipar cambios en la demanda, mientras que, si es demasiado largo, los pronósticos de la demanda pueden perder credibilidad.

- Tratamiento de la demanda. Todos los modelos matemáticos presentados en este capítulo asumen que la demanda es conocida, es decir, se considera que no existen errores de pronóstico.

La planeación agregada dado que involucra recursos y mano de obra, se puede inferir que esta suele conllevar costos.

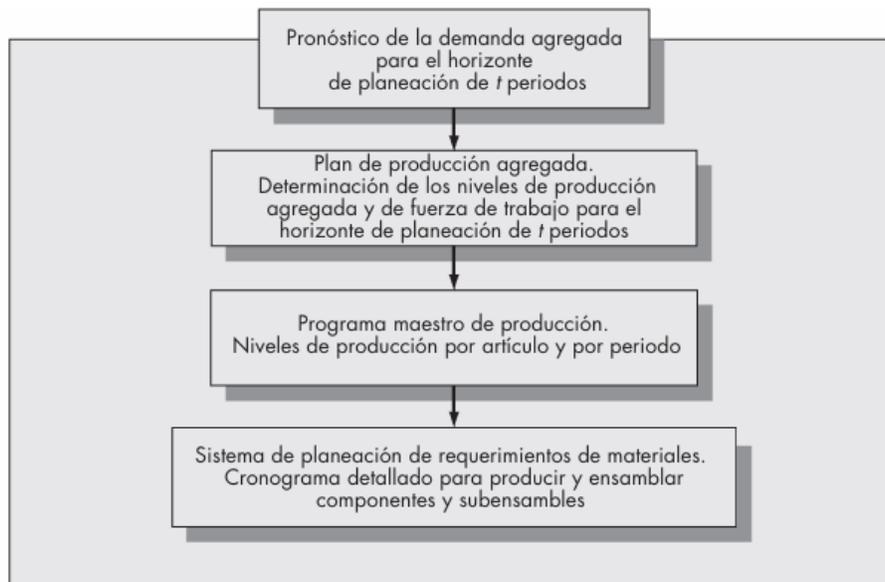
- Costos de suavizamiento. Costos relacionados con la modificación de la producción y/o los niveles de fuerza laboral.
- Costos de mantener el inventario. Costos de oportunidad de invertir el capital en inventarios.
- Costos de faltantes. Costos relacionados con pedidos retrasados o demanda no satisfecha.
- Costos de mano de obra. Los costos de mano de obra directa en tiempo normal, tiempo extra, costos de subcontratación y costos por tiempo de inactividad se incluyen en esta lista.

### **2.2.3. Importancia de la planeación agregada**

Es una parte fundamental de la estrategia de negocios de una firma y busca encontrar un equilibrio entre la capacidad de producción y la demanda de manera rentable, ayudando a las empresas a cumplir con sus objetivos comerciales a largo plazo. Como se muestra en la Figura 4, la planeación agregada comienza con el pronóstico de la demanda para un horizonte de  $t$  períodos, lo que posteriormente se traduce en un plan de producción y un programa maestro de producción, hasta llegar a los requerimientos específicos de materiales. Este proceso es clave en diversas industrias como producción, servicios, hospitales y líneas aéreas.

- Cuantos empleados se deben retener en la empresa (cambios frecuentes vs. número estable de trabajadores)
- Cantidad y mix de items a producir
- Nivel de outsourcing (subcontratación), innovación vs manufactura
- La planeación agregada PA implica objetivos contrarios entre sí.

- Reaccionar rápidamente a cambios en la demanda (cambios grandes y frecuentes en el tamaño de la fuerza laboral) estrategia de caza.
- Retener una fuerza de trabajo estable. (mantener grandes inventarios)
- Desarrollar un plan de producción que maximice la utilidad sujeta a restricciones de capacidad. (programación lineal)



**Figura 4. Planeación agregada (Nahmias,2007).**

#### **2.2.4. Estudios de investigación de planeación agregada**

Algunos estudios referentes a la planeación agregada son los siguientes:

Naji Nasrabadi Yazd et al (2023) describieron un plan de producción agregado (APP) basado en la eficiencia para sistemas de fabricación de múltiples líneas. Utilizaron el análisis de envoltura de datos (DEA-AR) para calcular la eficiencia de las líneas de producción considerando factores como la tasa de contaminación, la capacidad de producción y el consumo de electricidad. Desarrollaron un modelo matemático bi-objetivo para asignar la mayor producción a las líneas más eficientes mientras minimizan los costos totales. Los resultados mostraron que el modelo

propuesto satisface adecuadamente la eficiencia y los costos de producción en un APP basado en la eficiencia.

Aydin & Tirkolaee (2022) revisaron sistemáticamente la producción agregada sostenible (APP), integrando criterios de sostenibilidad ambiental, económica y social en la planificación de la producción utilizando principios de economía circular. Clasificaron y analizaron 200 estudios de APP en términos de tipo de modelo, método de solución y manejo de la incertidumbre, y discutieron las limitaciones de la investigación existente y recomendaciones para futuras investigaciones en la era de la Industria 4.0.

Liu & Yang (2021) abordaron el problema de APP de múltiples productos considerando la estabilidad en la fuerza laboral y los costos totales de producción. Propusieron un modelo de programación multi-objetivo y un algoritmo genético combinado con un algoritmo de búsqueda local. Los resultados de la simulación mostraron que el modelo es factible y que el algoritmo NSGA-II basado en la búsqueda local tiene un mejor rendimiento en el problema de APP multi-objetivo.

Zanella & Vaz (2023) propusieron un marco para la planificación de producción a corto plazo de una empresa portuguesa del sector automotriz. El marco consta de dos niveles: un modelo de programación lineal entera mixta para determinar las cantidades óptimas de producción por semana y una regla de secuenciación dinámica para programar las operaciones. El marco se implementó en Excel y mostró un ahorro de costos del 22.1% en comparación con el plan real de la empresa.

Prashar (2023) desarrolló un marco analítico para consolidar la investigación existente sobre la planificación y control de la producción (PPC) en el entorno de la Industria 4.0. Utilizó un enfoque de análisis morfológico (MA) para revisar 104 estudios, definiendo cinco dimensiones basadas en el enfoque de entrada-proceso-salida (IPO). Este marco proporciona una referencia modular y flexible para la evolución de la literatura sobre PPC.

Qasim (2024) revisó la literatura publicada sobre la planificación agregada de la producción utilizando programación matemática difusa. Analizó 44 artículos relevantes, clasificando los enfoques de modelado y solución, las funciones objetivo y los atributos difusos. La revisión reveló que la programación lineal difusa y la programación de metas difusa son los enfoques más utilizados, proporcionando información valiosa para futuras investigaciones.

May et al. (2023) introdujeron un modelo no lineal de APP que considera los costos fluctuantes de energía y la sostenibilidad social. Utilizaron el control predictivo de modelos (MPC) para resolver el modelo en dos estudios de caso, mostrando la importancia económica de la sostenibilidad social en la planificación de la producción.

V'yugin & Trunov (2023) consideraron el problema de la previsión probabilística en línea de series temporales. Utilizaron sistemas de previsión conformal para combinar las previsiones probabilísticas de varios métodos competidores. Desarrollaron una tecnología para construir algoritmos de expertos predictivos y agregación de sus previsiones, aplicándola al pronóstico de la carga horaria de una red eléctrica en función de la previsión de temperatura.

Budiono et al (2023) analizaron la planificación de producción y recursos de PT. XYZ, una empresa de embalaje de cartón. Utilizaron varios métodos de pronóstico y planificación agregada, determinando que el método de descomposición es el más adecuado. La planificación agregada mixta (horas extra y turnos) resultó ser la más rentable, y la planificación de requisitos de capacidad no mostró falta de capacidad para cumplir con el programa maestro de producción.

Ramesh & Dickerson (2022) sugirieron que las empresas deberían examinar cuidadosamente la filosofía de justo a tiempo en las cadenas de suministro, ya que los riesgos en tiempos inciertos pueden ser mayores que los beneficios. Propusieron que, en algunos casos, la estrategia de justo en caso podría ser más adecuada.

Gonzales-Romero et al (2022) aplicaron herramientas Lean como 5S, Just in Time (JIT), TPM y ABC para mejorar la planificación de inventarios y mantenimiento en el

sector metalúrgico. Utilizaron DDMRP para gestionar mejor el control de inventarios y simularon los resultados en Arena, mostrando mejoras significativas en la operatividad de los proyectos.

Erfanian y Pirayesh (2016) desarrollaron un modelo integrado de planificación agregada de la producción y planificación de mantenimiento para una empresa farmacéutica. El modelo determinó el plan óptimo de producción y mantenimiento preventivo en cada período, mejorando la eficiencia del equipo y satisfaciendo los requisitos de producción.

## **2.3. Planeación de Requerimiento de Materiales MRP**

### **2.3.1. Introducción al MRP**

El cálculo de la explosión MRP es una serie de reglas que se utiliza para transformar un plan maestro de producción (MPS), en un plan que abarque todos los componentes, incluyendo el producto final. El MPS es un plan de producción detallado para el artículo o producto final en cada periodo, y se deriva de los pronósticos de demanda ajustados por factores como utilidades, inventarios disponibles y otros datos relevantes.

En cada etapa del proceso, se establece la producción necesaria a nivel de cada etapa del proceso de fabricación a través de dos pasos esenciales:

- Ajustar el momento de inicio de la producción según el tiempo de entrega requerido en la etapa actual.
- Multiplicar la demanda del nivel superior por el factor correspondiente. El plan de producción más sencillo en cada etapa es el de "lote por lote", que implica fabricar exactamente la cantidad de unidades requeridas para cada periodo. No obstante, si se dispone de información sobre los costos de almacenamiento y los costos de preparación, es posible diseñar un plan de producción más eficiente.

Algunas estrategias comunes para optimizar el tamaño del lote incluyen:

- Cálculo del tamaño de lote utilizando el Costo Económico de Pedido (CEP).
- Aplicación de la Heurística de Silver-Meal.
- Uso de la Heurística de costo unitario mínimo.

Para ajustar el tamaño óptimo del lote, se puede emplear programación dinámica. Además, es crucial considerar el ajuste del tamaño del lote en función de las restricciones de capacidad. Aunque encontrar una solución óptima puede ser complejo, es posible aproximarse a una solución práctica adecuada.

### **2.3.2. Características del MRP**

El MRP (Planificación de Requerimientos de Materiales) tiene varias ventajas y desventajas en comparación con otros sistemas de planeación. Entre sus desventajas se encuentran:

- No se considera la incertidumbre del pronóstico: El MRP asume que los pronósticos de demanda son precisos y no contempla las posibles variaciones o incertidumbres en estos pronósticos.
- Las restricciones de capacidad se ignoran completamente: El MRP no tiene en cuenta las limitaciones de capacidad en la producción o en la cadena de suministro, lo que puede llevar a problemas si la capacidad real no coincide con la capacidad planificada.

Sabemos que elegir el horizonte de planeación puede influir significativamente en los tamaños de lote recomendados, y los tiempos de entrega se asumen como fijo, aunque en realidad deberían depender de los tamaños de lote.

El MRP no toma en cuenta las pérdidas por artículos defectuosos o el tiempo de inactividad de las máquinas. Es fundamental destacar que la integridad de los datos puede representar un problema significativo, ya que cualquier error en los datos puede afectar la precisión del MRP. En sistemas donde los componentes se utilizan en múltiples productos, es esencial vincular cada orden a un artículo de nivel superior para asegurar la coherencia y precisión del inventario.

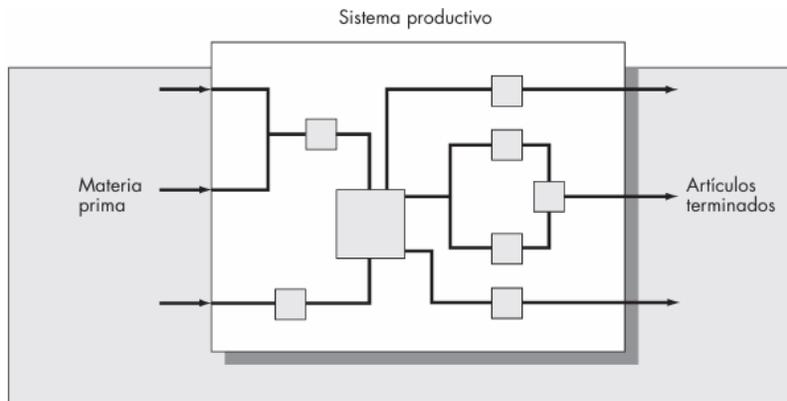
El MRP se encuentra intrínsecamente ligado a la cadena de suministro, que comprende todas las actividades que transforman la materia prima en el producto final. En esta cadena, el proceso de producción juega un papel crucial, determinando la eficiencia y la calidad del producto final. Existen dos filosofías fundamentales en la gestión del flujo de bienes dentro de una fábrica, cada una con enfoques distintos (Nahmias,2007).

El MRP (Planificación de Requerimientos de Materiales) es un componente crucial de la planificación de la producción que proporciona una especificación detallada de la cantidad exacta de productos terminados o bienes finales necesarios, junto con los tiempos de producción precisos, los tamaños de lote y el calendario de producción final. Esta metodología ayuda a optimizar el uso de recursos, reducir el desperdicio y garantizar que los productos se fabriquen a tiempo, alineados con las demandas del mercado y las expectativas de los clientes. A través del uso del MRP, las empresas pueden planificar de manera efectiva y mejorar la eficiencia operativa. Esta metodología se presenta por primera vez en esta investigación, lo que resalta su relevancia y aplicación en la gestión de la producción.

El plan de producción se desglosa en varias secciones:

- El programa maestro de producción (MPS),
- El sistema de planificación de requerimientos de materiales (MRP),
- El programa detallado de trabajos en el piso de producción.

Cada una de estas partes puede ser un subsistema complejo dentro del plan general. En el centro del plan de producción se encuentran los pronósticos de demanda para los productos finales que se producirán durante el horizonte de planificación. Un producto terminado representa el resultado final del sistema de producción, es decir, los productos que se envían. Los componentes son los artículos en las etapas intermedias de la producción, y la materia prima incluye los recursos que entran al sistema.



**Figura 5. Sistema productivo (Nahmias,2007).**

La Figura 5 muestra un esquema del sistema de producción. Es importante comprender que la materia prima, los componentes y los productos terminados se definen en términos relativos, lo que permite considerar una sección de la operación de la empresa como un sistema de producción autónomo. Los productos terminados de una parte de la empresa pueden servir como materia prima para otras secciones. Un sistema de producción puede corresponder a una operación de manufactura específica o ser una parte menor de un proceso más amplio.

El programa maestro de producción (MPS) define las cantidades y tiempos precisos de producción para cada artículo terminado dentro del sistema de producción. A diferencia de los enfoques acumulados, el MPS se enfoca en artículos individuales, basándose en pronósticos de demanda futura para cada artículo específico. De esta manera, el MPS se desglosa en un plan detallado de producción para cada componente asociado a un producto terminado. El sistema de Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) facilita esta descomposición.

Los resultados del MRP se convierten en programas específicos para el piso de producción y en requisitos para la materia prima. Las principales fuentes de datos para establecer el MPS incluyen:

- Pedidos confirmados de los clientes: Solicitudes firmes que deben cumplirse en un periodo determinado.

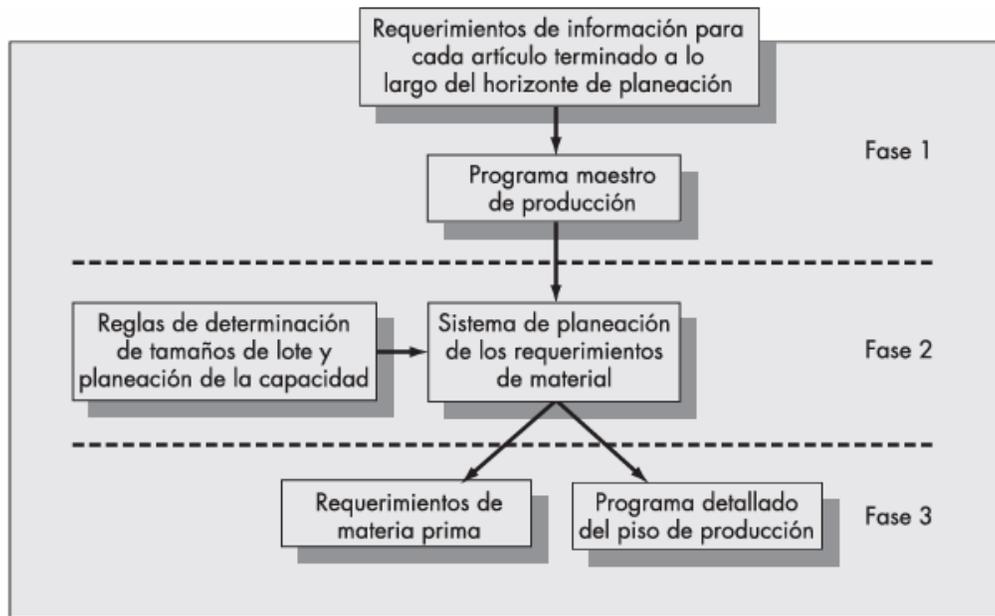
- Pronósticos de demanda futura por artículo: Estimaciones basadas en datos históricos y análisis de tendencias.
- Requerimientos de inventario de seguridad: Cantidades adicionales mantenidas para manejar variaciones en la demanda o el suministro.
- Planes estacionales: Ajustes en la producción y el inventario para enfrentar fluctuaciones estacionales.
- Pedidos internos de otras partes de la organización: Solicitudes de materiales o productos entre diferentes departamentos dentro de la empresa.

La clave para el éxito del MRP radica en la integridad y la puntualidad de los datos. El sistema de información que respalda al MRP requiere la colaboración de los departamentos de producción, mercadotecnia y finanzas. Un flujo de información continuo y eficiente entre estas áreas es esencial para el éxito del sistema de planificación de la producción.

El control del sistema de producción se divide en tres fases principales:

1. Reunir y coordinar la información necesaria para formular el programa maestro de producción.
2. Determinar las liberaciones de los pedidos planeados utilizando el MRP.
3. Crear un programa detallado de trabajos para el piso de producción y los requerimientos de recursos, basándose en las autorizaciones de pedidos planeadas con el MRP.

A continuación la Figura 6 ilustra estas tres fases del control del sistema productivo.



**Figura 6. Fases del sistema productivo (Nahmias,2007).**

El MRP (Planificación de Requerimientos de Materiales) es una herramienta clave en la gestión de producción e inventario dentro del ámbito de la ingeniería industrial. Este sistema informático permite a las empresas planificar y controlar la producción al asegurar que los materiales necesarios estén disponibles en el momento adecuado para cumplir con los planes de producción.

En esencia, el MRP se basa en información sobre la demanda de productos finales, los niveles actuales de inventario y los tiempos de entrega de los proveedores para calcular qué materiales son necesarios, cuántos deben ser adquiridos o fabricados, y cuándo deben estar disponibles.

#### **Funcionalidades principales del MRP:**

- **Cálculo de necesidades:** Utilizando la estructura de productos y los planes de producción, el MRP calcula las cantidades de materiales necesarios para fabricar los productos finales.

- Programación de producción: Una vez que se determinan las necesidades de materiales, el MRP ayuda a programar la producción de acuerdo con los plazos de entrega y los recursos disponibles.
- Gestión de inventario: El MRP también ayuda a mantener niveles de inventario óptimos al generar órdenes de compra o fabricación en función de las necesidades previstas.
- Seguimiento de pedidos: Permite rastrear el progreso de los pedidos de materiales a medida que avanzan a lo largo del proceso de producción.

El uso del MRP en ingeniería industrial permite una planificación más precisa y eficiente de la producción, reduce el riesgo de escasez de materiales y minimiza los costos asociados con el almacenamiento de inventario. Sin embargo, para que el MRP funcione efectivamente, es crucial mantener datos precisos y actualizados sobre la demanda, los plazos de entrega de los proveedores y otros parámetros relevantes.

El método de planeación agregada se basa en la existencia de una unidad agregada de producción. Cuando los artículos producidos son similares, una unidad de producción agregada puede representar un artículo promedio. No siempre es evidente qué esquema de planeación agregada es el más adecuado; esto depende del contexto específico del problema de planeación y del nivel de agregación necesario.

El objetivo de la planeación agregada es determinar las cantidades de producción agregada y los niveles requeridos de recursos para cumplir con las metas de producción. En la práctica, esto se traduce en definir cuántos trabajadores deben ser empleados y cuántas unidades agregadas se deben producir en cada uno de los periodos de planeación.

El objetivo de la planeación agregada es equilibrar las ventajas de producir en función de la demanda lo más exactamente posible con los problemas asociados a los cambios en los niveles de producción y/o de fuerza laboral. Los principales aspectos relacionados con el problema de la planeación agregada son:

- Suavizamiento: Se refiere a los costos derivados de los cambios en los niveles de fuerza de trabajo de un periodo a otro. Dos componentes clave de estos costos son los asociados con la contratación y el despido de trabajadores. La metodología de planeación agregada requiere la especificación de estos costos, los cuales pueden ser difíciles de estimar.
- Problemas de cuello de botella: El término "cuello de botella" se utiliza para describir la incapacidad del sistema para adaptarse a cambios repentinos en la demanda, debido a restricciones en la capacidad.
- Horizonte de planeación: Es necesario especificar el número de periodos para los cuales se debe pronosticar la demanda, así como para determinar los niveles de fuerza laboral y de inventarios. La elección del horizonte de pronóstico T es crucial para la utilidad del plan agregado. Si T es demasiado corto, los niveles reales de producción podrían no ser adecuados para satisfacer la demanda más allá del horizonte. Si T es demasiado largo, los pronósticos para el futuro lejano podrían ser imprecisos.

### **2.3.2. Costos de MRP**

Como se mencionó, en la metodología de la planeación agregada se supone que la demanda se conoce con certeza. Esto representa tanto una debilidad como una fortaleza del método:

- Debilidad: La metodología no considera la posibilidad (y de hecho, la probabilidad) de errores en los pronósticos. Esto puede llevar a planes que no se ajusten a la realidad si los pronósticos resultan ser imprecisos.
- Fortaleza: La suposición de certidumbre en la demanda permite una planificación más estructurada y precisa en condiciones ideales.
- Es crucial identificar y medir los costos específicos que se ven afectados por las decisiones de planeación, ya que estos costos pueden influir significativamente

en la efectividad del plan y en la capacidad de la empresa para adaptarse a cambios en la demanda real.

- Costos de suavizamiento: Estos son los costos asociados con el cambio en los niveles de producción de un periodo a otro. En la planeación agregada, el costo más significativo de suavizamiento es el relacionado con el ajuste del tamaño de la fuerza laboral. Otros costos, aunque más difíciles de medir, incluyen
  - a) Los costos derivados de una posible disminución en la moral de los trabajadores, y
  - b) El potencial decremento en el tamaño de la oferta laboral en el futuro.
  
- Costos por mantener inventarios: Estos costos están asociados con el capital invertido en inventarios. Si una empresa logra reducir su inventario, el dinero ahorrado podría invertirse en otras áreas, con un rendimiento que varía según la industria y la empresa específica.
  
- Costos de faltantes: Estos costos se generan cuando se incurre en faltantes de inventario, que se representan por un nivel negativo de inventario. Los faltantes pueden ocurrir cuando la demanda pronosticada supera la capacidad de producción instalada o cuando la demanda real excede las previsiones.
  
- Costos de tiempo regular: Se refiere al costo de producir una unidad de producto durante las horas normales de trabajo. Incluye el costo de los empleados regulares, los costos directos e indirectos de materiales, y otros gastos de manufactura.
  
- Costos de tiempo extra y subcontratación: Estos son los costos asociados con la producción que se realiza fuera del horario normal de trabajo. El tiempo extra se refiere a la producción realizada por empleados regulares más allá del horario normal, mientras que la subcontratación implica la producción realizada por proveedores externos. En general, se asume que estos costos son lineales.

Para resolver muchos problemas de producción agregada, se pueden utilizar técnicas gráficas relativamente simples o métodos más avanzados como la programación lineal. La programación lineal es un método de optimización que busca determinar los valores óptimos de un conjunto de variables reales no negativas para maximizar o minimizar una función lineal, sujeto a restricciones lineales. La ventaja principal de la programación lineal es que permite encontrar soluciones óptimas de manera eficaz utilizando el método simplex.

### **2.3.3. Estudios de investigación de MRP**

Algunos estudios referentes al MRP son los siguientes:

Werth y Karder (2022) discutieron que el rendimiento de los sistemas de producción modernos a menudo depende de estrategias de planeación de producción automatizadas como la planeación de requerimientos de materiales. Parametrizar, evaluar y comparar estas estrategias probándolas en el mundo real suele ser difícil y prohibitivo en términos de recursos. La simulación por computadora de última generación puede usarse para modelar adecuadamente los procesos de producción y predecir los métricos de rendimiento relevantes sin invertir capacidades valiosas de producción.

Lahrichi et al. (2023) investigaron métodos de planeación de la producción, que tienen como objetivo programar eficientemente las órdenes de producción para satisfacer la demanda del cliente, ofreciendo la posibilidad de fijar algunos parámetros para ajustarse mejor a un contexto industrial específico. Estos parámetros pueden fijarse según el conocimiento previo del usuario o según herramientas de soporte a la decisión. Los algoritmos de optimización, que requieren conocimiento previo de la demanda del cliente, son los más comúnmente utilizados para el soporte a la decisión.

Damand (2022) investigó cómo fijar los parámetros del DDMRP, un método de planeación de la producción eficiente en términos de satisfacción del cliente y costos operativos. DDMRP introduce una nueva ecuación de flujo neto (NFE) para decidir

cuándo lanzar un pedido y cuánto pedir. DDMRP depende de muchos parámetros que afectan la NFE y, por lo tanto, las órdenes de suministro. Formularon este problema como un problema de optimización multiobjetivo. La minimización del inventario promedio disponible se considera simultáneamente con la maximización de los pedidos de clientes entregados a tiempo (OTD: On-Time Delivery). Para resolver el problema de optimización formulado, se acopla una metaheurística multiobjetivo (NSGA-II: Algoritmo Genético de Clasificación No Dominada) con un algoritmo de simulación.

Shadeghian et al (2011) introdujeron un nuevo enfoque de planeación de requerimientos de materiales (MRP) denominado planificación de requerimientos de materiales continua (CMRP). Este enfoque aborda las debilidades del MRP discreto, como la imposibilidad de ordenar los requisitos en momentos o periodos irregulares. El sistema CMRP no tiene stock de seguridad (SS) y su tipo de pedido es lote por lote (L4L). Para aplicar este sistema, se describen varios algoritmos y lemas junto con sus pruebas. También se presentan dos ejemplos numéricos y un estudio de caso real.

Andwiyan et al (2017) estudiaron cómo la aplicación de la planeación de requerimientos de materiales (MRP) podría controlar la inversión en stock de materiales en PT. X, una empresa que está experimentando un aumento en el inventario de productos terminados. PT.X tiene dos categorías, lámparas de iluminación especial (SP) e iluminación general (GL). Entre los dos tipos de lámparas, SP ha aumentado significativamente el inventario en comparación con las lámparas GL. Con un promedio de stock mensual de 4,505,864 unidades o IDR 42.78 mil millones. Por lo tanto, los autores tienen la intención de investigar más sobre el sistema de control para calcular y analizar el nivel óptimo de inventario de productos terminados utilizando el método de análisis ABC como determinante de ventas por categoría de producto, métodos de cantidad de pedido EOQ para ver el producto terminado y punto de reorden (Re Order Point) para pedir productos de manera que puedan utilizarse según lo esperado.

Barrios et al (2020) analizaron una versión de la planeación de requerimientos de materiales (MRP) en la que la demanda de productos finales en cada periodo es una variable aleatoria. El objetivo es encontrar la configuración óptima de stock de seguridad de ambos productos y partes, es decir, la configuración que minimice el costo total esperado. Este costo total se da por: (i) el costo de inventario; y (ii) un costo de penalización generado por la ocurrencia de faltantes de stock. Para resolver este problema de optimización estocástica, se propone un modelo de simulación en hoja de cálculo y se emplea un procedimiento heurístico sobre él. Un ejemplo numérico ilustra los conceptos principales del enfoque propuesto así como su potencial.

Dogadina et al. (2019) desarrollaron un modelo de planeación avanzada de la producción teniendo en cuenta los principios de planeación de optimización sincrónica para las empresas industriales de producción a pequeña escala. El modelo de planeación avanzada permitirá replanificar el proceso de producción en poco tiempo, lo que posibilita cumplir con el pedido en el tiempo establecido, incluso en situaciones imprevistas (fallo de equipo, reparación prolongada, alto nivel de desgaste).

Kretschmer y Wings (2023) discutieron las operaciones de almacén caracterizadas por un alto grado de diversidad, que difieren debido al grado de automatización y digitalización, así como a los requisitos del cliente. Para lograr objetivos logísticos como la fiabilidad y flexibilidad de la entrega, así como la utilización y eficiencia con requisitos relacionados con el proceso, las empresas aplican sistemas de TI logísticos para gestionar y optimizar el complejo flujo de información y material entre sistemas, tecnología y empleados.

Alrawashdeh et al. (2014) identificaron y analizaron características de calidad críticas que deben considerarse para garantizar el desarrollo e implementación exitosa de un sistema ERP. El estudio identifica las nuevas características de los sistemas ERP que difieren de las características de otros sistemas de información. Luego, para desarrollar el modelo de calidad del sistema ERP, se adaptó el estándar ISO/IEC 9126. Finalmente, se aplicó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para

evaluar la calidad de las características del modelo propuesto. Las características de calidad derivadas podrían utilizarse para comparar sistemas ERP, lo que ayuda a las organizaciones a implementar un sistema de mejor calidad.

Putri et al. (2020) analizaron los factores críticos de éxito (CSF) en la implementación de ERP en una empresa de comercio y distribución. La implementación del sistema ERP no solo se detuvo en la fase de prueba del proceso de despliegue, sino que también requirió algunos análisis periódicos para mejorar la efectividad. La falta de habilidades de recursos humanos y el proceso empresarial de la empresa podrían ser varios problemas importantes. Consecuentemente, se necesitaba un análisis específico para mejorar la implementación de ERP en la empresa. El propósito de esta investigación es analizar los factores críticos de éxito en la implementación de ERP en la empresa con el objetivo de identificar factores de éxito que puedan utilizarse para mejorar el rendimiento de la implementación del sistema, especialmente el recurso humano. Se adoptó el Modelo de Aceptación de Tecnología Extendido (TAM) para llevar a cabo el análisis.

Grobler-Debska et al. (2022) presentaron los resultados del proyecto de investigación y desarrollo de InfoConsulting relacionado con el diseño e implementación de una solución que permite modelar y simular procesos logísticos, área de materiales, en una empresa y la implementación y optimización de procesos logísticos de materiales, que se comunicarán con sistemas ERP típicos utilizando la comunicación de dispositivos móviles.

Alanazi et al. (2019) propusieron un modelo de calidad de planeación de la producción basado en el cálculo de la función de costo. Este enfoque ayuda a encontrar una manera de calcular los costos de producción en función del número de piezas producidas y el costo del trabajo. Los autores desarrollaron un modelo de simulación de Monte Carlo para verificar la validez del enfoque.

Hong y Kim (2021) abordaron el problema de integración de la programación de la producción y el control de calidad en una planta de fabricación de semiconductores. Los autores proponen un enfoque iterativo que consiste en la programación de la producción basada en la programación lineal mixta-entera (MILP) y el control de

calidad basado en el control estadístico del proceso (SPC). La efectividad del enfoque se demuestra a través de experimentos numéricos.

Wang y Zhang (2016) propusieron un modelo de programación de la producción para sistemas de manufactura flexible. El modelo considera las restricciones de tiempo de cambio y el tiempo de procesamiento de las máquinas. Los autores utilizaron un algoritmo genético para resolver el problema y demostraron su efectividad a través de ejemplos numéricos.

## **2.4. Programación de actividades**

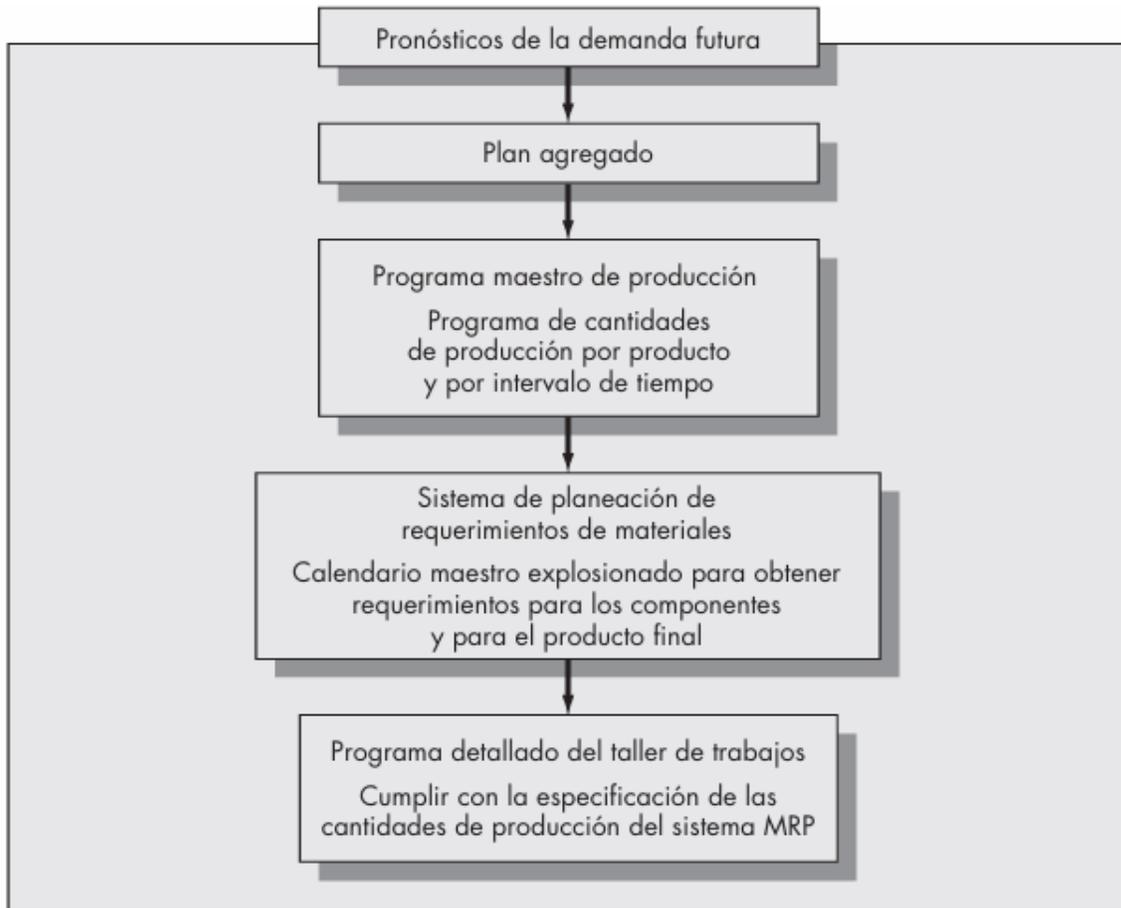
### **2.4.1. Introducción a la programación de actividades**

La programación de actividades es un aspecto crucial del control de operaciones, tanto en la manufactura como en las industrias de servicios. Poner un fuerte énfasis en el tiempo de comercialización y en el tiempo necesario para aumentar la producción, junto con la satisfacción del cliente, hará que la programación eficiente de actividades gane importancia en la función de operaciones en los próximos años. Gran parte de lo que se ha analizado hasta ahora en cierto modo puede considerarse como un subconjunto de la programación de la producción, incluida la planeación agregada mencionada anteriormente, se enfoca en la macro programación de los niveles de la fuerza laboral y los niveles generales de producción de la empresa (Box et al., 2015).

### **2.4.2. Programación de la producción y jerarquía de las decisiones de producción**

Planificar detalladamente los diversos aspectos de la función de producción es esencial para gestionar las operaciones productivas de manera efectiva. Podemos visualizar la función de producción de una empresa como un proceso jerárquico, podemos ver un ejemplo en la Figura 7 a continuación. En primer lugar, la empresa debe prever la demanda de ventas agregadas para un horizonte de planificación

específico. Estos pronósticos sirven como base para determinar la producción agregada y los niveles de personal necesarios durante ese periodo. Posteriormente, el plan de producción agregada se convierte en el programa maestro de producción (MPS) (Nahmias,2007).

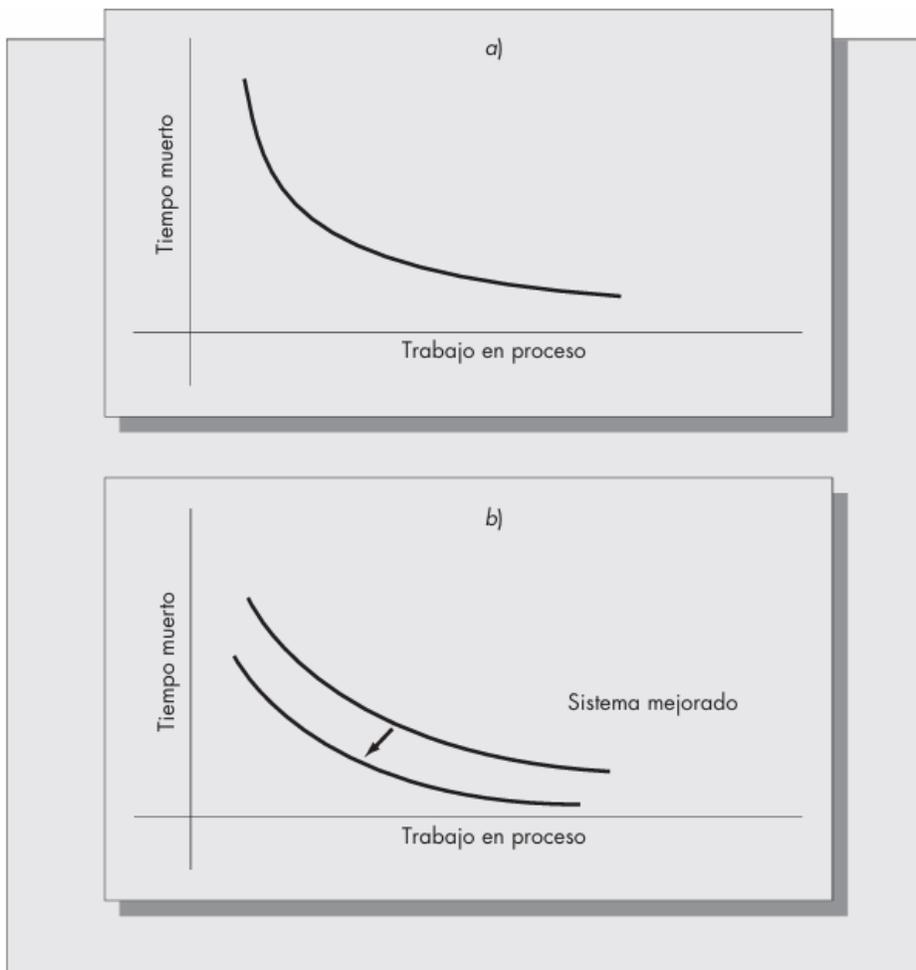


**Figura 7. Escalonamiento de actividades en la gestión de operaciones (Nahmias,2007).**

El Programa Maestro de Producción establece objetivos de producción específicos para cada producto y periodo de tiempo. La Planificación de Requerimientos de Materiales utiliza el plan maestro de producción para alcanzar estos objetivos de producción en términos de inventario de productos terminados. El sistema MRP descompone los niveles de producción definidos por el MPS de manera retrospectiva, con el fin de establecer objetivos de producción para cada nivel de

ensamblaje en cada periodo de tiempo. Como resultado, el análisis MRP genera órdenes de liberación detalladas para productos finales, sub-ensamblajes y componentes (Nahmias,2007).

Finalmente, estas órdenes de liberación deben traducirse en un conjunto de tareas, junto con los datos correspondientes. Este nivel de planificación detallada se traduce en el programa del piso de producción. Dado que el MRP u otros sistemas de planificación de lotes suelen recomendar ajustes en las órdenes de liberación, los programas de piso pueden cambiar con frecuencia. La gestión del piso implica la programación del personal y el equipo en un taller para cumplir con los plazos de los trabajos asignados y poder reducir tiempos muertos como lo ilustra la Figura 8 a continuación.



**Figura 8. Mejora de sistema (Nahmias,2007).**

### **2.4.3. Artículos sobre programación de actividades**

Gao et al. (2023) describieron la importancia de la producción de prueba en algunos sistemas de fabricación para ajustar las líneas de producción antes de la producción en masa. La programación para la producción de prueba promueve la realización de actividades de producción en masa más rápido. En este artículo, se procesan una serie de familias de trabajos con tiempo de configuración en varias máquinas paralelas idénticas, en las que los trabajos pertenecientes a la misma familia se procesan según la programación multitarea. El objetivo es minimizar el tiempo total ponderado de finalización. Se proponen propiedades estructurales del problema investigado. Posteriormente, se propone un nuevo algoritmo de ramificación y precio (B & P).

Qasim et al. (2023) abordaron la creciente preocupación por la incorporación de criterios verdes en los enfoques de planeación de la producción. Los modelos de planeación de la producción que ignoran los parámetros verdes pueden generar resultados no amigables con el medio ambiente. La literatura relevante ha sugerido una tendencia floreciente hacia la integración de parámetros verdes en los enfoques de planeación de la producción. Las revisiones anteriores han analizado más comúnmente los enfoques de planeación de la producción verde desde una perspectiva de "eficiencia energética". También está disponible la literatura sobre la integración de otros criterios verdes. Sin embargo, tales estudios rara vez se revisan. Junto con la "eficiencia energética", el estudio en cuestión revisa las estrategias de planificación de la producción desde otra perspectiva verde que es "bajas emisiones de carbono".

Jazi et al. (2022) presentaron un modelo matemático que considera el impacto de las políticas de mantenimiento a largo plazo además de las condiciones a corto plazo. Este modelo intenta minimizar los costos de mantenimiento preventivo (PM) y correctivo (CM) y varios costos de producción como los costos de configuración, los costos de retraso y los costos de penalización por stock de seguridad. El modelo considera supuestos esenciales como 1) inventario inicial, 2) actividades de ensamblaje, 3) dimensionamiento de lotes con tamaños desiguales/variables, 4)

tiempos de configuración dependientes de la secuencia, 5) niveles de stock de seguridad, 6) despacho de equipos de mantenimiento y 7) el número limitado de equipos de mantenimiento. Debido a la no linealidad del número promedio de actividades de mantenimiento correctivo, se ha utilizado un método de linealización para resolver este problema. Finalmente, la validez y eficiencia del modelo se analizan mediante la implementación en un experimento numérico.

Ding et al. (2023) estudiaron el típico problema NP difícil de la programación de talleres y analizaron y diseñaron integralmente el sistema adaptativo de la programación de talleres desde la perspectiva de la implementación del sistema. Los resultados muestran que, desde el modelo abstracto, el sistema es equivalente al 45.26% de una entrada de datos. Por lo tanto, analizar la relación entrada-salida de la programación de talleres juega un papel importante en la construcción de un modelo práctico. Para mejorar la fiabilidad de algunos softwares clave, se han propuesto muchos algoritmos diferentes. La cadena de Markov es un método efectivo para predecir la fiabilidad del sistema. En este artículo, se propone un modelo de cadena de Markov para predecir la fiabilidad del sistema de taller de fabricación automático, y se obtienen buenos resultados. Tiene un alto impacto en la práctica de ingeniería y un significado teórico para que el algoritmo de programación cumpla con el problema real de programación de producción.

Artelt (2023) presentaron un concepto que realiza una programación de producción dinámica como función parcial del Gemelo Digital utilizando la Carcasa de Administración de Activos y una arquitectura orientada a servicios. Los autores abordan específicamente la programación de producción automatizada de activos y proponen un corredor MQTT con un servidor de Diccionario de Funcionalidad. A través de la interfaz de la Carcasa de Administración de Activos, el programador de producción propuesto se comunica con el calendario de productos propuesto para generar un programa de producción especializado para cada producto. El escenario de evaluación en un laboratorio ciber-físico muestra las ventajas de este concepto.

Baumung y Fommin (2019) investigaron el uso del Aprendizaje Automático (ML) para la predicción de tiempos de fabricación de instalaciones de AM.

Bdair et al. (2023) emplearon dos técnicas de optimización: la programación lineal (LP) y la optimización por enjambre de partículas (PSO) para programar tareas de manera eficiente y minimizar el tiempo de finalización. La PSO reduce significativamente la duración, lo que lleva a una reducción de la duración del proyecto. Sin embargo, el algoritmo de LP no mejora la duración del proyecto. Utilizar algoritmos adecuados para maximizar la eficiencia y el éxito del proyecto es esencial para la gestión exitosa del proyecto. Esta investigación proporciona información valiosa para los gerentes de proyectos y los tomadores de decisiones, destacando la importancia de utilizar algoritmos adecuados para maximizar la eficiencia y el éxito del proyecto.

Basari et al. (2011) estudiaron el uso de un modelo de Markov para identificar el costo principal involucrado en los tiempos de inactividad de la línea de producción. La influencia del rendimiento de una sola máquina en una línea es investigada. Un estudio de caso en la producción de la bebida de jugo de tamarindo muestra que cuando se reduce la tasa de fallas de las máquinas, también se puede reducir el costo de pérdida.

Malone (2023) discutió la gestión de programas grandes utilizando un Programa Maestro Integrado (IMS), que proporciona una vista lógica detallada de todo el alcance del trabajo requerido a través de equipos de productos integrados (IPT's) utilizando el método de ruta crítica (CPM) y una red de actividades correspondiente. El artículo también analiza los desafíos de costo y cronograma en los programas de adquisición del Departamento de Defensa de EE. UU. (DOD), destacando la importancia de incorporar riesgos del programa en el cronograma.

Alam (2019) describió un innovador Sistema de Gestión de Proyectos basado en la web que añade a las herramientas establecidas de gestión de proyectos. El sistema está diseñado para manejar varios proyectos muy grandes y se basa en sistemas y marcos de código abierto robustos. Además de las características básicas como el Diagrama de Red, el Método de Ruta Crítica (CPM), la Técnica de Evaluación y

Revisión de Programas (PERT), la Estructura de Desglose del Trabajo (WBS), el Diagrama de Gantt, etc., el sistema se integra con el Sistema de Información Geográfica (GIS). Esta integración permite al sistema registrar actividades del proyecto en detalle gráfico en el mapa GIS con imágenes geo-codificadas y crear una representación digital del despliegue completo del proyecto.

Xia et al (2021) propusieron un algoritmo TEDF (Time Merging Earliest Deadline First) basado en la integración de múltiples períodos de tiempo mediante la fusión del tiempo actual, el tiempo de ejecución y el tiempo de entrega de la tarea, lo que puede mejorar la puntualidad del sistema de programación de tareas en tiempo real.

Tenjo-Garcia y Carlos Figueroa-Garcia (2019) mostraron un método basado en simulación para resolver problemas PERT (Técnica de Evaluación y Revisión de Programas) con tiempos de actividad difusos. Basado en técnicas de simulación difusa previas, se simulan diferentes escenarios de posibles caminos críticos que dependen de diferentes combinaciones de actividades temporales. Se presenta un ejemplo de aplicación y se discuten algunos comportamientos interesantes.

## **CAPITULO 3: METODOLOGIA**

### **3.1. Tipo**

El presente trabajo pertenece al enfoque cuantitativo dado que el estudio implica la aplicación de diversas técnicas cuantitativas de gestión de operaciones, tales como modelos de pronósticos de demanda, planeación de agregada de la producción, planeación de requerimiento de actividades y programación para el proceso productivo de la materia prima "Colorante líquido azul" en una PYME de Hidalgo, por ende, debido a su naturaleza de aplicación, el enfoque cuantitativo es adecuado. Como se utilizarán datos numéricos para medir la demanda y gestionar las operaciones, este trabajo se alinea con una metodología cuantitativa.

### **3.2. Nivel**

Este trabajo busca identificar relaciones causales entre las variables más importantes de la gestión de operaciones y explicar cómo influyen estas en la gestión de inventarios y la satisfacción del cliente además del costo total. Por lo tanto, el nivel de la metodología puede clasificarse como explicativo, ya que se tiene como objetivo explicar por qué ocurren ciertos fenómenos y establecer relaciones causales entre las variables estudiadas.

### **3.3. Diseño**

Este trabajo de investigación debido a su periodo de tiempo es retrospectivo, pues utiliza datos pasados para aplicar las diversas técnicas de gestión de operaciones. Además, dado que se abordan problemas complejos en la planeación de operaciones existe poca información registrada en la empresa que puede utilizarse. Por ende, la obtención de información no es fácil. Se puede considerar que este estudio es de tipo observacional, ya que se enfoca en el análisis de la gestión de operaciones y se realizan propuesta, pero no aborda la implementación final de las técnicas en la empresa, pues solo se estudian las variables relevantes y el efecto que estas producen en el costo total y el desempeño de la empresa.

### **3.4. Contribución académica de la tesis**

La tesis ofrece una contribución académica significativa al área de gestión de operaciones de la empresa bajo estudio, debido a la implementación de métodos y técnicas comprobados para la gestión de operaciones de un material clave, como lo es el colorante azul, para la PYME en cuestión. Este enfoque combina métodos cuantitativos y su validación numérica, proporcionando nuevas perspectivas para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas en la industria de productos químicos de limpieza. Además, el estudio ofrece implicaciones prácticas y teóricas que pueden influir en el avance del conocimiento en el campo de la gestión de operaciones, al tratarse de un estudio realizado con datos reales de una empresa.

Las actividades concretas que se realizaron en la tesis son las siguientes:

- 1) Pronósticos: se aplicaron tres técnicas de pronósticos con datos reales de la empresa, donde además se compararon dichas técnicas con indicadores clave, tales como el MAPE, MAD, y track signal, a fin de determinar la técnica que mejor se ajusta a los datos.
- 2) Plan agregado: se aplicaron dos técnicas de planeación agregada, tales como la estrategia de caza y la estrategia de fuerza de trabajo constante, a fin de determinar, en base al menor costo total, la mejor técnica para la empresa.
- 3) Planeación de requerimiento de materiales: se aplicó, mediante el software WinQSB, un MRP para la empresa, donde se determinó la estructura del producto y se calculó el tamaño de los lotes de producción y suministro para todos los componentes del producto.
- 4) Programación de operaciones: se aplicó la técnica de balanceo de líneas de producción para asignar de manera eficiente a los trabajadores en las estaciones de trabajo y lograr el objetivo de producción de la empresa.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

En primer lugar, se abordará en este trabajo la aplicación de tres técnicas de pronóstico para la demanda del colorante industrial líquido azul. Este interés surge de una necesidad de trabajar con un producto que figura entre los más solicitados en el mercado, lo que impulsa a aprovechar al máximo los recursos destinados a producir este producto. El colorante líquido azul no solo destaca por su popularidad, sino también por su constante y alta demanda en el sector, ya que como se observa en la Figura 9, este tiene muchas utilidades en el teñido de productos de limpieza. Este producto específico se fabrica y embotella en su presentación de un litro, destinado principalmente para la venta directa en las sucursales de la empresa, lo que lo convierte en un elemento esencial para los ingresos de la compañía.



**Figura 9. Usos del colorante líquido azul**

La importancia de pronosticar la demanda de este producto radica en múltiples factores. Por un lado, permite una planeación eficiente de la producción, asegurando que siempre haya suficiente stock disponible para satisfacer la demanda del cliente sin incurrir en costos excesivos de almacenamiento o en riesgos de obsolescencia.

Por otro lado, facilita una gestión más precisa de los recursos, optimizando tanto el tiempo como los materiales necesarios para la producción. Esto permite reducir

significativamente los costos operativos y mejorar la eficiencia del proceso productivo. Además, contribuye a que se cumplan los plazos de entrega y se mantenga la calidad del producto final.

#### 4.1. Resultados de los pronósticos

Para ilustrar la aplicación de las técnicas de pronósticos con datos reales de la empresa, a continuación, se presentan en la Tabla 1 los datos recientes del consumo de colorante líquido azul en los últimos 30 meses, desde noviembre del 2021 hasta el 1ro de mayo del 2024. Estos datos han sido recopilados de los registros de la empresa.

**Tabla 1. Demanda del colorante líquido azul**

Demanda del colorante Azul Ginez		
Periodo	Mes	Cantidad(kg)
1	nov-21	1920
2	dic-21	2400
3	ene-22	8160
4	feb-22	3840
5	mar-22	17760
6	abr-22	3840
7	may-22	6240
8	jun-22	4800
9	jul-22	1440
10	ago-22	1440
11	sep-22	1440
12	oct-22	3840
13	nov-22	6000
14	dic-22	1200
15	ene-23	3840
16	feb-23	6000
17	mar-23	1200
18	abr-23	3840
19	may-23	1920
20	jun-23	5280
21	jul-23	5280
22	ago-23	2400
23	sep-23	5280
24	oct-23	3840
25	nov-23	3360
26	dic-23	960
27	ene-24	6240
28	feb-24	5280
29	mar-24	6240
30	abr-24	6720

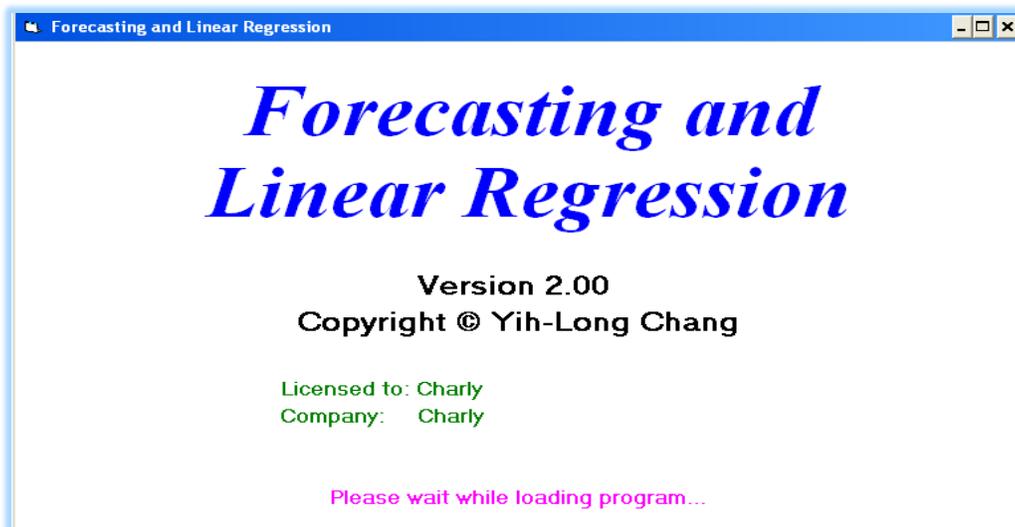
#### 4.1.1. Módulo del software WinQSB para pronósticos

En esta primera etapa de este trabajo de tesis se utilizó el software WinQSB para pronosticar los datos de demanda de la empresa, utilizando los siguientes tres métodos:

- Método de suavizamiento exponencial simple
- Método de regresión lineal
- Método de suavizamiento exponencial simple con tendencia (método de Holt)

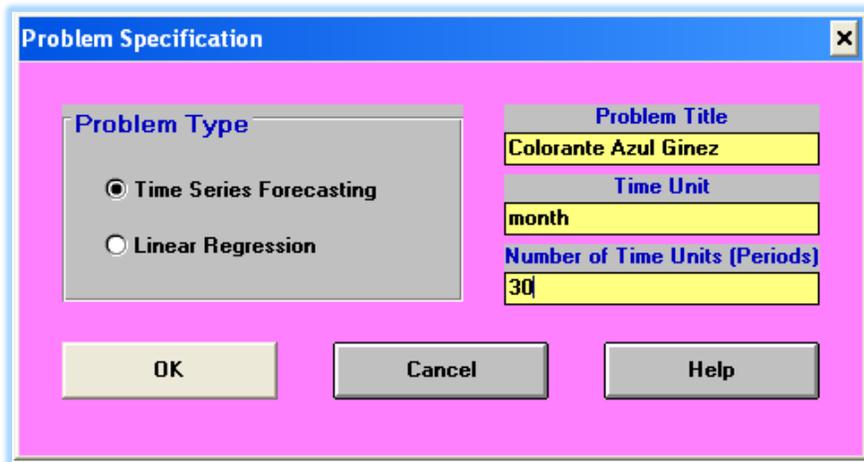
Para comenzar a calcular los pronósticos es necesario seguir los siguientes pasos:

- Ir a la máquina virtual
- Entrar al software “WinQSB”
- Abrir la función de Forecasting and Linear Regression, que se ilustra en la Figura 10



**Figura 10. Forecasting and Linear Regression**

Se coloca el nombre de la materia prima que se va a pronosticar y el número de los periodos que vamos a pronosticar, en este caso 30, procedemos a darle “OK”, como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11. Introducción de los datos**

Posteriormente se abre una matriz vacía donde se colocan los datos de demanda, se muestra en Figura 12.

Month	Historical Data
1	1920
2	2400
3	8160
4	3840
5	17760
6	3840
7	6240
8	4800
9	1440
10	1440
11	1440
12	3840
13	6000
14	1200
15	3840
16	6000
17	1200
18	3840
19	1920
20	5280
21	5280
22	2400
23	5280
24	3840
25	3360
26	960
27	6240
28	5280
29	6240
30	6720

**Figura 12. Introducción de los datos de demanda**

#### 4.1.2. Suavizamiento exponencial simple (SES)

Se planea pronosticar seis periodos consecutivos a nuestros datos de demanda. Una vez concluido el paso anterior ejecutamos el comando “Run” que abrirá la siguiente ventana que ilustra la Figura 13, donde se selecciona el método, el número de periodos a pronosticar y asigna un valor de 0.2 a alpha a fin de reducir la variabilidad en el pronóstico.

Forecasting Method	Method Parameters	Search Criterion
<input type="radio"/> Simple average (SA)	<input checked="" type="radio"/> Assign values	<input checked="" type="radio"/> MAD <input type="radio"/> CFE
<input type="radio"/> Moving average (MA)	<input type="radio"/> Search the best	<input type="radio"/> MSE <input type="radio"/> MAPE
<input type="radio"/> Weighted moving average (WMA)	Number of periods to forecast: 6	
<input type="radio"/> Moving average with linear trend (MAT)	Smoothing constant alpha: .2	
<input checked="" type="radio"/> Single exponential smoothing (SES)	Initial value F(0) if known:	
<input type="radio"/> Single exponential smoothing with trend (SEST)	(Not used)	
<input type="radio"/> Double exponential smoothing (DES)	(Not used)	
<input type="radio"/> Double exponential smoothing with trend (DEST)	(Not used)	
<input type="radio"/> Adaptive exponential smoothing (AES)	(Not used)	
<input type="radio"/> Linear regression with time (LR)	(Not used)	
<input type="radio"/> Holt-Winters Additive Algorithm (HWA)	(Not used)	
<input type="radio"/> Holt-Winters Multiplicative Algorithm (HWM)		
<input type="checkbox"/> Retain other method's result	Specify Initial Seasonal Indices	
	Enter Search Domain	
OK	Cancel	Help

Figura 13. Suavizamiento exponencial

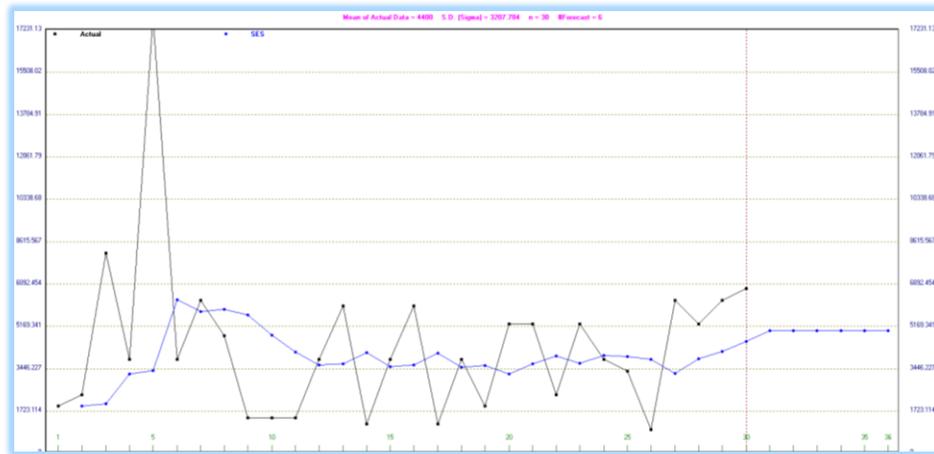
La Figura 14 muestra una matriz con los resultados junto al MAD,MAPE y Track signal.

05-18-2024 Month	Actual Data	Forecast by SES	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square
1	1920								
2	2400	1920	480	480	480	230400	20	1	
3	8160	2016	6144	6624	3312	1.898957E+07	47.64706	2	
4	3840	3244.8	595.2	7219.2	2406.4	1.27778E+07	36.93137	3	
5	17760	3363.84	14396.16	21615.36	5403.84	6.139571E+07	47.96339	4	0.8239642
6	3840	6243.072	-2403.072	19212.29	4803.687	5.027152E+07	50.88671	3.999488	0.5442917
7	6240	5762.458	477.542	19689.83	4082.662	4.193094E+07	43.68108	4.822792	0.5140325
8	4800	5857.966	-1057.966	18631.86	3650.563	3.61007E+07	40.58963	5.103833	0.4315505
9	1440	5646.373	-4206.373	14425.49	3720.039	3.379981E+07	72.02959	3.877779	0.2614279
10	1440	4805.099	-3365.099	11060.39	3680.601	3.130249E+07	89.99156	3.00505	0.178556
11	1440	4132.079	-2692.079	8368.311	3581.749	2.889697E+07	99.6874	2.336376	0.1367423
12	3840	3593.663	246.3367	8614.647	3278.53	2.627549E+07	91.2081	2.627595	0.1366858
13	6000	3642.931	2357.069	10971.72	3201.741	2.454884E+07	86.88113	3.426797	0.152241
14	1200	4114.345	-2914.345	8057.372	3179.634	2.331381E+07	98.87967	2.534057	0.1221284
15	3840	3531.476	308.5242	8365.896	2974.554	2.165534E+07	92.39072	2.812487	0.1233481
16	6000	3593.181	2406.819	10772.72	2936.706	2.059783E+07	88.90559	3.6683	0.1350964
17	1200	4074.544	-2874.544	7898.171	2932.82	1.982691E+07	98.32057	2.693029	0.1133602
18	3840	3499.635	340.3645	8238.536	2780.323	1.866743E+07	93.0584	2.963158	0.1148166
19	1920	3567.708	-1647.708	6590.828	2717.4	1.778118E+07	92.65616	2.425417	0.1067446
20	5280	3238.167	2041.833	8632.661	2681.844	1.706476E+07	89.81484	3.218928	0.1145387
21	5280	3646.533	1633.467	10266.13	2629.425	1.634493E+07	86.87095	3.904325	0.1198423
22	2400	3973.227	-1573.227	8692.901	2579.129	1.568446E+07	85.85572	3.370479	0.1116679
23	5280	3658.582	1621.418	10314.32	2535.597	1.509103E+07	83.34904	4.067807	0.1163579
24	3840	3982.865	-142.8652	10171.46	2431.565	1.443579E+07	79.88692	4.18309	0.1149479
25	3360	3954.292	-594.2922	9577.163	2355.012	1.384901E+07	77.29527	4.066715	0.1119705
26	960	3835.434	-2875.434	6701.729	2375.829	1.362577E+07	86.18443	2.820796	0.1002934
27	6240	3260.347	2979.653	9681.383	2399.053	1.344318E+07	84.70621	4.035502	0.1069552
28	5280	3856.278	1423.722	11105.11	2362.93	1.302036E+07	82.56763	4.699719	0.110022
29	6240	4141.022	2098.978	13204.08	2353.503	1.271269E+07	80.82012	5.610396	0.1146222
30	6720	4560.818	2159.182	15363.27	2346.802	1.243508E+07	79.14117	6.546469	0.1204388
31		4992.654							
32		4992.654							
33		4992.654							
34		4992.654							
35		4992.654							
36		4992.654							
CFE		15363.27							
MAD		2346.802							
MSE		1.243508E+07							
MAPE		79.14117							
Trk. Signal		6.546469							
R-square		0.1204388							
		Alpha=0.2							

**Figura 14. Resultados de la técnica SES**

Se presenta en la Figura 15 los resultados obtenidos de la técnica de pronóstico de suavizamiento exponencial. Se observa en la línea azul como los datos siguen al patrón de demanda de los datos reales, sin embargo, hay que seguir con cautela los resultados de esta técnica pues reporta un MAPE de 79.14% de error en el

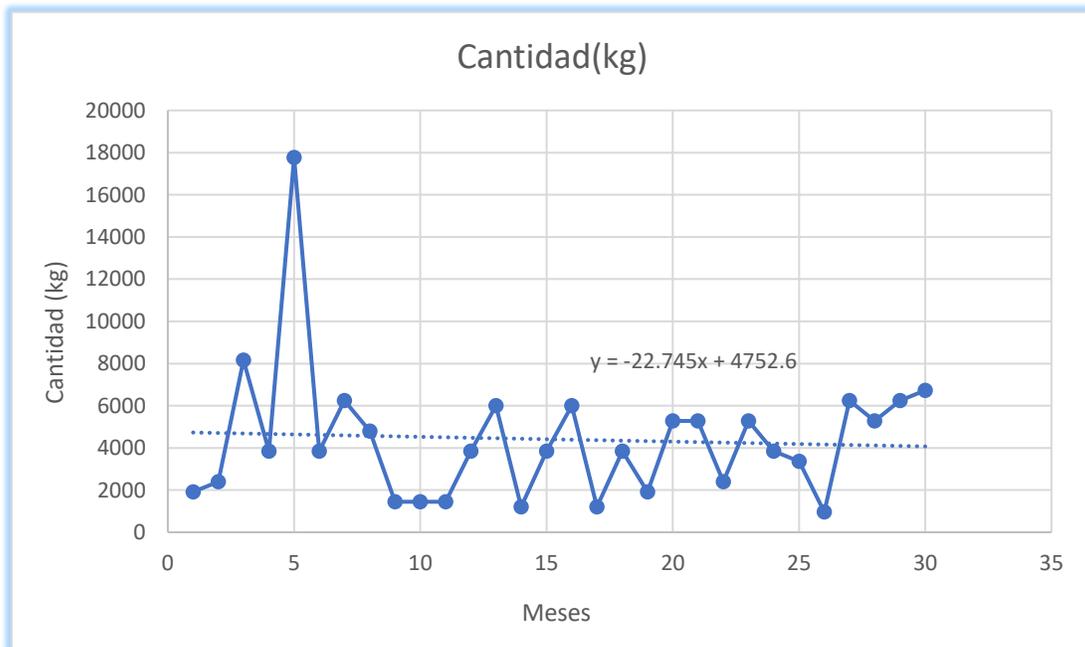
pronóstico y un track signal de 6.54 el cual es superior a 4 y por ende este pronóstico no es aceptable.



**Figura 15. Gráfica con los resultados del pronóstico**

#### 4.1.3 Regresión lineal

Mediante herramientas estadísticas y de visualización de datos obtuvimos la Figura 16 que nos da la línea de tendencia junto con su ecuación correspondiente.



**Figura 16. Gráfica del método de regresión lineal**

La ecuación proporciona tanto el nivel como la tendencia de los datos, representados por la función:

$$y = mx + b$$

Al utilizar los datos de la empresa, esto se traduce en la siguiente fórmula específica:

$$y = -22.745x + 4752.6$$

Esta ecuación es esencial para predecir valores futuros, permitiéndonos calcular los pronósticos para los próximos 6 meses. Para obtener estos valores, simplemente se sustituye la variable X por el número correspondiente al mes que se desea calcular, facilitando así una proyección precisa basada en la tendencia observada en los datos históricos.

Siguiendo los pasos del método anterior para seis periodos consecutivos a los datos de demanda, ejecutamos el comando "Run" para el método de regresión lineal en el software WinQSB que abrirá la siguiente ventana, visible en la Figura 17.

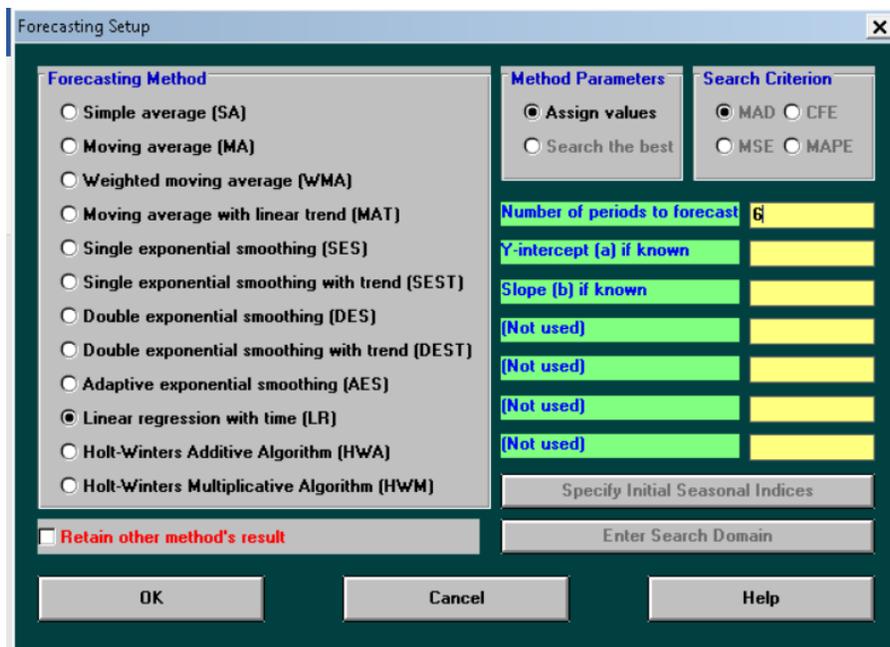


Figura 17. Elección del método de regresión lineal

En el contexto del método de regresión lineal, la pendiente o "slope" se refiere a la tasa de cambio de la tendencia de los datos a lo largo del tiempo. En términos más simples, la pendiente indica la dirección y la magnitud de la tendencia de los datos históricos.

Si la pendiente es positiva, indica que los valores están aumentando con el tiempo, mientras que una pendiente negativa sugiere una disminución en los valores a lo largo del tiempo.

Esto permite que el método capture mejor los cambios en la serie temporal y genere pronósticos más precisos para el período siguiente. La pendiente, junto con el nivel y el factor de suavización, forma parte de la ecuación de pronóstico en este método.

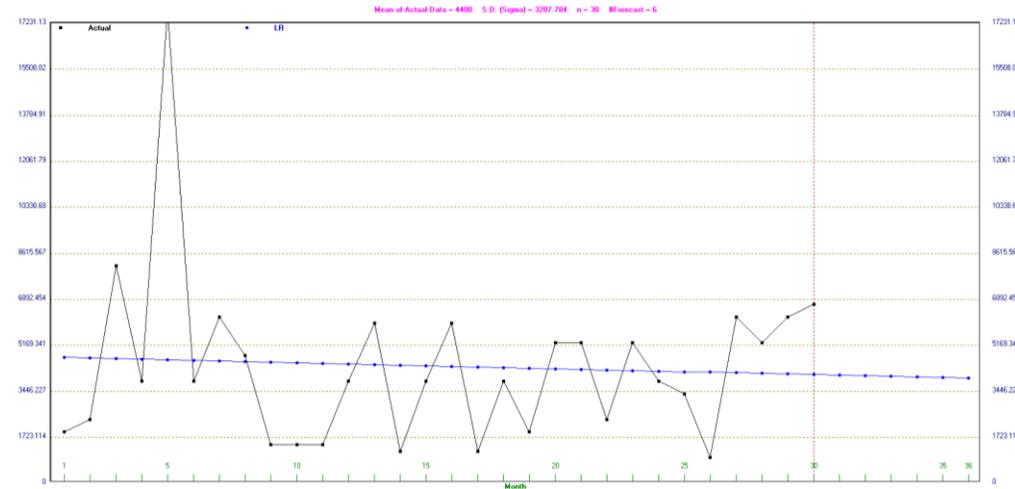
Se muestra en la Figura 18 los resultados junto a los indicadores clave de MAD, MAPE y Track signal. Esta técnica reporto un indicador de MAPE de 82.06% de error, lo cual es inferior a la técnica anterior. Además el track signal tiene un valor

maximo de 3.74 el cual esta dentro del limite permitido de 4. Esto indica que el método de regresión lineal es adecuado para los datos de la empresa.

08-30-2024 Month	Actual Data	Forecast by LR	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square	▲
1	1920	4729.807	-2809.807	-2809.807	2809.807	7895014	146.3441	-1		
2	2400	4707.061	-2307.061	-5116.868	2558.434	6608772	121.2358	-2		
3	8160	4684.316	3475.684	-1641.184	2864.184	8432641	95.02194	-0.5730022	3.727369E-02	
4	3840	4661.571	-821.5708	-2462.754	2353.531	6493226	76.61523	-1.046408	6.278425E-02	
5	17760	4638.825	13121.17	10658.42	4507.06	3.962763E+07	76.06828	2.364828	0.1306773	
6	3840	4616.08	-776.0801	9882.34	3885.229	3.312341E+07	66.75864	2.543566	8.983481E-02	
7	6240	4593.335	1646.665	11529	3565.435	2.877885E+07	60.99152	3.233548	0.1048186	
8	4800	4570.589	229.4106	11758.42	3148.432	2.518807E+07	53.96501	3.73469	9.441276E-02	
9	1440	4547.844	-3107.844	8650.572	3143.922	2.346258E+07	71.94918	2.751523	4.116236E-02	
10	1440	4525.099	-3085.099	5565.473	3138.04	2.206811E+07	86.17856	1.773551	1.438269E-02	
11	1440	4502.354	-3062.354	2503.119	3131.159	2.091446E+07	97.67719	0.7994225	2.711331E-03	
12	3840	4479.608	-639.6084	1863.511	2923.53	1.920568E+07	90.92547	0.637418	1.566292E-03	
13	6000	4456.863	1543.137	3406.647	2817.346	1.79115E+07	85.90958	1.209169	4.227998E-03	
14	1200	4434.118	-3234.118	172.5293	2847.115	1.737921E+07	99.02389	6.059793E-02	4.874396E-04	
15	3840	4411.373	-571.3726	-398.8433	2695.399	1.624236E+07	93.41427	-0.1479719	6.310592E-04	
16	6000	4388.627	1611.373	1212.529	2627.647	1.53895E+07	89.25439	0.4614506	1.078314E-03	
17	1200	4365.882	-3165.882	-1953.353	2659.308	1.507381E+07	99.52316	-0.7345343	1.678679E-03	
18	3840	4343.137	-503.1367	-2456.49	2539.521	1.425044E+07	94.72202	-0.9673045	2.255389E-03	
19	1920	4320.392	-2400.392	-4856.881	2532.198	1.380368E+07	96.31667	-1.918049	5.784695E-03	
20	5280	4297.646	982.3535	-3874.528	2454.706	1.316174E+07	92.43109	-1.578408	4.106324E-03	
21	5280	4274.901	1005.099	-2869.429	2385.677	1.25831E+07	88.93609	-1.202773	2.955441E-03	
22	2400	4252.156	-1852.156	-4721.584	2361.426	1.216707E+07	88.40141	-1.999463	5.426903E-03	
23	5280	4229.411	1050.589	-3670.995	2304.433	1.168606E+07	85.42298	-1.593014	4.077426E-03	
24	3840	4206.665	-366.665	-4037.66	2223.693	1.120474E+07	82.26155	-1.815746	4.679105E-03	
25	3360	4183.92	-823.9199	-4861.58	2167.702	1.07837E+07	79.95195	-2.242735	5.922842E-03	
26	960	4161.175	-3201.175	-8062.755	2207.451	1.076308E+07	89.7021	-3.652518	1.148188E-02	
27	6240	4138.429	2101.571	-5961.184	2203.529	1.052803E+07	87.62716	-2.705289	7.514335E-03	
28	5280	4115.684	1164.316	-4796.868	2166.415	1.020044E+07	85.28517	-2.214197	6.113674E-03	
29	6240	4092.939	2147.061	-2649.807	2165.747	1.000766E+07	83.53078	-1.223507	4.413135E-03	
30	6720	4070.194	2649.806	-7.324219E-04	2181.883	9908122	82.06081	-3.356835E-07	3.896493E-03	
31		4047.448								
32		4024.703								
33		4001.958								
34		3979.212								
35		3956.467								
36		3933.722								
MSE		9908122								
MAPE		82.06081								
Trk. Signal		-3.356835E-07								
R-square		3.896493E-03								
		Y-intercept=4752.552								
		Slope=-22.7453								

Figura 18. Resultados de la regresión lineal

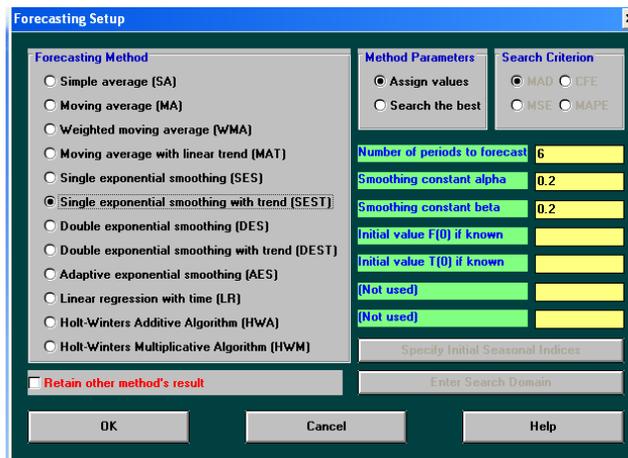
Se presenta una gráfica en la Figura 19 con el pronóstico obtenido con el método de la regresión lineal.



**Figura 19. Gráfica con los resultados de la regresión lineal**

#### 4.1.4. Suavizamiento exponencial simple con tendencia (SEST)

Esta técnica también se llama método de Holt, para calcular pronósticos con este método es necesario elegir en el WinQSB la función de “Single exponential smoothing with trend” como se muestra en la Figura 20 junto con el número de periodos a calcular, que definimos como 6, las constantes alpha y beta se determinan en un valor de 0.2 para tener controlada la variabilidad del pronóstico.



**Figura 20. Suavizamiento exponencial simple con tendencia**

El método de suavizamiento exponencial simple se fundamenta en dos componentes esenciales que capturan la dinámica de la serie temporal: el nivel y la tendencia.

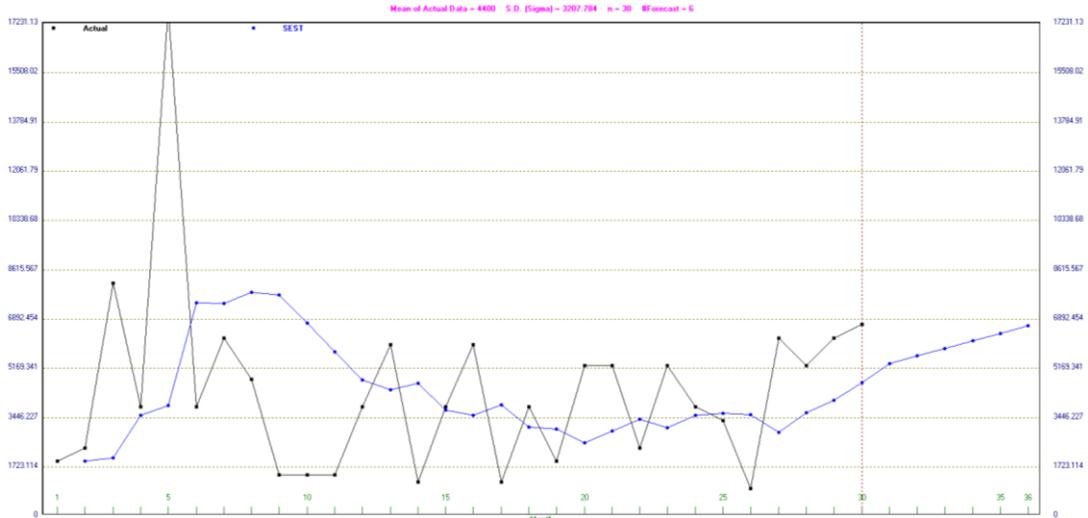
El nivel, esencialmente, refleja el valor medio o la trayectoria central de los datos históricos, proporcionando una referencia sobre la cual se construye la predicción. Por otro lado, la tendencia señala la dirección y la inclinación general de los datos a medida que evolucionan en el tiempo, revelando si la serie está aumentando, disminuyendo o permaneciendo relativamente constante.

Estos dos elementos interactúan en armonía, permitiendo al método generar una estimación sólida y adaptable para el próximo período. La Figura 21 muestra los resultados de la técnica de suavizamiento exponencial con tendencia junto al MAD, MAPE y Track signal. Con esta técnica se reporta un valor de MAPE de 95.20% y un valor de track signal máximo de 3.73, el cual está por debajo del valor crítico de 4, por lo que se puede concluir que esta técnica es la que mejor se ajustó a los datos de la empresa. La idea de utilizar dos constantes con  $\alpha$  y  $\beta$  para capturar el nivel y la tendencia en los datos, resultó ser lo más eficiente para la empresa pues el pronóstico se ajusta dinámicamente para seguir el patrón de la demanda.

08-30-2024 Month	Actual Data	Forecast by SEST	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square
1	1920								
2	2400	1920	480	480	480	230400	20	1	
3	8160	2035.2	6124.8	6604.8	3302.4	1.887179E+07	47.52941	2	
4	3840	3524.352	315.6482	6920.448	2306.816	1.26144E+07	34.42627	3	0.9774415
5	17760	3864.299	13895.7	20816.15	5204.037	5.773343E+07	45.3801	4	0.773501
6	3840	7476.085	-3636.085	17180.06	4890.447	4.883097E+07	55.24202	3.512984	0.5015177
7	6240	7436.071	-1196.071	15983.99	4274.717	4.09309E+07	49.22966	3.739193	0.4662713
8	4800	7836.216	-3036.216	12947.78	4097.789	3.640058E+07	51.23321	3.159698	0.4026705
9	1440	7746.884	-6306.884	6640.892	4373.926	3.682226E+07	99.57631	1.518291	0.2905799
10	1440	6751.143	-5311.143	1329.749	4478.061	3.586545E+07	129.4933	0.2969475	0.2480972
11	1440	5742.104	-4302.104	-2972.355	4460.465	3.412972E+07	146.4197	-0.6663778	0.2346867
12	3840	4762.789	-922.7891	-3895.144	4138.858	3.110443E+07	135.2935	-0.9411156	0.2371334
13	6000	4422.425	1577.575	-2317.569	3925.418	2.871979E+07	126.2101	-0.5904006	0.2357313
14	1200	4645.237	-3445.237	-5762.807	3888.481	2.742362E+07	138.5865	-1.48202	0.2323079
15	3840	3725.677	114.3228	-5648.484	3618.898	2.546573E+07	128.9001	-1.56083	0.2392718
16	6000	3522.603	2477.397	-3171.086	3542.798	2.417718E+07	123.0594	-0.8950796	0.2411773
17	1200	3891.239	-2691.239	-5862.325	3489.576	2.311878E+07	129.3851	-1.679953	0.2401143
18	3840	3118.498	721.5024	-5140.823	3326.748	2.178947E+07	122.8794	-1.5453	0.2498223
19	1920	3057.165	-1137.165	-6277.988	3205.104	2.065079E+07	119.3432	-1.958747	0.2576676
20	5280	2578.613	2701.387	-3576.6	3178.593	1.994798E+07	115.7547	-1.125215	0.2682483
21	5280	2975.826	2304.174	-1272.427	3134.872	1.921604E+07	112.149	-0.4058942	0.2753103
22	2400	3385.764	-985.7637	-2258.19	3032.534	1.834727E+07	108.7644	-0.7446545	0.2764909
23	5280	3098.283	2181.717	-76.47363	2993.86	1.772966E+07	105.6988	-2.554349E-02	0.2818006
24	3840	3531.568	308.4324	231.9587	2877.103	1.696294E+07	101.4524	8.062234E-02	0.2843719
25	3360	3602.532	-242.5325	-10.57373	2767.329	1.62586E+07	97.52599	-3.820916E-03	0.2854948
26	960	3553.603	-2593.603	-2604.177	2760.38	1.587733E+07	104.4316	-0.9434124	0.2773381
27	6240	2930.715	3309.285	705.1084	2781.491	1.568787E+07	102.4548	0.2535001	0.2792561
28	5280	3620.777	1659.223	2364.332	2739.926	1.52088E+07	99.82404	0.8629181	0.2804627
29	6240	4047.195	2192.805	4557.137	2720.386	1.483736E+07	97.51393	1.67518	0.2790537
30	6720	4668.042	2051.958	6609.096	2697.337	1.447091E+07	95.20432	2.45023	0.2773277
31		5342.797							
32		5607.161							
33		5871.524							
34		6135.888							
35		6400.252							
36		6664.616							
CFE		6609.096							
MAD		2697.337							
MSE		1.447091E+07							
MAPE		95.20432							
Trk.Signal		2.45023							
R-square		0.2773277							
		Alpha=0.2							

**Figura 21. Resultados del método de Holt**

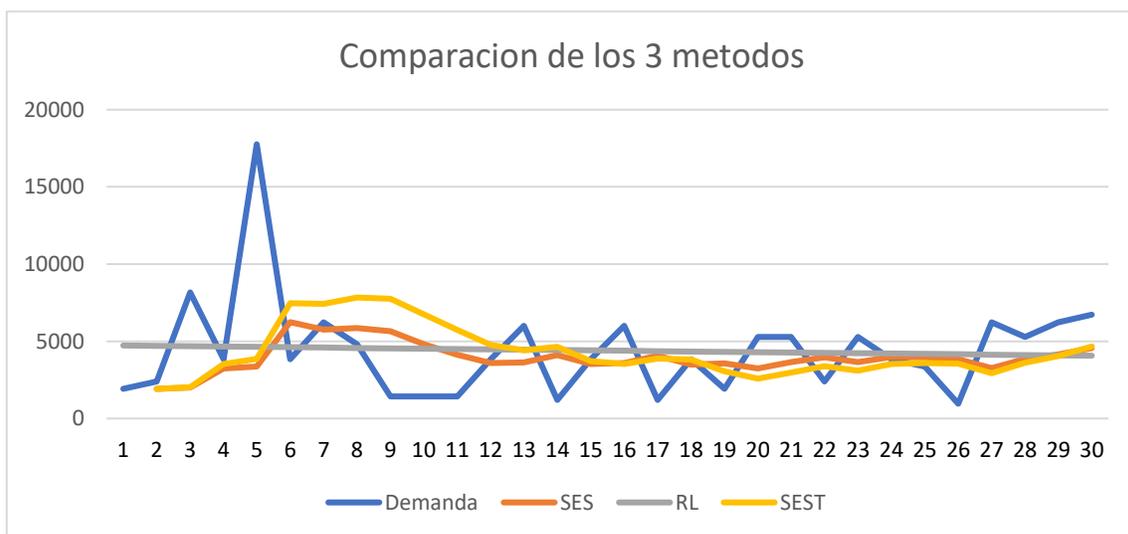
Se presentan en la Figura 22, los resultados del pronóstico del método de Holt.



**Figura 22. Gráfica con el pronóstico del método de Holt**

#### 4.1.5. Elección del mejor pronóstico

El cálculo de los tres métodos de pronóstico anteriormente realizados (suavizamiento exponencial simple, regresión lineal y método de Holt) nos ayuda a conocer cual método de pronóstico es el mejor y cuál es el que mejor logra ajustarse a los patrones de la demanda. Mediante la comparación de los resultados mostrados en la Figura 23, se puede apreciar con base en los indicadores clave, MAD, MSE, MAPE y track signal, cuál es la mejor elección del pronóstico.



**Figura 23. Comparación de los métodos de pronóstico**

La elección del mejor pronóstico es un paso crucial en la gestión eficaz de la demanda. Al comparar los resultados obtenidos a través de indicadores como MAD, MAPE y Track Signal, se puede evaluar la precisión y confiabilidad de cada modelo en relación con los datos observados. El (MAD) proporciona una medida de dispersión que revela la variabilidad promedio entre las observaciones reales y las predicciones del modelo. Por otro lado, el MAPE) evalúa la precisión relativa del pronóstico al calcular el error porcentual promedio entre las predicciones y los valores reales. Además, el análisis de Track Signal permite monitorear el rendimiento del modelo a lo largo del tiempo, identificando posibles desviaciones o errores sistemáticos en la estimación de la demanda. Al considerar estos indicadores, se puede tomar la mejor decisión.

El resultado de los pronósticos de las tres técnicas aplicadas se muestra en la Tabla 2, presente a continuación.

**Tabla 2. Concentrado de resultados del pronóstico**

Elección del mejor pronóstico				
Periodo	Demanda	SES	RL	SEST
1	1920		4729.807	
2	2400	1920	4707.061	1920
3	8160	2016	4684.316	2035.2
4	3840	3244.8	4661.571	3524.352
5	17760	3363.84	4638.825	3864.299
6	3840	6243.072	4616.08	7476.085
7	6240	5762.458	4593.335	7436.071
8	4800	5857.966	4570.589	7836.216
9	1440	5646.373	4547.844	7746.884
10	1440	4805.099	4525.099	6751.143
11	1440	4132.079	4502.354	5742.104
12	3840	3593.663	4479.608	4762.789
13	6000	3642.931	4456.863	4422.425
14	1200	4114.345	4434.118	4645.237
15	3840	3531.476	4411.373	3725.677
16	6000	3593.181	4388.627	3522.603
17	1200	4074.544	4365.882	3891.239
18	3840	3499.635	4343.137	3818.498
19	1920	3567.708	4320.392	3057.165
20	5280	3238.167	4297.646	2578.613
21	5280	3646.533	4274.901	2975.826
22	2400	3973.227	4252.156	3385.764
23	5280	3658.582	4229.411	3098.283
24	3840	3982.865	4206.665	3531.568
25	3360	3954.292	4183.92	3602.532
26	960	3835.434	4161.175	3553.603
27	6240	3260.347	4138.429	2930.715
28	5280	3856.278	4115.684	3620.777
29	6240	4141.022	4092.939	4047.195
30	6720	4560.818	4070.194	4668.042
PRONOSTICO 1		4992.654	4047.448	5342.797
PRONOSTICO 2		4992.654	4024.703	5607.161
PRONOSTICO 3		4992.654	4001.958	5871.524
PRONOSTICO 4		4992.654	3979.212	6135.888
PRONOSTICO 5		4992.654	3956.467	6400.252
PRONOSTICO 6		4992.654	3933.722	6664.616

En la Tabla 3 se presenta un reporte de indicadores clave de MAD, MAPE y track signal para las tres técnicas de pronóstico aplicadas. Con esta información se puede concluir que el mejor método es el de suavizamiento exponencial simple con tendencia (SEST), puesto que es el método que presenta un menor indicador track signal. Las técnicas de SES y Regresión lineal presentan un indicador de track signal superior al valor crítico de +/-4, lo cual indica que existen errores muy grandes en el pronóstico y que su variabilidad no está controlada.

**Tabla 3. Comparación de métodos de pronóstico**

Comparacion	SES	LR	SEST
MAD	2346.802	2181.883	2697.337
MAPE	79.14117	82.06081	95.20432
TRACK SIGNAL	6.546469	-3.3568	2.45023

## 4.2. Resultados de la planeación agregada

La siguiente etapa en este trabajo de tesis consiste en aplicar dos técnicas de planeación agregada de la producción a los datos de la empresa bajo estudio. En este caso la empresa está considerando implementar un sistema de planeación agregada para determinar los niveles de la fuerza de trabajo y producción de la planta. La empresa produce colorante industrial en presentación de un litro. El coordinador de producción debe decidir el esquema de agregación a utilizar.

Antes que todo, debemos calcular a mano algunos datos necesarios, como lo es, establecer el valor de K (Capacidad requerida por producto o servicio), con algunos datos históricos y ayuda de la siguiente formula:

$$K = \frac{\text{tasa de produccion}}{\text{numero de trabajadores}} =$$

En la Tabla 4 se presentan los datos necesarios para calcular este promedio k, el cual es base para los cálculos de la planeación agregada.

**Tabla 4. Cálculo de la capacidad de producción por día por trabajador**

Datos históricos de meses anteriores	Calculo de las unidades producidas en un día
6,600 unidades en un mes	6600/22
22 días laborales	300
Unidades producidas en un día	K = Numero de operadores/Unidades producidas K = 300 unidades/8 personas
300 unidades producidas al día	
Operadores	
8 personas	K=37.5

El plan agregado se realiza para un periodo de 6 meses. También para ingresar los datos de la Tabla 5 en el software WINQSB ya que necesitamos calcular el índice CRME, el cual divide los días hábiles entre los días base promedio de un mes el cual se considera como 22 días.

**Tabla 5. Cálculo del CRME**

CRME = Dias habiles del mes/dias promedio			
Mes	Dias habiles	Dias promedio	Cociente
Mayo	27	22	1.2273
Junio	26	22	1.1818
Julio	25	22	1.1364
Agosto	26	22	1.1818
Septiembre	25	22	1.1364
Octubre	26	22	1.1818

En base al método de suavizamiento exponencial simple con tendencia (SEST) se pudo calcular las demandas pronosticadas para los seis siguientes periodos de tiempo. La empresa actualmente cuenta con inventario inicial de 3500 botellas de colorante industrial, y al final del periodo de seis meses la empresa quiere tener un inventario de 600 unidades para afrontar demandas futuras a estos pronósticos. Se consideran estos inventarios iniciales y finales para calcular la demanda neta pronosticada, considerando además que la empresa cuenta con 8 trabajadores, estos datos se resumen en la Tabla 6 a continuación.

**Tabla 6. Demanda neta pronosticada**

Mes	Demanda pronosticada (A)	Inventario inicial (B)	Inventario final (C)	Demanda neta pronosticada (A)-(B), (A)+(C)	Demanda neta acumulada
Mayo	5342.797	3500		1842.797	1842.797
Junio	5607.161			5607.161	7449.958
Julio	5871.524			5871.524	13321.482
Agosto	6135.888			6135.888	19457.37
Septiembre	6400.252			6400.252	25857.622
Octubre	6664.616		600	7264.616	33122.238

La Figura 24 presenta la demanda neta pronosticada.



**Figura 24. Demanda neta acumulada.**

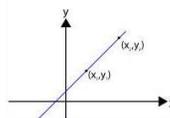
A manera de ilustración, se muestra en la Tabla 7 el calculo del plan de producción del mes en base a la regla de producción lineal, primeramente se calcula la ecuacion de la demanda con los siguientes datos, a fin de determinar la ecuacion de la recta que indica el promedio a producir cada mes:

**Tabla 7. Cálculo por medio de la regla lineal de producción**

	Periodo(x)	Demanda neta acumulada(y)
Punto 1	0	0
Punto 2	6	33122.238

ECUACIÓN DE LA RECTA QUE PASA POR 2 PUNTOS

$$(y - y_1) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$



(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>) = puntos por donde pasa la recta

Puesto que en el periodo 6 se tiene que llegar a una producción acumulada de 27055 unidades, al aplicar la ecuación de la recta dados dos puntos obtenemos la siguiente ecuación para el plan de producción:

$$y = 5520.37x$$

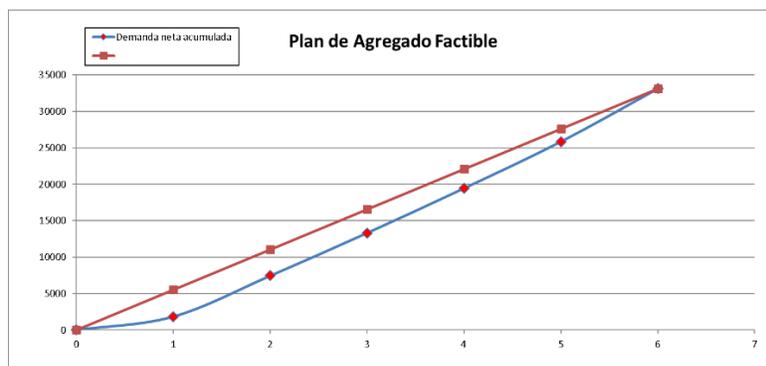
Al utilizar esta ecuación se calcula el inventario restante en cada mes, y la producción para cada mes y la producción acumulada como se muestra en la Figura 25 a continuación.

Mes	Periodo (x)	Demanda neta acumulada	Producción acumulada (y)	Plan de Producción (c/mes)	Inventario
Abril	0	0	0.00	0.00	0
Mayo	1	1842.797	5520.37	5520.37	3678
Junio	2	7449.958	11040.75	5520.37	3591
Julio	3	13321.482	16561.12	5520.37	3240
Agosto	4	19457.37	22081.49	5520.37	2624
Septiembre	5	25857.622	27601.87	5520.37	1744
Octubre	6	33122.238	33122.24	5520.37	0

**Figura 25. Planeación de la producción**

Un plan de producción implica la especificación de los niveles de producción para cada mes. Si no se permiten faltantes, la producción acumulada debe ser al menos igual a la demanda acumulada en cada periodo. Además de la demanda neta acumulada, la siguiente figura ilustra un plan factible de producción.

Este plan se observa de manera gráfica en la Figura 26 y debe asegurarse que la producción acumulada en cualquier momento sea suficiente para satisfacer la demanda acumulada hasta ese punto, evitando así la acumulación de faltantes.



**Figura 26. Plan agregado factible**

### 4.2.1. Estrategia de caza

Con el fin de ilustrar la aplicación de un plan agregado con inventario cero, se asume en esta sección que sólo hay tres costos por considerar, el costo de contratar trabajadores, el costo de despedir trabajadores y el costo de mantener el inventario. Estos costos en base en datos de la empresa se definen de la siguiente manera:

- CH Costo de contratar un trabajador \$6,000.00
- CF Costo de despedir un trabajador \$8,000.00
- CI Costo de mantener una unidad de inventario durante un mes \$80.00

La estrategia de caza aplicada en la empresa se considera para un horizonte de planeación de seis meses. En la Figura 27 se muestra el cálculo realizado de cantidad mínima de trabajadores requeridos para el horizonte de 6 meses.

Mes	Días de trabajo	Unidades producidas por trabajador	Pronostico de demanda neta	Cantidad mínima de trabajadores requeridos	Cantidad mínima de trabajadores requeridos (redondeado)
(A)	(B)	C = ( B x K )	(D)	( D/C )	( redondeado )
Mayo	27	1012.50000	1842.797	1.82	2.00
Junio	26	975.00000	5607.161	5.75	6.00
Julio	25	937.50000	5871.524	6.26	6.00
Agosto	26	975.00000	6135.888	6.29	6.00
Septiembre	25	937.50000	6400.252	6.83	7.00
Octubre	26	975.00000	7264.616	7.45	7.00

**Figura 27. Cantidad mínima de trabajadores**

Posteriormente se calcula el número de contrataciones y despidos necesarios cada mes para el plan de producción como se muestran en la Figura 28.

Mes	Cantidad de trabajadores	Cantidad contratada	Cantidad despedida	Unidades por trabajador (K)	Unidades producidas	Produccion acumulada	Demanda acumulada	Inventario final	Inventario final (redondeado)
(A)	(B)	( C )	(D)	( E )	(F)= (B x E)	(G)	(H)	( I)=(G-H)	( redondeado )
Mayo	2		6	1012.50000	2025.00	2025.00	1843	182.20	183.00
Junio	6	4		975.00000	5850.00	7875.00	7450	425.04	426.00
Julio	6			937.50000	5625.00	13500.00	13321	178.52	179.00
Agosto	6			975.00000	5850.00	19350.00	19457	-107.37	-108.00
Septiembre	7	1		937.50000	6562.50	25912.50	25858	54.88	55.00
Octubre	7			975.00000	6825.00	32737.50	33122	-384.74	-385.00
		5	6						350
		Cantidad de contratados	Cantidad de despedidos						Inventario total final

**Figura 28. Plan de caza**

En la Tabla 8 a continuación se ilustra la cantidad de contrataciones, despidos y el inventario final con la que posteriormente calculamos el costo total del plan de producción.

**Tabla 8. Resultados del método de caza**

	Costos	Cantidad de contratados	Cantidad de despedidos	Inventario total final	Inventario inicial
Consideraciones		5	6	350	3500
costo de contratar =	\$ 6,000.00	\$ 30,000.00			
costo de despedir =	\$ 8,000.00		\$ 48,000.00		
costo de mantener una unidad en inventario al mes =	\$ 80.00			\$ 28,000.00	\$ 280,000.00
<b>Costo total del plan de producción</b>					<b>\$ 386,000.00</b>

El costo total para este plan de producción dado por el método de caza es de \$386,000.00 que posteriormente compararemos con el método de fuerza de trabajo constante. La elección del mejor método de planeación agregada es crucial para optimizar la eficiencia y los costos en la gestión de la producción. En este análisis, se compararán dos enfoques, lo que permitirá determinar cuál de los dos ofrece un mejor rendimiento en términos de costos y eficiencia operativa.

#### 4.2.2. Método de fuerza de trabajo constante

Primeramente, se calcula la cantidad mínima de trabajadores requeridos para los 6 meses en la Figura 29.

Mes	Demanda neta pronosticada	Demanda neta acumulada	Unidades producidas por trabajador	Cantidad acumulada de unidades producidas	Relacion C/E	Fuerza minima ( redondeado hacia arriba )
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	F = ( C/E )	(G)
Mayo	1842.797	1842.797	1012.50000	1012.50000	1.82	2.00
Junio	5607.161	7449.958	975.00000	1987.50000	3.75	4.00
Julio	5871.524	13321.482	937.50000	2925.00000	4.55	5.00
Agosto	6135.888	19457.37	975.00000	3900.00000	4.99	5.00
Septiembre	6400.252	25857.622	937.50000	4837.50000	5.35	6.00
Octubre	7264.616	33122.238	975.00000	5812.50000	5.70	6.00
Cantidad mínima de trabajadores requeridos =						6.00
Contrataciones o despidos =						2.00

**Figura 29. Método de fuerza de trabajo constante parte 1**

Posteriormente en la Figura 30 sirve de apoyo para mostrando la producción mensual y la producción acumulada, información importante para poder calcular el inventario mensual y acumulado del plan de producción.

Mes	Cantidad de unidades producidas por trabajador	Producción mensual	Producción acumulada	Producción acumulada (redondeado)	Demanda neta acumulada	Inventario final
(A)	(B)	$C = (B \times 411)$	(D)	(E)	(F)	$G=(D-E)$
Mayo	1012.50000	6075.00	6075.00	6075	1843	4232
Junio	975.00000	5850.00	11925.00	11925	7450	4475
Julio	937.50000	5625.00	17550.00	17550	13321	4229
Agosto	975.00000	5850.00	23400.00	23400	19457	3943
Septiembre	937.50000	5625.00	29025.00	29025	25858	3167
Octubre	975.00000	5850.00	34875.00	34875	33122	1753
Total inventario=						21799

**Figura 30. Método de fuerza de trabajo constante parte 2**

Con la Tabla 9 se ilustran la cantidad de contratados, de despidos y el inventario final con la que posteriormente calculamos el costo total del plan de producción.

**Tabla 9. Resultados del método fuerza de trabajo constante**

	Costos	Cantidad de contratados	Cantidad de despidos	Inventario total final	Inventario inicial
Consideraciones		0	2	21799	3500
costo de contratar =	\$ 6,000.00	\$ -			
costo de despedir =	\$ 8,000.00		\$ 16,000.00		
costo de mantener una unidad en inventario al mes =	\$ 80.00			\$1,743,920.00	\$ 280,000.00
Costo total del plan de producción				\$2,039,920.00	

El costo total del plan de producción es de \$2,039,920.00 del método fuerza de trabajo constante, el resultado de los dos métodos se ve en la Tabla 10.

**Tabla 10. Tabla de comparación de métodos de planeación agregada**

Metodo	Costo
Metodo de caza	\$ 386,000.00
Metodo de trabajo constante	\$ 2,039,920.00

Los resultados indican que la estrategia de caza es considerablemente más efectiva y resulta en costos operativos significativamente más bajos ya que minimiza los

excesos y carencias de inventario, reduciendo costos de almacenamiento y obsolescencia, además reduce los costos por contratación.

La estrategia de caza se destaca por su flexibilidad y capacidad de respuesta ante cambios en la demanda, ajustando rápidamente las cantidades de producción y niveles de inventario.

En contraste, el método de trabajo constante mantiene una producción uniforme, lo que puede llevar a ineficiencias significativas. Este enfoque puede resultar en acumulación excesiva de inventario durante periodos de baja demanda y en escasez durante picos de demanda, incrementando costos de almacenamiento y riesgos de perder ventas.

Los datos muestran que la estrategia de caza reduce significativamente los costos totales en comparación con el método de trabajo constante. Se reducen los costos de mantenimiento de inventarios gracias a una mayor precisión en la producción y la demanda real. Además, la capacidad de responder rápidamente a cambios en la demanda minimiza la necesidad de descuentos y liquidaciones de productos obsoletos, mejorando el margen de beneficios.

En resumen, la estrategia de caza es superior en términos de eficiencia de costos y gestión de inventarios, optimizando el uso de recursos y mejorando la capacidad de la empresa para satisfacer las necesidades del mercado de manera efectiva.

#### **4.2.3. Uso del software WinQSB para Planeación agregada**

Se utiliza el software WinQSB para realizar el cálculo de los dos métodos anteriormente aplicados en la planeación agregada, para comenzar a calcular el plan de producción es necesario seguir los siguientes pasos:

- Ir a la máquina virtual
- Entrar al software “WinQSB”
- Abrir la función de Aggregate Planning, que se ilustra en la Figura 31.



**Figura 31. Planeación agregada**

Primeramente, calculamos el CRM con base en los datos de la empresa dividiendo el número de trabajadores base entre el número de unidades producidas en un mes.

Teniendo los siguientes datos históricos:

Se tiene 6600 unidades producidas al mes por 8 trabajadores

Entonces se tiene que el CMR se puede calcular de la siguiente manera:

$$CMR = 8/6,600$$

$$CMR = 0.001212$$

Se coloca el nombre del material sobre el cual se va a trabajar, colocamos el modo "hire/dismissal", tal como se ve muestra en la Figura 32, con propósito de permitir contrataciones y despidos, la unidad de tiempo.

**Figura 32. Especificaciones del problema**

En la Figura 33 se ingresan datos como la demanda pronosticada, el numero inicial de empleados, el CRME (el porcentaje de tiempo disponible cada mes), costos de contratación, costo de despido, inventario inicial, inventario final y costo de inventario.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	5342.797	5607.161	5871.524	6135.888	6400.252	6664.616
Initial Number of Employee	8					
Regular Time Capacity in Week per Employee	1.2273	1.1818	1.1364	1.1818	1.1364	1.1818
Regular Time Cost per Week						
Undertime Cost per Week						
Hiring Cost per Employee	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Dismissal Cost per Employee	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Initial Inventory (+) or Backorder (-)	3500					
Maximum Inventory Allowed	M	M	M	M	M	M
Minimum Ending Inventory (Safety Stock)						
Unit Inventory Holding Cost	80	80	80	80	80	80
Other Unit Production Cost						
Capacity Requirement in Week per Unit	.001212	.001212	.001212	.001212	.001212	.001212

**Figura 33. Introducción de datos**

#### 4.2.4. WinQSB para método de caza

Se selecciona la séptima opción (Up-to-demand with Regular and Overtime Employee) que corresponde al método de caza, como se muestra en la Figura 34.

The screenshot shows the 'Aggregate Planning Option' dialog box. It is divided into several sections:

- Solution Method:** A list of radio buttons with the following options:
  - Constant Average Production (Level Strategy)
  - Periodic Average Production (Level Strategy)
  - Constant Regular Time Employee (Level Strategy)
  - Constant with Initial Employee (Level Strategy)
  - Constant with Minimum Employee (Level Strategy)
  - Up-to-demand with Regular Time Employee
  - Up-to-demand with Regular and Overtime Employee** (selected)
  - Up-to-demand with No Hiring/Dismissal
  - User Assigns/Adjusts Production
  - Linear Programming Optimal Solution
- Production Priority If Needed:** A list of checkboxes with corresponding input fields for priority values (1 to 5):
  - Overtime: [ ]
  - Hiring/dismissal: [x]**
  - Subcontracting: [ ]
  - Backorder: [ ]
  - Lost-sales: [ ]
- Proposed Average Production:** A text box containing the value 4510.
- Production Quantity:** A list of radio buttons:
  - Fraction allowed
  - Whole number** (selected)
  - in 10s
  - in 100s
  - in 1000s
  - in lot-size: [ 1 ]
- Buttons:** OK, Cancel, and Help.

Figura 34. Selección de método

En la Figura 35 se observa como el software reporta los detalles del plan de producción, el cual muestra el número de empleados necesarios por periodo. Indica en qué periodos despedir y contratar, así como la producción correspondiente a cada periodo.

09-03-2024 12:14:53	Demand	Regular Production	Ending Inventory	Hiring	Dismissal	Number of Employees
Initial			3,500.00			8.00
Period 1	5,342.80	1,843.00	0.20	0.00	6.00	2.00
Period 2	5,607.16	5,608.00	1.04	4.00	0.00	6.00
Period 3	5,871.52	5,872.00	1.52	1.00	0.00	7.00
Period 4	6,135.89	6,136.00	1.63	0.00	0.00	7.00
Period 5	6,400.25	6,401.00	2.38	0.00	0.00	7.00
Period 6	6,664.62	6,665.00	2.76	0.00	0.00	7.00
Total	36,022.24	32,525.00	9.53	5.00	6.00	

**Figura 35. Método de caza**

La Figura 36 muestra cómo quedará el plan de producción en cuanto a los costos de producción, incluyendo los costos asociados con los periodos en los que se contratará o despedirá personal, tal como se presenta en la siguiente tabla.

09-03-2024 12:23:09	Regular Time	Inventory Holding Cost	Hiring	Dismissal	TOTAL COST
Period 1	0	\$16.25	0	\$48,000	\$48,016.25
Period 2	0	\$83.36	\$24,000	0	\$24,083.36
Period 3	0	\$121.45	\$6,000	0	\$6,121.45
Period 4	0	\$130.39	0	0	\$130.39
Period 5	0	\$190.23	0	0	\$190.23
Period 6	0	\$220.94	0	0	\$220.94
Total	0	\$762.62	\$30,000	\$48,000	\$78,762.62

**Figura 36. Detalle de costos**

El software también presenta los resultados de manera visual a través de gráficos donde seleccionamos primero las 3 primeras variables a graficar, tal como lo ilustra la Figura 37.

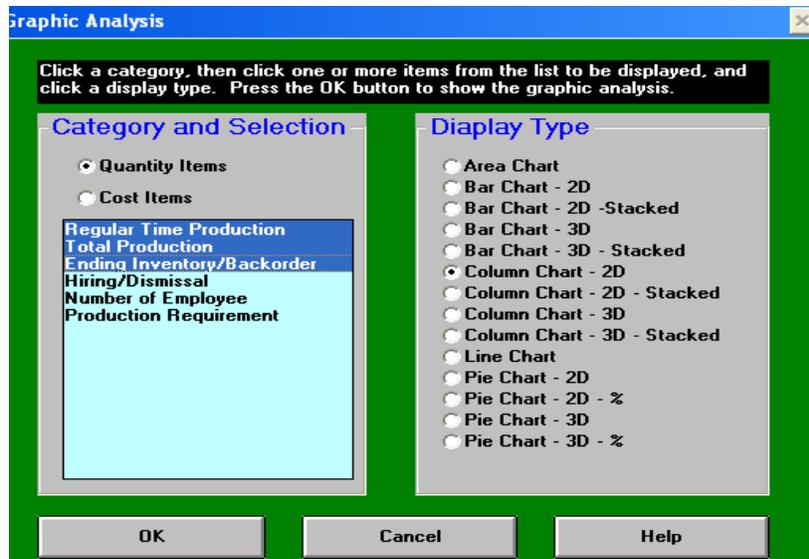
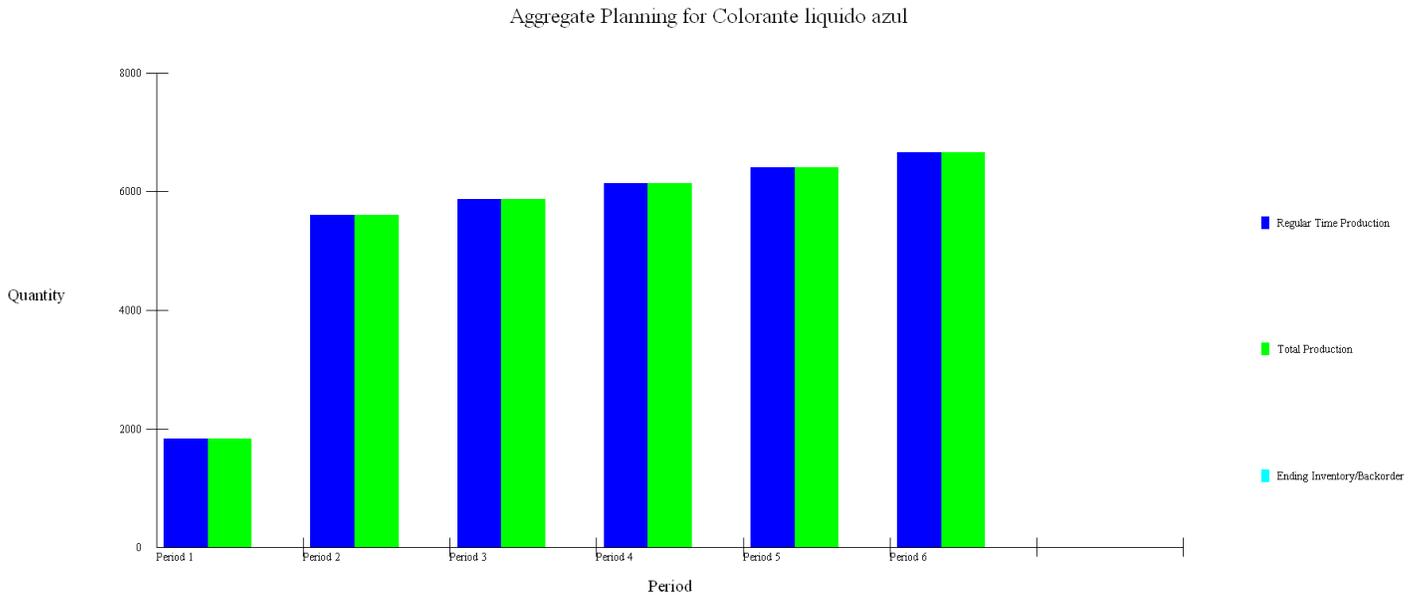


Figura 37. Selección de variables a graficar

#### 4.2.5. Gráficos del método de caza

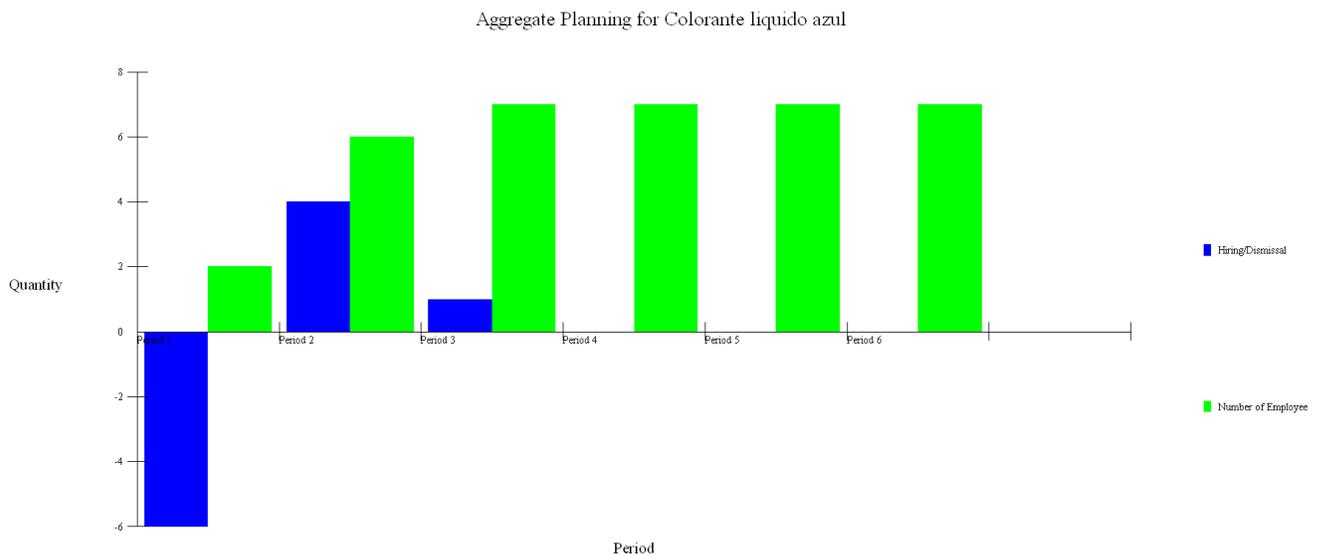
Esta la Figura 38 se ilustra el total de la producción (en las barras verdes), la producción en tiempo regular (en las barras azules) y el inventario final (en barras azul claro, aunque con este método el inventario es cero). Como se está aplicando la estrategia de método de caza el cual busca reducir el inventario a cero, se puede decir que este método si logra este objetivo, pues en los meses intermedios no hay

inventario. Solamente se considera inventario al final del periodo de planeación en el sexto mes.



**Figura 38. Producción total e inventario final**

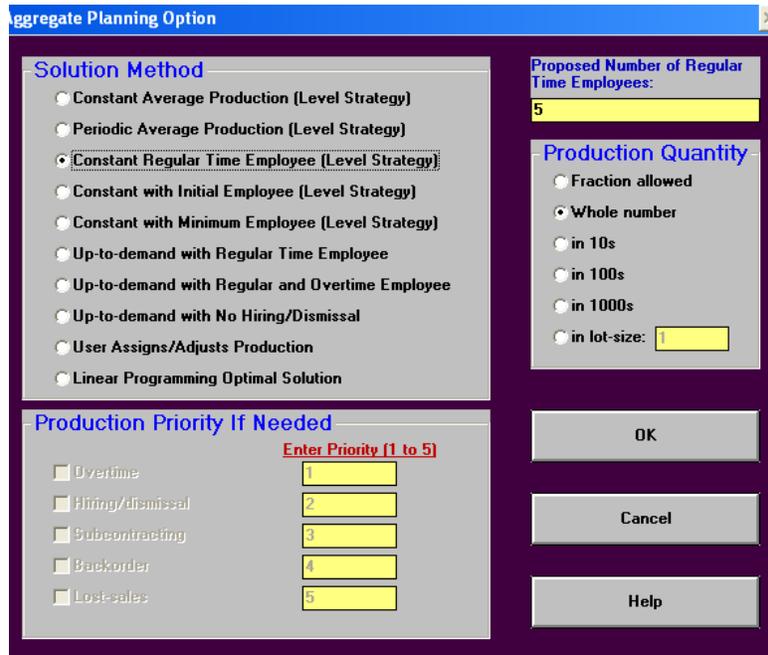
La Figura 39 muestra el detalle de contrataciones y despidos para el plan de producción. La barra azul en la zona positiva indica las contrataciones y en la zona negativa indica los despidos.



**Figura 39. Detalle de contrataciones y despidos**

#### 4.2.6. WinQSB para método de fuerza de trabajo constante

Para aplicar el método de fuerza de trabajo constante se selecciona la tercera opción detallada en la Figura 40.



**Figura 40. Selección del método**

El software nos reporta mediante la Figura 41, los resultados del plan de producción, el cual muestra el número de empleados necesarios por periodo. Nos indica en qué periodos despedir y contratar, así como la producción correspondiente a cada mes.

09-03-2024 12:37:20	Demand	Regular Production	Ending Inventory	Hiring	Dismissal	Number of Employees
Initial			3,500.00			8.00
Period 1	5,342.80	6,076.00	4,233.20	0.00	2.00	6.00
Period 2	5,607.16	5,850.00	4,476.04	0.00	0.00	6.00
Period 3	5,871.52	5,626.00	4,230.52	0.00	0.00	6.00
Period 4	6,135.89	5,850.00	3,944.63	0.00	0.00	6.00
Period 5	6,400.25	5,626.00	3,170.38	0.00	0.00	6.00
Period 6	6,664.62	5,850.00	2,355.76	0.00	0.00	6.00
Total	36,022.24	34,878.00	22,410.54	0.00	2.00	

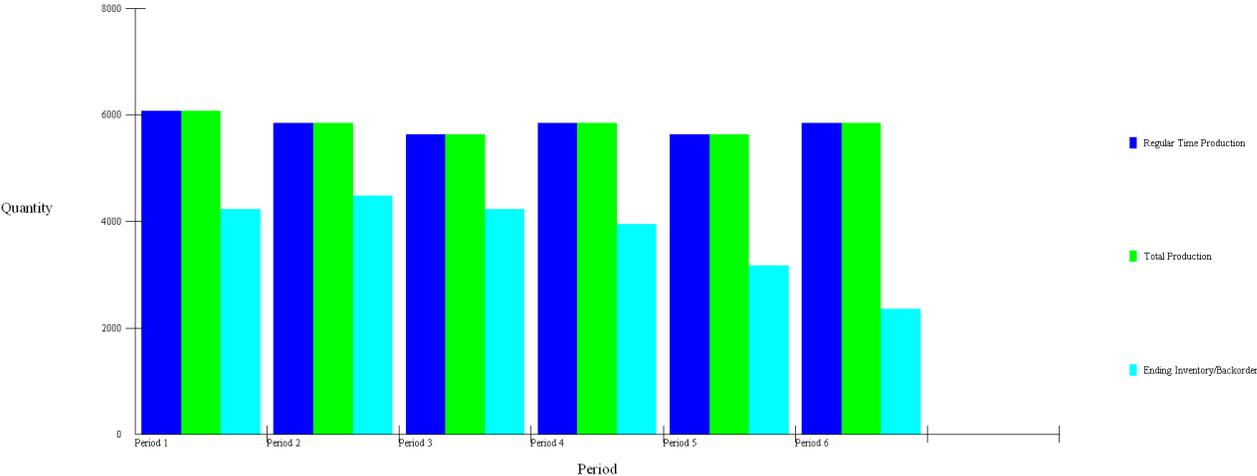
**Figura 41. Resultados del método de trabajo constante**

La Figura 42 ilustra cómo quedará el plan en cuanto a los costos de producción, incluyendo los costos asociados con los periodos en los que se contratará o despedirá personal.

09-03-2024 12:48:51	Regular Time	Inventory Holding Cost	Hiring	Dismissal	TOTAL COST
Period 1	0	\$338,656.25	0	\$16,000	\$354,656.25
Period 2	0	\$358,083.38	0	0	\$358,083.38
Period 3	0	\$338,441.44	0	0	\$338,441.44
Period 4	0	\$315,570.38	0	0	\$315,570.38
Period 5	0	\$253,630.23	0	0	\$253,630.23
Period 6	0	\$188,460.94	0	0	\$188,460.94
Total	0	\$1,792,842.75	0	\$16,000	\$1,808,842.50

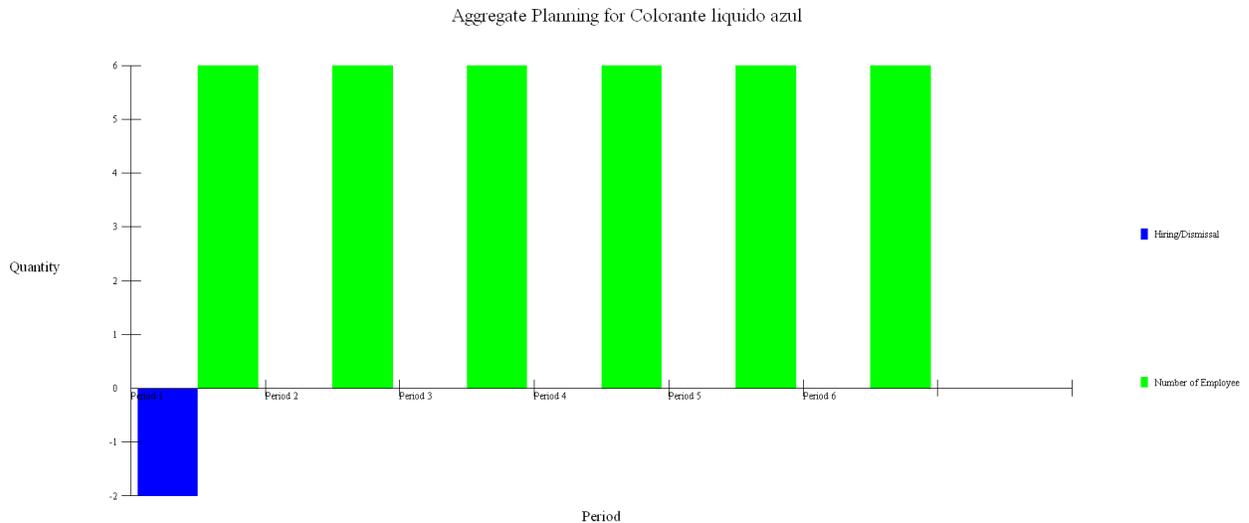
**Figura 42. Costos del método**

En la Figura 43 ilustra el total de la producción, la producción en tiempo regular y el inventario final. Como puede observarse claramente este método fija el tamaño de los trabajadores en 6 y no realiza más contrataciones ni despidos. Sin embargo, el inventario aumenta considerablemente en comparación con el método anterior, y esto aumenta significativamente el costo total.



**Figura 43. Producción total e inventario**

La Figura 44 muestra el detalle de contrataciones y despidos del plan de producción.



**Figura 44. Detalle de contrataciones y despidos**

La conclusión a la que se llega con los resultados del WinQSB del módulo de planeación agregada, es que el método recomendado para la empresa es la técnica de inventario cero pues arroja un costo total considerablemente menor al obtenido con la técnica de fuerza de trabajo constante.

### **4.3. Resultados de la planeación de requerimiento de materiales (MRP)**

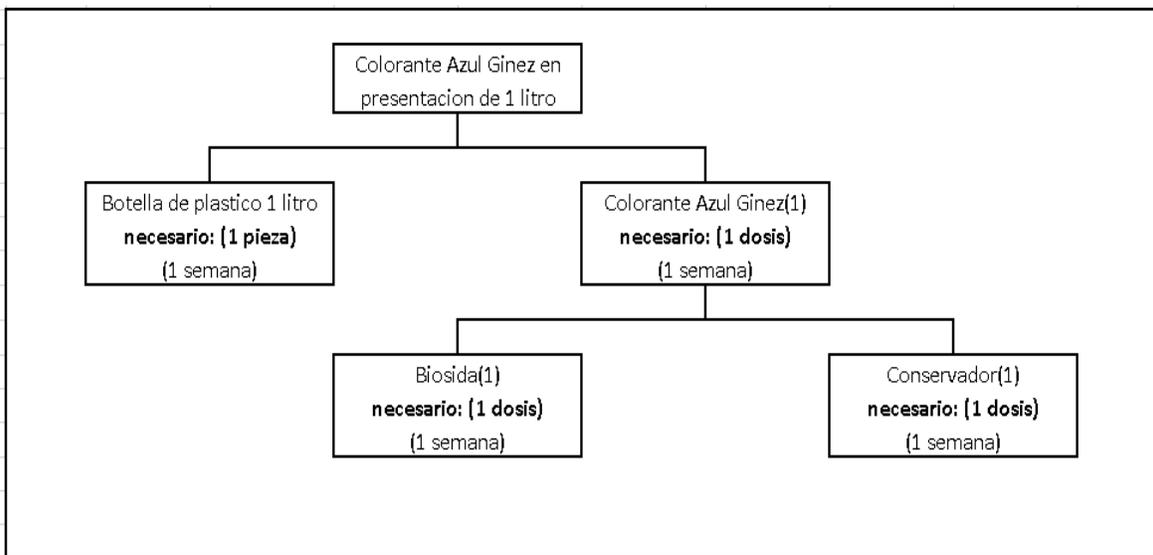
Cabe hacer notar que el MRP más que verlo como una planeación, este tiene un enfoque de sistema y un método a la vez, el cual tiene como propósito iniciar la producción anticipándose a la demanda en el futuro, incorpora pronósticos, considera inventarios, recepciones entre otros.

En este apartado de la tesis se muestra un análisis de cómo la empresa puede aplicar el plan maestro de producción como alimentación al MRP, como se convierten las estructuras del producto a relaciones de causa a efecto entre los niveles del sistema de producción, como se calculan los tiempos de demora de producción para obtener requerimientos desplazados en el tiempo y como los métodos de dimensionamiento de lote dan como resultado programas específicos.

### 4.3.1. Cálculo de explosión

Se asigna el nombre de cálculo de explosión al conjunto de reglas mediante el cual los requerimientos brutos de un nivel de estructura del producto se traducen a un programa de producción en ese nivel y en requerimientos a niveles inferiores.

En el corazón de cualquier sistema de planeación de requerimiento de materiales esta la estructura del producto, esta muestra en detalle la relación padre-hijo entre los componentes y los artículos finales en cada nivel, la cantidad de periodos requeridos para producir cada componente y la de los componentes necesarios al nivel hijo para producir una unidad al nivel de padre. La Figura 45 presenta la estructura del producto mencionada anteriormente aplicada a los datos específicos de la empresa que serán analizados.



**Figura 45. Estructura de producción**

Antes de empezar a desarrollar el MRP, es necesario definir que se necesitan 5 semanas para producir un lote de colorante industrial líquido azul, por ende, la empresa debe comenzar a producir hoy para que el producto se embarque dentro de 5 semanas. De esto se consideran pronósticos de demanda que sean válidos para un mínimo de 5 semanas futuras. Además de que la empresa recibe

devoluciones periódicas de las sucursales (productos defectuosos o dañados en el embarque). Con base en las devoluciones actuales y anticipadas.

#### 4.3.2. WinQSB para MRP

Para desarrollar los cálculos del MRP se utiliza el software WinQSB, para iniciar este módulo es necesario seguir los siguientes pasos:

- Ir a la máquina virtual
- Entrar al software “WinQSB”
- Abrir la función de Material Requirements Planning, ilustrada en la Figura 46.



**Figura 46. Material requeriment planning**

Se coloca el nombre del material sobre el cual se va a trabajar, colocamos el número de partes que están considerados en el BOM (lista de materiales) del producto bajo estudio, la unidad de tiempo y el número de periodos en la que se va a planear, así como otros datos que se muestran en la Figura 47.

**Figura 47. Especificaciones del MRP**

Posterior en la Figura 48 se introduce información importante para el MRP como los códigos de elemento en el BOM, el lead time o tiempos de producción y la especificación de la regla de dimensionamiento de lote que en este caso se aplica la técnica lote por lote.

No	Item ID	ABC Class	Source Code	Material Type	Unit Measure	Lead Time	Lot Size	LS Multiplier	Scrap %	Annual Demand	Unit Cost	Setup Cost	Holding Annual Cost	Shortage Annual Cost	Item Description	Other Note
1	Item 1		CAG		Each	0	L4L				80		5	M		
2	Item 2		BP		Each	1	L4L							M		
3	Item 3		CA		Each	1	L4L							M		
4	Item 4		B		Each	1	L4L							M		
5	Item 5		C		Each	1	L4L							M		

**Figura 48. Datos del MRP**

También es necesario alimentar el MRP con la estructura del producto, la cual se introduce en la Figura 49 a continuación.

Item ID	Component ID/Usage	Component ID/Usage	Component ID/Usage	Component ID/Usage
Item 1	2/1	3/1		
Item 2				
Item 3	4/1	5/1		
Item 4				
Item 5				

**Figura 49. Estructura del producto**

En la sección de “Master production scheduling” se procede a ingresar los datos de demanda del producto que se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11. Sensibilidad del balanceo de línea**

Datos										
Semana	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Demanda	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248

Se ingresan los datos de demanda el módulo MRP en el software tal como se muestra en la Figura 50.

Item ID	Overdue Requirement	week 1 Requirement	week 2 Requirement	week 3 Requirement	week 4 Requirement	week 5 Requirement	week 6 Requirement	week 7 Requirement	week 8 Requirement	week 9 Requirement	week 10 Requirement
Item 1		1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248	1248
Item 2											
Item 3											
Item 4											
Item 5											

**Figura 50. Requerimientos por semana**

Se observa en la Figura 51 como también se consideran datos de devoluciones a través de las semanas.

Devoluciones										
Semana	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Devoluciones	37	62	0	0	56	0	25	25	0	0
Porcentaje pronosticado de devoluciones	3%	5%	0%	0%	5%	0%	2%	2%	0%	0%

**Figura 51. Devoluciones**

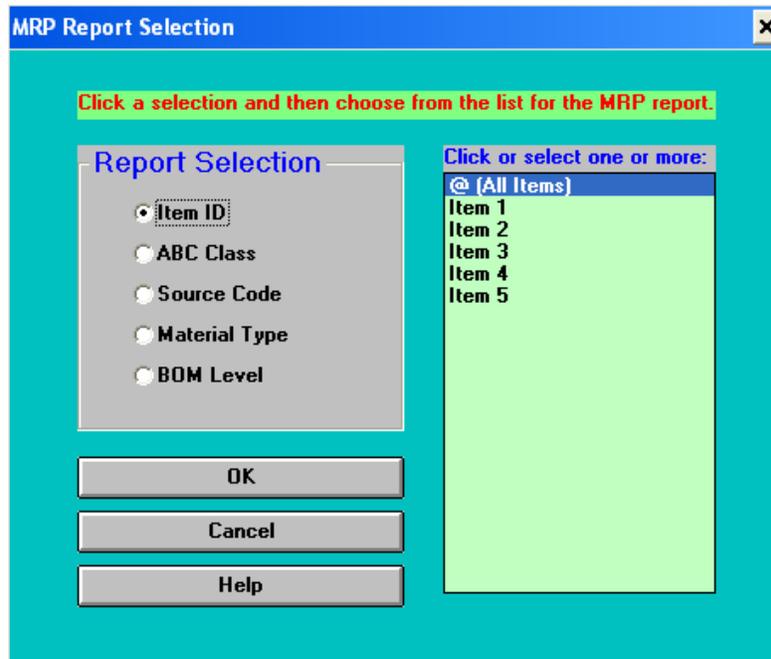
Se ingresan los datos de las devoluciones en el módulo del MRP, como se observa en la Figura 52.

Item ID	Safety Stock	On Hand Inventory	Overdue Planned Receipt	week 1 Planned Receipt	week 2 Planned Receipt	week 3 Planned Receipt	week 4 Planned Receipt	week 5 Planned Receipt	week 6 Planned Receipt	week 7 Planned Receipt	week 8 Planned Receipt	week 9 Planned Receipt	week 10 Planned Receipt
Item 1				37	62			56		25	25		
Item 2													
Item 3													
Item 4													
Item 5													

**Figura 52. Recepciones planeadas por semana**

El software genera un informe detallado del MRP basado en el ítem específico que necesitamos analizar. Para realizar esta acción, seleccionaremos la opción

correspondiente al ítem en el menú del software que se muestra a continuación en la Figura 53, lo que nos permitirá obtener un reporte preciso y enfocado en el ítem seleccionado, facilitando así la planificación y gestión de materiales de manera eficiente.



**Figura 53. Selección de reporte del MRP**

A continuación, en la Figura 54, se presentan los resultados de las 10 semanas consideradas que reporta el módulo del MRP. Cabe mencionar que este módulo realiza los cálculos de los requerimientos netos, considerando las recepciones y el inventario disponible. Afín de calcular los requerimientos proyectados de los componentes y realizar los ajustes necesarios de dimensionamiento de lote para emitir las órdenes planeadas de estos componentes. Estos cálculos se realizan para cada uno de los componentes del producto. Los resultados del MRP son muy importantes para la empresa pues permite coordinar eficientemente la compra de materiales y la producción de componentes, indicando para cada nivel la cantidad y el tiempo adecuado para iniciar la producción de cada componente.

06-06-2024	Overdue	week 1	week 2	week 3	week 4	week 5	week 6	week 7	week 8	week 9	week 10	Total
Item: 1		LT = 0	SS = 0	LS = L4L	UM = Each	ABC =	Source = CAG	Type =	A.Demand = 0	@Cost = 80	SetupCost = 0	H.Cost = 5
Gross Requirement	0	1,248	1,248	1,248	1,248	1,248	1,248	1,248	1,248	1,248	1,248	12,480
Scheduled Receipt	0	37	62	0	0	56	0	25	25	0	0	205
Projected On Hand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected Net Requirement	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Planned Order Receipt	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Planned Order Release	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Item: 2		LT = 1	SS = 0	LS = L4L	UM = Each	ABC =	Source = BP	Type =	A.Demand = 0	@Cost = 0	SetupCost = 0	H.Cost = 0
Gross Requirement	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected Net Requirement	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Planned Order Receipt	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Planned Order Release	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Item: 3		LT = 1	SS = 0	LS = L4L	UM = Each	ABC =	Source = CA	Type =	A.Demand = 0	@Cost = 0	SetupCost = 0	H.Cost = 0
Gross Requirement	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected Net Requirement	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Planned Order Receipt	0	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	12,275
Planned Order Release	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Item: 4		LT = 1	SS = 0	LS = L4L	UM = Each	ABC =	Source = B	Type =	A.Demand = 0	@Cost = 0	SetupCost = 0	H.Cost = 0
Gross Requirement	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected Net Requirement	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Planned Order Receipt	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Planned Order Release	2,397	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	0	12,275
Item: 5		LT = 1	SS = 0	LS = L4L	UM = Each	ABC =	Source = C	Type =	A.Demand = 0	@Cost = 0	SetupCost = 0	H.Cost = 0
Gross Requirement	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected Net Requirement	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Planned Order Receipt	1,211	1,186	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	12,275
Planned Order Release	2,397	1,248	1,248	1,192	1,248	1,223	1,223	1,248	1,248	0	0	12,275

**Figura 54. Resultados del MRP**

**Ejemplo de la Interpretación del MRP de la Figura 54 para un Componente:**

Tomemos como referencia el Item 1 que aparece en la tabla:

1) Requerimientos Brutos (Gross Requirement):

Se observa que el requerimiento bruto para el Item 1 es constante durante las primeras 10 semanas, con un valor de 1,248 unidades por semana. Esto representa la demanda de este componente, ya sea para la producción final o para la venta.

2) Recepciones Programadas (Scheduled Receipt):

Hay recepciones programadas para este componente, en la semana 1, 2, 5, 7 y 8 lo que indica se esperan entregas de materiales que hay que tomar en cuenta en la toma de decisiones.

3) Inventario Proyectado (Projected On Hand):

El inventario proyectado en mano inicia en cero para la primera semana, lo que implica que no hay inventario inicial disponible para satisfacer los requerimientos.

#### 4) Requerimientos Netos Proyectados (Projected Net Requirement):

Dado que hay recepciones programadas, los requerimientos deben ajustarse, lo que da el resultado de 1,211 unidades para la primera semana. Esto refleja la necesidad considerar el inventario inicial y las recepciones programadas en la toma de decisiones.

#### 5) Órdenes Planeadas de Recepción (Planned Order Receipt):

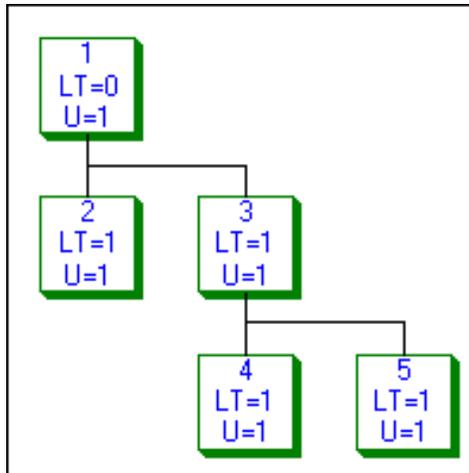
En este caso, se utiliza el método de lote por lote el cual define la orden de producción en 1211, el cual es el mismo monto que los requerimientos netos. Pues esta técnica es una especie de estrategia de caza que persigue la demanda.

#### 6) Órdenes Planeadas de Liberación (Planned Order Release):

Como no hay formación de lotes o agrupamiento de la demanda, las ordenes planeadas son las mismas que las ordenes de recepción.

Este análisis muestra cómo el MRP ayuda a determinar cuándo y cuántas unidades deben producirse o comprarse para cubrir las necesidades de la empresa. El sistema ajusta las órdenes en función de la demanda semanal y asegura que no haya escasez de materiales, siempre que las órdenes se liberen y reciban de acuerdo con lo planificado. Esto optimiza el flujo de producción, minimizando los costos de inventario y las posibles demoras en la entrega de productos.

La Figura 55 presenta la estructura del producto dada de alta en el software, la cual considera las demoras de producción y las cantidades de los componentes necesarios para fabricar un producto final.



**Figura 55. Estructura de componentes del producto**

La aplicación de la técnica de MRP mediante el software WinQSB permite coordinar la producción y el suministro de los componentes clave de la empresa y coordinar eficientemente la producción.

#### **4.4. Resultados de la programación de actividades**

En esta sección se aplica la técnica de peso posicional clasificado a fin de realizar un balanceo de línea del proceso de producción del producto bajo estudio. En esta técnica se asigna un peso o factor de ponderación a cada tarea, con base en el tiempo total requerido por todas las tareas posteriores necesarias para fabricar un producto. Las tareas se asignan en forma secuencial a las estaciones de trabajo, con base en esos factores de ponderación. Este método asegura que cada tarea se realice de manera eficiente, optimizando el tiempo y los recursos disponibles.

En esta PYME se propone realizar balanceo de línea sobre el proceso de producción y envasado de colorante líquido industrial, el cual requiere un total de 12 tareas. El proceso se realiza en la planta de la empresa, en Hidalgo, con varios componentes importados de la India. Las tareas necesarias para la producción son las siguientes:

**1. Lavado de tambores:**

- Lavado de tambores vacíos y preparación para el siguiente ciclo de producción.

**2. Fraccionamiento de pigmento:**

- Medición y fraccionamiento del pigmento necesario para la dilución del colorante.

**3. Preparación del conservante:**

- Preparación y medición del conservante necesario para el producto.

**4. Llenado del contenedor de agua:**

- Llenado de un contenedor de agua de 1000 litros en preparación para la dilución.

**5. Adición del compuesto químico al agua:**

- Medición y adición del compuesto químico necesario para tratar el agua.

**6. Vertido del agua en los tambores:**

- Vertido del agua tratada en los tambores siguiendo cantidades específicas para cada tambor.

**7. Adición de pigmento y conservante:**

- Adición del pigmento y el conservante a los tambores.

**8. Mezcla de pigmento y conservante:**

- Mezcla manual de pigmento y conservante en los tambores hasta obtener una mezcla homogénea.

### 9. Vertido del colorante en botellas:

- Vertido del colorante preparado en botellas de litro usando una jarra dosificadora.

### 10. Cierre de botellas:

- Colocación de tapas en las botellas llenas para asegurar el sellado.

### 11. Limpieza y etiquetado de botellas:

- Limpieza de las botellas etiquetadas y preparación para empaquetado.

### 12. Empaquetado y preparación para distribución:

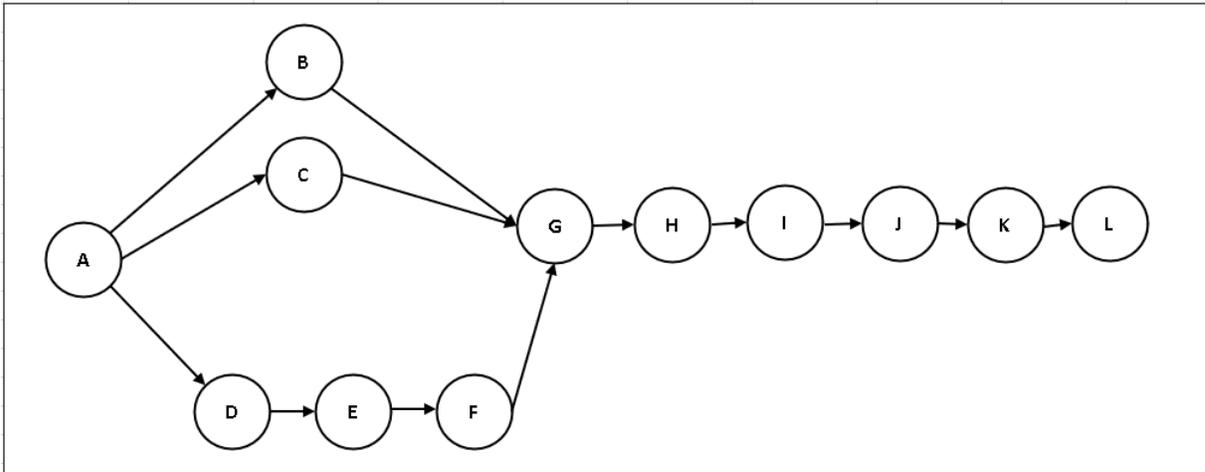
- Colocación de las botellas etiquetadas en cajas, empaquetado de las cajas y preparación para la distribución.

La Figura 56 detalla los tiempos de producción correspondientes a cada una de las 12 tareas del proceso de producción, mostrando claramente el orden secuencial de ejecución de cada tarea y los tiempos asociados a cada una de ellas.

Proceso de producción para lote de 200 litros de colorante				
Numero	Actividad	Identificación	Tiempo(m)	Act. Sucesoras
1	Lavado de tambores:	A	15	B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L
2	Fraccionamiento de pigmento:	B	10	G,H,I,J,K,L
3	Preparación del conservante:	C	5	G,H,I,J,K,L
4	Llenado del contenedor de agua:	D	20	E,F,G,H,I,J,K,L
5	Adición del compuesto químico al agua:	E	5	F,G,H,I,J,K,L
6	Vertido del agua en los tambores:	F	10	G,H,I,J,K,L
7	Adición de pigmento y conservante:	G	5	H,I,J,K,L
8	Mezcla de pigmento y conservante:	H	15	I,J,K,L
9	Vertido del colorante en botellas:	I	25	J,K,L
10	Cierre de botellas:	J	10	K,L
11	Limpieza y etiquetado de botellas:	K	15	L
12	Empaquetado y preparación para distribución:	L	20	
Total			155	

Figura 56. Identificación de actividades.

La Figura 57 presenta el diagrama detallado de restricciones de precedencia de actividades, donde se muestra claramente la secuencia necesaria para cada tarea antes de proceder con la siguiente, asegurando así una ejecución eficiente y ordenada del proceso de producción.



**Figura 57. Restricciones de precedencia de actividades**

Es necesario calcular la cantidad mínima de estaciones de trabajo necesarias bajo la siguiente lógica:

- En base a los datos de demanda del cliente se necesita producir un lote de 200 kilos de colorante cada 30 minutos.
- El tiempo total para elaborar un lote es de 155 minutos según los datos de la tabla de actividades

Entonces se divide el tiempo de producción entre el tiempo objetivo a fabricar, es decir:

$$\frac{155 \text{ minutos}}{30 \text{ minutos}} = 5.16 \rightarrow 6 \text{ estaciones}$$

Al redondear el resultado anterior se necesita aproximadamente 6 estaciones de trabajo. En la Figura 58 se determina el peso posicional de cada tarea (tiempo requerido para llevar a cabo la tarea X más los tiempos requeridos para realizar todas las tareas que tengan como predecesor a la tarea X).

Tarea	Peso posicional
1	155
2	140
3	130
4	125
5	105
6	100
7	90
8	85
9	70
10	45
11	35
12	20

**Figura 58. Peso posicional de las distintas tareas**

Los datos anteriores se ordenan en la Figura 59 de mayor a menor por su peso posicional considerando que las tareas se asignan en forma secuencial a las estaciones, en el orden de su clasificación y solo se hacen asignaciones que no violen las restricciones de precedencia.

Tarea	Peso posicional
A	155
D	125
E	105
B	100
F	100
C	95
G	90
H	85
I	70
J	45
K	35
L	20

**Figura 59. Peso posicional ordenado**

A continuación, se muestra en la Figura 60, la distribución de las tareas en las 6 estaciones de trabajo que fueron calculadas, se puede observar la elección de las

actividades que mejor se acomodan al tiempo de ciclo que elegimos, respetando la restricción del tiempo de ciclo.

Para la estación 1			
Tiempo de ciclo C	30	min	Tiempo restante
		Incluyendo la actividad 1:	15 minutos restantes
		Incluyendo la actividad 1 y 2:	5 minutos restantes
	Mejor	Incluyendo la actividad 1,2 y 3:	0 minutos restantes
por lo tanto se incluye la actividad 1,2 y 3 en la estación 1, con 0 minutos de inactividad			
Para la estación 2:			
Tiempo de ciclo C	30	min	Tiempo restante
		Incluyendo la actividad 4:	10 minutos restantes
	Mejor	Incluyendo la actividad 4 y 6:	0 minutos restantes
por lo tanto se incluyen las actividades 4 y 6 en la estación 2, con 0 minutos de inactividad			
Para la estación 3:			
Tiempo de ciclo C	30	min	Tiempo restante
		Incluyendo la actividad 5:	25 minutos restantes
		Incluyendo la actividad 5 y 7:	20 minutos restantes
	Mejor	Incluyendo la actividad 5,7 y 8:	5 minutos restantes
por lo tanto se incluyen las actividades 5,7 y 8 en la estación 5, con 5 minutos de inactividad			
Para la estación 4:			
Tiempo de ciclo C	30	min	Tiempo restante
	Mejor	Incluyendo la actividad 9:	5 minutos restantes
por lo tanto se incluye la actividad 9 en la estación 3, con 5 minutos de inactividad			
Para la estación 5:			
Tiempo de ciclo C	30	min	Tiempo restante
		Incluyendo la actividad 10 y 11:	5 minutos restantes
por lo tanto se incluyen las actividades 10 y 11 en la estación 4, con 5 minutos de inactividad			
4.6) Para la estación 6:			
Tiempo de ciclo C	30	min	Tiempo restante
		Incluyendo la actividad 12:	10 minutos restantes
por lo tanto se incluye la actividad 12 en la estación 6, con 10 minutos de inactividad			

**Figura 60. Asignación de actividades**

El resultado final del balanceo de línea se presenta en la Figura 61, donde se presenta el detalle de las actividades asignadas en las estaciones de trabajo. De los resultados obtenidos se puede observar que el tiempo de inactividad en la línea es de 25 minutos.

Estacion	1	2	3	4	5	6
Tareas	1,2,3	4,6	5,7,8	9	10,11	12
Tiempo inactivo	0	0	5	5	5	10

**Figura 61. Resultados del balanceo de línea**

Además, se calcula el porcentaje total de inactividad que se consigue dividiendo estos 25 minutos de inactividad entre los 155 minutos totales para hacer el proceso.

$$\text{Porcentaje total de inactividad} = \frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{Tiempo total de proceso}}$$

$$PTI = \frac{25}{155} = 16.13\%$$

Se observa que el balanceo de línea propuesto reporta un 16.13% de tiempo de inactividad. Al calcular la producción diaria, se supone que un día de producción es de 8 horas y al considerar un tiempo de ciclo de 30 minutos, se obtiene:

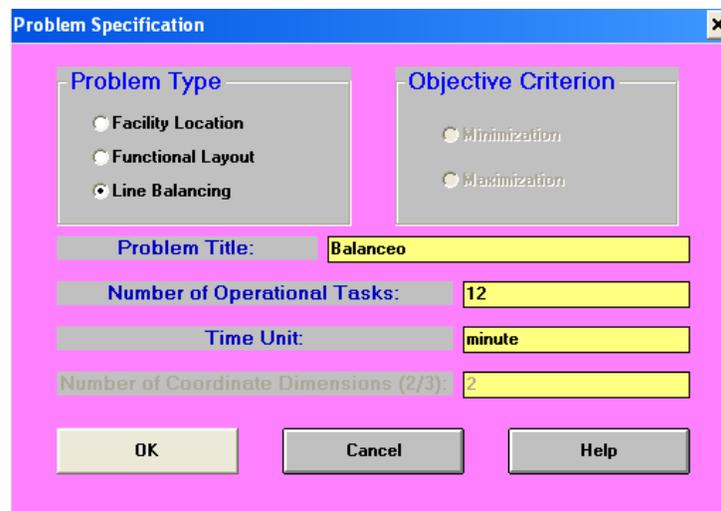
$$\text{Produccion total diaria} = \frac{(8 \text{ horas})}{(.5 \text{ horas})} = 16 \text{ lotes de colorante}$$

#### 4.4.1 WinQSB para el balanceo de línea

Los resultados anteriores se corroboran mediante el software WinQSB, para comenzar a calcular el balanceo de línea es necesario seguir los siguientes pasos:

- Ir a la máquina virtual
- Entrar al software “WinQSB”
- Abrir la función de Line balancing solution que se ilustra en la Figura 62.

El ingresar al módulo de balanceo de línea se coloca el número de tareas del proceso de producción que en este caso son doce.



**Figura 62. Especificaciones del problema**

La Figura 63 muestra el tiempo de cada tarea en minutos, así como la tarea que es inmediata sucesora de cada actividad. Esta información es esencial para planificar y balancear la línea de producción minimizando el tiempo de inactividad.

Task Number	Task Name	Task Time in minute	Task Isolated (Y/N)	Immediate Successor (task number separated by .)
1	Task 1	15	No	2,3,4
2	Task 2	10	No	7
3	Task 3	5	No	7
4	Task 4	20	No	5
5	Task 5	5	No	6
6	Task 6	10	No	7
7	Task 7	5	No	8
8	Task 8	15	No	9
9	Task 9	25	No	10
10	Task 10	10	No	11
11	Task 11	15	No	12
12	Task 12	20	No	

Figura 63. Datos de inicio del balanceo de línea

En la Figura 64 se observa cómo se elige el método de peso posicional rankeado y se indica el tiempo de ciclo deseado por la empresa de 30 minutos.

The screenshot shows a dialog box titled "Line Balancing Solution". It contains several sections for configuration:

- Solution Method:**
  - Heuristic Procedure
  - Optimizing Best Bud Search
  - COMSOAL Type Random Generation
- Primary Heuristic:**
  - Fewest Followers
  - Fewest Immediate Followers
  - First to Become Available
  - Last to Become Available
  - Longest Task Time
  - Most Followers
  - Most Immediate Followers
  - Random
  - Ranked Positional Weight Method
  - Shortest Task Time
- Tie Breaker:**
  - Fewest Followers
  - Fewest Immediate Followers
  - First to Become Available
  - Last to Become Available
  - Longest Task Time
  - Most Followers
  - Most Immediate Followers
  - Random
  - Ranked Positional Weight Method
  - Shortest Task Time
- Input Fields:**
  - Cycle time in minute: 30
  - Time length in minute: (empty)
  - Desired production quantity: (empty)
  - Random seed number: 27437
  - Number of random generation: 100
- Buttons:** OK, Cancel, Help

Figura 64. Elección de método de balanceo

El módulo de balanceo de línea, ilustrado con la Figura 65, indica como quedan repartidas las doce tareas en las seis estaciones de trabajo, así como el tiempo en minutos y el porcentaje de inactividad en cada tarea.

06-21-2024 17:20:50	Line Station	Number of Operators	Task Assigned	Task Name	Task Time	Time Unassigned	% Idleness
1	1	1	1	Task 1	15	15	50.00%
2			2	Task 2	10	5	16.67%
3			3	Task 3	5	0	0.00%
4	2	1	4	Task 4	20	10	33.33%
5			5	Task 5	5	5	16.67%
6	3	1	6	Task 6	10	20	66.67%
7			7	Task 7	5	15	50.00%
8			8	Task 8	15	0	0.00%
9	4	1	9	Task 9	25	5	16.67%
10	5	1	10	Task 10	10	20	66.67%
11			11	Task 11	15	5	16.67%
12	6	1	12	Task 12	20	10	33.33%
	Solved by	Heuristic	Method				

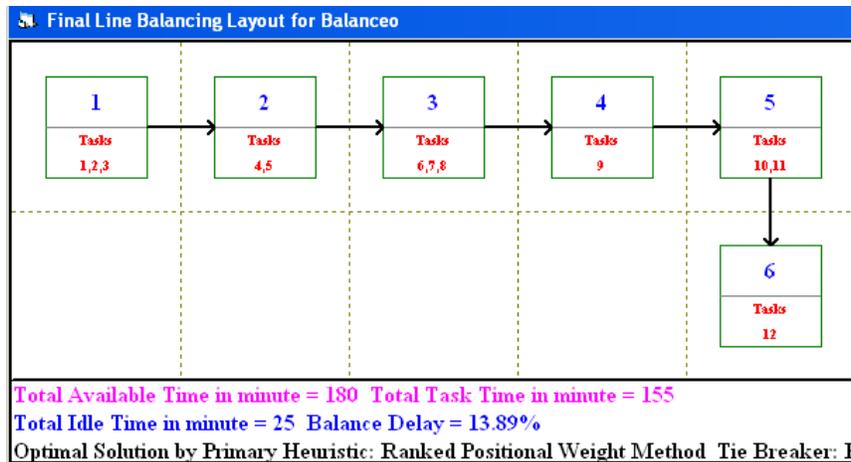
**Figura 65. Resultados balanceo de línea**

También el software reporta un resumen del balanceo de línea, en la Figura 66, el cual muestra el número de estaciones de trabajo, el número de operadores requeridos, el tiempo improductivo, entre otros aspectos importantes para evaluar la eficiencia de la línea de producción. Con un tiempo de ciclo deseado de 30 minutos, se ha logrado optimizar la línea utilizando 6 estaciones, lo que ha resultado en un retraso del balance del 13.89% y un tiempo de inactividad total de 25 minutos.

06-21-2024	Item	Result
1	Desired Cycle Time in minute	30
2	Number of Line Stations	6
3	Number of Required Operators	6
4	Total Available Time in minute	180
5	Total Task Time in minute	155
6	Total Idle Time in minute	25
7	Balance Delay (%)	13.89%
	Optimal Solution has been obtained by	
	Primary Heuristic: Ranked Positional Weight Method	
	Tie Breaker: Random	

**Figura 66. Resumen del balanceo de línea**

La distribución y asignación final de actividades a las estaciones de trabajo se presenta en la Figura 67 a continuación.



**Figura 67. Layout del balanceo de línea**

#### 4.4.2. Sensibilidad del tiempo de ciclo

A fin de analizar diversos escenarios de operación dentro de la empresa. Se evalúa los resultados del balanceo de línea con dos tiempos de ciclo distintos, uno por encima y por debajo de 30 minutos, en este caso 25 y 35 minutos, como se ilustra en la Figura 68.

08-19-2024 12:54:10	Line Station	Number of Operators	Task Assigned	Task Name	Task Time	Time Unassigned	% Idleness
1	1	1	1	Task 1	15	10	40.00%
2			2	Task 2	10	0	0.00%
3	2	1	4	Task 4	20	5	20.00%
4			5	Task 5	5	0	0.00%
5	3	1	6	Task 6	10	15	60.00%
6			3	Task 3	5	10	40.00%
7			7	Task 7	5	5	20.00%
8	4	1	8	Task 8	15	10	40.00%
9	5	1	9	Task 9	25	0	0.00%
10	6	1	10	Task 10	10	15	60.00%
11			11	Task 11	15	0	0.00%
12	7	1	12	Task 12	20	5	20.00%
	Solved by	Heuristic	Method				

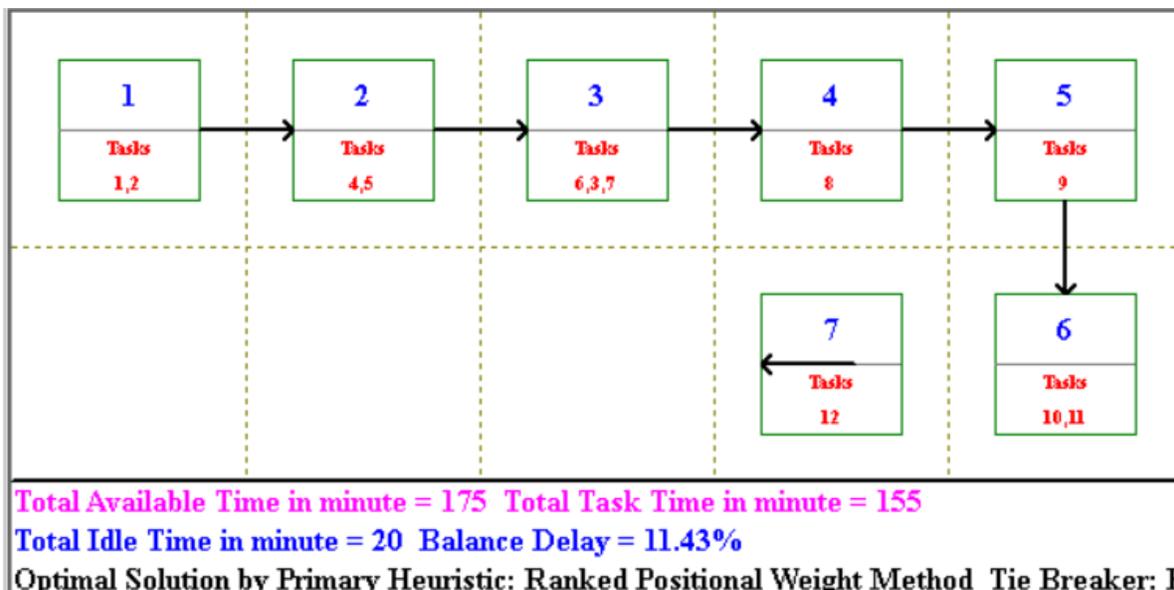
**Figura 68. Detalles de balanceo de línea para C=25 min**

En la Figura 69 se presenta la distribución de tareas y los resultados del balanceo para un tiempo de ciclo de 25 minutos.

08-19-2024	Item	Result
1	Desired Cycle Time in minute	25
2	Number of Line Stations	7
3	Number of Required Operators	7
4	Total Available Time in minute	175
5	Total Task Time in minute	155
6	Total Idle Time in minute	20
7	Balance Delay (%)	11.43%
	Optimal Solution has been obtained by	
	Primary Heuristic: Ranked Positional Weight Method	
	Tie Breaker: Random	

**Figura 69. Resultados de balanceo de línea para C=25 min**

Se puede observar en la Figura 70 que, al considerar un ciclo de 25 minutos, se aumentó una estación de trabajo, lo que implica aumentar el costo por mano de obra en la empresa. Además, la solución obtenida mediante el método heurístico de Peso Posicional Clasificado muestra un balance con un tiempo muerto del 11.43% y un tiempo de inactividad total de 20 minutos, el cual es inferior al caso anterior. La siguiente figura muestra el layout final del balanceo para un ciclo de 20 minutos.



**Figura 70. Lay-out balanceo de línea**

Al evaluar el tiempo de ciclo de 35 minutos se observa cómo afecta esta modificación al número de estaciones necesarias, al tiempo de inactividad total, y al retraso en el balance, como se observa en la Figura 71.

08-19-2024 13:00:11	Line Station	Number of Operators	Task Assigned	Task Name	Task Time	Time Unassigned	% Idleness
1	1	1	1	Task 1	15	20	57.14%
2			4	Task 4	20	0	0.00%
3	2	1	5	Task 5	5	30	85.71%
4			2	Task 2	10	20	57.14%
5			6	Task 6	10	10	28.57%
6			3	Task 3	5	5	14.29%
7			7	Task 7	5	0	0.00%
8	3	1	8	Task 8	15	20	57.14%
9	4	1	9	Task 9	25	10	28.57%
10			10	Task 10	10	0	0.00%
11	5	1	11	Task 11	15	20	57.14%
12			12	Task 12	20	0	0.00%
	Solved by	Heuristic	Method				

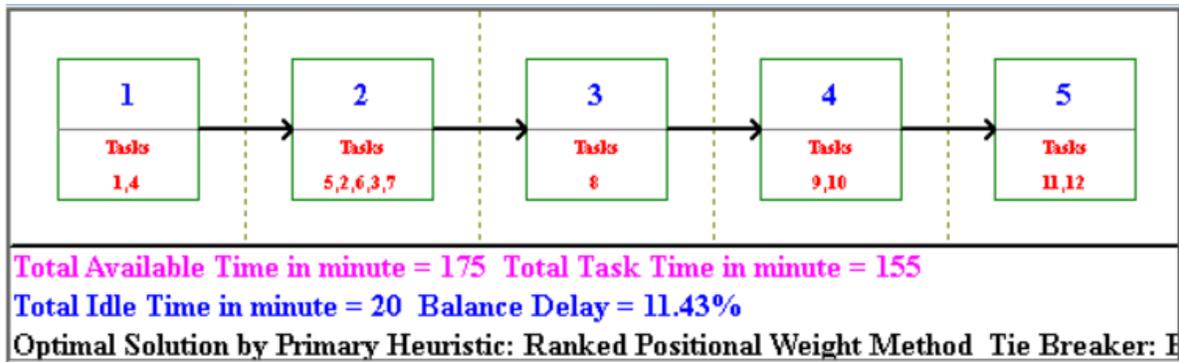
**Figura 71. Detalles de balanceo de línea con C=35 min**

Se observa en la Figura 72 que, al considerar un ciclo de 35 minutos, se disminuyó una estación de trabajo, pues utiliza 5 estaciones, y la solución obtenida mediante el método heurístico de peso posicional clasificado muestra un balance razonable con un retraso del 11.43% y un tiempo de inactividad total de 20 minutos.

08-19-2024	Item	Result
1	Desired Cycle Time in minute	35
2	Number of Line Stations	5
3	Number of Required Operators	5
4	Total Available Time in minute	175
5	Total Task Time in minute	155
6	Total Idle Time in minute	20
7	Balance Delay (%)	11.43%
	Optimal Solution has been obtained by	
	Primary Heuristic: Ranked Positional Weight Method	
	Tie Breaker: Random	

**Figura 72. Resultados de balanceo de línea con C=35 min**

Debido a la reducción en el costo de mano de obra y los datos de inactividad esta opción es factible de implementar en la línea de producción. La Figura 73 presenta el distribución y asignación de actividades del balanceo de línea.



**Figura 73. Lay-out balanceo de línea**

En la Tabla 12 se presenta una comparativa de los tres tiempos de ciclo evaluados, de estos resultados es evidente que el tiempo de ciclo de 35 minutos representa la mejor opción para la empresa puesto que reduce el número de estaciones de trabajo y por ende los costos de mano de obra y reporta el menor tiempo muerto de 11.43%, logrando una producción diaria cercana al objetivo del ciclo de 30 min.

**Tabla 12. Sensibilidad del balanceo de línea**

Tiempo de ciclo:	Balance delay	Estacion	1	2	3	4	5	6	7
25 minutos	11.43%	Tareas	1,2	4,5	6,3,7	8	9	12	10,11
Tiempo de ciclo:	Balance delay	Estacion	1	2	3	4	5	6	
30 minutos	13.89%	Tareas	1,2,4	4,5	6,7,8	9	10,11	12	
Tiempo de ciclo:	Balance delay	Estacion	1	2	3	4	5		
35 minutos	11.43%	Tareas	1,4	5,2,6,3,7	8	9,10	11,12		

En base a los resultados obtenidos es posible llevar a cabo una gestión eficiente y eficaz no solo de los tiempos de producción, sino también del personal involucrado en cada una de las etapas del proceso, lo cual, a su vez, generará repercusiones sumamente positivas para la economía general de la empresa, mejorando tanto su rentabilidad como su sostenibilidad a largo plazo.

## **CAPITULO 5. CONCLUSIONES**

### **Conclusión general**

A lo largo del desarrollo de esta tesis, se ha explorado y analizado exhaustivamente un conjunto de herramientas y técnicas muy importantes para la planificación y programación de la producción de una PYME del estado de Hidalgo. Este estudio ha profundizado en la importancia de los pronósticos, la planeación agregada, la planeación de requerimientos de materiales (MRP), y la programación de actividades, con el objetivo de proporcionar un marco teórico y práctico robusto que permita a las organizaciones optimizar de manera significativa sus procesos productivos.

Un hallazgo clave de este trabajo ha sido la relevancia de integrar estas herramientas de manera coherente y coordinada. La precisión en los pronósticos es fundamental para desarrollar una planeación agregada eficiente. A su vez, esta planeación sirve como base sólida para la ejecución efectiva de la planeación agregada, MRP y la programación de actividades. Este enfoque holístico garantiza que los recursos sean utilizados de manera óptima, lo que no solo minimiza los costos y los tiempos de producción, sino que también contribuye a mejorar la calidad del producto final.

En conclusión, la aplicación efectiva de los conceptos y herramientas presentados en esta tesis puede representar una ventaja competitiva significativa para las empresas del estado de Hidalgo. La capacidad de predecir la demanda con mayor precisión, junto con la habilidad para planificar y programar la producción de manera eficiente, permite tomar decisiones más informadas basadas en datos concretos. Esto se traduce en una mayor flexibilidad operativa, reducción de costos, y una mejora en la satisfacción del cliente. Este trabajo aspira a servir como una guía valiosa tanto para profesionales como para alumnos de la licenciatura en ingeniería industrial de la UAEH interesados en la mejora continua de los procesos productivos, subrayando la importancia de un enfoque integral en la planeación y programación de la producción.

Además es importante destacar los resultados que se obtuvieron de la aplicación de los métodos de gestión de operaciones en la empresa bajo estudio, a fin de saber si la empresa tuvo alguna mejoría, de manera concreta las actividades realizadas en la tesis obtuvieron los siguientes resultados:

1. Pronósticos: Se aplicaron tres técnicas de pronósticos, incluyendo el suavizamiento exponencial simple (SES), la regresión lineal y el suavizamiento exponencial simple con tendencia (SEST), utilizando datos reales de la empresa. A través de la comparación de indicadores clave como el MAPE, MAD y el track signal, se determinó que el método más preciso fue el SEST, debido a que presenta valores menores en sus indicadores en comparación con las otras técnicas.
2. Planificación agregada: Se emplearon dos técnicas de planificación agregada: la estrategia de caza y la estrategia de fuerza de trabajo constante. A partir del análisis del costo total asociado con ambas, se concluyó que la estrategia de caza fue la más adecuada para la empresa, al ofrecer una mayor estabilidad en los costos de mano de obra y menores costos totales, lo que optimiza la eficiencia operativa a largo plazo.
3. Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP): Utilizando el software WinQSB, se implementó un MRP que permitió desglosar la estructura del producto y calcular el tamaño óptimo de los lotes de producción y suministro para todos los componentes necesarios. Esta herramienta fue fundamental para garantizar que los materiales estuvieran disponibles de manera oportuna, lo que redujo los costos de inventario y mejoró el flujo de producción.
4. Programación de operaciones: Se aplicó la técnica de balanceo de líneas de producción, lo cual permitió una asignación eficiente de los trabajadores en las estaciones de trabajo, asegurando que se alcanzaran los objetivos de producción de la empresa. Esto no solo optimizó la utilización de la mano de obra, sino que también mejoró la productividad general.

En conclusión, la combinación de las técnicas de pronóstico, planificación agregada, MRP y balanceo de líneas de producción permitió optimizar los procesos

productivos de la empresa, reducir costos y mejorar la capacidad de respuesta a las demandas del mercado. Estas mejoras no solo fortalecen la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

## Referencias

- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones* (5ta ed.). McGraw-Hill. ISBN: 9789701062395.
- Chang, Y.-L. (2000). *WinQSB: Decision support software for MS/OR*. Prentice-Hall.
- González, M., & Pérez, R. (2015). Optimización de inventarios en la manufactura utilizando WinQSB. *Revista de Ingeniería Industrial*, 24(3), 215-228.
- Hernández, J., & García, L. (2018). Optimización de rutas de transporte con WinQSB. *Logística y Transporte*, 12(4), 45-60.
- López, A., et al. (2017). Análisis de datos de producción mediante WinQSB. *Gestión de Operaciones*, 5(1), 33-45.
- Ríos, F., & Martínez, J. (2020). Aplicación de WinQSB en la planificación de la producción de empresas medianas. *Estudios de Producción y Logística*, 9(2), 99-115.
- Smith, P., & Wang, Y. (2019). Comparative analysis of decision support tools: WinQSB vs Excel Solver. *Operations Management Review*, 10(1), 102-118.
- Farhangi, H., Ghasemi, M., & Moayedi, H. (2023). AA-forecast: Anomaly-aware forecast for extreme events.
- Beletskaya, E., & Petrusevich, A. (2022). Linear combinations of time series models with minimal forecast variance.

- Ivanyuk, I. (2023). The method of residual-based bootstrap averaging of the forecast ensemble.
- Zhang, Y., Wang, L., & Li, X. (2023). Intermittent demand forecasting with transformer neural networks.
- Ifraz, A., Yousaf, S., & Khan, M. (2023). Demand forecasting of spare parts with regression and machine learning methods.
- Zambon, E., Giordano, S., & Rossi, M. (2023). Efficient probabilistic reconciliation of forecasts for real-valued and count time series.
- Singh, R., Gupta, S., & Kumar, N. (2024). Distributed hyperparameter optimization based multivariate time series forecasting.
- Musaev, M. (2024). Multi-regression forecast in stochastic chaos.
- Dong, Q., Liu, H., & Zhang, J. (2022). Overprecise forecasts.
- Khairina, R., Sutanto, H., & Hamid, A. (2020). Forecasting model of amount of water production using double moving average method.
- Manusov, P., Ivanov, D., & Petrov, S. (2022). Predictive control and production process forecasting under deterministic chaos.
- Zhou, F. (2013). The application of grey forecasting model based on excel modeling and solving in logistics demand forecast.
- Naji Nasrabadi Yazd, A., Khosravi, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2023). An efficiency-based aggregate production planning model for multi-line manufacturing systems.
- Aydin, N., & Tirkolaee, E. B. (2022). A systematic review of aggregate production

planning literature with an outlook for sustainability and circularity.

Liu, J., & Yang, X. (2021). Multi-objective aggregate production planning for multiple products: A local search-based genetic algorithm optimization approach.

Zanella, A., & Vaz, A. (2023). Sustainable short-term production planning optimization.

Prashar, D. (2023). Production planning and control in industry 4.0 environment: A morphological analysis of literature and research agenda.

Qasim, R. (2024). A review on aggregate production planning under uncertainty.

May, D., & Lee, A. (2023). Solving aggregate production planning with model predictive control.

V'yugin, V. G., & Trunov, V. (2023). Online aggregation of conformal forecasting systems.

Budiono, S., Harsono, H., & Sutanto, J. (2023). Production and capacity planning as well as inventory and distribution control in snack packaging companies using open source ERP simulation.

Ramesh, M., & Dickerson, T. (2022). Just-in-time to just-in-case.

Gonzales-Romero, C., Molina, A., & Flores, P. (2022). Production management model based on lean and DDMRP tools to increase the rate of project compliance in manufacturing SMEs in the metalworking sector.

Erfanian, A., & Pirayesh, M. (2016). Integration aggregate production planning and

maintenance using mixed integer linear programming.

Werth, D., & Karder, J. (2022). Simulation-based optimization of material requirements planning parameters.

Lahrichi, M., Elmoudden, H., & Bouaziz, R. (2023). A first attempt to enhance demand-driven material requirements planning through reinforcement learning.

Damand, J. (2022). A simulation-optimization approach to parameterize demand-driven material requirements planning.

Shadeghian, M., Nasiri, A., & Alamdari, A. (2011). Continuous materials requirements planning (CMRP) approach when order type is lot for lot and safety stock is zero and its applications.

Andwiyani, R., Suryadi, K., & Siregar, R. (2017). Planning analysis and control of inventory goods pt. x with material requirement planning method.

Barrios, C., Gutierrez, J., & Ferrer, A. (2020). On the use of simheuristics to optimize safety-stock levels in material requirements planning with random demands.

Dogadina, T., Ivanova, A., & Teterina, L. (2019). A model of simultaneous optimization of production planning.

Kretschmer, R., & Wings, J. (2023). Requirements engineering framework in the case of warehouse management systems.

Alrawashdeh, M., Qawasmeh, R., & Alsaraireh, F. (2014). A quantitative evaluation of ERP systems quality model.

- Putri, E., Susanto, E., & Widjaja, A. (2020). Analysis of critical success factors (CSF) in enterprise resource planning (ERP) implementation using extended technology acceptance model (TAM) at trading and distribution company.
- Grobler-Debska, A., Zielinska, A., & Nowak, K. (2022). Logistics processes optimization in ERP systems.
- Alanazi, A., Saud, A., & Al-Ghamdi, S. (2019). Enterprise resource planning quality model ERPQM.
- Gao, Y., Liu, Z., & Yang, M. (2023). Scheduling for trial production with a parallel machine and multitasking scheduling model.
- Qasim, R., Khan, S., & Nasir, A. (2023). Production planning approaches: A review from green perspective.
- Jazi, N., Hashemi, A., & Abbasi, M. (2022). A mathematical model for dynamic scheduling of production and maintenance activities in a flexible job-shop system.
- Ding, Z., Chen, Y., & Feng, J. (2023). Simulation of production scheduling system in automated manufacturing workshop based on Markov model.
- Artelt, W. (2023). Dynamic production scheduling with intelligent products in a modular production system.
- Baumung, K., & Fommin, L. (2019). Predicting production times through machine learning for scheduling additive manufacturing orders in a PPC system.
- Bdair, A., Saadeh, T., & Karadsheh, L. (2023). Intelligent model for optimizing

Gantt chart in the planning stage.

Basari, A., Zaman, B., & Hussain, S. (2011). The integration of simple Markov model in solving single line production system.

Malone, K. (2023). Developing realistic schedule risk impacts.

Alam, M. (2019). An innovative project management system.

Xia, W., Zhang, H., & Wang, Y. (2021). Research on task scheduling algorithm based on multi-time period merging.

Tenjo-Garcia, J., & Carlos Figueroa-Garcia, J. (2019). Simulation-based fuzzy PERT problems.