

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Caso de Estudio en una empresa fabricante de productos de limpieza: Enfoque en la Planificación de la demanda, Análisis de la capacidad productiva y manejo de inventario

Davne Elizabeth Rosero Yela (00204088)
David Alejandro Simbaña Ashqui (00207672)
María Gabriela Vargas Vaca (00210449)

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 19 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Caso de Estudio en una empresa fabricante de productos de limpieza:
Enfoque en la Planificación de la demanda, Análisis de la capacidad
productiva y manejo de inventario**

**Davne Elizabeth Rosero Yela
David Alejandro Simbaña Ashqui
María Gabriela Vargas Vaca**

Nombre del profesor, Título académico

María Cristina Camacho Cordovez, MS.

Quito, 19 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Davne Elizabeth Rosero Yela

Código: 00204088

Cédula de identidad: 0402116909

Nombres y apellidos: David Alejandro Simbaña Ashqui

Código: 00207672

Cédula de identidad: 1725492935

Nombres y apellidos: María Gabriela Vargas Vaca

Código: 00210449

Cédula de identidad: 1752260487

Lugar y fecha: Quito, 19 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around these publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El sector de la fabricación química ha presentado un crecimiento significativo en los últimos años. Este incremento en la demanda representa un desafío para las empresas que deben adaptar sus niveles de producción para no perder su posición en el mercado. En este contexto, se estudió el caso de una empresa fabricante de productos de limpieza que encontró problemas en la planificación de la producción, lo que ha provocado una reducción de sus ingresos netos y del rendimiento de sus activos. En este estudio se propone la implementación de herramientas de mejora y optimización que refuercen el plan de producción de la empresa. Para esto se debe realizar un análisis de la demanda mediante el uso de modelos de pronósticos que ayuden a minimizar la incertidumbre del mercado. Como segundo paso, mediante la planeación agregada se determina la estrategia de producción que cumple con la demanda pronosticada al mismo tiempo que se maximiza la utilidad. Para finalizar se desarrolla un modelo de inventario que minimice el costo de mantenimiento. Mediante la aplicación de estas herramientas se encontró que la capacidad productiva de la empresa está sobre utilizada y solamente una línea de producción puede cumplir con la demanda a corto y largo plazo. De forma que se desarrolló una aplicación de Excel para uso de la empresa que permite un análisis inmediato de la capacidad disponible de producción considerando la demanda.

Palabras clave: Productos de limpieza para el hogar, Pronósticos, planeación agregada, optimización multiobjetivo, inventarios, análisis de la capacidad.

ABSTRACT

The chemical manufacturing sector has shown significant growth in recent years. This increase in demand represents a challenge for companies that must adapt their production levels to keep their position in the market. This was the case of a household cleaning products manufacturing company that encountered problems in their production planning process, which caused a reduction in its net income and the return on its assets. This study proposes the implementation of improvement and optimization tools that reinforce the company's production plan. Starting with an analysis of the demand using forecasting models that seek to minimize market uncertainty. As a second step, through aggregate planning, the production strategy that meets the forecasted demand while maximizing utility was determined. Finally, an inventory model was developed to minimize the inventory holding cost.

By applying these tools, it was found that the company's production capacity is overutilized, and only one production line can meet the short-term and long-term demand. As a result, an Excel application was developed for the company's use, enabling an immediate analysis of the available production capacity considering the demand.

Key words: household cleaning products, forecasting, aggregate planning, multi-objective optimization, inventory management, capacity analysis.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	11
2. Desarrollo del Tema.....	12
2.1. Revisión Literaria	12
Pronósticos.....	12
Clasificación ABC de productos.....	15
Planeación agregada	15
Inventarios	18
2.2. Metodología.....	21
2.3. Ejecución – Diagnóstico.....	24
Planificación	24
Planteamiento del objetivo.....	24
2.4. Ejecución - Validación cuantitativa del problema.....	25
Pronósticos de la demanda futura	25
Recolección y limpieza de datos.....	25
Clasificación ABC	26
Familias de los productos	27
Pronósticos de la demanda.....	27
Planeación agregada	31
Control de Inventarios	36
2.5. Ejecución - Propuestas de mejora.....	39
2.6. Ejecución - Implementación.....	40

3. Conclusiones	40
3.1. Ejecución – Conclusiones y recomendaciones.....	41
3.2. Lecciones aprendidas y siguientes pasos.....	42
Referencias Bibliográficas	44
Anexos.....	49
Anexo 1. Diagrama de Pareto: líneas de producción	49
Anexo 2. Agrupación de productos por familia: Línea A	49
Anexo 3. Agrupación de productos por familia: Línea B	50
Anexo 4. Agrupación de productos por familia: Línea C	50
Anexo 5. Análisis del patrón de la demanda: Línea A.....	51
Anexo 6. Análisis del patrón de la demanda: Línea B	51
Anexo 7. Análisis del patrón de la demanda: Línea C	51
Anexo 8. Resultados evaluación MAPE: Línea A	52
Anexo 9. Resultados evaluación MAPE: Línea B.....	52
Anexo 10. Resultados evaluación MAPE: Línea C	53
Anexo 11. Cantidad a producir por familia: Línea A.....	53
Anexo 12. Cantidad a producir por familia: Línea B	54
Anexo 13 Cantidad a producir por familia: Línea C	54
Anexo 14. Cantidad desagregada a producir por producto: Línea A	55
Anexo 15. Cantidad desagregada a producir por producto: Línea B	56
Anexo 16. Cantidad desagregada a producir por producto: Línea C	56

Anexo 17. Menú aplicación control de la capacidad productiva.....	57
Anexo 18. Análisis por línea aplicación control de la capacidad productiva.....	57
Anexo 19. Dashboard aplicación control de la capacidad productiva.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de modelos de pronósticos para las series de tiempo	30
Tabla 2: Resultados Línea A	34
Tabla 3: Resultados Línea B	34
Tabla 4: Resultados Línea C	34
Tabla 5: Costo de mantener inventario	37

1. Introducción

La economía e industrialización en el Ecuador han crecido en los últimos años, después de haber afrontado circunstancias difíciles por la pandemia. Según la Cámara de Industria y Producción (2023), el PIB creció en un 3,55% en el 2021 y un 2,54% en el 2022, lo que indica existió una recuperación económica por la reactivación de las actividades productivas. Esta reactivación se centra en bienes de consumo y bienes intermedios, con un menor énfasis en actividades manufactureras no tradicionales como la tecnología (Banco Central del Ecuador, 2022). En el mismo sentido, a nivel sectorial, a excepción de la construcción y la administración pública, las actividades económicas presentarían una tasa de crecimiento positivas (Banco Central del Ecuador, 2022).

Esta tendencia de crecimiento se ha mostrado en el sector de la fabricación química. De acuerdo con el EMIS (2023), las ventas de este sector representaron 1400 millones de dólares en el año 2022, valor que muestra un crecimiento del 5,1% con respecto al año anterior. Además, se proyecta un crecimiento constante de al menos un 2% hasta el año 2027 (EMIS, 2023). Dentro de este sector, el segmento más representativo, ya que aporta con más del 30% de los ingresos del sector, es el jabones y productos de limpieza (EMIS, 2023).

El crecimiento de la demanda es una oportunidad para toda empresa porque puede significar más ventas, ingresos y ganancias. No obstante, mientras la producción aumenta surgen diversos problemas relacionados a la capacidad de la empresa para mantener su nivel de servicio. Siendo la principal complicación, el llegar al límite de la capacidad productiva, lo que impide cumplir con las expectativas del mercado (Arredondo Ortega et al., 2017), generando pérdidas económicas, de clientes, y mala reputación de la empresa.

Esta incapacidad de satisfacer a una demanda creciente puede ser solventada por medio de una planeación de la producción y las operaciones tomando en cuenta los recursos

de la empresa. La planeación y el control de la producción brindan un marco de referencia para la toma de decisiones empresariales, que son una hoja de ruta para las actividades operacionales y las tácticas que la industria pretende emplear para cumplir con la misión organizacional (Arredondo Ortega et al., 2017).

Este es el caso de la empresa A, dedicada a la fabricación de productos de limpieza del hogar, pues su demanda ha crecido en los últimos años, a un nivel distinto de su capacidad, poniendo en riesgo su posición en el mercado. Esto los ha llevado a buscar métodos que les permitan maximizar su volumen de producción sin tener que realizar inversiones importantes en la expansión de la fábrica. Una vez identificado el problema, el objetivo principal del presente estudio es determinar los niveles de producción, capacidad de las líneas de fabricación e inventarios mediante la planificación de la demanda, planeación agregada y manejo de inventarios, para conocer la capacidad productiva de cada línea.

2. Desarrollo del Tema

2.1. Revisión Literaria

Pronósticos

La demanda futura de una empresa es algo desconocido, pero es esta la que determina la producción. En este contexto Gonzales (2018) afirma que el pronosticar la demanda se refiere a la estimación anticipada del valor de una variable, que en este caso sería la cantidad de producto requerida por el mercado. De acuerdo con Nahmias (2015), este valor se encuentra mediante un análisis de datos históricos relevantes, el cual ayuda a encontrar patrones predecibles y repetibles en el comportamiento de la demanda.

Debido a la importancia de conocer el valor de la demanda futura Arslankaya y Oz (2018) argumentan que los pronósticos toman un papel clave dentro de cualquier compañía,

ya que facilitan la toma de decisiones estratégicas. Esto concuerda con las palabras de Nahmias (2015), quien menciona que los pronósticos vitales para determinar los requerimientos de materia prima, fuerza de trabajo, horarios, entre otros.

Kim (2022) a su vez recalca la importancia de los pronósticos y el buscar nuevos métodos que mejoren los resultados, al considerarlos una ventaja competitiva que ayuda a controlar las fluctuaciones de la demanda a lo largo de la cadena de suministro, minimizando problemas como el efecto látigo, que puede ser entendido como la amplificación de la variabilidad de la demanda a medida que ésta se transmite a lo largo de la cadena de suministro, de forma que se presentan fluctuaciones entre las órdenes de compra y la producción.

De acuerdo con Arslankaya y Oz (2018), los métodos usados para pronosticar pueden ser modelos de redes neuronales increíblemente complejos que están adaptados a un set de datos específico, o pueden ser un simple algoritmo probabilístico que se usa sin alteraciones en diferentes contextos empresariales.

Por este motivo Teran et al. (2019) mencionan la importancia de tomar en cuenta el contexto de los datos para seleccionar el mejor modelo disponible, analizando factores como la disponibilidad de datos históricos, la precisión esperada, el horizonte de tiempo, la relevancia de los datos, entre otros.

Nahmias (2015) separa los horizontes de tiempo en tres diferentes tipos, siendo los horizontes a corto plazo, los que se manejan con días o semanas, y son usados para el desarrollo de planes de producción. Los horizontes a mediano plazo, medidos en semanas o meses que buscan ayudar con problemas de disponibilidad de personal, recursos y patrones de la demanda de familias de productos. Mientras que horizontes a largo plazo tratan más con

decisiones estratégicas de la capacidad de la producción, cuando se espera que a largo plazo que la demanda incremente o disminuya (Nahmias, 2015).

Kim (2022) menciona dos diferentes métodos de pronósticos, cualitativos y cuantitativos. En donde los cualitativos se basan en la opinión de expertos o encuestas, y son especialmente útiles cuando no se tiene datos suficientes. Mientras que los cuantitativos usan una gran cantidad de datos para alimentar modelos matemáticos. Nahmias (2015) clasifica a los modelos cuantitativos en causales y series de tiempo, donde el primer grupo usa una diversa variedad de variables vinculadas con el valor pronosticado, mientras que las series de tiempo simplemente usan datos históricos del fenómeno que se busca predecir. Siendo las series de tiempo, de acuerdo con Ma y Fildes (2019,) los modelos más usados para el pronóstico de la demanda en productos de venta al por menor, ya que permiten el análisis de patrones de tendencia y estacionalidad.

Punia y Shankar (2022) mencionan a su vez que, debido al avance tecnológico se han creado nuevas clasificaciones entre los modelos de series de tiempo, en donde estos se dividen en métodos estadísticos, métodos de machine learning, y métodos híbridos que combinan los dos previamente mencionados.

Entre los métodos estadísticos más populares descritos por Nahmias (2015) se encuentran el promedio móvil y el suavizamiento exponencial, usados en caso de demandas estacionarias; el suavizamiento exponencial doble, para demandas con tendencia lineal y Winters, para demandas estacionales. Dejando también en claro que existen otros métodos más sofisticados como el Box Jenkins ARIMA, redes neuronales o la simulación.

Punia y Shankar (2022) describe el uso de los modelos anteriormente mencionados en el caso de productos de venta minorista, especialmente en las empresas con contacto directo con el consumidor final, como supermercados, y propone el uso de modelos híbridos usando

de machine learning para mejorar los pronósticos obtenidos. Complementado esto Mejri et al. (2021), menciona el uso y la efectividad de modelos de series de tiempo y en especial del modelo ARIMA en el pronóstico de las ventas en una empresa fabricante de detergente, proponiendo una mejora usando redes neuronales basados en el algoritmo Long Short Term Memory.

Clasificación ABC de productos

Ravinder y Ram (2014), mencionan que el análisis ABC es una técnica de categorización, que se basa en el principio de Pareto, para determinar cuáles son los productos que deben tener prioridad en la administración del inventario dentro de una empresa. Dutta et al. (2017) argumentan que para la optimización del proceso de inventario en cualquier organización es esencial asegurar que los productos correctos, se hallen en el espacio designado, en el momento preciso con el fin de cumplir con la demanda, en consecuencia, es importante realizar una clasificación ABC de productos.

Rizkya, Sari, Erwin y Sari (2020) afirman que en la categoría A se encuentran los ítems más valiosos, en la C los menos valiosos y la B contiene el rango que se encuentra en medio de A y C. Al establecer los criterios de clasificación se puede usar uno solo o la combinación de varios. Sin embargo, es recomendable seleccionar varios criterios de clasificación, y esto dependerá del caso de estudio. En el trabajo presentado por Shafiee, Hvam y Piroozfar (2019), se propone que aquellos productos que retornan el 80% de las ganancias totales se agrupen en el subgrupo A, los que retornan un 15% en el B y los restantes en la C.

Planeación agregada

De acuerdo con Djordjevic, Petrovic & Stojic (2019), la planeación agregada es una de las partes más importantes del manejo de las operaciones, ya que busca coincidir la

demanda pronosticada con la producción de la empresa, determinando los recursos necesarios ya sea de espacio, inventarios, mano de obra, entre otros. Esto, según Kiran (2019) nos permite aproximar y desarrollar un cronograma de las operaciones de la empresa.

Chopra & Meindl (2013) hablan de la planeación agregada como una herramienta que maximiza las ganancias de una empresa al mismo tiempo que permite cumplir con la demanda pronosticada y demás restricciones, para llevar a cabo este objetivo se pueden usar varias estrategias de planeación agregada, dependiendo del comportamiento del mercado, demanda, o políticas de la empresa. Kiran (2019) menciona que las estrategias más comunes en la planeación agregada son: variación de niveles de inventario, variación de los niveles de producción, variación de la fuerza laboral, subcontratación, variación de la capacidad, variación de las horas de trabajo, métodos combinados y finalmente métodos heurísticos.

De acuerdo con Nahmias (2015) la planeación agregada se basa en la existencia de una unidad agregada de la producción, la cual puede ser usada para representar la producción de cualquier producto de una familia. Chopra & Meindl (2013) mencionan la posibilidad de usar las ganancias promedio de cada familia o la cantidad producida medida en volumen o peso. Por otra parte, Nahmias (2015) menciona la posibilidad de usar un producto promedio como unidad agregada, en caso de tener una producción de productos similares, o en el caso opuesto, al tratar con una producción altamente diversa, se puede usar tiempo de producción ya sea como horas-hombre u horas-máquina.

Tomando en cuenta que la mayor parte de problemas de planeación agregada buscan maximizar utilidades o minimizar los costos, estos se pueden interpretar como problemas de programación lineal, en donde se varía la cantidad de horas trabajadas, niveles de inventarios, fuerza de trabajo, etc., con el fin de encontrar una solución óptima para la compañía. Tanto Nahmias (2015) y Chopra & Meindl (2013) proponen modelos de programación lineal que

buscan el tamaño ideal de la fuerza de producción que minimice los costos al mismo tiempo que cumple con la demanda pronosticada, siendo este uno de los modelos más populares dentro de la planeación agregada.

Por otra parte, Attia et al. (2020) y Jamalnia et al. (2019) proponen modelos de programación multiobjetivo de planeación agregada, adaptando el modelo propuesto por los autores previamente mencionados a las necesidades de las industrias que presentan una alta incertidumbre y una mayor complejidad.

De acuerdo con Ezra, Oladugba, Ohanuba & Opara, (2020) un modelo de programación multiobjetivo busca minimizar las desviaciones de los objetivos definidos al mismo tiempo que maneja recursos limitados, como presupuesto, materia prima o tiempo. Esto se debe a la flexibilidad de los modelos multiobjetivo que nos permiten, de acuerdo con Jiménez et al. (2021) resolver problemas de mayor complejidad, volviéndose ideal para compañías con una alta variedad en su producción.

Otra de las ventajas de estos modelos mencionados por Jiménez et al. (2021) es la posibilidad de priorizar los diferentes objetivos de acuerdo con las necesidades de la empresa. Algo que según Oladugba, Ohanuba & Opara, (2020) puede ser obtenido mediante dos algoritmos, el método de los pesos y el método preventivo. Siendo la principal diferencia que el primer método asigna pesos a cada meta donde mientras más grande sea el valor del peso, más importante es el objetivo, y en el segundo método se tiene que ordenar por medio de un ranking cada uno de los objetivos, definiendo cuales se deben priorizar (Oladugba, Ohanuba & Opara, 2020).

Indiferentemente del método usado, de acuerdo con Nahmias (2015), el objetivo debe ser determinar la cantidad a producir que cumple con las restricciones impuestas y los

objetivos definidos, ya sea que estos se relacionen a las utilidades, costos, eficiencia entre otros.

Una vez que se tiene el resultado de la planeación agregada, con el fin de facilitar la planificación de la producción, Kiran (2019) recomienda desagregar la producción con el fin de determinar de manera general los requerimientos específicos de fuerza de trabajo o materia prima que cada uno de los productos necesita para cumplir con el plan de producción. A su vez Chopra & Meindl (2013) concuerdan con la importancia de desagregar la producción en la generación del plan maestro de producción y proponen un algoritmo de desagregación basado en los pesos de cada familia dentro del plan agregado.

En este orden de ideas se pueden mencionar el caso de Lefts, Gonzali y Marie (2020), quienes usaron el algoritmo de desagregación para definir los requerimientos de la capacidad de una empresa productora de talcos. Finalmente se llegó a la conclusión de que existe la necesidad de expandir el horario de trabajo para cumplir con la demanda (Lefts, Gonzali & Marie, 2020).

Inventarios

Stevenson (2015), define a los inventarios como una reserva o almacén que contiene productos dependiendo de la industria en cuestión, sin embargo, una empresa típica mantiene el treinta por ciento de sus activos corrientes y hasta el noventa por ciento de su capital de trabajo invertido en inventario. Cabe mencionar que no solo se mantienen productos finales en el inventario, sino que pueden existir diferentes tipos como de materias primas y partes compradas, trabajo en proceso, herramientas y suministro, de mantenimiento y reparaciones y mercancía en tránsito.

Stevenson (2015), hace énfasis en que la administración de inventario es un punto fundamental dentro de las operaciones diarias que realiza cualquier empresa dedicada a la

manufactura de productos, debido a que su manejo tiene gran influencia en diferentes ramificaciones de la organización como operaciones, mercadeo y finanzas, de tal forma que un pobre manejo del mismo puede provocar una disminución en la satisfacciones de las necesidades del cliente y altos costos en muchas áreas que componen la empresa. De igual forma Dillow (2009) hace énfasis en que a pesar de la introducción de nuevas metodología como la de Just inTime, aun se necesita de cierto inventario y un buen control de este pues permite un cambio rápido en estrategias frente a las condiciones económicas cambiantes y demás factores que son clave para el funcionamiento de las compañías, pues cumplen diferentes papeles como la satisfacción de la demanda anticipada, la suavización de los requisitos de producción, protección contra desabastecimiento, entre otras.

Nahmias (2015) también discute la motivación para mantener inventarios, entre las razones más relevantes se puede decir que hacen posible la existencia de economías de escala, pues el producir en grandes cantidades permite a las empresas el ahorro de ciertos costos relacionados con la producción, la opción de poder almacenar este producto es beneficiosa en cierto grado. Por otra parte, la incertidumbre juega un papel clave en cualquier operación comercial, pues no se tiene un modelo que prediga de forma exacta la cantidad demandada para el siguiente periodo y puede permitir mantener un buen nivel de servicio (Nahmias, 2015). Finalmente se puede mencionar a los costos de control que dependen de la empresa y muchas veces son dejados de lado, pero deberían ser considerados, pues permitirían la toma de mejores decisiones estratégicas y operacionales (Nahmias, 2015).

Simchi-Levi, Chen & Bramel (2007) en la obra *La Lógica de la Logística*, menciona que existen modelos de inventarios bastante eficientes que se han centrado en situaciones en que la demanda era conocida de antemano y de alguna manera se mantenía constante en el tiempo, sin embargo, para algunas empresas productoras este caso no puede ser aplicado, pues existen variaciones en la demanda, de forma que se hace énfasis en la identificación de

modelos que permitan mantener políticas de inventario óptimas, tanto para un artículo como para el caso de varios artículos.

En el contexto de lo dicho, Simchi-Levi, Chen & Bramel (2007), proponen un modelo en el cual se supone que se debe planificar una secuencia de pedidos o lotes de producción a lo largo de un periodo de tiempo específico, para cada periodo se debe decidir acerca de cuánto producir y se mantienen los siguientes supuestos: la demanda del periodo t es conocida, se tienen costos unitarios y de pedido, hay un costo asociado al mantenimiento, los pedidos llegan cuando son realizados y los pedidos y la demanda se producen al principio del periodo.

En consecuencia, de lo expuesto, Simchi-Levi, Chen & Bramel (2007), indican que el inventario se suma sobre la cantidad disponible al final del periodo, y el problema consiste en decidir qué cantidad pedir en cada periodo para que la demanda sea satisfecha sin ningún retraso y se minimicen los costos; así introducen el modelo Wagner-Whitin, en donde se tiene el objetivo de minimizar los costos y mantener un equilibrio de inventario.

En el mismo orden de ideas, Valencia, Díaz & Correa (2016), adaptan el modelo Wagner-Whitin para combinarlo con un modelo de inventario multiproducto con previsión de la demanda, incluyendo además diferentes restricciones que permitían optimizar los costos asociados teniendo en mente las necesidades del negocio. Por medio de la aplicación de este modelo se logró la reducción significativa de costos (Valencia, Díaz & Correa, 2016). Ese modelo también reveló que almacenar el producto terminado al principio de cada periodo no era óptimo, ya que estas cantidades podrían superar la capacidad de bodega (Valencia, Díaz & Correa, 2016).

2.2. Metodología

Para el desarrollo de este estudio se tomó la metodología detallada por Nahmias (2015), donde se detallan los pasos necesarios para programar las operaciones de una línea de producción, desde la recolección de datos y generación de pronósticos, hasta la programación de los trabajos.

La metodología se complementa con el trabajo de diferentes autores, como: Shmueli et al (2020), Ghiani, Laporte & Musmanno (2005), Chopra & Meindl (2013), Ravinder y Ram (2014), cuyos trabajos profundizan ciertos pasos detallados en la metodología de Nahmias.

1. Planificación

a. Definir el problema

Como primer paso se debe identificar el problema de la organización, y cómo este impacta a la organización. Para posteriormente descomponerlo y definir con exactitud la naturaleza del problema y la magnitud de este (Abdul et al. 2013).

b. Planteamiento del objetivo

Una vez definido el problema se debe plantear el objetivo del proyecto, y que es lo que este deberá cumplir y como esto beneficiará a la organización (Abdul et al. 2013).

2. Pronósticos de la demanda futura

a. Recolección y limpieza de datos

Se busca obtener información relevante acerca de la producción real durante un periodo de tiempo mínimo de 12 meses. Estos datos fueron tratados como

menciona Shmueli et al. (2020), quienes recomiendan realizar una exploración y limpieza de estos, eliminando datos blancos y atípicos.

b. Clasificación ABC

En base a lo propuesto por Ravinder y Ram (2014), se usará el principio de Pareto para clasificar las líneas de producción de acuerdo con las ganancias que estas generan.

c. Familias de productos

Nahmias (2015) menciona la importancia de agregar diversos productos con comportamientos similares en familias para minimizar el error, por lo que se agruparán los productos de características similares.

d. Modelos de pronósticos

Usando los resultados de Punia y Shankar (2022) y Mejri et al. (2021) se usarán diferentes modelos buscando el que mejor se adecue a la demanda.

e. Evaluación de los pronósticos

Finalmente se evaluarán los resultados pronosticados de acuerdo con lo mencionado por Ghiani, Laporte & Musmanno (2005), donde usan el valor del MAPE para determinar la calidad del pronóstico.

Una vez se tenga este resultado, se escogerá el modelo con el menor MAPE y se usará sus resultados para el resto de los pasos en el proyecto.

3. Planeación agregada

a. Unidades agregadas de la Producción

Nahmias (2015) habla de la importancia de determinar una unidad agregada de la producción de acuerdo con la producción de la empresa, la cual se usa como base para el desarrollo de un plan general de la producción.

b. Determinación de los niveles de producción

De acuerdo con Chopra & Meindl (2013), se pueden usar modelos matemáticos de optimización con el fin de determinar el tiempo necesario para cumplir con la demanda pronosticada.

c. Desagregación de la producción

Usando los pasos que menciona Chopra & Meindl (2013), se procede a desagregar la producción obtenida, obteniendo la cantidad de productos individuales que se deben producir.

4. Control de Inventarios

a. Cálculo de costos relevantes

Nahmias (2015), menciona la necesidad de calcular el costo de mantenimiento del inventario, al igual que el costo de poner una orden, al ser estos los principales costos que determinan el costo de este.

b. Selección del modelo de inventario

Una vez se tengan todos los datos y costos necesarios se procede a usar el modelo de inventario que mejor se adapte a la situación de la empresa tal y como se menciona en el libro de análisis de la producción y las operaciones de Nahmias (2015)

c. Cálculo de la cantidad económica del pedido.

El objetivo de todo modelo de inventarios es el minimizar el costo de mantenimiento de este, para lo cual se determina la cantidad ideal a ordenar de cada producto que minimiza este costo (Nahmias, 2015)

2.3. Ejecución – Diagnóstico

Planificación

Definición del Problema

Por medio de conversaciones con la gerencia se reconoció que en los últimos años la empresa no ha estado alcanzando los niveles de producción esperados. Señalando que algunas veces se ven obligados a dar prioridad a clientes importantes los cuales tienden a realizar pedidos inesperados con tiempos de entrega cortos, por lo que deben dejar de producir las órdenes planificadas. Este problema se intensifica al desconocer la capacidad productiva, lo que complica la planificación ya que no se sabe cuántos turnos extra deberán ocupar o si es que realmente se necesitaran turnos extra. Sumado a esto, existe una incertidumbre acerca de si es que serán capaces de satisfacer la creciente demanda de productos de limpieza.

Esta falta de información de la capacidad ha causado problemas en la planificación de la producción. Como consecuencia se evidenció una reducción del 16,7% en la rotación del inventario, una caída en el rendimiento de los activos de un 1,43% y un decrecimiento del margen neto de ganancia del 1,39% (EMIS, 2023).

Planteamiento del objetivo

Una vez identificado el problema, el principal objetivo de este caso de estudio es: Determinar los niveles de producción, capacidad de las líneas de fabricación e inventarios de los productos de limpieza del hogar, mediante la planificación de la demanda, planeación agregada y el manejo de inventarios, para conocer la capacidad productiva de cada línea.

Este objetivo general que guiará al proyecto puede a su vez ser dividido en tres objetivos específicos que guiarán las tres partes del estudio a realizar.

- Estudiar y pronosticar la demanda mediante el uso de modelos de pronósticos.
- Desarrollar modelos de planificación agregada para el análisis de la capacidad de producción de las líneas de fabricación.
- Desarrollar un modelo de inventario para mejorar el manejo de éste en la empresa.

2.4. Ejecución - Validación cuantitativa del problema

Pronósticos de la demanda futura

En esta etapa, se hizo un estudio del comportamiento de la demanda en ventas del año 2022 de los productos de limpieza para el hogar de la jabonería ecuatoriana, y se realizaron pronósticos de la demanda.

Recolección y limpieza de datos

Para estudiar la demanda, en primera instancia se hizo una recolección de datos históricos e información relacionada con la producción de los productos de limpieza, esto en conjunto con el área de producción y la gerencia de la Empresa A. Estos datos fueron entregados por medio de distintas bases de datos.

Una vez obtenida la información para el estudio, se observó que las bases de datos tenían muchas variables que podrían generar confusión para el estudio. De manera, que se seleccionaron las variables más importantes para el análisis, estas fueron las siguientes: producción mensual en cajas, unidades producidas por lote, velocidad de las líneas de producción, ingresos, costos y utilidades por lote e inventario. Así, se obtuvo una base de datos con 361 productos a ser estudiados. Sin embargo, se identificó que existían datos que no podían ser estudiados ya que podrían generar resultados inconsistentes.

Tomando en cuenta lo mencionado, se realizó la limpieza de la base de datos en la que se eliminaron las celdas que contenían productos que recientemente han sido introducidos al mercado y no han tenido una promoción, descontinuados, duplicados, en promoción y aquellos que no se producen en frecuencia. Después de la limpieza, se obtuvo un total de 199 productos que van a ser usados para los pasos siguientes.

Clasificación ABC

Una vez extraídos los datos de estudio, se determinó las líneas de producción más relevantes para la Empresa A. Hay que mencionar que dicha empresa posee 7 líneas de producción para elaborar más de 300 productos. Por recomendaciones de la gerencia, se indicó que el estudio se centre en las líneas que generen mayor ganancia. De manera que se usó el método de la clasificación ABC para poder encontrar las líneas de producción que generan el 80% de las ganancias neta para que la gerencia pueda tener un mayor énfasis en estas. La clasificación ABC se encarga de separar los datos de los productos en 3 categorías nombradas con las letras A, B y C (Chicaiza, C.,2022). Los productos del tipo de A son las que tienen un alto valor de consumo a la empresa, mientras que los del tipo B son los productos que representan un consumo medio y, los del tipo C requieren de una pequeña inversión (Rivera, M.,2020).

Para llevar a cabo esta clasificación en primer lugar, se calculó el porcentaje de utilidad neta de cada producto pertenecientes a las distintas líneas de producción y después se elaboró un diagrama de Pareto que permitió identificar los productos que proporcionan el 80% de las ganancias para la empresa (Chicaiza, C.,2022). Como resultado, se obtuvo que los productos que aportan el 80% de las ganancias pertenecen a líneas de producción caracterizadas como “A”, “B” y “C”, y éstas fueron clasificadas como del tipo A.

El resultado se puede observar de mejor manera en la sección de Anexos como *Anexo 1*.

Familias de los productos

Al concluir con la clasificación ABC, se procedió con la agrupación por familias de productos. Esto por recomendación de la gerencia de la Empresa A que requería que los productos en estudio estén asociados por productos fabricados por la misma línea de producción, compartan características similares y que tengan el mismo formato o volumen de presentación. Además, se debe destacar que agregar los productos por sus comportamientos ayuda a reducir el error en los cálculos matemáticos (Nahmias,2015).

Por lo que para la construcción de las familias de los productos se hizo un análisis de datos en Microsoft Excel de los productos con características similares para ir agrupándolos. Como resultado, se obtuvo 32 familias que reunieron un total de 148 productos pertenecientes a la clasificación A en estudio. Desglosando esta información como resultado por cada línea de producción se tuvo que para la línea de producción “A” hubo un total de 8 familias con un total de 24 productos, para la línea de producción “B” se obtuvo un total de 11 familias con un total de 82 productos, y para la línea de producción “C” se formaron 13 familias de con un total de 42 productos. De esta manera, estos datos estarían listos para seguir con la etapa de los pronósticos.

El resultado se puede observar de mejor manera en la sección de Anexos como *Anexo 2,3,4*.

Pronósticos de la demanda

En esta etapa se analiza el comportamiento de la demanda de los productos en estudio que se determinaron en la etapa anterior. Después, se calcula el pronóstico para cada familia de los productos para los siguientes 12 meses, es decir para el año 2023.

Análisis del patrón de la demanda

Con el objetivo de encontrar el mejor modelo de pronósticos para las series de tiempo, se realiza la prueba de Dicker Fuller para identificar estacionariedad, Mann Kendall para reconocer tendencia y de Autocorrelación parcial con el fin de reconocer estacionalidad para las 32 familias de productos.

Dicker Fuller

Quintero (2017), indica que esta prueba permite identificar si en la serie de tiempo, existen o no, raíces unitarias. Esto se realiza comprobando la hipótesis nula contra la hipótesis alternativa planteadas de la siguiente manera:

$$H_0: Y_t = \delta + Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$H_a: Y_t = \delta + \beta_t + \varphi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Esta prueba se realizó por medio de Python en el que se descargaron librerías estadísticas y numéricas para después realizar las pruebas de cada familia. En este se analiza el valor p en comparación con el valor de significancia del 0,05. Si el valor p es menor al valor de significancia se rechaza la hipótesis nula, de otra manera se acepta.

Mann Kendall

Villavicencio (2019) menciona que esta es una prueba estadística no paramétrica que indica si existe tendencia en los datos de las series temporales. Esta prueba se basa en el estadístico S y mide la potencia de la asociación de la variable durante el periodo de tiempo.

$$H_0: \text{No hay tendencia en la serie}$$

$$H_a: \text{Hay tendencia en la serie}$$

Para realizar esta prueba a los datos obtenidos de las familias de los productos, se usó el software de Minitab que tiene como opción la prueba de Mann Kendall. De igual manera, se evalúa el valor p en relación con el valor de significancia 0,05. Si el valor p es menor al valor de significancia se rechaza la hipótesis nula, de otra manera se acepta.

Autocorrelación Parcial

La autocorrelación parcial mide la correlación de dos tipos de variables que están distanciadas por n periodos (Villavicencio, J., 2019). En otras palabras, permite medir si existe algún tipo de estacionalidad en la serie de tiempos. Esto por medio del estadístico t, en el que indica si el desfase es igual 0 se trataría de autocorrelación parcial (Minitab,2021).

Ho: No hay estacionalidad en la serie

Ha: Hay estacionalidad en la serie

Esta prueba se realizó en el software de Minitab en la opción de autocorrelación parcial, en la que se observa el estadístico y si es que este valor t es mayor que 2 no existe autocorrelación parcial, si es caso contrario, sí existe autocorrelación parcial y por ende indica que la serie de tiempo presenta estacionalidad.

Los resultados de los análisis de los patrones de la demanda indican que en la línea A todas las series de tiempo presentaron estacionalidad, y con excepción de dos, todas tenían una tendencia positiva. Existió un solo caso de estacionariedad. En cuanto a la línea B la mayor parte de familias presentaba una tendencia positiva o estacionalidad, siendo pocos los casos de familias con estacionariedad y en el caso de línea C, 5 de las 8 familias presentaron estacionalidad, mientras que tres tenían una tendencia positiva y tres estacionariedades.

Los resultados se pueden observar de mejor manera en la sección de Anexos como *Anexo 5,6,7*.

En base a los resultados que se obtuvieron en las pruebas se selecciona el modelo de pronóstico adecuado.

Modelos de Pronósticos

Una vez que se realizaron los respectivos análisis de las series de tiempo expuestas anteriormente, se procede a escoger los modelos de pronósticos para cada familia de los productos. Los modelos de pronósticos utilizados fueron expuestos por Nahmias (2015) y Chopra y Meindl (2013) de acuerdo con el comportamiento de las series de tiempo estudiadas. En la siguiente tabla se observa los tipos de series de tiempo.

Modelos de Pronósticos	Características
Promedio Móvil	Estacionariedad
Suavizamiento exponencial	Estacionariedad
Regresión Lineal	Tendencia
Suavizamiento exponencial doble	Tendencia lineal o no lineal
Winters	Estacionalidad con tendencia y sin tendencia
ARIMA	Estacionariedad
SARIMA	Estacionariedad

Tabla 1: Tipos de modelos de pronósticos para las series de tiempo

Evaluación

La precisión de los pronósticos fue evaluada por medio del error porcentual medio (MAPE) que permite comparar la precisión de la previsión entre los distintos métodos de las series de tiempo (Nahmias,2015).

Entre las ventajas del uso de esta herramienta se puede señalar que es simétrico y fácil de entender e interpretar. Como desventajas se debe señalar que no se debe usar para pronósticos cercanos a cero y es sensible a valores atípicos (Nahmias,2015).

Según Ghiani, Laporte y Musumanno (2005), mencionan que un muy buen pronóstico tiene un MAPE menor que 10% y un pronóstico pobre tiene un MAPE mayor a 30%. Los que se encuentran en el medio pueden ser calificados de buenos o moderados.

Los resultados indican que en el caso de la línea de producción A, 10 de 11 familias presentaron mayor precisión en los pronósticos usando el método de Winters. Mientras que una familia, con el método del suavizamiento exponencial obtuvo un menor porcentaje en el error porcentual absoluto medio (MAPE). De igual manera, en el caso de la línea B, todas las familias tuvieron mayor precisión en sus pronósticos con el método de Winters. Por último, los resultados de los pronósticos de la línea de producción C, 5 de 8 familias presentaron mayor precisión en los pronósticos usando el método de Winters. Mientras que 2 familias tuvieron un mayor ajuste en sus pronósticos con el ARIMA y, por último, una familia tuvo más precisión con el Sarima.

El valor del MAPE de los diferentes métodos de pronósticos que se usaron, varió entre el 1% al 20%, lo que indicaría que los pronósticos de las series de tiempos se ajustaron perfectamente a los valores reales.

Los resultados se pueden observar de mejor manera en la sección de Anexos como *Anexo 8,9,10*.

Planeación agregada

Una vez se tiene los datos de demanda pronosticados, se puede proceder con la planificación agregada de la producción. Chopra & Meindl (2013) menciona que como primer paso se debe definir un horizonte de tiempo adecuado. Para el caso del proyecto, al tener los pronósticos del mes de enero, trabajaremos con un horizonte de tiempo de un mes.

Además de esto hay que tomar en cuenta las semejanzas y diferencias de las tres líneas con las que se está trabajando. Toda línea de producción trabaja bajo turnos de 12

horas, 5 días a la semana, lo que da un aproximado de 22 días trabajados cada mes. En cuanto a las diferencias, la línea A es capaz de satisfacer una demanda mucho mayor al contar con cuatro líneas de manufactura. Por otra parte, la línea B cuenta con tres y la línea C tiene tan solo una.

Unidades agregadas de la Producción

Dada la gran variedad de familias que se tienen a lo largo de las diferentes líneas de producción, no se puede usar lo mencionado por Nahmias (2015) de definir un producto promedio. Esta misma variedad, también impide el uso de las ganancias promedio o la cantidad producida tal como lo propone Chopra & Meindl (2013). Especialmente porque se tiene que comparar diferentes líneas de producción que producen productos con densidades, pesos y márgenes de ganancia significativamente diferentes, por lo que estas unidades no son adecuadas.

Por este motivo, dado que cada familia debe pasar por cada una de las máquinas de la línea correspondiente, de acuerdo con lo que menciona Nahmias (2015) para una producción altamente heterogénea, el tiempo de producción es la unidad agregada que mejor representa la producción de la Empresa A. Tiempo se representará como horas/máquina, y determinará la cantidad de horas usadas para producir un lote de una familia determinada.

Determinación de los niveles de producción

Una vez definida la unidad agregada de la producción se puede determinar los niveles de producción adecuados. La situación de la industria impide que se tomen en cuenta estrategias de subcontratación o una expansión temporal de la capacidad mediante la renta de maquinaria. Además, por políticas de la empresa, la fuerza de trabajo se debe mantener constante. Tomando en cuenta estas limitaciones, de acuerdo con Kiran (2019) la estrategia de planeación agregada más adecuada a la situación de la empresa es una variación de las

horas de trabajo. Es decir, se pueden añadir horas o turnos adicionales con el fin de cumplir con la demanda pronosticada.

Basándonos en el modelo propuesto por Oladugba, Ohanuba & Opara, (2020), Se determinó el uso de un modelo de optimización multiobjetivo de acuerdo con el método de pesos, cuya función objetivo es presentada a continuación.

$$\text{Min } Z: \sum_{k=1}^3 (\text{Peso}_k d_k^- + \text{Peso}_k d_k^+) \quad (1)$$

Donde k representa la cantidad de objetivos. Que en este caso son tres: utilidades, costos y tiempo. d_k^+ y d_k^- son variables de desviación, las cuales según Oladugba, Ohanuba & Opara, (2020) indican la cantidad por la que se ha sobrepasado o no se a cumplido el objetivo propuesto. Cabe recalcar que el sobrepasarse o no cumplir con los objetivos es bueno o malo dependiendo de la meta. En este caso, no importa el sobrepasar la meta de utilidades, se prefiere no cumplir la meta de costos y especialmente no llegar a la meta de tiempos, ya que un sobrepaso en esta meta indica la necesidad de añadir turnos extra para cumplir con la demanda.

En cuanto a las restricciones, se tiene las restricciones de metas, la restricción de producción y finalmente las restricciones de no negatividad y variable entera.

$$\text{Metas: } \sum_{k=1}^3 (a_{i,k} x_i) - d_k^+ + d_k^- = \text{Metas}_k \quad (2)$$

$$\text{Producción: } x_i \cdot \text{Lote}_i + \text{Inventario}_i \geq \text{Pronóstico}_i + \text{Inventario seguridad}_i \quad (3)$$

$$x_i, d_k^+, d_k^- > 0 \quad (4)$$

$$x_i \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

Donde i representa la cantidad de familias en cada línea. La función (2) nos muestra una igualdad de la cantidad de lotes producidos representada por la variable x_i , la cual se multiplica por la matriz $a_{i,k}$ la cual contine las metas individuales de cada familia para cada

uno de los tres objetivos. En caso de no cumplirse con esta igualdad, las variables de desviación se activan tomando el valor necesario para igualar la función. En cuanto a la función (3) esta simplemente nos indica que la producción más el inventario debe ser mayor al valor pronosticado de la demanda más el inventario de seguridad.

A continuación, se presentan los resultados del modelo separados por línea de producción. En la columna Meta se encuentra el objetivo de utilidades, costos y tiempo al que se buscaba llegar. A lado de esta, en la columna Valor Real se muestra el valor alcanzado por el modelo multiobjetivo para cada una de estas metas, y en la columna diferencia están los valores de las variables d_k^+ o d_k^- , las cuales indican que existió un sobrepasó o no se cumplió el objetivo planteado respectivamente. Finalmente, en la sección comentarios se especifica cual de las dos variables se activó al mencionar si se sobrepasó o no se alcanzó la meta. La cantidad de lotes a producir por familia se encuentran en la sección de anexos, Tablas 11-13.

Resultado	Meta	Valor Real	Diferencia	Comentario
Utilidades	\$2.346.460,00	\$2.346.432,90	\$27,10	No se alcanzó
Costos	\$33.587.077,52	\$33.586.758,02	\$319,50	No se alcanzó
Tiempo [días]	22,00	20,68	1,32	No se alcanzó

Tabla 2: Resultados Línea A

Resultado	Meta	Valor Real	Diferencia	Comentario
Utilidades	\$5.083.500,00	\$5.083.500,00	\$0	Se alcanzó
Costos	\$72.764.892,04	\$72.764.878,46	\$13,58	No se alcanzó
Tiempo [días]	22,00	20,68	1,32	No se alcanzó

Tabla 3: Resultados Línea B

Resultado	Meta	Valor Real	Diferencia	Comentario
Utilidades	\$2.300,45	\$2.300,52	\$0,07	Se sobrepasó
Costos	\$32.928,49	\$32.928,49	\$0	Se alcanzó
Tiempo [días]	22,00	19,36	2,63	No se alcanzó

Tabla 4: Resultados Línea C

Empezando con la línea A, no se alcanzó la meta de utilidades por tan solo 27 dólares, pero también se logró reducir los costos de producción. En cuanto al tiempo se utilizaron únicamente 20,68 días de los 22, lo que da una utilización del 94%, es decir la línea es capaz de satisfacer la demanda, pero está al límite de su capacidad, por lo que la llegada de órdenes inesperadas pueden causar la necesidad de trabajar horas extra.

En la línea B, se alcanzó la meta de utilidades y costos, pero existió un sobrepaso en la meta de tiempo, teniendo una utilización del 141%. Indicando que se necesitan 31 días de los 22 disponibles para cumplir con la demanda. Por lo que se necesita de la adición de turnos adicionales los sábados, al igual que el uso de horas extra en los turnos de lunes a viernes con el fin de adicionar 109 horas de producción.

Finalmente, en la línea C, se sobrepasó la meta de utilidad por un valor mínimo de 7 centavos, y se cumplió con la meta de costos. En cuanto a la meta de tiempos, la cantidad de trabajo requerido para cumplir con la demanda tan solo ocupa 19,36 días de los 22 que se tiene en el mes, y con una utilización del 88%, esta línea es capaz de recibir una cantidad mayor de órdenes.

Desagregación de la producción

Una vez que se tiene los resultados de la cantidad a producir en total por línea y cuanto representa esto por familia, además de las horas y turnos necesarios, se debe desagregar la producción, es decir pasar de lotes por familia a cantidad de productos individuales a producir.

Para hacer esto se usó los pasos detallados por Chopra & Meindl (2013). Usando los resultados del modelo de planeación agregada (Anexo 11-13), se transformó primero los lotes a producir por familia a unidades por familia al multiplicar por la cantidad de productos que existen en un lote. Finalmente se pasó de cantidad de productos familias a productos

individuales de acuerdo con el peso de cada producto dentro de cada familia, es decir, si un producto representaba históricamente el 10% de la producción dentro de una familia, se asumía que la producción requerida del producto será el 10% del valor de la familia.

Estos resultados se pueden encontrar en la sección de anexos como Anexo 14-16

Control de Inventarios

Cálculo de costos relevantes

Una vez que se concluyeron los pasos anteriores, Nahmias (2015) menciona diferentes alternativas para el cálculo de los costos más relevantes que cualquier modelo de inventario debería contener, en primera instancia se menciona al costo de mantener inventario, que puede obtenerse mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Total} = \frac{\text{Costo de mantener inventarios}}{\text{Costo de productos en inventario}}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Costo de mantener inventario} &= \text{Costo de Espacio y Bodegaje} \\ &+ \text{Impuestos y seguros} + \text{Obsolescencia} + \text{Costo de oportunidad} \end{aligned}$$

Continuando con lo dicho por Nahmias (2015) también se deben incluir los costos de ordenar, que pueden ser deducidos mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable}$$

Donde:

$$\text{Costo Fijo} = \text{costo de preparar las máquinas para una corrida}$$

$$\text{Costo variable: costo de producción de artículo}$$

Siguiendo con lo propuesto y mediante la estimación de algunos valores por medio de consultas de los estados financieros publicados por el EMIS (2023), y con la información económica relevante compartida en diferentes revistas de análisis financiero como Torres (2021) quién señala que la tasa de interés ofrecida por los certificados de tesorería del estado ecuatoriano es de 2.25%, se obtuvieron los siguientes resultados:

	Tasa de interés	Costos Anuales [millones]
Espacio y bodegaje		\$ 0,31
Impuestos y seguros		\$ 1,32
Obsolescencia		\$ 0,53
		<hr/>
		\$ 2,16
Costo de oportunidad	2,25%	\$ 0,05
Costo total de mantener inventarios		\$ 2,21
Costo de Productos en inventario		\$ 9,13
		<hr/>
Costo de total		24%
		<hr/>

Tabla 5: Costo de mantener inventario

Siguiendo con lo anterior, los costos de poner una orden para la línea de barras fueron de aproximadamente sesenta y un dólares con treinta y seis centavos. Para la línea de cremas, el costo fue de cuatrocientos cincuenta dólares y para la línea de polvo, el costo fue de ciento noventa y seis dólares con ochenta y ocho centavos.

Selección del modelo de inventario

Como se explicó en secciones anteriores, el modelo para llevar un mejor manejo de inventario fue una adaptación de los propuesto por Simchi-Levi, Chen & Bramel (2007) y lo publicado Valencia, Díaz & Correa (2016), de forma que la función objetivo tenía como meta

la minimización de los costos fijos y de mantenimiento de inventario, las restricciones planteadas hacían que el inventario en el periodo t es igual al inventario del anterior periodo más la cantidad ordenada menos la demanda, el inventario inicial es igual al inventario sobrante del periodo anterior y finalmente las variables empleadas deben ser no negativas y pertenecer al conjunto de número enteros positivos, todo esto expresado en forma de ecuaciones sería:

Función objetivo

$$\text{Min } Z: \sum_{i \in \text{Periodos}}^n (k_k \cdot y_{i,t} + h_i \cdot I_{i,t}) \quad (6)$$

Donde:

k_k es el costo de poner una orden del Producto

$y_{i,t}$ es la orden puesta al inicio del periodo t

h_i es el costo de mantener el inventario

$I_{i,t}$ cambio en el inventario al final del periodo

Para las restricciones:

$$\text{Balance: } I_{i,t} = I_{i,t-1} + y_{i,t} - d_i \quad (7)$$

$$\text{Inventario inicial: } I_{i,t} = I_{i,0} \quad (8)$$

$$\text{No negatividad: } I_{i,t}, y_{i,t} \geq 0 \quad (9)$$

Donde:

d_i es demanda pronosticada

$y_{i,t}$ es la orden puesta al inicio del periodo t

$I_{i,0}$ es el inventario del periodo anterior

$I_{i,t}$ cambio en el inventario al final del periodo

Cálculo de la cantidad económica del pedido.

Una vez que se realizó la desagregación de las familias y se aplicó el modelo mencionado, se obtuvieron las cantidades necesarias que se deben mantener en inventario para una minimización de costos y no sufrir de desabastecimiento. Para los productos de la línea C el costo mínimo fue de aproximadamente \$2.11 millones de dólares, para los de la línea A fue de cerca \$15.16 millones de dólares y para la línea B fue de alrededor \$20.25 millones de dólares.

2.5. Ejecución - Propuestas de mejora

En base a lo planteado como el problema principal de la Empresa A, que era el desconocimiento de los niveles de la capacidad de producción, a primera propuesta de mejora es la implementación de un sistema que sea capaz de monitorear periódicamente la demanda de cada una de las líneas, indicando la utilización, el tiempo disponible, o en su defecto, la cantidad de turnos que se deben añadir para poder satisfacer la demanda. Este sistema es la principal propuesta de mejora, ya que como se pudo observar en los resultados de la sección de planeación agregada, no todas las líneas serán capaces de satisfacer la demanda dentro de los tiempos establecidos.

La segunda mejor propuesta corresponde a la adición de turnos de forma permanente. En el estudio se pudo ver que tan solo una línea sería capaz de satisfacer la creciente demanda a largo plazo. Por lo que, de mantenerse la demanda en los niveles actuales será necesario considerar la viabilidad económica de expandir los horarios de producción, al menos de la línea B, que en el mes de enero necesitó de 109 horas adicionales, o 9 días de producción usando los turnos de 12 horas. Una opción sería incrementar la cantidad de horas

trabajadas por día, que al incrementar de 12 a 16 reduce la cantidad de días necesarios para cumplir con la demanda de 31 a 24.

2.6. Ejecución - Implementación

Para la implementación nos enfocamos en la primera propuesta, de generar un sistema que permita monitorear la capacidad productiva de cada una de las líneas, este programa se lo realizó usando Microsoft Excel, y es una simplificación del modelo de planeación agregada utilizado, pero enfocado únicamente en los tiempos necesarios de producción, eliminando los objetivos de ganancia y costos.

De esta manera la Empresa será capaz de monitorear la capacidad productiva conforme llegan nuevas órdenes y determinar de forma agregada, si es que se puede cumplir con la demanda o si se necesitan añadir horas o turnos adicionales con el fin de cumplir con las ordenes de los clientes. Esta aplicación cuenta con un menú tal como se muestra en el Anexo 17, el cual guía al usuario al dashboard de la línea que necesita obtener información.

Este dashboard mostrado en el Anexo 19 muestra las horas y turnos necesarios para cumplir con la demanda pronosticada, y dependiendo del tiempo necesario y la utilización envía alertas. En caso de que se pueda cumplir con la demanda y se tenga una utilización menor al 90% el dashboard adoptará un color verde y mencionará las horas y turnos disponibles en caso de que la demanda incremente. Si la utilización sobrepasa el 90% el dashboard cambiará de color a naranja con un mensaje que advierte que la línea está llegando al límite de su capacidad productiva. En caso de que para cumplir con la demanda se necesiten más horas de las disponibles, el dashboard cambia de color a rojo, indicando las horas y turnos adicionales que se deben añadir para cumplir con la demanda.

3. Conclusiones

3.1. Ejecución – Conclusiones y recomendaciones

La industria de fabricación química es un sector productivo relevante en el Ecuador, dentro de este la división de jabones y productos de limpieza, es el que representa el mayor porcentaje de participación en el sector, ya que este acapara alrededor del 30% de las ganancias.

La Empresa A es líder en fabricación de productos de limpieza y persigue la mejora continua en sus procesos para ofrecer productos de calidad a los consumidores tanto nacionales como internacionales. Dentro de la compañía mencionada se reconoció el problema de la falta de conocimiento de la capacidad productiva de las líneas de fabricación. De tal forma que se aplicaron métodos de pronósticos de demanda, planificación agregada y control de inventarios para brindar soluciones efectivas y aplicables.

En este orden de ideas se logró pronosticar la demanda para los productos por medio de la aplicación de diferentes modelos de pronósticos, de los cuales, el método de Winters fue el que entregó los mejores resultados para el 87,5% de las familias. Esto también implicó que la demanda seguía un patrón estacional, tal como se observa en los Anexos 8, 9 y 10.

Para la planificación agregada se determinó que la línea de producción A cuenta con una utilización del 94%, por lo que esta está siendo llevada al límite, es decir, la línea es capaz de cumplir con la demanda pronosticada a corto plazo, pero si la demanda crece tal como se ha pronosticado, se deberá incrementar la cantidad de turnos para que la línea pueda satisfacer la demanda.

La línea B al tener una utilización del 141%, lo que indica que no se puede cumplir con la demanda pronosticada, por lo que se debe añadir nueve turnos a la producción del mes de enero, y analizar la viabilidad de expandir la capacidad productiva con la compra de nueva maquinaria.

La línea C es capaz de satisfacer la demanda presente y futura, al tener una utilización proyectada del 88,2%. Lo que señala que aproximadamente 2,6 días de producción están disponibles para ser utilizados en caso de que el mercado incremente la demanda.

Por último, se pudo encontrar el tamaño de lote que minimiza los costos de los inventarios de producción en las tres líneas mencionadas anteriormente. Estos datos se encuentran en los anexos 11, 12 y 13.

3.2. Lecciones aprendidas y siguientes pasos

Durante el desarrollo del caso de estudio, primero se debe hacer énfasis en la importancia de una fase exploratoria dentro de la empresa para la correcta identificación del problema. Siguiendo con lo dicho, una vez que se haya identificado el problema que debe ser atacado, se debe establecer una metodología que no debe estar limitada a ciertos autores, sino que se pueden usar diferentes pasos relevantes.

Otra reflexión importante es que dentro de la fase de implementación se deben explicar y describir los modelos de demanda, planeación agregada e inventarios usados para construir la aplicación de Excel, a los usuarios finales, pues esto permitirá que ellos logren usar los resultados para determinar la capacidad productiva de forma óptima y tomar decisiones operativas efectivas.

Como siguientes pasos, se recomienda a la organización la actualización de las bases de datos disponibles, así como su constante revisión, pues muchos productos se discontinúan y sus datos deberían ser tratados de forma diferente a los de los bienes vigentes. También se recomienda el análisis financiero de la adquisición de nueva maquinaria para satisfacer la demanda de la línea B, que presenta una tendencia creciente.

De igual forma se recomienda que se apliquen ideas de la filosofía de Lean y Six Sigma, con el fin de que los procesos sean aún más eficientes y se tenga mejor control de la

producción, pues existen muchas oportunidades de mejora. En este sentido, se sugiere como siguientes pasos, no solo la mejora de lo que se entregó a la empresa, sino también más estudios de la optimización de la información disponible.

Como limitaciones se encontró que los datos proporcionados por la empresa no proporcionaban información significativa de forma inmediata, pues debían ser limpiados y mejor organizados. Además, solo se tenían los datos de un año de producción, 2022, lo que limitó el tipo de modelos de pronósticos y análisis que se podía usar.

Cabe mencionar que tampoco se contaron con datos financieros reales, por lo que usaron diferentes fuentes de información económica para la obtención de valores aproximados de los costos, ingresos y utilidades.

Referencias Bibliográficas

- Abdul, N., Jaffar, A., Yusoff, N., Naufal, A. (2013). *Case Study: The methodology of lean Manufacturing Implementation*. Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi MARA. Recuperado de: 10.4028/www.scientific.net/AMM.393.3
- Arslankaya, S., Oz, V. (2018). Time series analysis of sales quantity in an automotive company and estimation by artificial neural networks. *Sakarya University Journal of Science*, 22(5), 1482–1492. doi:10.16984/saufenbilder.456518.
- Attia, E., Megahed, A., AlArjania, A., Elbetard, A., Duquennee, P. (2020). Aggregate production planning considering organizational learning with case-based analysis. *Ain Shams Engineering Journal*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.09.002>
- Chicaiza Llangari, C. A. (2022). *El método de inventario ABC y su influencia en la rentabilidad de almacenes Electro Omega, Ciudad de Orellana, Periodo 2018* (Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo).
- Dillow, C. (2009). The importance of inventory. *Investors Chronicle*, <https://www.proquest.com/trade-journals/importance-inventory/docview/236280815/se-2>
- Djordjevic, I., Petrovic, D., Stojic, G. (2019) A fuzzy linear programming model for aggregated production planning (APP) in the automotive industry. *Computers in Industry*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.05.004>

- Dutta, S., M.Sc, Shah, Hiral, Phd, CEI,P.E.M., P.M.P., Dasari, A., Singal, K., Harikeerthi, N. Y., & Talakola, Y. R. (2017). *Optimizing Inventory Through Abc Classification And Demand Forecasting*. American Society for Engineering Management (ASEM).
- García Jiménez, Manuel Eduardo, Becerra Sierra, Ornar Alexis, & Rivera, Juan Carlos. (2021). Un Algoritmo evolutivo híbrido para el problema de programación del taller de flujo permutado con restricciones de turno. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 29(3), 546-556. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000300546>
- González, A. (2018). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *INGENIARE - Revista Chilena de Ingeniería*, 28(1), 133–142.
- Jamalnia, A., Yang, J., Xu, D., Feili, A., Jamali, G. (2019). Evaluating the performance of aggregate production planning strategies under uncertainty in soft drink industry. *Journal of Manufacturing Systems*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.12.009>.
- Jímenez, M., Maichel, I., Casadiegos, S., Casallas, J., García, J. (2021). *Diseño de un modelo de pronóstico de demanda basado en Machine Learning y un modelo multi-objetivo para planeación de la producción en una industria panificadora*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/59123>
- Kim, S. (2022). Innovating knowledge and information for a firm-level automobile demand forecast system: A machine learning perspective. *Journal of Innovation & Knowledge*.

- Kiran (2019). *Production Planning and Control. Chapter 21 - Aggregate planning*. Butterworth-Heinemann. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818364-9.00021-4>.
- Lefts, F., Gozali, L., Marie, A. (2020). Aggregate and disaggregate production planning, material requirement, and capacity requirement in PT. IOPScience.
- Ma, S., Fildes, R. (2019). Retail sales forecasting with meta learning. *European Journal of Operational Research*.
- Malindzakova, M., Garaj, P., Trpčevská, J., & Malindzak, D. (2022). Setting MRP Parameters and Optimizing the Production Planning Process. *Processes*, 10(4), 690. <https://doi.org/10.3390/pr10040690>
- Mejri, I., Bouzid, A., Bacha S., Layeb, S. (2021). Forecasting Demand Using ARIMA Model and LSTM Neural Network: a Case of Detergent Manufacturing Industry. *Institute of Electrical and Electronic Engineers*.
- Mena, J. (2014). *ANÁLISIS DE LA PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES EN UN TALLER DE FLUJO CON OPERACIONES PERDIDAS*.
- Nahmias, S. (2015). *Análisis de la producción y las operaciones*. McGraw-Hill Interamericana.
- Pérez-Cubero, E., & Poler, R. (2020). Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático a la programación de órdenes de producción en talleres de trabajo: una revisión de la literatura reciente. *Dirección y Organización*, 0(72), 82-94. [doi:https://doi.org/10.37610/dyo.v0i72.588](https://doi.org/10.37610/dyo.v0i72.588)

- Perea Layme, K. P., & Vega Chica, V. A. (2020). *Diseño de un modelo matemático para la secuenciación de producción de una línea de secado de pasta alimenticia en un empresa ecuatoriana de consumo masivo* (Doctoral dissertation, ESPOL. FCNM).
- Punia, S., Shankar, S. (2022). Predictive analytics for demand forecasting: A deep learning-based decision support system. *Knowledge based Systems*.
- Quintero Castrillón, J. P. (2017). Generación de pronósticos de un sistema en tiempo real usando R.
- Ramírez, G., Torné, M., & Orejuela -Cabrera, J. (2012). *SCHEDULING HOPPERS FILLING OPERATIONS IN THE ANIMAL CONCENTRATED FEEDING INDUSTRY*.
- Ravinder, H., & Misra, R. (2014). ABC Analysis for Inventory Management: Bridging The Gap Between Research And Classroom. *American Journal Of Business Education*, 7(3), 257-264.
- Rivera Limones, M. Á. (2020). Diseñar un modelo de sistema de gestión de inventarios basado en el Método ABC para Young Living Ecuador Guayaquil 2020.
- Rizkya, I., Sari, R. M., Erwin, & Sari, R. F. (2020). Determination of Inventory Policy based on ABC Classification. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 851(1)<https://doi.org/10.1088/1757-899X/851/1/012014>
- Sánchez, J. (2020). *Minimización de Makespan en Sistema Flow Shop Flexible con Maquinas Paralelas no Relacionadas de Diferente Capacidad*.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22513/Minimizacion%20m>

akespan%20en%20flow%20shop%20en%20maquinas%20paralelas%20no%20relacionadas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Shafiee, S., Hvam, L., & Piroozfar, P. (2019). Prioritizing Products for Profitable Investments on Product Configuration Systems. In L. Hotz, M. Aldanondo, & T. Krebs (Eds.), *Proceedings of the 21th International Configuration Workshop* (pp. 38-42). University of Hamburg. CEUR Workshop Proceedings

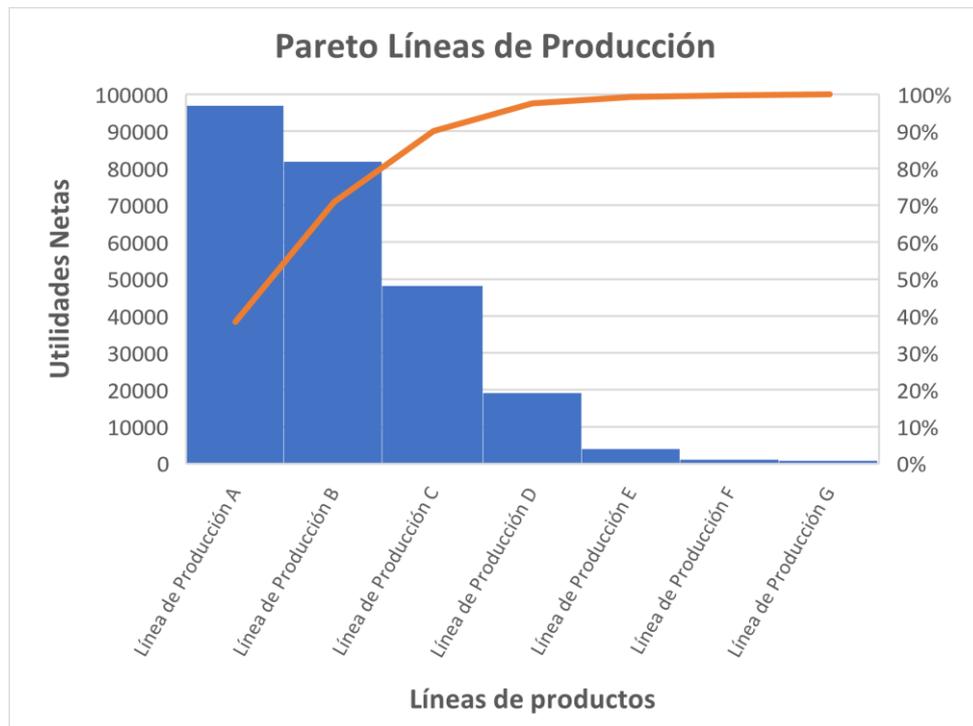
Shmueli, G., Bruce, P., Gedeck, P., Patel, N. (2020). *Data mining for business analytics*.

Terán-Villanueva, J. D., Ibarra-Martínez, S., Laria-Menchaca, J., Castán-Rocha, J. A., Treviño-Berrones, M. G., García-Ruiz, A. H., & Martínez-Infante, J. E. (2019). Estudio de redes neuronales para el pronóstico de la demanda de asignaturas. *Revista Facultad de Ingeniería - UPTC*.

Vargas Sánchez, M. (2016). *La importancia del Planeamiento y Control de la Producción / Conexión ESAN*. Esan.edu.pe. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/la-importancia-del-planeamiento-y-control-de-la-produccion>

Anexos

Anexo 1. Diagrama de Pareto: líneas de producción



Anexo 2. Agrupación de productos por familia: Línea A

Categoría	Familia	Productos
A	175	1
A	235	12
A	250	1
A	300	2
A	450	15
A	500	11
A	700	1
A	900	17
A	1000	16
A	1100	2
A	5000	4
TOTAL		82

Anexo 3. Agrupación de productos por familia: Línea B

Categoría	Familia	Productos
B	180	2
B	200	2
B	450	1
B	480	2
B	520	2
B	900	2
B	1000	12
B	1800	2
B	2000	6
B	4500	1
B	5000	6
B	6000	2
B	9000	2
TOTAL		42

Anexo 4. Agrupación de productos por familia: Línea C

Categoría	Familia	Productos
C	150	2
C	200	1
C	220	5
C	250	1
C	300	4
C	320	2
C	350	4
C	480	5
TOTAL		24

Anexo 5. Análisis del patrón de la demanda: Línea A

Categoría	Familia	Tendencia	Estacionariedad	Estacionalidad
A	175	Positiva	Si	Si
A	235	Positiva	No	Si
A	250	Positiva	No	Si
A	300	Positiva	No	Si
A	450	Positiva	No	Si
A	500	Negativa	No	Si
A	700	Positiva	No	Si
A	900	Positiva	No	Si
A	1000	Negativa	No	Si
A	1100	No	No	Si
A	5000	Negativa	No	Si

Anexo 6. Análisis del patrón de la demanda: Línea B

Categoría	Familia	Tendencia	Estacionariedad	Estacionalidad
B	180	No	No	Si
B	200	Positiva	No	No
B	450	Positiva	No	Si
B	480	Positiva	No	Si
B	520	Positiva	Si	Si
B	900	No	Si	No
B	1000	No	No	No
B	1800	Positiva	No	No
B	2000	Positiva	No	Si
B	4500	No	No	No
B	5000	No	No	No
B	6000	Positiva	Si	Si
B	9000	Positiva	No	Si

Anexo 7. Análisis del patrón de la demanda: Línea C

Categoría	Familia	Tendencia	Estacionariedad	Estacionalidad
C	150	Positiva	Si	No
C	200	No	No	Si
C	220	Positiva	No	No
C	250	No	Si	Si
C	300	Positiva	No	Si
C	320	No	Si	No
C	350	No	No	Si
C	480	No	No	Si

Anexo 8. Resultados evaluación MAPE: Línea A

Categoría	Familia	Promedio Móvil	Suavizamiento Exponencial Simple	Regresión Lineal	Suavizamiento exponencial doble	Winters	Arima	Sarima
A	175	29%	35%		39%	15%		
A	235		10%			6%		22%
A	250				17%	6%		
A	300				57%	15%		
A	450				13%	8%		66%
A	500				12%	5%		
A	700				121%	31%		108%
A	900	0%			22%	16%		
A	1000		31%		25%			
A	1100	72%	47%		54%	28%		
A	5000	14%				1%		

Anexo 9. Resultados evaluación MAPE: Línea B

Categoría	Familia	Promedio Móvil	Suavizamiento Exponencial Simple	Regresión Lineal	Suavizamiento exponencial doble	Winters	Arima	Sarima
B	180				39%	6%		54%
B	200	12%	16%			2%		
B	450				58%	16%		
B	480				24%	9%		
B	520	93%			137%	7%		
B	900				158%	20%		
B	1000	15%	21%			12%		
B	1800	306%	203%			19%		
B	2000	41%	41%			9%		
B	4500	164%	137%			7%		
B	5000				13%	2%		
B	6000	139%			236%	4%		
B	9000	53%	79%			2%		

Anexo 10. Resultados evaluación MAPE: Línea C

Categoría	Familia	Promedio Móvil	Suavizamiento Exponencial Simple	Regresión Lineal	Suavizamiento exponencial doble	Winters	Arima	Sarima	
C	150	8%	54%	13%	16%	13%	43%	30%	
C	200	5%			10%	14%	9%		13%
C	220	11%			36%		16%	13%	
C	250	26%			16%		13%	13%	
C	300	14%			35%	18%	18%	13%	
C	320				11%			26%	
C	350	4%			7%			40%	
C	480	13%			18%				

Anexo 11. Cantidad para producir por familia: Línea A

Familia	Cantidad de lotes
175	10
235	8
250	6
300	28
450	0
500	12
700	120
900	3
1000	123
1100	48
5000	308

Anexo 12. Cantidad para producir por familia: Línea B

Familia	Cantidad de lotes
180	0
200	39
450	58
480	388
520	0
900	0
1000	286
1800	0
2000	69
4500	1
5000	194
6000	12
9000	20

Anexo 13 Cantidad para producir por familia: Línea C

Familia	Cantidad de lotes
150	64
200	1
220	143
250	14
300	12
320	0
350	29
480	79

Anexo 14. Cantidad desagregada para producir por producto: Línea A

Código	Cantidad Para Producir [cajas]
1032	4891
1087	5048
1070	4072
1081	3429
1073	2907
1095	3004
1080	2451
1000	2239
1070	2802
1039	2506
1041	2468
1098	2541
1036	2457
1039	2377
1023	2131
1080	2083
1090	2058
1033	1489
1010	1837
1058	1424
1065	1619
1028	1673
1005	875
1092	1052
1066	1223
1042	1219
1027	1005
1013	263
1023	258
1048	1094
1010	243
1079	859
1095	225
1022	1042
1041	593
1042	856
1042	2523
1046	848
1052	671
1088	178

Anexo 15. Cantidad desagregada para producir por producto: Línea B

Código	Pronóstico Producto [cajas]
3027	9718
3084	52624
3052	11930
3056	14623
3030	11728
3011	14818

Anexo 16. Cantidad desagregada para producir por producto: Línea C

Código	Pronóstico Producto [cajas]
2026	20646
2098	6248
2076	10244
2053	2516
2055	2887
2038	3050
2068	2176
2010	3899
2076	2191
2012	1764
2094	4182
2010	1950
2100	1546

Anexo 17. Menú aplicación control de la capacidad productiva.



Anexo 18. Análisis por línea aplicación control de la capacidad productiva.

DEMANDA MENSUAL DE LÍNEA EN HORAS		
Familia	Línea 1	
150	50	
180		
200		
360		
450		
480		
520	309	
Familia		Línea 2
900		454
1000		
Familia	Línea 3	
1800	1	
2000		
4500	177	
5000		
6000	6	
9000		
	10	

UTILIZACIÓN CAPACIDAD DE LÍNEAS (MES)		
Línea 1	Línea 2	Línea 3
72,53%	39,19%	91,72%

Anexo 19. Dashboard aplicación control de la capacidad productiva.

Análisis Línea A

Tiempo disponible por línea [h] 495

Línea 1			
Tiempo necesario de	Horas	Turnos	Días
	454	39	20
Capacidad productiva al límite			
Tiempo disponible	Horas	Turnos	Días
	41	4	2

UTILIZACIÓN

