

**PROPUESTA DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA LOS
PRODUCTOS TIPO A DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE
PRENDAS QUIRÚRGICAS**

ANDRÉ JOEN GONZÁLEZ TREJOS

LUIS DAVID SEPÚLVEDA RUALES

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

GUADALAJARA DE BUGA

2025

**PROPUESTA DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA LOS
PRODUCTOS TIPO A DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE
PRENDAS QUIRÚRGICAS**

ANDRÉ JOEN GONZÁLEZ TREJOS

LUIS DAVID SEPÚLVEDA RUALES

Trabajo de Grado para Optar por el Título de Ingeniero Industrial

Tutor:

Álvaro José Torres Penagos

Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

GUADALAJARA DE BUGA

2025

Contenido

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
1. MARCO GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO	6
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
1.4. JUSTIFICACIÓN	10
2. MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.1 ANTECEDENTES	10
3. MARCO TEÓRICO.....	13
3.1 Caracterización	13
3.2 Técnica (P x Q)	13
3.3 Capacidad productiva.....	13
3.4 Pronósticos de demanda	14
3.5 Plan maestro de producción	14
3.6 Programación de la producción.....	15
3.7 Análisis de sensibilidad.....	15
4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	15
4.1. DEL PROCESO PRODUCTIVO	16
4.1.1. Organigrama Estructural.	16
4.1.2. Definición de los Productos Tipo A.	17
4.1.3. Recursos Utilizados	19
4.1.4. Descripción del Proceso Productivo.	20
4.1.5. Aplicación de la Metodología SIPOC.....	21
4.2. Definición de las Capacidades de Producción.....	23
5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	25
5.1 Análisis del comportamiento de la demanda	25
5.2 Sistemas de Pronósticos.	28
5.3 Plan Maestro de Producción.....	35
5.4 Programación de la producción.....	39
6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	42
6.1. Un día a la semana no disponible para laborar.....	43
6.2. Pedido especial	44

6.3. Variaciones en la eficiencia (personal nuevo)	45
7. CONCLUSIONES.....	46
8. BIBLIOGRAFÍA.....	47
9. ANEXOS	51
9.1. Anexo 1: Análisis del Comportamiento de la Demanda.....	52
9.2. Anexo 2: Automatización de los Pronósticos.....	52
9.3. Anexo 3. Interfaz Gráfica de Power Bi para Pronósticos de Demanda...	55
9.4. Anexo 4 Nivel de Respuesta MPS vs método Antiguo.	56
9.5. Anexo 5. Código Visual Basic para la programación de la producción:..	57

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema de la programación de la producción para los productos tipo A de una empresa manufacturera de prendas quirúrgicas dedicada a la fabricación y comercialización. A través de un enfoque sistemático que incluye la caracterización del proceso productivo, la aplicación de modelos de pronósticos, la elaboración de un Plan Maestro de Producción (PMP) y un análisis de sensibilidad bajo escenarios simulados, se busca mejorar el uso de los recursos. La investigación responde a necesidades detectadas en la empresa como incumplimientos en tiempos de entrega, sobreproducción y bajo niveles de inventario, afectando directamente la satisfacción del cliente. Este estudio permite evidenciar como una planeación estructurada basada en datos históricos y herramientas cuantitativas, contribuye significativamente a la reducción de inventarios, hasta en un 66.5%, y un aumento en la precisión de las unidades demandas vs las producidas de hasta 66.67% de las veces.

Palabras claves

Clasificación ABC, caracterización, eficiencia operativa, plan maestro de producción, pronósticos de demanda, programación de la producción, análisis de sensibilidad.

ABSTRACT

This study aims to design and implement a production scheduling system for type A products in a surgical garment manufacturing and marketing company. Through a systematic approach—including process characterization, the application of forecasting models, the development of a Master Production Plan (MPP), and a sensitivity analysis under simulated scenarios—the research seeks to optimize the use of available resources. The study addresses issues previously identified in the company, such as delays in delivery times, overproduction, and low inventory levels, all of which negatively impact customer satisfaction. The results demonstrate that structured planning, based on historical data and quantitative tools, significantly contributes to improving operational efficiency and

responsiveness in highly demanding production contexts such as the healthcare sector.

Keywords

ABC classification, process characterization, operational efficiency, Master Production Plan, demand forecasting, production scheduling, sensitivity analysis.

INTRODUCCIÓN

En el entorno actual, la industria manufacturera enfrenta presiones crecientes para responder de manera eficiente a las demandas del mercado, especialmente en sectores críticos como el sector salud. Las empresas fabricantes de prendas quirúrgicas deben cumplir con exigencias estrictas en cuanto a calidad, tiempos de entrega y costos, por lo que la optimización de su sistema productivo es clave para mantenerse competitivas.

Este trabajo se centra en una empresa que, pese a su experiencia, presenta fallas operativas en su planificación tales como retrasos frecuentes, sobreproducción e insatisfacción del cliente, todo esto causado por una gestión empírica de su producción, ante esta situación se propone una metodología integral basada en técnicas ampliamente reconocidas y utilizadas en la ingeniería industrial tales como la clasificación ABC que permite la priorización de los productos, el análisis de la capacidad para saber hasta dónde puede llegar la empresa, modelos de pronósticos cuantitativos que ayudan a predecir la demanda de futuros periodos dependiendo la tendencia que tengan los productos y la simulación de escenarios para evaluar la flexibilidad el proceso productivo ante situaciones puntuales. Se espera que la aplicación de estas herramientas permita obtener una mejor organización y control del proceso, mejorando la asignación de los recursos y también elevando la satisfacción del cliente, factor especialmente clave en esta empresa. La planeación estratégica de la producción representa una ventaja competitiva al permitir anticipar la demanda y reducir la incertidumbre operacional, de igual forma es de suma importancia estructurar esta planeación de la producción en torno a los productos claves y de esta forma lograr un mejor aprovechamiento de los recursos

1. MARCO GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa se dedica a la manufactura de toda la línea médico-quirúrgica y estética, la producción se centra en prendas médicas y quirúrgicas, también producen indumentaria para la odontología y el sector alimentos, del mismo modo para la parte estética de la medicina y paquetes de cirugía estériles.

Para brindar un contexto más completo, la empresa dispone de 16 talleres, cada uno con 4 trabajadores, los cuales operan bajo contratos de obra o labor. Además, cuenta con 8 empleados de oficina y planta, sumando un total de 72 empleados, y según la Ley 905 de 2004 (Colombia, 2004), una empresa mediana se define como aquella que tiene entre 51 y 200 empleados.

En la industria de la manufactura de prendas quirúrgicas, la eficiencia en la producción y la gestión de inventarios son elementos esenciales para garantizar la calidad del producto final, la satisfacción del cliente y la competitividad (Duflou, 2012). La empresa, especializada en la fabricación de productos para uso quirúrgico trabaja en un ambiente híbrido MTS MTO lo cual significa que combina lo mejor de las dos estrategias, es decir, una parte se produce para inventarios (MTS) y otra parte bajo pedido (MTO) (Cheng, 2020). La empresa presenta quejas frecuentemente por pedidos que envían sin los requerimientos necesarios, especialmente en las cantidades a enviar, además de que sus tiempos de despacho de pedidos suelen demorarse, por lo que se enfrenta al desafío de optimizar su proceso de producción implementando un Plan Maestro de Producción (PMP) integral.

Como se puede observar en la *Tabla 1*, la empresa ha enfrentado quejas recurrentes de sus clientes debido a la falta de precisión en los pedidos enviados, como errores en las cantidades o retrasos en las entregas. Estos problemas reflejan una planeación y programación de operaciones empíricas, lo que ha generado varios desperdicios Muda tipo 2 (Ohno, 1988), es decir actividades que no agregan valor y deben eliminarse. Entre los desperdicios más relevantes que afectan a la empresa se encuentran:

Tabla 1. Peticiones, quejas, reclamos y sugerencias

Fecha	Tipo de Comunicación	Descripción	Presentado por	Proceso que le aplica	Análisis	Realizado por	Acción a Seguir	Tiempo de Atención (días)	Evaluación Satisfacción (Escala 1-10)
3/1/2024	Queja	Pedido Incompleto: Falta de 98 unidades de la referencia 003-0001-000033 en un pedido 2200 unidades	Ciente A	Revisión de Bodega de Inventarios	Conteo de Unidades del ítem 003-0001-000127	Supervisor de Producción	Descuento por inconformidad y Reposición de Faltantes	2	7
8/1/2024	Carta de Reclamo	Pedido Incompleto: Falta de 14 unidades de la referencia 003-0001-000126 en un pedido 250 unidades	Ciente B	Revisión de Bodega de Inventarios	Conteo de Unidades del ítem 003-0001-000126	Supervisor de Producción	Descuento por inconformidad	2	6
17/1/2024	Queja	Retraso de 2 días en el pedido 045M	Ciente A	Queja al proveedor	Revisión de Materia Prima Disponible	Gerencia	Analizar posibles nuevos proveedores y solicitud de prueba al cliente	4	4
23/1/2024	Carta de Reclamo	Error de envío: Envío de una referencia errónea al cliente	Ciente D	Revisión de los talleres de corte y confección	Revisión de la producción del ítem pendiente	Gerencia	Solicitud de plazo de entrega	1	7
26/1/2024	Queja	Retraso: Retraso de 3 días del ítem pendiente del pedido del cliente D	Ciente D	Revisión de disponibilidad del ítem requerido	Cambiar el sistema de priorización de los pedidos	Supervisor de Producción	Propuesta de descuento	1	3

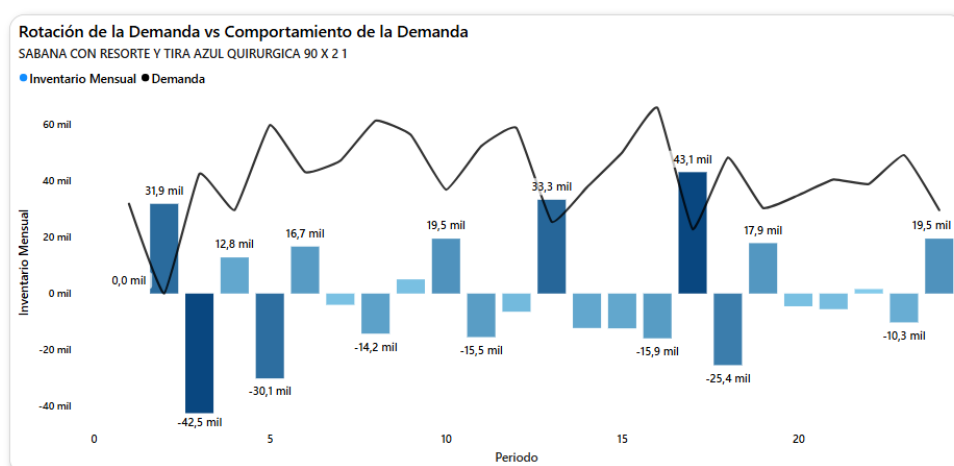
Fuente: *Elaboración propia*

Entre los desperdicios de la Muda tipo 2, los que más se destacan en la empresa son:

1) Sobre producción e inventario insuficiente.

La empresa enfrenta problemas tanto de sobreproducción como de inventario insuficiente, ambos relacionados con una planificación inadecuada de la producción como se puede observar en la *Gráfica 1*. En el caso de la sobreproducción, se observa que en el periodo 2 se produjeron 31.9 mil sábanas azules, mientras que la demanda fue de 0. Al no haber pedido pedidos para ese periodo, provocando un inventario de 31.9 mil unidades, lo que resulta en inventarios obsoletos y costos de almacenamiento innecesarios. Este es un claro ejemplo de Muda de sobreproducción, donde se fabrican productos sin tener en cuenta la demanda real. Por otro lado, el problema opuesto se presenta con el periodo 5, donde la falta de inventario obligó a la empresa a incurrir en costos adicionales, como horas extra, afectando negativamente la rentabilidad. Este es un caso típico de Muda de inventarios donde se baja el nivel de servicio como se menciona en (Cuatrecasas, 2021).

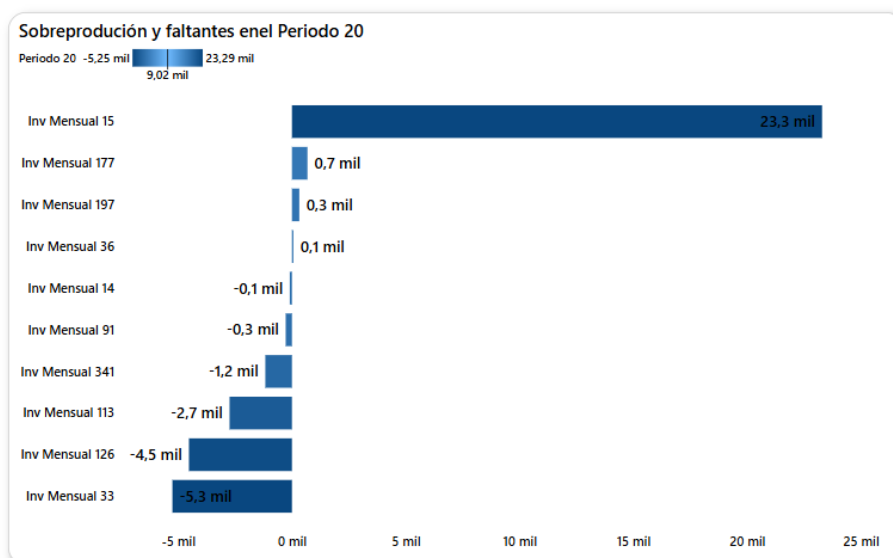
Gráfica 1. Rotación de la demanda vs comportamiento de la demanda



Fuente: Elaboración propia

De la Gráfica 2 se puede observar que por ejemplo en el periodo 20, hubo una cantidad de sobrantes de 24.4 mil unidades de productos tipo A, y una cantidad de producto faltante de 14.1 mil unidades, lo que provoca insatisfacción a los clientes, además, viendo todo de una manera global, este desbalance de inventario genera confusiones en los operarios de empaque.

Gráfica 2. Comportamiento de la producción por ítem



Fuente: Elaboración propia

2) Retrasos en las entregas y costos adicionales.

La empresa enfrenta retrasos en la entrega de pedidos, lo que provoca insatisfacción entre los clientes y pérdida de margen de contribución. Estos retrasos se deben a la falta de planificación adecuada, generando no solo problemas de Muda de esperas, sino también costos adicionales (Womack, New York) al tener que recurrir a medidas como descuentos por retrasos y compensaciones, lo que reduce la competitividad de la empresa.

3) Errores en la gestión de Pedidos

La recepción de productos incorrectos o incompletos está asociada a Muda de defectos, donde los errores en el procesamiento de pedidos causan insatisfacción en los clientes. Estos defectos obligan a la empresa a responder con garantías o descuentos, lo que impacta directamente en su rentabilidad y márgenes de contribución.

Todo lo anteriormente descrito genera que haya no conformidades con los clientes, pues hay quejas de entregas con retraso y que no llegan completas, o se reciben productos que no hacían parte de los pedidos, lo que afecta la rentabilidad de la empresa (Evans, 2020).

Ante esta situación, es crucial que la empresa implemente un Plan Maestro de Producción (PMP) que integre un sistema de clasificación de productos ABC y una planificación de materiales tipo A. Esta estrategia permitirá optimizar la producción y alinear los niveles de inventario con las demandas reales del mercado, eliminando los desperdicios y mejorando la eficiencia general. Los beneficios incluyen:

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo debe desarrollarse el sistema de planeación para los ítems A que integre un plan maestro y la programación de la producción en una empresa manufacturera de prendas quirúrgicas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de planeación de la producción para una empresa de prendas quirúrgicas que mejore la programación de la producción.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Caracterizar el sistema de producción de la empresa de fabricación de prendas quirúrgicas.
- ✓ Configurar un sistema de programación de la producción para los ítems priorizados que permita una mejor asignación de recursos y reduzca los tiempos de espera.
- ✓ Evaluar el nivel de respuesta ante diferentes escenarios a través de un análisis de sensibilidad.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La optimización de procesos de producción es un factor crucial en la competitividad y rentabilidad de las empresas manufactureras (Heizer J. R., Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management , 2020), en sectores altamente regulados y exigentes como el de productos quirúrgicos es muy importante lograr el mejor manejo de la producción. Es indispensable mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta de la empresa frente a la demanda del mercado, ahí la importancia de este trabajo, con una propuesta para que la empresa se comporte mejor en el área de producción y así cumplir las necesidades de los clientes de la mejor manera posible.

La implementación de una planeación de la producción adecuada facilita una gestión más eficiente de los recursos con los que cuenta la empresa (Gómez, 2018), una mejor coordinación entre las áreas, mejorando la calidad del producto final y reduciendo los tiempos de entrega.

El presente trabajo permite contribuir al cuerpo de conocimiento en el área de gestión de operaciones, específicamente en la implementación de estrategias de planificación de la producción para empresas del sector de dispositivos médicos. Al desarrollar un PMP específico para los productos tipo A de la empresa, se espera proporcionar a la organización herramientas y estrategias para mejorar su competitividad, garantizar su calidad y satisfacer las demandas del mercado, evitando quejas recurrentes de los clientes que disminuyen el nivel de servicio.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 ANTECEDENTES

La clasificación de ítems ABC es una herramienta que permite segmentar las referencias con las que trabaja las empresas en tres niveles, donde los productos más relevantes se encuentran en la categoría A, y los que requieren un menor control son los ítems tipo C.

La clasificación ABC tradicional, que solo se basa en el volumen de ventas, tiene la desventaja principal de requerir que los artículos sean homogéneos entre sí, algo que no siempre ocurre en la práctica. Debido a esto, no se recomienda usar

el análisis ABC tradicional. Por otro lado, los métodos multicriterio tienen como principal ventaja la evaluación de la importancia de un producto a través de múltiples criterios cuantitativos y cualitativos como el tiempo de entrega, la criticidad del producto, la durabilidad y el tamaño del pedido, entre otros (Paredes Rodriguez, 2019).

En el estudio de (R. Ternero, 2023), utilizan un método de clasificación de patrones de demanda de cada SKU definido previamente con la clasificación ABC con el método del 50%, 30%, 20%, con el fin de definir cuál es la mejor técnica de pronóstico para cada SKU.

Como se menciona en (Syntetos, 2016) es posible definir cuatro criterios usando los coeficientes de variación cuadrática de la demanda (CV2) y el intervalo de demandas medias (ADI).

1. Demanda Blanda: la demanda es regular, con pocos periodos sin demanda, con un CV2 bajo y un IDA baja.
2. Demanda Intermitente: es un poco más aleatoria con poca variación en la demanda de cantidad y mayor variación en los intervalos entre dos demandas, con un coeficiente CV2 bajo y un IDA alta.
3. Demanda Errática: es regular en el tiempo, con alta variabilidad de la demanda. Tiene un intervalo bajo entre el ADI y un alto coeficiente de demanda CV2.
4. Alta Demanda: la variabilidad de la cantidad de demanda y los intervalos son elevados; el CV2 es alto, al igual que la IDA

Según como se menciona en (Parkash, 2011) SIPOC significa Supplier-Inputs-Process-Outputs-Customers y es una representación gráfica que permite entender e identificar los elementos importantes en un proceso de gestión. Esta metodología, utilizada para la mejora de procesos, esquematiza los elementos clave de un proceso, permitiendo un análisis amplio del mismo; También ayuda a reconocer proveedores, entradas y salidas del proceso, y la relación con los clientes en cada paso, facilitando la comprensión y adaptación de los requerimientos de los clientes.

En un estudio realizado por (Valencia Martinez, 2020) se realiza un pronóstico de demanda utilizando el método de los mínimos cuadrados en Excel para obtener un pronóstico de la demanda mensual del años a partir de los datos históricos de los años, donde se obtienen los valores de las constantes a y b de la ecuación de la recta($Y = a \cdot X + b$) donde después de sustituir la variable independiente X con el número del periodo a evaluar, se obtiene la variable Y la cual representa la demanda proyectada mensual.

En (Paz Chavez, 2017) se propone que las dimensiones del plan maestro de producción que la tanto la demanda estimada con alguna técnica pertinente,

como las necesidades concretas (órdenes de compra) funcionan como datos de entrada para la elaboración del PMP.

En un trabajo de titulación de la Universidad Austral de Chile, (Macaya Barría, 2014) se concluyó que, para mejorar los bajos índices de cumplimiento de demanda, se recomienda elaborar un Programa Maestro de Producción (PMP) con frecuencia mensual. Esto también ayudaría a evitar la fabricación de unidades innecesarias.

En otro trabajo realizado por (Gutiérrez Ramírez, 2014) donde la simulación se utiliza en la evaluación del Plan Maestro de Producción (PMP) para validar y analizar diferentes estrategias de producción. El proceso comienza con la introducción y validación de los datos en una hoja de Excel, simulando inicialmente un mes para comprobar la exactitud de la planificación. Cada estrategia de producción, como la nivelación, se simula ajustando parámetros como el número de trabajadores, horas extras y producción subcontratada. Los resultados de la simulación se comparan con ejemplos teóricos para verificar su precisión.

A través de ajustes basados en los resultados de la simulación, se identifican variaciones y se optimiza la producción, asegurando que el modelo es válido y que se alcanzan las metas de producción. Esto permite evaluar la viabilidad y efectividad del plan maestro, garantizando que se optimizan los recursos disponibles y se cumplen los objetivos de producción.

La planeación y la programación de las operaciones es un proceso que en términos generales busca definir la mejor manera de asignar los recursos para atender los requerimientos de demanda, de tal modo que se cumplan los objetivos de la compañía (Noori, 1995).

La planeación de la producción es una parte fundamental de la programación de operaciones. Se refiere al proceso de determinar qué bienes o servicios se producirán, en qué cantidad y también determina el orden o la prioridad que estos deben ser procesados, con el objetivo de satisfacer la demanda del mercado de manera eficiente y que siga siendo rentable (Heizer J. R., 2014).

Como análisis de los antecedentes respecto al desarrollo de esta investigación se tiene principalmente una similitud en la realización de las técnicas, aunque también existen diferencias. En la clasificación ABC se utiliza la versión tradicional basada en el criterio de Precio por cantidad que es similar a la realizada en los antecedentes, aunque no se adopta el análisis multicriterio.

En cuanto a los pronósticos en los antecedentes se menciona la elección de modelos que usan el tipo de demanda como, errática, intermitente, etc. Metodologías que en el trabajo se utilizan como parte fundamental de los pronósticos, como diferencial al respecto se tiene la utilización de herramientas en Excel para la automatización futura de estos pronósticos.

Para el MPS se utiliza una técnica similar a la referenciada, teniendo el Excel como herramienta principal en la realización de este, para la validación se utilizó

el análisis de sensibilidad, cambiando variables claves del proceso que suelen tener incidencia en el mes.

Finalmente, para la programación de la producción vista en los antecedentes no se tiene un uso tan específico de herramientas en Excel, para esta investigación llegamos a un código VBA que permite la automatización de este proceso.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Caracterización

La caracterización de un sistema de producción incluye un análisis muy especificado sobre todos los elementos que forman el entorno productivo de una empresa (Slack N. B.-J., Operations Management , 2019). Esto incluye la estructura organizacional, el tipo de proceso productivo, los insumos que son requeridos para llevar a cabo las diferentes operaciones, el análisis de todos estos elementos resulta muy importante para identificar diferentes cuellos de botella que se pueden ocasionar que afectan directamente a la eficiencia de la empresa.

Un punto importante para desarrollar es la clasificación ABC la cual permite jerarquizar los ítems según su importancia económica (Herrera, 2017). Esta técnica se basa principalmente en el principio de Pareto, donde nos indica que un pequeño grupo de productos (tipo A) representa un gran porcentaje del valor total. Para este caso en particular se aplicó la clasificación ABC en función del valor obtenido por el producto del precio unitario por la cantidad demandada obteniendo como resultado los ítems tipo A que son el objeto de estudio de esta investigación.

3.2 Técnica ($P \times Q$)

La metodología precio por cantidad $P \times Q$, es una técnica utilizada para clasificar artículos o productos en la gestión de inventarios y en la toma de decisiones en logística (Krajewski, 2019), cuyo objetivo es clasificar los ítems según su impacto económico, principalmente para priorizar esfuerzos en el control. Se basa en dos criterios principales:

P: Precio unitario del ítem

Q: Cantidad consumida

3.3 Capacidad productiva

La capacidad productiva indica la cantidad máxima de bienes o servicios que la empresa es capaz de producir durante un periodo determinado (Slack N. C., 2017), teniendo en cuenta las diferentes variables del proceso productivo. Este indicador es de gran ayuda para una buena planeación ya que nos permite identificar los límites reales de la empresa y el proceso productivo.

3.4 Pronósticos de demanda

El pronóstico de la demanda es el proceso mediante el cual se estima el futuro de demanda de cualquier bien o servicio, es vital para la toma de decisiones en cualquier empresa y en áreas específicas dentro de esta como el área financiera, producción, inventarios, compras, entre otras. Dentro de estos se pueden utilizar dos diferentes enfoques como lo son el cualitativo (juicio de expertos, método Delphi) y el cuantitativo con (series temporales, simulaciones) como se menciona en (Hanke, 2010 (9a ed.)).

- **Promedio móvil:** Técnica simple que suaviza las fluctuaciones aleatorias, especial en demandas sin estacionalidades marcadas.
- **Suavización exponencial simple:** Este les da principal importancia a los datos más recientes permitiendo tener mayor capacidad de reacción a los cambios de tendencia.
- **Suavización exponencial doble:** Incorpora dentro de su aplicación una tendencia lineal.
- **Método de Croston:** Está diseñado para productos con demanda intermitente, trata por separado los intervalos entre demandas y las cantidades solicitadas.
- **Pronósticos combinados:** Se centra en integrar los resultados de los múltiples métodos de pronósticos con el fin de mejorar la precisión de este.

Para la selección del mejor modelo el cual es el que se aproxime más a la demanda real se evalúan diferentes medidas de error como lo son el MSE (Error cuadrático medio) y la desviación estándar de los errores del pronóstico, donde la elección final del pronóstico ideal es donde el error sea lo más cercano posible al 0.

3.5 Plan maestro de producción

Este es un programa detallado que indica particularmente cuantos se debe producir, qué productos y en qué momento se debe fabricar, este se alimenta principalmente de los pronósticos especificando qué cantidades se deben producir, siendo este el que nutre la programación de la producción (Vargas, 2019).

Para el plan maestro es de suma importancia estar alineado con la capacidad de la empresa ya que a partir de esto si el MPS excede la capacidad de la empresa se deben gestionar diferentes estrategias que permitan cumplir con los pedidos por ejemplo con maquilas u horas extras, de igual manera es vital para un control de inventario.

3.6 Programación de la producción

Para la programación de la producción se conjugan todos los pasos anteriores donde el MPS es la materia prima de este, define de qué manera debe producirse (Gomez, 2018), en cuales lapsos de tiempo debe hacerse uno u otro producto y adicionalmente los materiales para tener en cuenta y así lograr las mejores combinaciones entre productos, esto permite reducir tiempos muertos, una mejor organización del proceso productivo y mejorando los tiempos de entrega.

Se debe tener claridad sobre el objetivo de la programación de la producción para establecer el enfoque claro, en este caso el objetivo principal es reducir las quejas de los clientes por demoras en los pedidos y adicionalmente tener un mejor control sobre qué producir para mejorar en los excesos de inventarios.

3.7 Análisis de sensibilidad

Esta técnica es utilizada especialmente para medir la capacidad de un proceso ante los cambios que se puedan generar como la variación de los parámetros como por ejemplo los tiempos de proceso, cambios en la demanda, capacidad disponible o cualquier otro factor clave dentro del proceso de la empresa.

El análisis de sensibilidad permite a los responsables poder tomar decisiones ante situaciones inciertas y poco recurrentes (Montoya, 2020), comprendiendo de esta manera los límites de la empresa en los diferentes aspectos.

4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

En cualquier investigación es importante conocer el estado actual de la empresa, identificar lo involucrado como las máquinas, el número de trabajadores, los materiales a utilizar, las instalaciones y demás cosas que hagan parte de la organización. Todo el proceso desde la llegada de materia prima hasta el producto terminado debe detallarse para tener una visión del funcionamiento de la empresa y tener claridad de las posibles fallas que se tienen, ya sea en su estructura, proceso productivo, etc. Para la realización de lo anterior existen diferentes técnicas como SIPOC (Proveedor => Insumos => Proceso => Salida => Cliente =>) cuyo objetivo es proporcionar una vista general y de alto nivel de un proceso desde los proveedores que suministran las entradas, pasando por el proceso y hasta las salidas que reciben los clientes (Juran, 1999), con este se va a poder obtener toda la información de la empresa y comprenderla de una manera más simple y especificada, para la obtención de todos estos datos existen diversas herramientas como organigramas, diagramas de procesos, cursogramas, entre otros.

Como primer paso, se realizaron 3 visitas a las diferentes áreas de la empresa que permitieron identificar y recolectar datos de cada una, así se puede hacer un diagnóstico, se realizaron tres visitas a las distintas áreas de la empresa con el objetivo de identificar y recolectar información clave del entorno productivo y administrativo. Estas visitas permitieron comprender el

funcionamiento integral de la organización y aplicar herramientas de análisis más precisas. A partir de este trabajo de campo, se obtuvo una visión detallada de la infraestructura y distribución física de la empresa, necesaria para proponer mejoras fundamentadas.

La planta principal está ubicada en una zona residencial de Santiago de Cali y cuenta con un lote de 8 metros de ancho por 12 metros de largo, distribuido en tres niveles. En el primer nivel se encuentra la zona de recepción de la materia prima, la cual se transporta mediante un ascensor hasta el tercer nivel, donde se realiza el proceso de transformación. Este mismo nivel también alberga la bodega del producto terminado, organizada en estanterías desde donde se preparan los despachos. En el segundo nivel se ubica el área administrativa, compuesta por el gerente, el subgerente, una supervisora y la contadora de la empresa.

En el último nivel se encuentra la parte de producción, en la cual se da el proceso de transformación de los rollos de tela, según los requerimientos de producción que estos tengan, las operaciones del proceso son las siguientes:

1. Se debe desmontar el rollo de tela anteriormente usado (sí hay) y se debe montar un nuevo rollo de tela en la mesa de doblado, esta operación usualmente dura 5 minutos.
2. posteriormente se debe doblar el rollo 150 veces, que es el máximo de capas que permiten un buen doblado.
3. Se trazan los contornos de los ítems que se van a fabricar sobre la primera capa, y se hace el corte de las 150 capas.

La empresa donde se hace esta investigación tiene una particularidad en la parte de la confección, tiene 16 talleres en diferentes partes de la ciudad donde tiene contratos de obra o labor con las empleadas que en total son 64, esto es, que no tienen un sueldo fijo, solo reciben el pago dependiendo de la cantidad que realicen y considerando también las referencias que requiera la empresa.

Para la elaboración de todos los productos, la empresa cuenta con un solo turno de 8 horas al día y con una posible extensión a máximo de 12 horas, esto en los días donde se haga necesario por retrasos en las entregas, dialogando con la gerente varias veces al mes tienen que incurrir a tomar esta medida lo que genera principalmente un impacto económico, teniendo mayores costos de producción.

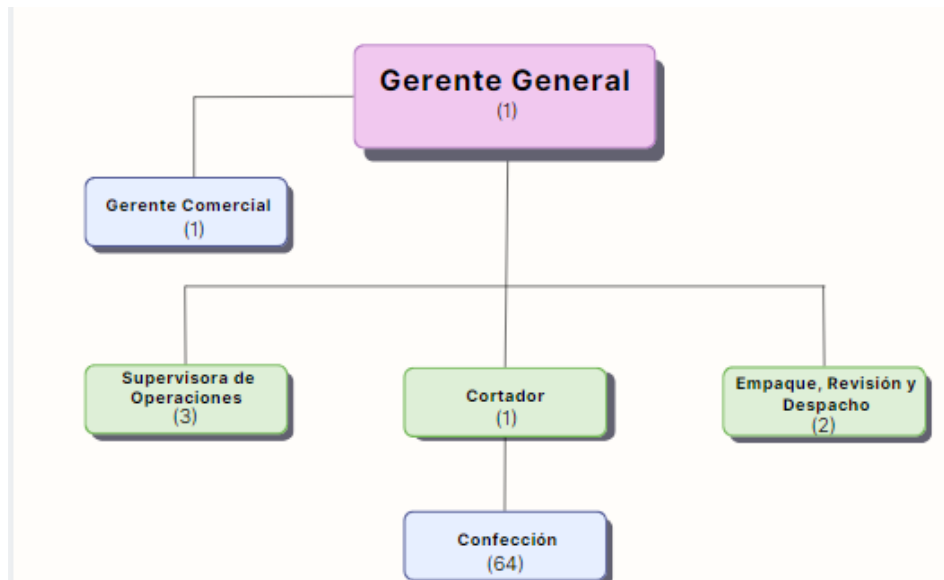
4.1. DEL PROCESO PRODUCTIVO

4.1.1. Organigrama Estructural.

Como se puede observar en la *Gráfica 3* se especifica la estructura jerárquica que compone la empresa objeto de estudio donde se tiene un grupo de

operarios de 67 personas y 3 supervisores aparte de la conformación gerencial de la empresa.

Gráfica 3. Organigrama estructural



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Definición de los Productos Tipo A.

La empresa actualmente cuenta con una gran cantidad de ítems que dificulta la operación teniendo en cuenta que muchos de estos no tienen ningún tipo de rotación en la actualidad es por esto por lo que resulta beneficioso la priorización de los productos. Para la definición de los productos tipo A se ha optado por la metodología precio por cantidad (PxQ) (Nahmias, 2013), donde se ha definido que la variable P es el precio unitario de los ítems, y Q es la suma de la demanda mensual como se puede observar en la *Ecuación 1*.

Ecuación 1. Definición productos tipo A

$$PxQ = P_i \sum_1^i Q_{ij}$$

Donde:

P_i: Precio del ítem i.

Q_{ij}: Demanda del ítem i en el mes j.

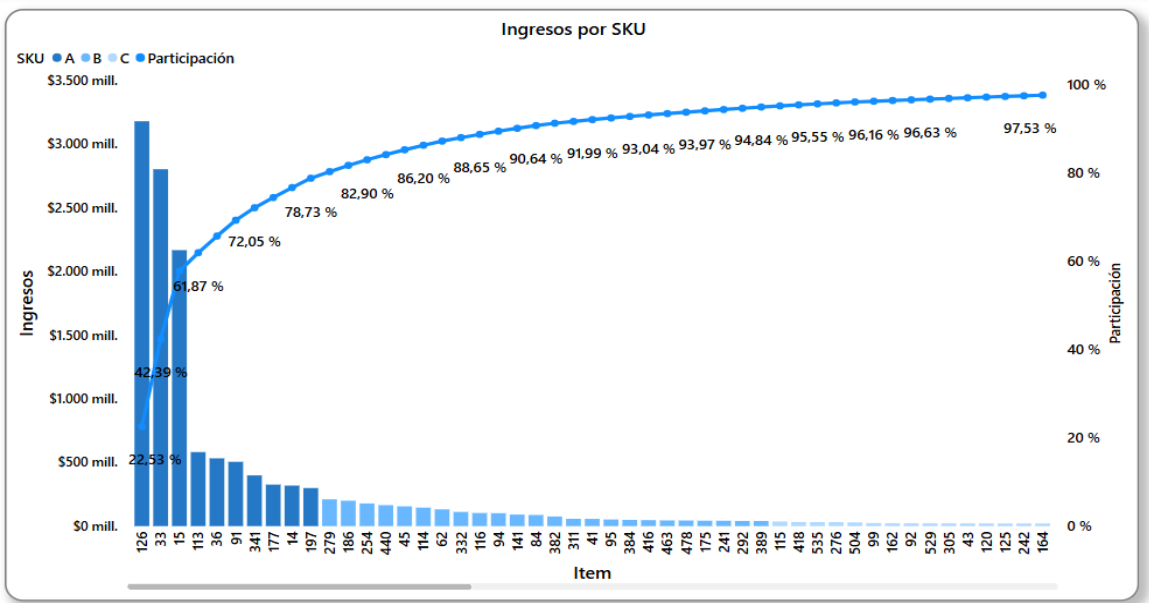
Posteriormente se procede a hallar la participación de cada ítem con respecto al total del indicador PxQ, tomando este como una nueva variable, esto se puede realizar de la siguiente manera, ver en *Ecuación 2*.

Ecuación 2. % Participación de cada ítem

$$\%Participación = \frac{PxQ_i}{\sum_1^i PxQ_i}$$

Al final de este proceso se hizo la suma, ya que de acuerdo con la metodología de la clasificación ABC por Pareto, los ítems tipo A son el 20% del total que producen el 80% de los ingresos como podemos notar en la *Gráfica 4*.

Gráfica 4. Clasificación ABC



Fuente: Elaboración propia

De la *Tabla 2* se puede concluir que la regla del 80/20 se cumple de la siguiente manera: los ítems 126, 33, 15, ..., 197 representan 7.58% de los ítems totales, y generan \$ 11.114.521.600 COP, que es alrededor del 78.73 % de los ingresos brutos.

Tabla 2. Ítems priorizados

SKU	Total	Precio	P*Q	Participación
☐ A	3.137.588	\$70.600	\$11.114.521.600	78,73 %
126	993.942	\$3.200	\$3.180.614.400	22,53 %
33	824.645	\$3.400	\$2.803.793.000	19,86 %
15	722.694	\$3.000	\$2.168.082.000	15,36 %
113	68.428	\$8.500	\$581.638.000	4,12 %
36	156.629	\$3.400	\$532.538.600	3,77 %
91	132.944	\$3.800	\$505.187.200	3,58 %
341	49.848	\$8.000	\$398.784.000	2,82 %
177	98.848	\$3.300	\$326.198.400	2,31 %
14	79.639	\$4.000	\$318.556.000	2,26 %
197	9.971	\$30.000	\$299.130.000	2,12 %
⊕ B	893.848	\$142.900	\$2.274.456.200	16,11 %
⊕ C	399.031	\$324.580	\$727.871.070	5,16 %
Total	4.430.467	\$538.080	\$14.116.848.870	100,00 %

Items A
10

Porcentaje de Participación
7,58 %

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Recursos Utilizados

Para la fabricación de las prendas médico-quirúrgico, actividad principal de esta empresa se requieren diferentes recursos que se detallarán a continuación:

En cuanto a las maquinas se puede ver en la *Tabla 3* donde se relaciona con claridad el tipo de máquina, área donde se utiliza y la cantidad.

Tabla 3. Maquinaria disponible

Equipos y Máquinas	Cantidad	Medidas	Área
Mesa De Corte	1	2.20 X 4.50 MTS	Corte
Cortadora industrial	1	0.15 X 0.30 MTS	Corte
Cortadora	1	0.10 X 0.15	Corte
Fileteadora	64	1.5 X 0.75 MTS	Confección
Plana	64	1.5 X 0.75 MTS	Confección
Mesa de doblar	5	1.5 X 1.2 MTS	Confección
Máquina. Sellado	1	0.75 X 0.4 MTS	Sellado
Mesa clasificación	1	1.5 X 1.5 MTS	Sellado
Escritorios	4	1.5 X 1.0 MTS	Administrativos
Carretillas elevadoras	1	Mediana	Almacen

Fuente: Empresa objeto de estudio

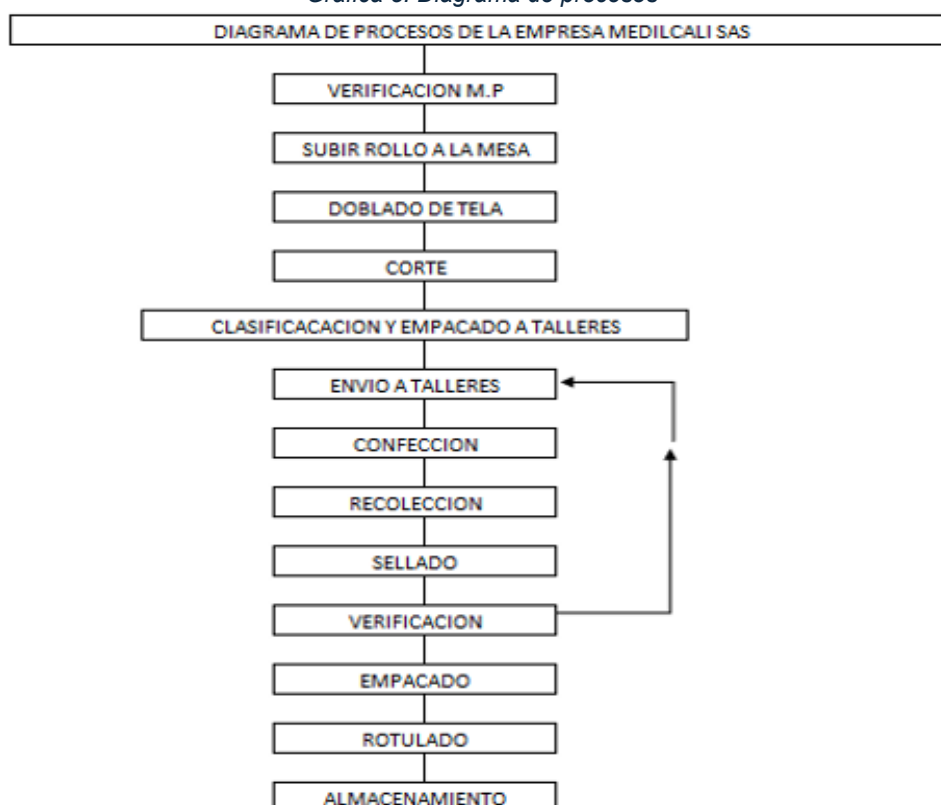
En la empresa a tratar la materia prima principal son los rollos de tela que son importados desde China, según información suministrada por la gerencia, el pedido se hace de manera semanal (Lead time de 6 días), teniendo en cuenta el movimiento de demanda que se tenga analizada de forma empírica, es decir, no cuentan con un método que les permite identificar la cantidad exacta a pedir, igualmente se estima que hacen pedidos de 15 rollos semanalmente divididos

principalmente en 10 de tela azul quirúrgica y los 5 restantes de otros colores según se requiera, hay que tener en cuenta que cada uno de estos tiene una medida de 1.000 metros de largo por 2.20 metros de ancho.

4.1.4. Descripción del Proceso Productivo.

Actualmente el proceso básico de cada uno de los productos es muy similar como se muestra en la *Gráfica 5*, todo comienza con la llegada de la materia prima, se procede a revisar que haya llegado en buen estado, se define el corte y se monta un rollo de tela a la mesa para comenzar el doblado, al terminar esta actividad se dibuja y se corta cuidadosamente, posteriormente se distribuye los cortes equitativamente a las operarias para que comiencen a confeccionar, luego se pasa al área de sellado para ser empacado y rotulado; luego se almacena en la bodega de producto terminado para después ser despachada a los respectivos clientes

Gráfica 5. Diagrama de procesos

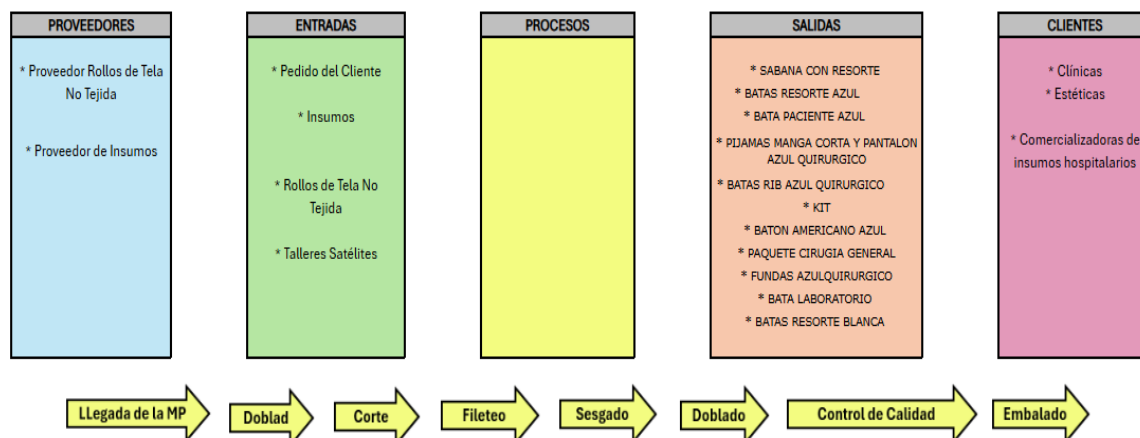


Fuente: Proceso de la empresa objeto de estudio

4.1.5. Aplicación de la Metodología SIPOC.

Esta metodología resulta muy útil en entornos productivos debido a que permite información de forma más específica sobre la empresa, observar *Gráfica 6*, desde los proveedores hasta el cliente final, al igual que los diferentes insumos necesarios para una correcta operación como se puede notar en la secuencia especificada en la *Gráfica 7*, donde el recuadro en amarillo indica lo procesos mencionados en las flechas del mismo color en la parte inferior.

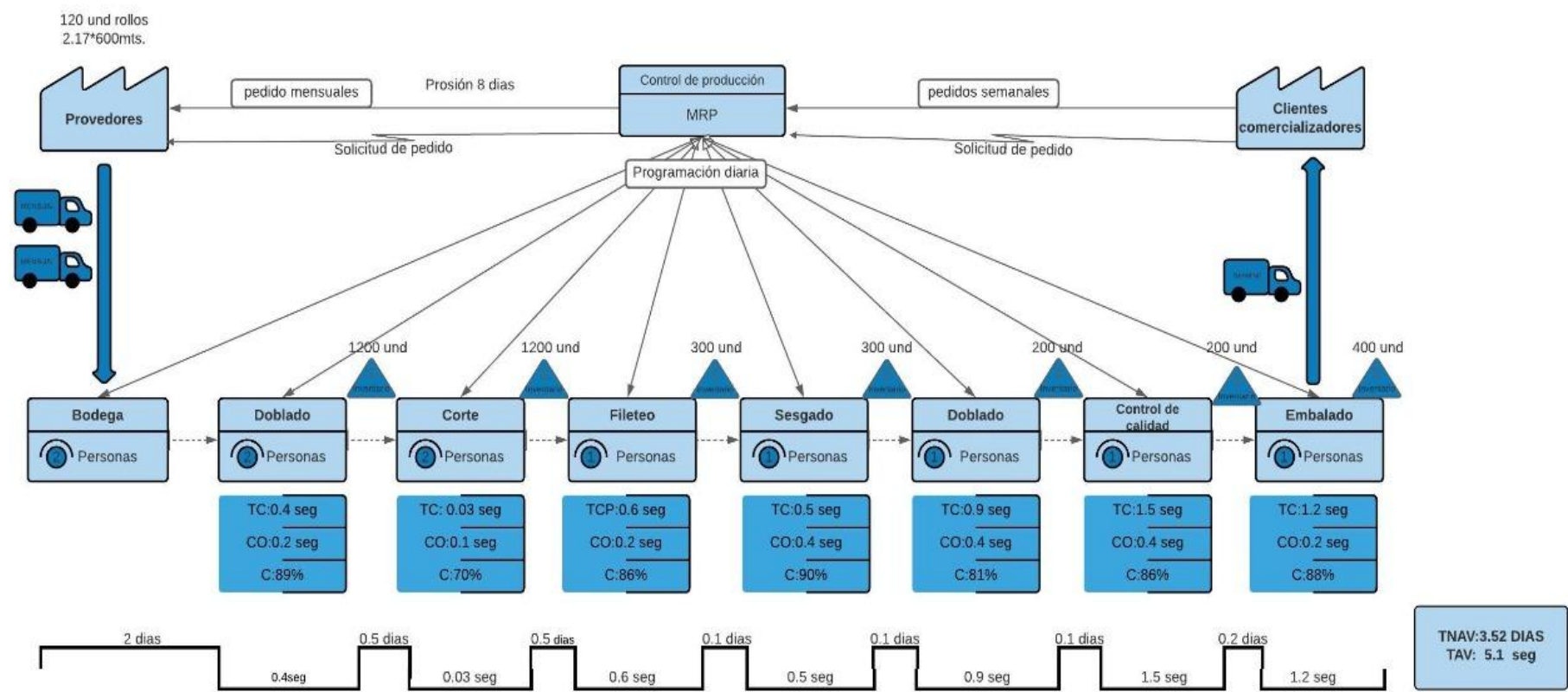
Gráfica 6. Secuencia diagrama SIPOC



Para comenzar, La cadena de suministro de la empresa inicia con los proveedores, quienes suministran los rollos de tela no tejida y empaques. A partir de allí se gestionan las entradas, que incluyen los pedidos de los clientes, la recepción de materias primas, los insumos adicionales y el apoyo de talleres de confección. Estos elementos son la base para dar inicio al proceso productivo, el cual se estructura en distintas etapas: llegada de la materia prima, doblado, corte, fileteo, sogado, nuevamente doblado, control de calidad y embalado, asegurando que el producto final cumpla con los estándares requeridos.

Las salidas de este proceso corresponden a una amplia gama de productos, como sábanas con resorte, batas de diferentes tipos y colores, pijamas quirúrgicos, fundas, kits quirúrgicos, paquetes de cirugía general y batas de laboratorio, todos elaborados para satisfacer las necesidades del sector salud. Finalmente, los clientes que reciben estos productos son principalmente clínicas, estéticas y comercializadoras de insumos hospitalarios, quienes garantizan que las prendas lleguen a su uso final en entornos médicos y de cuidado.

Gráfica 7. Mapa de cadena de valor



4.2. Definición de las Capacidades de Producción

Para la definición de la capacidad de la planta, se usó como insumo un estudio de tiempos realizado anteriormente por la empresa planteado en *Tabla 4*. En este se encuentran los tiempos de cada una de las operaciones, tanto las operaciones en planta (Doblado de la tela, cortado de la tela y empaque) como las operaciones tercerizadas (Fileteado, sesgado y Doblado del producto terminado).

Para definir la capacidad de la planta se toma la suma de los tiempos que son netamente de proceso operativo de despacho a terceros, en decir, doblado de tela por unidad, y corte de los moldes por unidad, obteniendo como resultado la columna “Total Minutos en Planta por Unidad”, es importante tener en cuenta que el trabajo realizado se centra en la máquina de corte la cual es el cuello de botella del proceso.

Tabla 4. Estudio de tiempos

Productos Tipo A	Tiempos de operación							
	Código	Prendas/Cap	Doblado Tela por unidad	Corte	Fileteado	Sesgado	Doblado Producto	Empaque
	126	6	0.017	0.010	0.8	NA	0.6	0.3
	33	8	0.013	0.010	0.6	0.5	0.4	0.4
	15	8	0.013	0.010	0.4	0.5	0.8	0.6
	113	6	0.017	0.030	0.6	0.6	0.8	0.5
	36	6	0.017	0.010	0.6	0.5	0.7	0.5
	91	12	0.008	0.020	0.8	0.7	0.7	0.6
	341	4	0.025	0.010	0.7	0.8	0.7	0.6
	197	4	0.025	0.020	0.9	0.8	0.6	0.7
	177	6	0.017	0.010	0.5	NA	0.5	0.4
	14	8	0.013	0.010	0.6	0.5	0.5	0.6
			Total Minutos en Planta/Unidad					
			0.027					
			0.023					
			0.023					
			0.047					
			0.027					
			0.028					
			0.035					
			0.045					
			0.027					
			0.023					

Fuente: Empresa objeto de estudio

La empresa trabaja en horario de oficina (8:00 a.m. – 4:00 p.m.) con derecho de media hora de almuerzo, sumado a ciertas consideraciones más asociadas a trabajar bajo un marco más realista, a saber, que la empresa no fabrica únicamente productos tipo A, por ende, se estima que el 80% del tiempo disponible es usado para este SKU. Otra consideración son las paradas no programadas, no es real afirmar que el 100% del tiempo disponible es productivo, así que se ha definido que la empresa debe estar al menos al 95% de la eficiencia en el peor caso. Gracias a esto, es posible conocer la disponibilidad de tiempo real con el que cuenta la empresa con los datos suministrados en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Disponibilidad de tiempo productivo

Disponibilidad de Tiempo			
Parametros	Horas	Minutos	Segundos
Número de Turnos	1		
Jornada Laboral	8,0	480,0	28.800,0
Descanso	0,5	30,0	1.800,0
Tiempo Productivo	7,5	450,0	27.000,0
Tiempo para Ítems A	6,0	360,0	21.600,0

Fuente: Elaboración propia

De esto se concluye que se cuenta con 342 minutos para el proceso dedicado a los ítems A, en la semana (lunes a sábado) se cuenta con 2052 minutos para responder con la orden de fabricación del plan maestro de producción (MPS).

Bajo esa lógica, a través de la *Ecuación 3*, es posible saber cuál es la capacidad de ítems que se pueden fabricar diariamente de cada ítem de la siguiente manera:

Ecuación 3. Cálculo de la capacidad productiva

$$Cap_i = \left\lfloor \frac{T_{día}}{Q_i * t_i} \right\rfloor$$

Fuente: (Vollmann, 2005)

Donde:

Cap_i : Capacidad del ítem i

$T_{día}$: Tiempo disponible diario

Q_i : Prendas Máximas en la primer capa del ítem i

t_i : Tiempo de operación del ítem i

De la *Tabla 6* se puede observar la capacidad máxima por cada uno de los ítems en cuanto a las capas que se pueden producir, esta información fue suministra por la empresa y de esa base se hacen cálculos como el de minutos por unidad donde se divide el tiempo que se demora en doblar una capa, en este caso 6 segundos en la cantidad de prendas por capas para obtener el tiempo por unidad, por ejemplo, del producto Bata paciente1 m azul quirúrgica un total de 1858 capas por día.

Tabla 6. Capacidad diaria por Ítem tipo A

Código	Nombre	Prendas por capas	Minutos por unidad	Minutos por una capa	Capas máximas por día
126	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1	6	0.027	0.162	2111
33	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	8	0.023	0.184	1858
15	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA	8	0.023	0.184	1858
113	PIJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	6	0.027	0.162	2111
36	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	6	0.027	0.162	2111
91	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	12	0.028	0.34	1005
341	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	6	0.047	0.282	1212
177	FUNDAS AZULQUIRURGICO 52X 68CM	4	0.035	0.14	2442
14	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	8	0.023	0.184	1858
197	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	4	0.045	0.18	1900

Fuente: Información extraída de la empresa

5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En este objetivo se planea realizar un sistema de planeación de la producción, a través de una adecuada manipulación de los datos históricos de ventas y de demanda.

5.1 Análisis del comportamiento de la demanda

En el contexto de la planeación de la producción, uno de los principales desafíos que enfrentan las organizaciones manufactureras es lograr una planeación eficiente de la producción.

Con el fin de alcanzar este objetivo, se ha diseñado una metodología para las proyecciones que integra técnicas estadísticas de pronóstico con criterios de selección basados en la variabilidad de la demanda. Esta metodología tiene como propósito generar datos confiables que sirvan como insumo principal para la construcción del Plan Maestro de Producción (MPS) (Stevenson W. J., Operations management, 2020).

Este es la herramienta clave en la planeación y programación de la producción, y su precisión depende de la exactitud de las estimaciones de demanda futura (Proyecciones). Por lo tanto, la metodología propuesta se enfoca en realizar una herramienta en Excel que permita que facilite a la empresa la aplicación permanente de la metodología, esto a través de una macro.

Para empezar, se caracteriza el comportamiento de los datos históricos de demanda de los productos a lo largo de los 24 meses de información que se tienen disponibles; Para ello se comienza calculando medidas como la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos:

1. Media:

Ecuación 4. Media

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{t=1}^t D_{ij}}{t}$$

Fuente: (Chopra S. &., 2019)

Donde:

D_{it} : Demanda del ítem i en el periodo t

2. Desviación Estándar:

Ecuación 5. Desviación estándar

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^t (D_{it} - \bar{X})^2}{t - 1}}$$

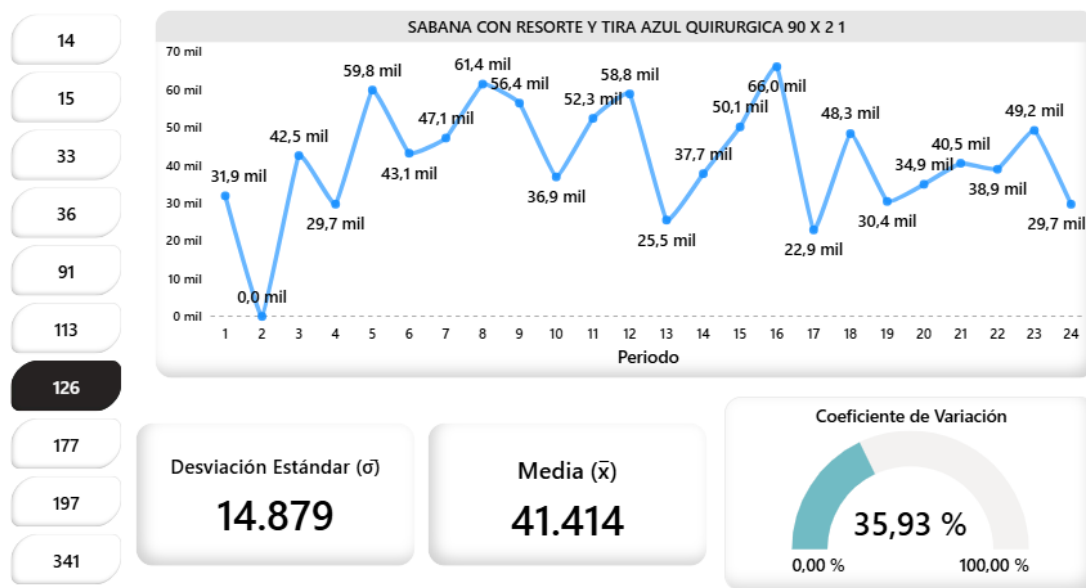
3. Coeficiente de Variación:

Ecuación 6. Coeficiente de variación

$$CV_i = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i}$$

De este modo se hace el análisis del comportamiento de la demanda; En la *Gráfica 6* se muestra la tendencia del ítem 126 ("SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1"). Dado a que el coeficiente de variación es menor al 100%, a saber, 35.93%, se puede considerar como una demanda con fluctuaciones en el tiempo (Gráficas Power Bi [Anexo 1](#)).

Gráfica 6. Análisis del comportamiento de la demanda (ítem 126)



Fuente: Registros de ventas de la empresa

En la *Tabla 7* se muestra el consolidado de las medidas estadísticas descritas anteriormente. Se puede observar 2 ítems, a saber, la bata paciente 1.00 m azul quirúrgica y el paquete de cirugía general #7 estéril, que sí bien no alcanzan un coeficiente de variación lo suficientemente alto, es posible considerar que son altamente variables, esto ya que hay que tener presente que la periodicidad de los datos es mensual, en dado caso que se tuviera una mayor granularidad, es altamente posible que este supere el umbral del 100%.

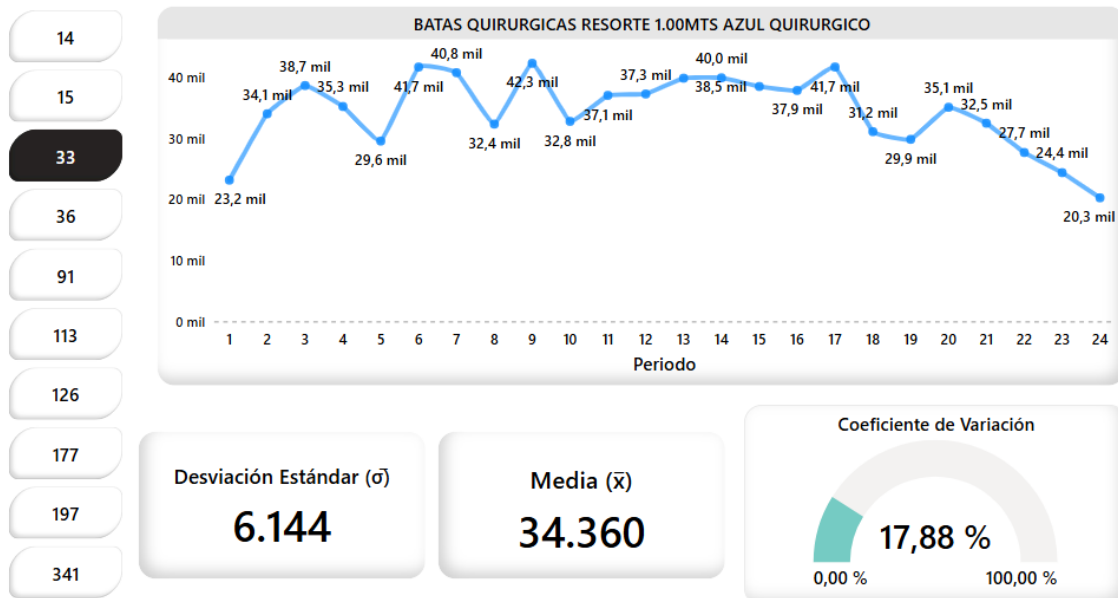
Tabla 7. Medidas estadísticas

Código	Item	Media	Desv. Std	CV
15	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA	30.112,25	25.430,89	84,45 %
197	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	415,46	336,86	81,08 %
341	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	2.077,00	1.221,75	58,82 %
36	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	6.526,21	3.383,74	51,85 %
91	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	5.539,33	2.751,03	49,66 %
177	FUNDAS AZULQUIRURGICO 52X 68CM	4.118,67	2.031,21	49,32 %
113	PIJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	2.851,17	1.227,28	43,05 %
126	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1	41.414,25	14.879,42	35,93 %
14	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	3.318,29	707,47	21,32 %
33	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	34.360,21	6.144,16	17,88 %

Fuente: Elaboración propia

De mismo modo, se presentan ítems con tendencias, como se puede observar en la *Gráfica 7* el ítem 33, “BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO”, tal como se puede observar con la tendencia de la línea y más aún, con la etiqueta de los datos.

Gráfica 7. Ejemplo Ítem (33) con tendencia



5.2 Sistemas de Pronósticos.

Para la elaboración de los pronósticos es necesario elegir un sistema por tipo de comportamiento de demanda, tal como lo menciona (Vidal, 2010), elegir correctamente el tipo de pronóstico es esencial para tener valores con un alto nivel de confianza, cada técnica se adapta mejor a un patrón de demanda como lo muestra , donde se propone un promedio móvil o suavización exponencial simple para los ítems de demanda perpetua, una suavización exponencial doble para los ítems con tendencia, y a parte, bajo decisión propia, se propone un pronóstico combinado entre suavización exponencial simple, doble y promedio móvil, pues al haber ítems altamente inestables, se aprovecha que el pronóstico combinado integra las fortalezas individuales de cada modelo y las integra en uno solo .

Tabla 8. Sistema de pronóstico por patrón de demanda

Patrón de Demanda Observado	Sistema de Pronóstico Recomendado
Perpetua, estable o uniforme	Promedio Móvil, Suavización exponencial simple
Con tendencia	Suavización exponencial doble
Estacional o periódica	Modelos periódicos de Winters
Demandas altamente correlacionadas	Métodos integrados de promedios móviles auto-regresivos (ARIMA)
Errática (Por ejemplo,, en ítems clase A de bajo movimiento)	Pronóstico Combinado de tiempos entre la ocurrencia de demandas consecutivas y la magnitud de las transacciones individuales Método de Croston y relacionados)

Fuente: (Vidal, 2010)

Para comenzar, se definió que se usarán los últimos 6 meses como datos de entrada, por ende, se usará los primeros 18 datos de cada ítem para la inicialización de los pronósticos como se muestra en la *Tabla 9*.

Tabla 9. Datos de inicio ítems priorizados

Periodo	Demanda 15	Demanda 197	Demanda 341	Demanda 36	Demanda 91	Demanda 177	Demanda 113	Demanda 126	Demanda 14	Demanda33
1	26.675	613	1.849	4.356	2.652	5.849	3.472	31.868	4.315	23.219
2	36.409	758	913	8.683	2.206	1.892	3.346	0	4.112	34.078
3	22.511	602	2.034	3.274	4.170	2.804	3.291	42.504	3.022	38.701
4	0	0	844	3.927	7.365	6.260	2.842	29.677	3.310	35.269
5	23.360	653	3.112	8.808	2.686	3.226	2.375	59.826	2.485	29.611
6	30.553	23	1.493	5.977	5.967	5.278	1.892	43.142	3.491	41.729
7	25.253	561	1.261	4.897	7.465	4.637	3.153	47.148	3.273	40.802
8	41.249	654	2.456	8.807	3.911	5.236	4.043	61.397	2.672	32.389
9	13.527	49	3.029	5.668	2.112	2.982	4.003	56.366	3.744	42.342
10	0	25	92	6.462	8.837	5.898	1.686	36.882	2.389	32.834
11	39.805	733	2.705	5.928	5.402	6.346	3.959	52.346	2.356	37.091
12	59.442	562	1.913	3.238	5.614	7.609	3.518	58.797	3.616	37.317
13	114.336	34	2.600	8.765	7.664	728	3.217	25.476	4.125	39.903
14	46.521	1.084	4.422	19.103	12.749	4.247	1.946	37.725	4.702	39.964
15	34.819	846	4.186	4.731	2.019	3.197	4.658	50.091	3.338	38.543
16	30.832	200	598	9.777	8.084	7.755	704	65.994	4.398	37.895
17	55.401	340	2.247	6.165	3.048	939	1.408	22.874	2.256	41.733
18	1.436	0	1.384	2.778	9.181	1.722	1.122	48.308	3.196	31.151

Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa objeto de estudio

Luego se construye una tabla en Excel de tal forma que con los pronósticos se hagan automáticamente, y que se definan los parámetros de todos los pronósticos por medio de una macro asociada con “Solver” de tal forma que el pronóstico final de ese ítem sea el que tiene menor error cuadrático medio. A continuación, se mostrará la construcción de esta herramienta.

1. Suavización Exponencial Simple:

Este modelo es útil para aquellos ítems cuyos patrones de demanda son estables, ya que funciona como un promedio ponderado, que le otorga más peso a los valores recientes (Chopra S. &, 2013), con la ventaja de que no reacciona de forma volátil ante un dato atípico.

El primer dato de entrada es la media de los datos de inicio:

Ecuación 7. Media datos de inicio

$$\bar{X}_{inicio} = \frac{\sum_{t=1}^{18} D_{it}}{t}$$

Se procede a calcular el valor suavizado del ítem i en el periodo t (S_t):

Ecuación 8. Valor suavizado en periodo determinado

$$S_{it} = \alpha_i D_{it-1} + (1 - \alpha_i) S_{it-1}$$

Finalmente, el pronóstico del periodo t es equivalente a S_{it-1} .

Para los parámetros que se describen en la *Tabla 10*, se cuenta con la media de los datos de inicio, así mismo la desviación estándar, el parámetro alfa, cuyo rango debe estar entre 0.0001 y 0.3, y finalmente el error cuadrático medio mínimo.

Tabla 10. Parámetros de la suavización exponencial simple (ítem 126)

SES	
Media (Inicio)	42,801
Desv. Estándar (Inicio)	16,608
ALFA (α)	13.78%
ECM	68,711,334

Fuente: Elaboración propia

2. Suavización Exponencial Doble:

La suavización exponencial doble es de ayuda cuando la demanda presenta un patrón ya sea creciente o decreciente como se menciona en (Stevenson W. J., 2014); A diferencia de la suavización exponencial simple, la doble incluye un componente que le permite al modelo ajustarse a patrones de crecimiento o disminución continuos.

Como datos de inicio tenemos: la intersección con el eje “y” de los datos de inicio (A), y la pendiente de estos mismos (B), en la ecuación de la recta: $y = Bx + A$; Estos valores son usados para el S_t y el $S_t^{[2]}$ Iniciales:

$$S_{it \text{ inicio}} = A_i + B_i t - \frac{\beta_i}{\alpha_{2i}} B_i \quad \text{y} \quad S_{it \text{ inicio}}^2 = A_i + B_i - 2 \frac{\beta_i}{\alpha_{2i}} B_i$$

Se procede a calcular estas mismas variables, pero esta vez para el modelo:

$$S_{it} = \alpha_{2i} D_{it} + \beta_i S_{it-1} \quad \text{y} \quad S_{it}^2 = \alpha_{2i} S_t + \beta_i S_{it-1}^2$$

Finalmente, se calcula el pronóstico del periodo t:

Ecuación 9. Pronóstico del periodo t

$$SED_i = \left(2 + \frac{\alpha_{2i}}{\beta_i}\right) S_{it-1} - \left(1 + \frac{\alpha_{2i}}{\beta_i}\right) S_{it-1}^2$$

Finalmente, el pronóstico del periodo t es equivalente a SED_i .

Para los parámetros los cuales se pueden observar en la *Tabla 11*, se cuenta con el valor de la suavización simple y doble de los datos de inicio, el parámetro alfa doble, cuyo rango debe estar entre 0 y 1, el valor de beta que es el inverso aditivo de alfa doble, y finalmente el error cuadrático medio mínimo.

Tabla 11. Parámetros de la suavización exponencial doble (ítem 126)

Recta	
Intersección	34,550.67
Pendiente	868.47

SED	
ALFA 2	21.94%
BETA	78.06%
S _t	47,094
S _t ^[2]	44,004
ECM	128,942,644

Fuente: Elaboración propia

3. Promedio Móvil:

El promedio móvil, a diferencia de métodos como la suavización exponencial o la regresión lineal, se emplea en series de tiempo donde la demanda no presenta una tendencia clara ni marcada, sino que fluctúa alrededor de un valor medio. Este método consiste en calcular el promedio de un número fijo de periodos anteriores para proyectar el siguiente, suavizando así las variaciones aleatorias de corto plazo y resaltando el comportamiento general de la serie.

En este sentido, el promedio móvil actúa como un filtro que elimina el “ruido” en los datos, permitiendo observar patrones más estables. La elección del número de periodos (n) es fundamental, pues un n pequeño capta mejor los cambios recientes, mientras que un n grande ofrece una proyección más estable pero menos sensible a variaciones inmediatas(Render, 2011).

$$M_t = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-n+1}}{n}$$

Ecuación 10. Pronóstico del periodo t

$$M_t = M_{t-1} + \frac{x_t - x_{t-n}}{n}$$

Tabla 12. Indicador Promedio Móvil (ítem 126)

Promedio Móvil	
ECM	90,620,809

Fuente: Elaboración propia

4. Pronóstico Combinado:

El pronóstico combinado es muy útil ya que, gracias a su flexibilidad, puede adaptarse a varios tipos de demanda, pues al asignarle un peso a los diferentes sistemas de pronósticos (Chopra S. &, 2013), se busca ajustar las proyecciones de acuerdo con las posibles fluctuaciones o tendencias que los datos históricos puedan adoptar.

Ecuación 11. Pronóstico Combinado

$$P. Combinado_i = A_i SES_{it} + B_i Prom. Mov_{it} + C_i SED_{it}$$

A continuación, los parámetros obtenidos para este sistema:

Error Cuadrático Medio: Finalmente, se procede a evaluar la exactitud de los pronósticos con el error cuadrático:

Ecuación 12. Error Cuadrático Medio

$$ECM_i = \frac{1}{t} \sum_t (D_{it} - X_{it})^2$$

Donde:

D_{it} : es la demanda del ítem i en el periodo t

X_{it} : es el pronóstico del ítem i en el periodo t

De esta manera, el pronóstico que será seleccionado de forma automática por la herramienta es aquel con un menor ECM, los cuales serán minimizados por un script diseñado en Visual Basic enlazado con el Solver (Excel) ver [Anexo 2](#):

Como resultado, se obtuvo una tabla dinámica, en este caso donde sólo se debe alimentar con los datos de inicio y ejecutar la macro, en la *Tabla 13* se muestra los resultados de la ejecución de la macro para el ítem 126, donde se puede apreciar que de los 4 pronósticos, eligió el pronóstico combinado, esto ya que si se observan las tablas de los parámetros, el menor ECM lo obtuvo precisamente este sistema, ponderando la suavización exponencial con un 79.87% (Tiene un ECM más pequeño que los demás sistemas), el promedio móvil con 20.13%, dado a que su error para este patrón de demanda no es muy significativo, y 0% a la suavización exponencial simple (arrojó un error más amplio que los demás sistemas), logrando un ECM de 67.224.567, suficiente para ser elegido como el pronóstico más acertado y confiable.

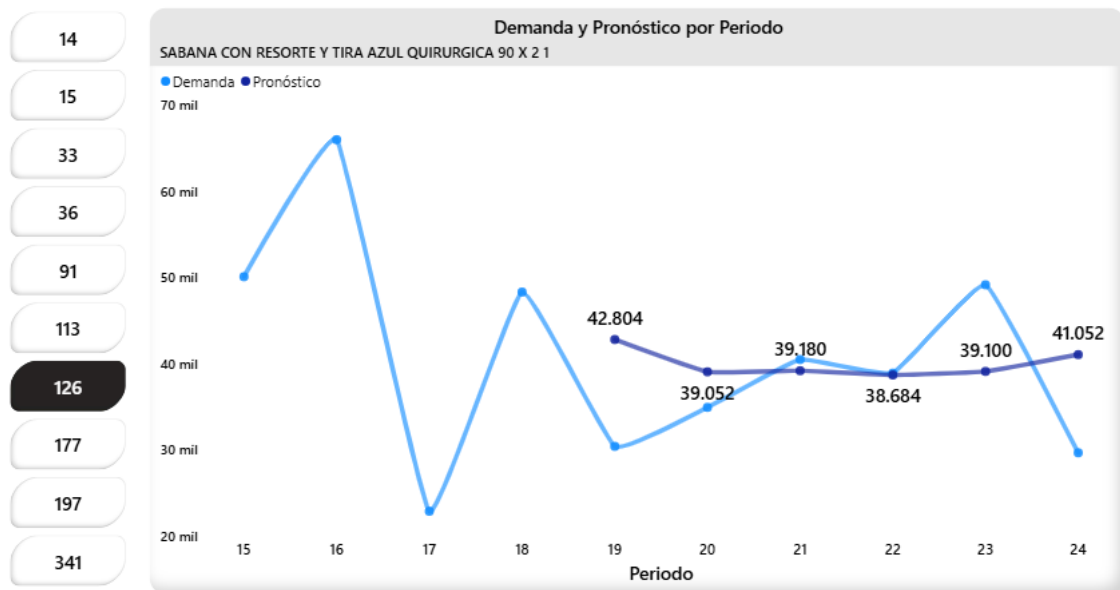
Tabla 13. Resultados herramienta de pronósticos

Simulación				Suavización Exponencial Simple		Promedio Móvil		Suavización Exponencial Doble		Combinado	
Periodo	Demanda	Proyección	Error	SES	ECM SES	Promedio	ECM Prom	SED	ECM SED	Combinado	ECM Comb
19	30,403	42,801	-12,398	42,801	153,714,537	42,801	153,714,537	51,052	426,367,435	42,801	153,714,534
20	34,928	39,048	-4,120	41,093	38,008,587	30,938	15,924,090	42,859	62,899,891	39,048	16,978,133
21	40,482	39,179	1,303	40,244	56,757	34,956	30,542,202	39,253	1,510,366	39,179	1,697,648
22	38,900	38,680	220	40,277	1,894,983	32,347	42,943,993	39,285	148,164	38,680	48,371
23	49,152	39,099	10,053	40,087	82,175,380	35,179	195,240,071	38,668	109,919,340	39,099	101,066,002
24	29,656	41,051	-11,395	41,336	136,417,762	39,921	105,359,960	42,802	172,810,667	41,051	129,842,714

Fuente: Elaboración propia

Dando continuidad a la herramienta propuesta, se hace una interfaz gráfica de cada uno de los pronósticos a partir de una tabla que consolida el mejor pronóstico de cada ítem; De esta manera, se llega al siguiente resultado; Para las demás gráficas de Pronóstico, ver [Anexo 3](#).

Gráfica 10. Pronóstico Ítem 126.



Ahora, para continuar con la planeación de la producción, es necesario enlazar los sistemas de pronósticos como datos de entrada para realizar el plan maestro de producción, para ello, se ha optado por aumentar la granularidad de los pronósticos, convirtiendo los resultados de los pronósticos de periodicidad mensual a semanal, esto se logra dividiendo entre 4 el resultado del pronóstico más acertado.

En la *Tabla 14* se puede observar los datos que nutren el MPS los cuales son suministrados de la ejecución de los pronósticos, de mismo modo, se observan los indicadores que afectan directamente a los pronósticos, y también se muestra el botón que ejecuta la macro de minimización del ECM.

Tabla 14. Datos de entrada MPS e interfaz de ejecución de pronósticos (ítem 126)

Mes ▾	Semana ▾	Pronóstico ▾
19	1	10,701
19	2	10,701
19	3	10,701
19	4	10,701
20	1	9,763
20	2	9,763
20	3	9,763
20	4	9,763
21	1	9,795
21	2	9,795
21	3	9,795
21	4	9,795
22	1	9,671
22	2	9,671
22	3	9,671
22	4	9,671
23	1	9,775
23	2	9,775
23	3	9,775
23	4	9,775
24	1	10,263
24	2	10,263
24	3	10,263
24	4	10,263

Fuente: Elaboración propia

5.3 Plan Maestro de Producción.

El plan maestro de producción elaborado cuenta con los siguientes parámetros:

- **Mes:** Corresponde al mes pronosticado j .
- **Semana:** Corresponde a la semana del mes pronosticado k , $[1,2,3,4]$

- **Inventario Inicial:** Este es el inventario final del periodo inmediatamente anterior al inicio del MPS, que es el mismo inventario con el que se cuenta para el periodo actual.

Ecuación 13. Inventario inicial

$$Inv_{0ijk} = Inv_{f_{ij-2k-2}}$$

- **Pronóstico:** Es el pronóstico semanal del ítem i en el mes j, en la semana k ($\hat{X}_{ijk}$)
- **Pedidos:** Los pedidos es equivalente a la división de los datos mensuales de demanda entre la cantidad de semanas, esto con el fin de evaluar el comportamiento del MPS con datos reales y con un nivel de granularidad o detalle más grande.
- **MPS:** Es la cantidad de producto necesario (Cantidad en el MPS) del ítem i, en el mes j, en la semana k que debe haber para satisfacer el requerimiento de fabricación, en este caso, del pronóstico, esta cantidad en el MPS se obtiene del máximo entre los pedidos y el pronóstico de demanda elegido en el punto anterior del ítem i, en el mes j y en la semana k.

$$MPS_{ijk} = \text{Max}(\hat{X}_{ijk}, Pedidos_{ijk})$$

Ecuación 104. MPS

$$Fabricación_{ijk} = MPS_{ijk} - Inv_{0ijk}$$

- **Capas Necesarias:** Corresponde a la cantidad de capas que son necesarias extender para dar cumplimiento al requerimiento de fabricación, se obtiene de dividir el requerimiento de producción (MPS_{ijk}) entre la cantidad de prendas que se pueden acomodar en una capa P_{C_i} (Ver tabla estudio de tiempos).

Ecuación 115. Capas necesarias

$$Capas_{ijk} = \left\lceil \frac{Fabricación_{ijk}}{P_{C_i}} \right\rceil$$

- **Inventario Operativo:** Es el inventario resultante después de cada proceso, pues es común que exista el caso de que se requieran 1977.5 capas, sin embargo, se debe extender 1978 capas para dar cumplimiento

al MPS_{ijk} , y dado que las capas están apiladas, no es posible que siempre se saque exactamente el MPS_{ijk} , algunas veces se obtendrán excesos.

Ecuación 126. Inventario operativo

$$Inv_{op_{ijk}} = Fabricación_{ijk} - \left\lceil \frac{Fabricación_{ijk}}{P_{C_i}} \right\rceil P_{C_i}$$

- **Inventario Final:** Corresponde a la diferencia entre el MPS_{ijk} y los posibles pedidos, añadido al inventario operativo.
- **Inicio del MPS:** Es el periodo donde se comienza a producir el MPS.

Ecuación 137. Inventario final

$$Inv_{f_{ijk}} = Fabricación_{ijk} + Inv_{op_{ijk}} - pedidos_{ijk}$$

Sujeto a:

$$\text{sí } Inv_{f_{ijk}} < 0 \rightarrow Inv_{f_{ijk}} = 0$$

$$\text{sí } pedidos_{ijk} = 0 \rightarrow Inv_{f_{ijk}} = Inv_{op_{ijk}}$$

De este modo se obtuvo el siguiente resultado que se puede observar en la *Gráfica 11*, donde se muestra de forma ordenada según el mes y la semana los resultados de los cálculos propuestos anteriormente.

Gráfica 11. Interfaz Plan Maestro de Producción

Mes	Semana	Inventario Inicial	Pronóstico	Pedidos	MPS	Fabricación	Inventario Operativo	Inventario Final	Inicio del MPS
19	1	0	10,701	7,601	10,701	10,701	3	3,103	Mes 18 - Semana 4
19	2	0	10,701	7,601	10,701	10,701	3	3,103	Mes 19 - Semana 1
19	3	3,103	10,701	7,601	10,701	7,598	5	2	Mes 19 - Semana 2
19	4	3,103	10,701	7,601	10,701	7,598	5	2	Mes 19 - Semana 3
20	1	2	9,763	8,732	9,763	9,761	1	1,030	Mes 19 - Semana 4
20	2	2	9,763	8,732	9,763	9,761	1	1,030	Mes 20 - Semana 1
20	3	1,030	9,763	8,732	9,763	8,733	3	4	Mes 20 - Semana 2
20	4	1,030	9,763	8,732	9,763	8,733	3	4	Mes 20 - Semana 3
21	1	4	9,795	10,121	10,121	10,117	6	2	Mes 20 - Semana 4
21	2	4	9,795	10,121	10,121	10,117	6	2	Mes 21 - Semana 1
21	3	2	9,795	10,121	10,121	10,119	4	2	Mes 21 - Semana 2
21	4	2	9,795	10,121	10,121	10,119	4	2	Mes 21 - Semana 3
22	1	2	9,671	9,725	9,725	9,723	3	1	Mes 21 - Semana 4
22	2	2	9,671	9,725	9,725	9,723	3	1	Mes 22 - Semana 1
22	3	1	9,671	9,725	9,725	9,724	2	1	Mes 22 - Semana 2
22	4	1	9,671	9,725	9,725	9,724	2	1	Mes 22 - Semana 3
23	1	1	9,775	12,288	12,288	12,287	1	0	Mes 22 - Semana 4
23	2	1	9,775	12,288	12,288	12,287	1	0	Mes 23 - Semana 1
23	3	0	9,775	12,288	12,288	12,288	0	0	Mes 23 - Semana 2
23	4	0	9,775	12,288	12,288	12,288	0	0	Mes 23 - Semana 3
24	1	0	10,263	7,414	10,263	10,263	3	2,852	Mes 23 - Semana 4
24	2	0	10,263	7,414	10,263	10,263	3	2,852	Mes 24 - Semana 1
24	3	2,852	10,263	7,414	10,263	7,411	5	2	Mes 24 - Semana 2
24	4	2,852	10,263	7,414	10,263	7,411	5	2	Mes 24 - Semana 3

Fuente: Elaboración propia

Uno de los principales resultados que se pueden observar, es que, por un lado, si se sigue la metodología de producción, teniendo en cuenta las capacidades reales, y los sistemas de inventarios, se puede lograr una disminución de los inventarios, donde se ve que en ninguno de los 6 meses (observar mes j , en la semana 4) hay inventario final. Por otro lado, se puede lograr cumplir con los requerimientos de demanda del consolidado de pedidos de demanda, y principalmente, de los pronósticos de ventas.

Se ha propuesto la metodología del cumplimiento absoluto penalizado para conocer si la metodología usada a lo largo de este objetivo es beneficiosa en comparación de la metodología empírica. El CAP es una buena opción, ya que como su nombre lo indica, castiga las imprecisiones, ya que estas últimas pueden generar sobreproducción (Inventario excesivo), o escasez, generando faltantes, así entonces, busca alinear estrechamente la producción con los requerimientos de los clientes (Law, 2014).

Como se puede ver en la ecuación 18, este es un indicador que se saca sobre el consolidado de los pedidos del mes j , para corroborar los resultados de este objetivo, se va a comparar periodo por periodo, y se va a obtener el cumplimiento, que es calculado en la ecuación 19.

La variable fabricación es la cantidad de producto del ítem i que se fabricó en el mes j , y depende del sistema que se está evaluando; En el sistema actual, este es equivalente a la fabricación del periodo anterior más un inventario de seguridad determinado por ellos, siendo este, un porcentaje entre 1 y 5% de lo fabricado en el periodo anterior.

Para el sistema propuesto con MPS, este valor corresponde al valor del MPS del ítem i en el mes j más el inventario inicial del ítem, en el mes j .

Ecuación 18. Cumplimiento absoluto penalizado

$$Cap_{ij} = 1 - \left| \frac{Fabricación_{ij}}{Demanda_{ij}} - 1 \right|$$

Ecuación 19. Cumplimiento MPS

$$Cumplimiento = \frac{\sum_{j=19}^j Y_{ij}}{Periodos}$$

Dónde:

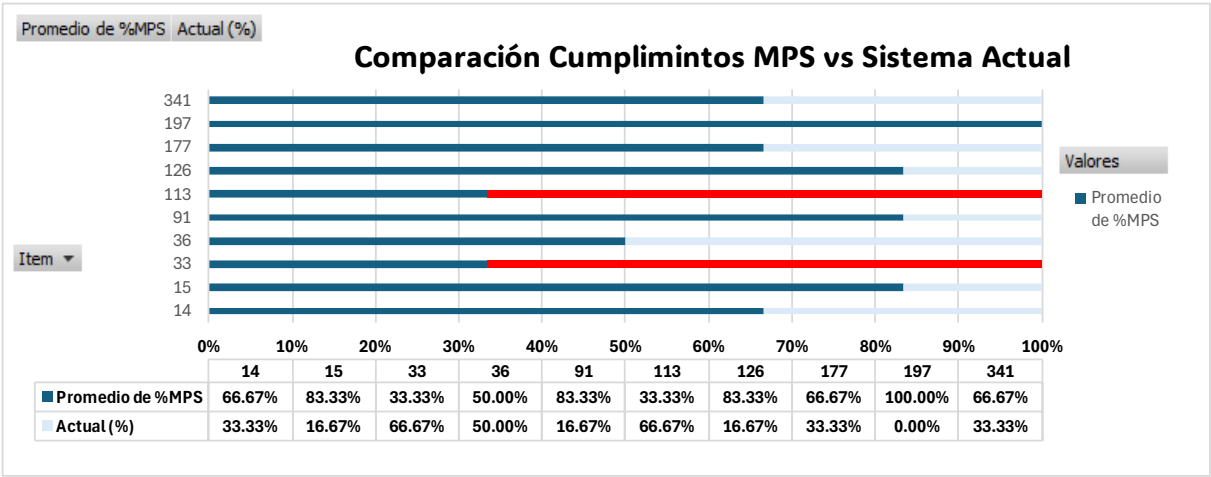
$$Y_{ij} = 1, \text{ Si } Cap_{ij}(MPS) > Cap_{ij}(Actual)$$

$$Y_{ij} = 0, \text{ otro caso}$$

Asimismo, se presentan los resultados de aplicar esta metodología, donde es claro que los ítems de mayor demanda son aquellos que brindan una mejor uniformidad en los datos de producción, y por ende, mejores indicadores CAP, de forma recíproca para aquellos ítems de menores demandas, los cuales presentan mayor volatilidad en el indicador de precisión utilizaba. Tablas en [Anexo 4](#).

Al hacer un promedio de todos los datos de cumplimiento Y, se tiene que el MPS es más efectivo en el 66.67% de las veces, a continuación, se presenta el desglose de este resultado.

Gráfica 12. Cumplimiento del MPS vs Sistema Actual



5.4 Programación de la producción

Para la programación de la producción, se debe producir lo que diga la cantidad en el MPS en el inicio del MPS que esté relacionado, para ello, se crea una tabla donde se le introduzca el periodo actual, y automáticamente arroje el periodo para el que debe estar listo el pedido, y aparte, haga la programación día a día de los ítems A, con los minutos que toma hacerlo, las capas necesarias para cumplir con la orden de fabricación, y los minutos extra, que se deben realizar en el día (Stevenson W. , 2021).

Junto con el estudio de tiempos, y el plan maestro de producción, se puede especificar cuántos minutos de los disponibles es necesario para cumplir con la meta del día, finalmente, estos minutos se convierten en días (1 día = 342 minutos) y el acumulado de este valor no debería superar los 6 días.

En la gráfica 13 se muestra la interfaz del inicio de la programación el cual se compone de varios parámetros:

- **Prendas por capa y minutos por unidad:** ([4.2. Definición de las Capacidades de Producción](#))
- **Minutos por Capa:** Es equivalente al producto de prendas por capa y minutos por unidad.
- **Capas Necesarias para cumplir el pedido:** sí se trata del ítem 126, este cálculo es simplemente la cantidad semanal entre las prendas por capa, ya que este ítem es sólo de una cara, mientras que los demás requieren de reverso y anverso, por ende, el resto de los ítems se calcula como dos veces la cantidad semanal entre las prendas por capa.
- **Minutos Teóricos:** Este indicador es equivalente al producto de las capas necesarias para cumplir con el pedido por los minutos por una capa, indicando el tiempo al 100% de eficiencia que se demora en cumplir el pedido de un ítem en el mes j en la semana k.
- **Días Necesarios:** La conversión en días del tiempo necesario de cumplir cada pedido está dado por la siguiente Ecuación:

Ecuación 19. Días Necesarios para cumplir con los pedidos

$$\text{Días Necesarios} = \frac{\text{Minutos Teóricos} + \frac{3 * \text{Capas Necesarias}}{150}}{342}$$

Por cuestiones de capacidad de la máquina de extendido de la tela, cada 150 capas se deben hacer un corte, y volver a alistar la máquina tarda 3 minutos (Minutos por cada 150 capas), luego se divide entre la cantidad de minutos con el que cuenta la jornada laboral, en este estudio es de 342 minutos.

Gráfica 13. Interfaz de inicio de la programación de la producción.

Código	Nombre	Prendas por capas	Minutos por unidad	Minutos por una capa	Cantidad Semanal	Capas necesarias para cumplir pedido	Capas máximas por día	Total minutos teóricos	Dividir fabricación	Días Necesarios	Sumatoria días	Minutos por cada 150 capas
126	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1	6	0.027	0.162	10704	1784	2111	290	290	0.953216374	0.95321637	27.3
33	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	8	0.023	0.184	9672	2418	1858	445	149	1.444444444	2.39766082	30.6
15	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA	8	0.023	0.184	13176	2304	1858	424	142	1.377192982	3.7748538	30.6
113	PIJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	6	0.027	0.162	708	236	2111	39	39	0.128654971	3.90350877	27.3
36	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	6	0.027	0.162	1686	562	2111	92	92	0.304093567	4.20760234	27.3
91	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	12	0.028	0.34	1692	282	1005	96	96	0.298245614	4.50584795	54
341	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	6	0.047	0.282	516	172	1212	49	49	0.15497076	4.66081871	45.3
177	FUNDAS AZUL QUIRURGICO 52X 68CM	4	0.035	0.14	1040	520	2442	73	73	0.245614035	4.90643275	24
14	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	8	0.023	0.184	840	210	1858	39	39	0.128654971	5.03508772	30.6
197	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	4	0.045	0.18	160	48	1900	9	9	0.029239766	5.06432749	30

Semana Actual	Mes	Semana
	19	1
Fabricar para:	19	2

A través del código generado tras realizar minuciosamente la macro, es posible apreciar cómo priorizar los ítems, y cómo se distribuyen en los 6 días de la semana, ver en la *Tabla 15* . (Código en [Anexo 5](#)):

1. Inicialización del entorno: El código crea o limpia las hojas “Pedidos 1” y “Calendario Diario”, que servirán para almacenar los datos de pedidos procesados y la programación semanal de la producción.

2. Lectura y división de pedidos: Se extraen los datos de la hoja “Datos” y, según la cantidad de capas, algunos pedidos se dividen en partes proporcionales para facilitar su asignación en varios días.

3. Registro de pedidos procesados: Los pedidos, ya sea completos o divididos, se cargan en la hoja “Pedidos 1” para ser utilizados como base en la programación.

4. Asignación al calendario diario: El código recorre de lunes a sábado, asignando pedidos según la disponibilidad de tiempo ordinario (342 minutos por día) y, si es necesario, hasta 120 minutos de horas extra, además se controla que un mismo producto no se programe más de dos veces por día.

5. Validación final: Se registra cada asignación en la hoja “Calendario Diario”. Al finalizar, el sistema informa si todos los pedidos fueron programados correctamente o si quedaron pendientes, permitiendo a la empresa anticipar ajustes.

Tabla 15. Programación de la producción

Lunes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Lunes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 1	81.50	446	0
Lunes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 2	81.50	446	
Lunes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	168.25	824	
Lunes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	10.75	53	
		0.00	0	
		0.00	0	

Martes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Martes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	124	604	0
Martes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 3	82	446	
Martes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 4	82	446	
Martes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	56	272	
		0	0	
		0	0	

Miércoles				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Miércoles	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	102	500	0
Miércoles	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	168	824	
Miércoles	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	72	351	
		0	0	
		0	0	
		0	0	

Jueves				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Jueves	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	52	253	0
Jueves	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	168	822	
Jueves	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	122	597	
		0	0	
		0	0	
		0	0	

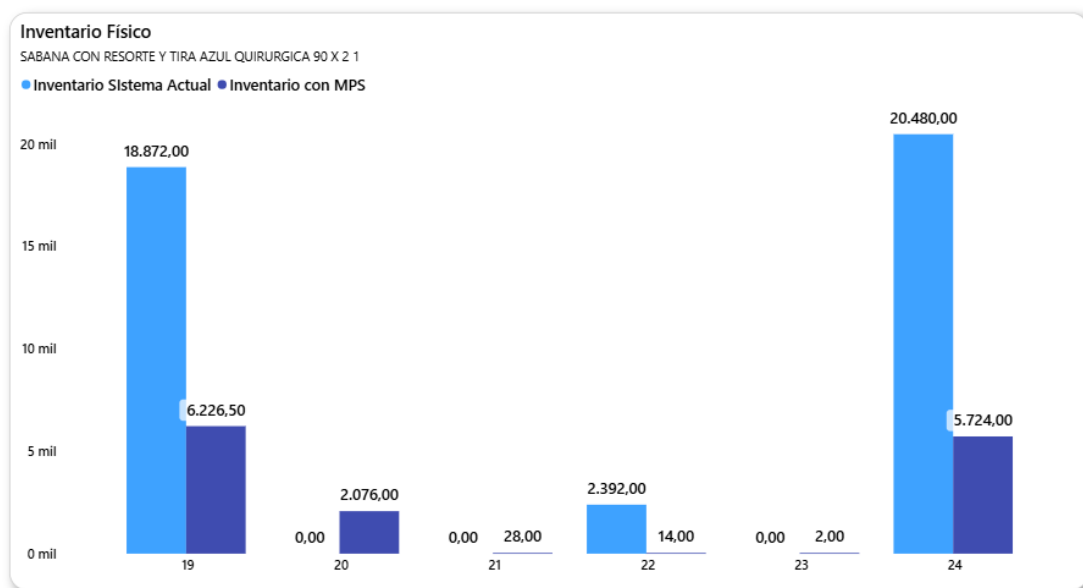
Viernes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Viernes	FUNDAS AZUL QUIRURGICO 52X 68CM	65	347	0
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	2	7	
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	124	606	
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	104	562	
Viernes	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	48	132.71	
		0	0	

Sábado				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Sábado	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	54	149	
Sábado	PIJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	72	236	
Sábado	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	43	258	
Sábado	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	44	210	
Sábado	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	17	80	
		0	0	

Se puede observar que para el día lunes no hay problemas en cuanto al tiempo disponible, al sumar el total de minutos de proceso, es equivalente a 342 minutos de disponibilidad, esto igual para el resto de días, sin embargo, para el día sábado, es necesario programar 230 minutos para poder cumplir con las tareas del día, provocando trabajo bajo la modalidad de horas dominical, una de las ventajas de seguir esta metodología es que se puede saber con antelación los días, y la cantidad de hacer horas extra a laborar, y no suceda de manera aleatoria como se hacía anteriormente.

Ahora, realizando una comparación del inventario físico que queda en el almacén (1er piso) a final de cada mes, es posible ver que, con el sistema actual, se tiene que la cantidad de inventario es muy alta e inestable, ya que la producción está enfocada al máximo aprovechamiento de los recursos, sin embargo, esto ignora otros factores que desenlazan una serie de problemas en otras áreas. Si bien, con el MPS se tiene inventario de todos modos en algunas semanas, estos niveles son mucho más bajos tal como se aprecia en el Gráfico 14; Sin embargo, con la aplicación de la programación de la producción a partir de un plan maestro de producción, se tiene un inventario que es más práctico el darle manejo al producir teniendo en cuenta el inventario operativo, y el inventario neto.

Gráfica 14. Interfaz de inicio de la programación de la producción



6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Este punto es de suma importancia ya que permite evaluar la flexibilidad del proceso de la empresa, identificando planes de acción para diferentes escenarios que puedan ocurrir dentro de la empresa, tener en cuenta estos escenarios va a permitir a la empresa saber cómo se comporta la producción ante estos eventos que pueden ocurrir en cualquier momento normal de la operación.

En el contexto de la empresa el cual es fabricar y comercializar prendas textiles, teniendo muchas variables alrededor del proceso las cuales pueden afectar directamente como el tiempo de proceso, demandas inciertas, entre otras (Slack

N. B.-J., Dirección de operaciones, 2020). En dialogo con la gerencia de la empresa sobre estas situaciones que, aunque no son muy recurrentes pueden suceder y al momento no se tiene mayor claridad sobre cómo responder ante estos escenarios, se procedió a realizar la *Tabla 16* que permite identificar cuales variables pueden afectar el proceso productivo normal.

Tabla 16. Variables principales y su incidencia

Causas	Incidencia por mes
Un día de Lunes a Sábado no disponible para laborar	2
Pedido especial	1
Variaciones en la eficiencia (personal nuevo)	0,2

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en la tabla anterior se procede a realizar las diferentes variaciones en la programación de la producción para tener claridad sobre estos diferentes escenarios y el impacto que tienen en la empresa.

6.1. Un día a la semana no disponible para laborar.

Esta es una restricción con la que cuentan la mayoría de las empresas debido a festivos, situaciones de orden público; estas limitan el transcurso normal de la semana en cuanto a la operación, debido a la industria donde se encuentra esta empresa donde sus clientes principales son los hospitales los cuales laboran de manera normal todos los días del año al menos en el servicio de urgencias, la demanda de los productos no se ve particularmente afectada por este tipo de variables que si perjudican el transcurso normal de la operación (Heizer J. R., Administración de operaciones: bienes, servicios y cadenas de valor, 2017).

Para la simulación de este posible escenario se cambió el código de VBA para que al ejecutar la macro no tenga en cuenta el tiempo de producción disponible en un día de la semana, en este caso no se tiene en cuenta el lunes.

Desde la empresa la solución más viable para cubrir estas situaciones puntuales es recurrir a horas extras, ya que al tener una jornada laboral en horario de oficina de 08:00 am a 4:30 pm se tiene la facilidad de extender el horario siempre y cuando sea requerido, además es una situación que se tiene previamente dialogada con los empleados sobre la importancia de cumplir con los pedidos, otras opciones como maquilas o entregas retrasadas no resultan muy convincentes para las directivas, la primera de estas por el costo elevado y la segunda por la prioridad que maneja sobre la satisfacción del cliente con el correcto cumplimiento de los pedidos.

Para la programación de la producción con esta variación se realizó como insumo los pronósticos de un periodo normal, también se tuvo en cuenta que los minutos extras no pueden ser superiores a 120 es decir 2 horas, lo anterior es establecido por la empresa, como se puede observar en la *Tabla 17* para el cumplimiento total de los pedidos en esa semana se tuvo que recurrir a 114

minutos extras el día martes, el miércoles 120 y posteriormente 103 minutos extras el jueves.

Tabla 17. Un día a la semana no disponible para laborar

Lunes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
#CALCI		0,00	0	
		0,00	0	
		0,00	0	
		0,00	0	
		0,00	0	
		0,00	0	
Martes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Martes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 1	90	494	114
Martes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	135	659	
Martes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	156	764	
Martes	PUJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	75	247	
		0	0	
		0	0	
Miércoles				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Miércoles	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 2	90	494	120
Miércoles	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	135	659	
Miércoles	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	156	765	
Miércoles	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	81	499,18	
		0	0	
		0	0	
Jueves				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Jueves	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 3	90	494	103
Jueves	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	135	659	
Jueves	FUNDAS AZUL QUIRURGICO 52X 68CM	58	311	
Jueves	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	100	279	
Jueves	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	47	228	
Jueves	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	15	71	
Viernes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Viernes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 4	90	496	0
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	156	764	
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	96	519,68	
		0	0	
		0	0	
		0	0	
Sábado				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Sábado	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	135	659	
Sábado	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	156	764	
Sábado	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	25	133,32	
Sábado	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	18	112,82	
		0	0	
		0	0	

Fuente: Elaboración propia

6.2. Pedido especial

En la socialización que se hizo con la gerente de la empresa sobre estas posibles variables que pueden suceder dentro de la operación normal de la empresa, mencionó la probabilidad de que les hagan un pedido especial con 1 de recurrencia por mes, aunque puede parecer poco, se comentó que es muy difícil para ellos cuando esto sucede ya que no tienen un plan claro para cumplir con estas necesidades debido a su poca ocurrencia y falta de una programación más estandarizada.

Basándonos nuevamente en la programación de la producción anteriormente realizada, simulamos que en 1 de los 10 productos se tiene un adicional de 10.000 unidades más, cifra muy significativa teniendo en cuenta la capacidad de la empresa.

En la *Tabla 18* se puede observar la programación de lunes a sábado:

Tabla 18. Programación con pedido especial

Lunes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Lunes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 1	90,25	494	120
Lunes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	262,25	1284	
Lunes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	109,50	536	
		0,00	0	
		0,00	0	
		0,00	0	

Martes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Martes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 2	90	494	120
Martes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	262	1284	
Martes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	47	229	
Martes	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	63	388	
		0	0	
		0	0	

Miércoles				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Miércoles	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 3	90	494	96
Miércoles	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	156	764	
Miércoles	FUNDAS AZULQUIRURGICO 52X 68CM	58	311	
Miércoles	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	100	279	
Miércoles	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	33	204	
		0	0	

Jueves				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Jueves	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 4	90	496	115
Jueves	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	156	764	
Jueves	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	120	653	
Jueves	PUAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	75	247	
Jueves	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	15	71	
		0	0	

Viernes				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Viernes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	262	1284	0
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	80	389,95	
		0	0	
		0	0	
		0	0	
		0	0	

Sábado				
Dia	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Sábado	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	262	1284	0
Sábado	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	77	374,05	
Sábado	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	3	20,09	
		0	0	
		0	0	
		0	0	

Se obtuvo como resultado que para el rango de días de lunes a jueves se debe recurrir minutos extras para el correcto cumplimiento de los pedidos, esto nos demuestra que la capacidad de producción de la empresa no se encuentra en condiciones para suplir con este tipo de pedidos, si esta variable eleva su ocurrencia se deberían plantear planes más efectivos como ampliaciones de la capacidad del proceso productivo u optar por maquila.

6.3. Variaciones en la eficiencia (personal nuevo)

La tercera variable tiene poca ocurrencia teniendo en cuenta que se tiene un equipo de trabajo sólido y pequeño, se repite aproximadamente 1 vez cada 5 meses según datos suministrados por la empresa, este es un factor que cuando se presenta puede afectar directamente en la eficiencia de la empresa, aunque pueda ser difícil de notar, las actividades suelen ser llevadas a cabo de manera más lenta cuando se tiene personal nuevo dentro de la operación, esta situación se puede ver reflejada en los minutos por operación de cada producto, por lo que para este análisis se atacó especialmente la variable de tiempo disponible por día durante una semana.

Dentro de los parámetros que se tiene en cuenta en el proceso productivo de la empresa, uno de los más relevantes es la eficiencia, esta se busca que sea lo más cercana al 100%, en el caso puntual de la empresa objeto de estudio se opta por tenerla en el 95% normalmente teniendo en cuenta que se puede presentar diferentes novedades durante el día que disminuyen el tiempo real de la operación, para este último escenario se utilizó el 90% de eficiencia es decir que disminuyó el tiempo operativo; el resultado que se puede observar en la *Tabla 19* que los días martes y miércoles se debe optar por minutos extras de trabajo en este caso 50 y 20 minutos respectivamente para cumplir con la totalidad de los pedidos de la semana.

Tabla 19. Variaciones en la eficiencia

Lunes				
Día	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Lunes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 1	90,25	494	50
Lunes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	134,75	659	
Lunes	FUNDAS AZUL QUIRURGICO 52X 68CM	58,00	311	
Lunes	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	33,00	204	
		0,00	0	
		0,00	0	
Martes				
Día	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Martes	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 2	90	494	50
Martes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	135	659	
Martes	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	120	653	
Martes	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	47	228	
		0	0	
		0	0	
Miércoles				
Día	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Miércoles	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 3	90	494	20
Miércoles	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	156	764	
Miércoles	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	100	279	
Miércoles	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	15	71	
		0	0	
		0	0	
Jueves				
Día	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Jueves	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1 - Parte 4	90	496	
Jueves	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	156	764	
Jueves	PUAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	75	247	
		0	0	
		0	0	
		0	0	
Viernes				
Día	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Viernes	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 1	135	659	
Viernes	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 3	156	764	
Viernes	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	33	204	
		0	0	
		0	0	
		0	0	
Sábado				
Día	Producto	Minutos	Capas	Minutos extras
Sábado	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 2	135	659	
Sábado	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA - Parte 4	156	765	
Sábado	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	33	204	
		0	0	
		0	0	
		0	0	

Fuente: Elaboración propia

El simular diferentes escenarios permitió a la empresa tener conocimiento de cómo actuar ante estas situaciones, dialogando con la gerencia sobre los diferentes métodos que podrían ser utilizados para este tipo de situaciones, para ellos la mejor opción son las horas extras debido a la facilidad y decisiones internas sobre el costo de otro tipo de métodos, además en un entorno donde la competencia es muy fuerte se prioriza la satisfacción del cliente.

En el segundo escenario se evidenció un impacto fuerte en la programación de la producción debido a que se excede la capacidad de la empresa, recurriendo a muchas horas extras, si la probabilidad de este escenario se vuelve mayor se debe plantear la opción de aumentar la capacidad del proceso productivo.

7. CONCLUSIONES

La empresa realizaba pedidos de materias primas y planes de producción de forma empírica, basándose en un análisis insuficiente de la demanda técnica. Esto provocaba frecuentes errores en las cantidades de producción, lo que a su vez causaba diversos problemas en otras áreas. La introducción de un sistema de pronóstico estructurado (SES, SED, promedio móvil y pronóstico combinado) permitió una evaluación más precisa de la demanda y la selección del mejor modelo basado en ECM minimizado. Esto generó pronósticos semanales fiables, que se convirtieron en la base del Plan Maestro de Producción (MPS), el cual tiene un CAP del 66.67%, es decir, muestra una mayor precisión en cuanto a las

unidades a fabricar, mejorando un 33.33% la confiabilidad la planeación de acuerdo con las realidades del mercado y posteriormente la programación en la planta.

Los productos innecesarios se produjeron en la misma cantidad en todos los períodos, mientras que la escasez crítica de productos de tipo A se produjo en diferentes períodos, lo que afectó los niveles de servicio y causó pérdidas a (muda tipo 2); Al priorizar los productos de tipo A mediante la clasificación ABC, de los cuales se pudo conocer que 10 ítems generan el 80% de las ganancias, y al planificar la producción con base en pronósticos semanales permitió producir exactamente lo necesario, minimizando tanto la sobreproducción como la escasez. Esto optimizó el uso de recursos y redujo el costo del inventario, ya que al haber menos inventario se logró una disminución promedio del 66.5%. Al mismo tiempo, la satisfacción del cliente aumentó gracias a un mejor rendimiento, en cuanto a que los defectos y confusiones causados por el exceso de producto terminado van a disminuir. Adicionalmente, los tiempos de espera de los clientes se redujeron y se volvieron más realistas, dado que la programación de la producción está alineada con la demanda efectiva y la capacidad real del sistema.

La empresa no contaba con un plan claro para gestionar situaciones como pedidos especiales, vacaciones o reducción de la eficiencia debido a la rotación de personal. El análisis de sensibilidad permitió simular diferentes escenarios (ausencias, pedidos especiales, reducción de la eficiencia) en la programación de la mesa de corte, mientras que una nueva herramienta de software permite realizar ajustes dinámicos a la producción, considerando la capacidad, las horas extra y las limitaciones del entorno real. Esto mejora la resiliencia operativa de la empresa y su capacidad para cumplir con sus compromisos comerciales.

8. BIBLIOGRAFÍA

Cheng, C. &-P. (2020). Optimal MTS and MTO hybrid production system for a single product under the cap-and-trade environment. *Sustainability (MDPI)*.

Chopra, S. &. (2013). *Administración de la cadena de suministro: Estrategia, planeación y operación*. México D. F.: Pearson Educación.

Chopra, S. &. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, planing, and operation*. Nueva York: Pearson.

Colombia, C. d. (2004). Obtenido de https://sidn.ramajudicial.gov.co/SIDN/NORMATIVA/TEXTOS_COMPLETOS/7_LEYES/LEYES%202004%20%28873-939%29/Ley%20905%20de%202004%20%28Promoci%C3%B3n%20al%20desarrollo%20de%20las%20peque%C3%B1as%20empresas%29.pdf

- Cuatrecasas, L. (2021). *Dirección de la producción y operaciones: Estrategia, diseño y gestión de procesos productivos*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- Duflou, J. R. (2012). Environmental and economic performance of medical textile products: The role of production efficiency and inventory management. *Journal of Cleaner Production, Elsevier*.
- editorial), L. H. (2023). *Inventory Classification Basics: Using the ABC Method*.
- Evans, J. R. (2020). *Managing for Quality and Performance Excellence*. Boston: Cengage Learning.
- Gomez, M. &. (2018). *Programación y control de la producción*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Gómez, R. &. (2018). *Planeación y control de la producción*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Gutiérrez Ramirez, L. A. (2014). *Simulación del pan maestro de producción (PMP) para la mejora de los procesos de producción de una empresa manufacturera del sector alimentos*. Lima, Perú: Universidad nacional mayor de San Marcos, facultad de ingeniería industrial.
- Hanke, J. E. (2010 (9a ed.)). *Pronósticos en los negocios*. México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.
- Heizer, J. R. (2014). *Administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Heizer, J. R. (2017). *Administración de operaciones: bienes, servicios y cadenas de valor*. México D.F.: Pearson educacion.
- Heizer, J. R. (2020). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* . Boston: Pearson.
- Herrera, F. &. (2017). *Administración de operaciones: técnicas para la mejora continua*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Juran, J. M. (1999). *Juran's Quality Handbook* . Nueva York: McGraw - Hill.
- Krajewski, L. J. (2019). *Operations Management: Processes and Supply Chains*. Boston, MA: Pearson.
- Law, A. (2014). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill Education.
- Macaya Barría, A. M. (2014). *Mejoramiento del proceso de planificación y control de la producción en el área de manufactura de la empresa Prodal S.A*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de ciencias de la Ingeniería.
- Montoya, M. &. (2020). *Gestión de operaciones: fundamentos y aplicaciones* . Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Nahmias, S. (2013). *Production and Operations Analysis*. Nueva York : Waveland Press.

- Noori, H. &. (1995). *Production and operations management: Total quality and responsiveness*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, OR: Productivity Press.
- Paredes Rodriguez, A. M. (2019). Sistema de control de inventarios multicriterio difuso para repuestos. *Scientia et Technica, Universidad tecnologica de Pereira* .
- Parkash, S. &. (2011). Supplier Performance Monitoring & Improvement (SPMI) though SIPOC Analysis & PDCA Model to the ISO 9001 QMS in sports goods manufacturing industry. *LogForum*.
- Paz Chavez, L. (2017). *Propuesta de un modelo de planificación agregada de la producción para la mejora del proceso de toma de decisiones en una empresa industrial del sector textil*. Lima: Universidad nacional mayor de San Marcos, facultad de ingeniería industrial.
- R. Ternero, J. P.-R. (2023). Inventory Management with Stochastic Demand: Case Study of a Medical Equipment Company. *South African Journal of Industrial Engineering* .
- Render, B. S. (2011). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. México D. F.: Pearson educación.
- Slack, N. B.-J. (2019). *Operations Management* . Harlow, UK: Pearson Education Limited.
- Slack, N. B.-J. (2020). *Dirección de operaciones*. Madrid: Pearson educacion.
- Slack, N. C. (2017). *Administración de operaciones*. México: Cengage Learning.
- Stevenson, W. (2021). *Operations Management*. New York: McGraw-Hill Education.
- Stevenson, W. J. (2014). *Administración de operaciones: Enfoque de decisiones*. México D.F.: McGraw-Hill Education.
- Stevenson, W. J. (2020). *Operations management*. Nueva York: McGraw-Hill Education.
- Syntetos, A. A. (2016). Demand Classification in Inventory Management: A review end empirical study. *European Journal of Operational Research*.
- Valencia Martinez, J. D. (2020). *Modelo de predicción de demanda utilizando tecnicas de regresión lineal aplicadas en hojas de cálculo: Caso empresa distribuidora de alimentos*.
- Vargas, R. &. (2019). *Planificación de la producción y control de inventarios* . Bogotá: Ecoe ediciones.
- Vidal Holguin, C. J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Cali, Valle del Cauca: Programa editorial Universidad del Valle.

Vollmann, T. E. (2005). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*. Nueva York: McGraw-Hill/Irwin.

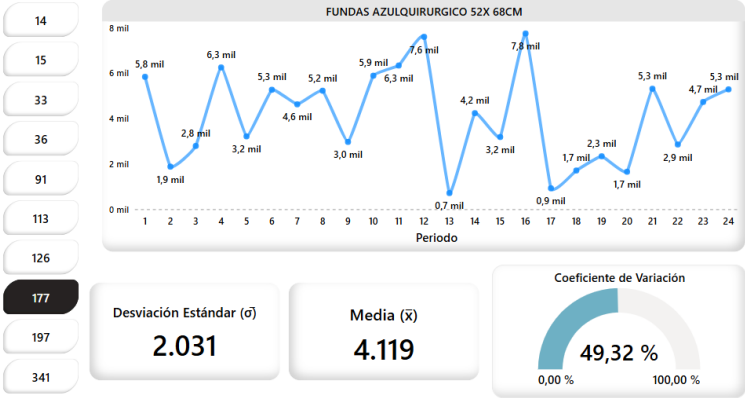
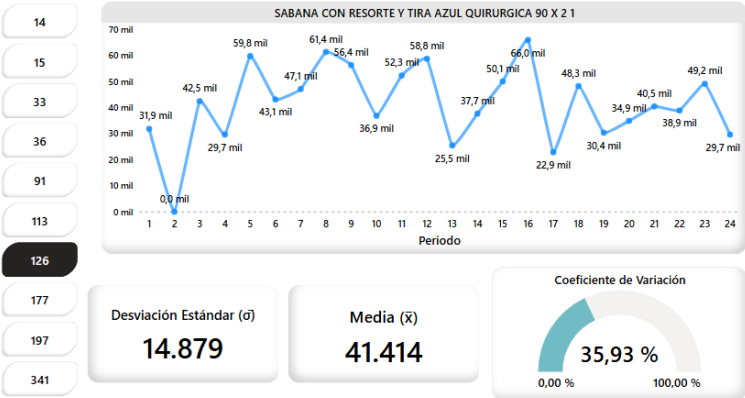
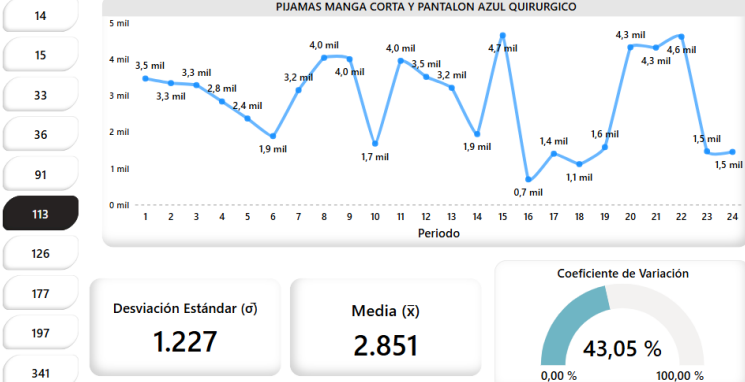
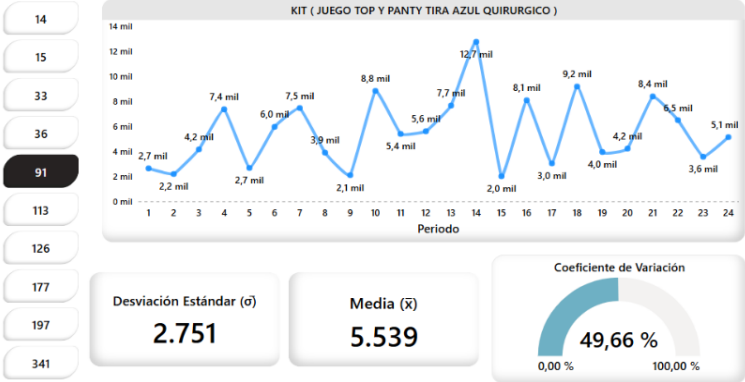
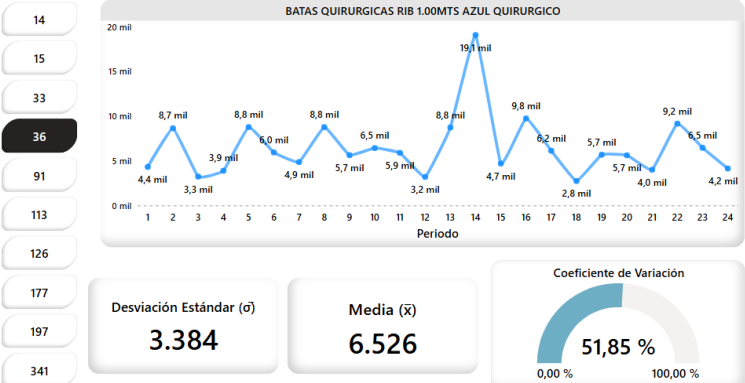
Womack, J. P. (New York). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your corporation*. 2003.

9. ANEXOS

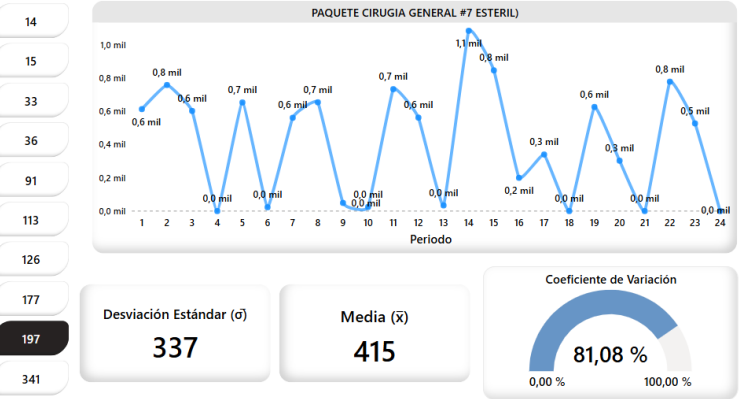
9.1. Anexo 1: Muestra de Datos de Demanda Reales

Código	Nombres	Precio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
126	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1	3,200.0	31,868.0	0.0	42,504.0	29,677.0	59,826.0	43,142.0	47,148.0	61,397.0	56,366.0	36,882.0	52,346.0	58,797.0
33	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	3,400.0	23,219.0	34,078.0	38,701.0	35,269.0	29,611.0	41,729.0	40,802.0	32,389.0	42,342.0	32,834.0	37,091.0	37,317.0
15	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA	3,000.0	26,675.0	36,409.0	22,511.0	0.0	23,360.0	30,553.0	25,253.0	41,249.0	13,527.0	0.0	39,805.0	59,442.0
113	PIJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	8,500.0	3,472.0	3,346.0	3,291.0	2,842.0	2,375.0	1,892.0	3,153.0	4,043.0	4,003.0	1,686.0	3,959.0	3,518.0
36	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	3,400.0	4,356.0	8,683.0	3,274.0	3,927.0	8,808.0	5,977.0	4,897.0	8,807.0	5,668.0	6,462.0	5,928.0	3,238.0
91	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	3,800.0	2,652.0	2,206.0	4,170.0	7,365.0	2,686.0	5,967.0	7,465.0	3,911.0	2,112.0	8,837.0	5,402.0	5,614.0
341	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	8,000.0	1,849.0	913.0	2,034.0	844.0	3,112.0	1,493.0	1,261.0	2,456.0	3,029.0	92.0	2,705.0	1,913.0
177	FUNDAS AZULQUIRURGICO 52X 68CM	3,300.0	5,849.0	1,892.0	2,804.0	6,260.0	3,226.0	5,278.0	4,637.0	5,236.0	2,982.0	5,898.0	6,346.0	7,609.0
14	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	4,000.0	4,315.0	4,112.0	3,022.0	3,310.0	2,485.0	3,491.0	3,273.0	2,672.0	3,744.0	2,389.0	2,356.0	3,616.0
197	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	30,000.0	613.0	758.0	602.0	0.0	653.0	23.0	561.0	654.0	49.0	25.0	733.0	562.0
279	ESTRAPLERA 27 GMS BLANCO	4,500.0	3,378.0	2,539.0	2,817.0	2,313.0	0.0	2,911.0	1,185.0	1,231.0	1,453.0	3,199.0	1,474.0	3,366.0
186	SABANA MORTUORIA 2	4,100.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0
254	BATAS QUIRURGICAS RESORTE BLANCA 1.00 MTS	3,400.0	3,745.0	3,425.0	0.0	3,711.0	2,030.0	1,185.0	1,831.0	0.0	1,049.0	3,974.0	2,719.0	2,108.0
440	OVEROLCAPUCHAPOLAINA T:L AZULQ	14,000.0	282.0	690.0	294.0	533.0	646.0	170.0	889.0	218.0	551.0	354.0	456.0	
45	BOXER Ó PANTALONETA AZUL QUIRURGICO	3,600.0	1,219.0	2,544.0	1,168.0	1,520.0	1,845.0	1,728.0	1,691.0	2,029.0	2,454.0	1,766.0	1,921.0	2,311.0
114	PANTALONES AZUL QUIRURGICO	3,600.0	2,228.0	2,031.0	453.0	1,648.0	1,995.0	428.0	2,522.0	2,516.0	1,545.0	2,249.0	3,665.0	3,796.0
62	FUNDAS BLANCAS 27G 0.75X0.45	3,700.0	1,630.0	1,884.0	254.0	1,113.0	1,715.0	1,755.0	1,256.0	3,997.0	590.0	1,006.0	3,626.0	706.0
332	OVEROL CAPUCHA POLAINA AZULQESTERIL	13,000.0	388.0	197.0	317.0	731.0	448.0	79.0	421.0	80.0	168.0	542.0	252.0	229.0
116	POLAINAS BOLSA X 100 UNIDADES AZUL QUIRURGICO	300.0	9,919.0	16,524.0	19,427.0	17,267.0	12,560.0	19,311.0	15,986.0	18,393.0	14,171.0	12,782.0	15,176.0	7,101.0
94	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA FUCSIA)	4,000.0	1,387.0	1,348.0	854.0	1,194.0	786.0	809.0	1,055.0	752.0	902.0	1,308.0	1,145.0	881.0
141	SABANAS PLANAS AZUL QUIRURGICO 90 X 2 10	3,000.0	215.0	817.0	1,278.0	3,142.0	1,513.0	2,185.0	2,886.0	2,884.0	219.0	328.0	1,466.0	884.0
84	KIT (JUEGO TOP Y PANTY SEÑORERO AZUL QUIRURGICO)	4,500.0	468.0	486.0	1,296.0	920.0	942.0	1,138.0	417.0	939.0	1,081.0	941.0	715.0	1,150.0
382	SABANA RTEYTIRA 0.90X2.10 BLNCO	4,300.0	1,142.0	701.0	657.0	174.0	994.0	538.0	868.0	996.0	747.0	730.0	1,254.0	1,362.0
311	CAMPO AUX 60X80	1,500.0	1,604.0	1,624.0	538.0	1,916.0	1,300.0	2,451.0	518.0	506.0	2,486.0	1,646.0	565.0	1,705.0
41	BATON AMERICANO AZUL QUIRURGICO	8,000.0	607.0	293.0	669.0	70.0	388.0	277.0	127.0	127.0	180.0	425.0	50.0	685.0
95	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA MORADO)	4,000.0	661.0	657.0	673.0	412.0	666.0	347.0	279.0	775.0	747.0	593.0	287.0	478.0
Código	Nombres	Precio	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
126	SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1	3,200.0	25,476.0	37,725.0	50,091.0	65,994.0	22,874.0	48,308.0	30,403.0	34,928.0	40,482.0	38,900.0	49,152.0	29,656.0
33	BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	3,400.0	39,903.0	39,964.0	38,543.0	37,895.0	41,733.0	31,151.0	29,892.0	35,144.0	32,533.0	27,739.0	24,442.0	20,324.0
15	BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA	3,000.0	114,336.0	46,521.0	34,819.0	30,832.0	55,401.0	1,436.0	52,704.0	29,411.0	0.0	11,462.0	0.0	26,988.0
113	PIJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO	8,500.0	3,217.0	1,946.0	4,658.0	704.0	1,408.0	1,122.0	1,589.0	4,330.0	4,321.0	4,620.0	1,475.0	1,458.0
36	BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO	3,400.0	8,765.0	19,103.0	4,731.0	9,777.0	6,165.0	2,778.0	5,718.0	5,655.0	4,042.0	9,195.0	6,496.0	4,179.0
91	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)	3,800.0	7,664.0	12,749.0	2,019.0	8,084.0	3,048.0	9,181.0	3,960.0	4,234.0	8,391.0	6,501.0	3,579.0	5,147.0
341	BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR	8,000.0	2,600.0	4,422.0	4,186.0	598.0	2,247.0	1,384.0	608.0	1,777.0	4,134.0	3,789.0	1,041.0	1,361.0
177	FUNDAS AZULQUIRURGICO 52X 68CM	3,300.0	728.0	4,247.0	3,197.0	7,755.0	939.0	1,722.0	2,349.0	1,667.0	5,323.0	2,868.0	4,740.0	5,296.0
14	BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L	4,000.0	4,125.0	4,702.0	3,338.0	4,398.0	2,256.0	3,196.0	3,096.0	3,191.0	3,558.0	2,585.0	3,924.0	2,485.0
197	PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL	30,000.0	34.0	1,084.0	846.0	200.0	340.0	0.0	626.0	303.0	0.0	778.0	527.0	0.0
279	ESTRAPLERA 27 GMS BLANCO	4,500.0	0.0	0.0	1,395.0	3,859.0	1,220.0	3,561.0	1,849.0	3,252.0	808.0	1,123.0	368.0	3,491.0
186	SABANA MORTUORIA 2	4,100.0	5,000.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0	1,900.0
254	BATAS QUIRURGICAS RESORTE BLANCA 1.00 MTS	3,400.0	4,109.0	5,731.0	4,820.0	0.0	0.0	371.0	722.0	4,171.0	0.0	1,112.0	3,023.0	2,576.0
440	OVEROLCAPUCHAPOLAINA T:L AZULQ	14,000.0	350.0	4.0	798.0	998.0	0.0	30.0	455.0	950.0	541.0	531.0	218.0	848.0
45	BOXER Ó PANTALONETA AZUL QUIRURGICO	3,600.0	764.0	1,072.0	1,062.0	2,876.0	990.0	1,440.0	2,560.0	2,025.0	2,145.0	2,296.0	1,891.0	1,831.0
114	PANTALONES AZUL QUIRURGICO	3,600.0	1,224.0	1,380.0	1,611.0	1,046.0	3,998.0	24.0	796.0	106.0	1,983.0	2,431.0	34.0	693.0
62	FUNDAS BLANCAS 27G 0.75X0.45	3,700.0	608.0	0.0	1,896.0	1,916.0	1,156.0	4,222.0	0.0	0.0	1,183.0	4,190.0	825.0	74.0
332	OVEROL CAPUCHA POLAINA AZULQESTERIL	13,000.0	510.0	1,600.0	600.0	750.0	0.0	0.0	417.0	134.0	85.0	392.0	0.0	250.0
116	POLAINAS BOLSA X 100 UNIDADES AZUL QUIRURGICO	300.0	16,242.0	23,885.0	19,707.0	13,011.0	15,287.0	6,514.0	6,778.0	14,958.0	9,146.0	15,536.0	16,840.0	7,899.0
94	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA FUCSIA)	4,000.0	750.0	1,200.0	678.0	1,146.0	1,079.0	1,469.0	1,116.0	1,332.0	811.0	1,344.0	995.0	1,108.0
141	SABANAS PLANAS AZUL QUIRURGICO 90 X 2 10	3,000.0	0.0	0.0	0.0	3,260.0	0.0	520.0	0.0	1,681.0	0.0	3,190.0	2,653.0	1,170.0
84	KIT (JUEGO TOP Y PANTY SEÑORERO AZUL QUIRURGICO)	4,500.0	900.0	670.0	1,478.0	1,034.0	244.0	290.0	578.0	1,074.0	409.0	503.0	1,382.0	466.0
382	SABANA RTEYTIRA 0.90X2.10 BLNCO	4,300.0	890.0	455.0	1,804.0	444.0	306.0	150.0	318.0	371.0	985.0	269.0	531.0	956.0
311	CAMPO AUX 60X80	1,500.0	3,412.0	4,090.0	2,696.0	392.0	1,354.0	1,345.0	474.0	842.0	2,025.0	2,404.0	571.0	1,950.0
41	BATON AMERICANO AZUL QUIRURGICO	8,000.0	350.0	450.0	452.0	0.0	0.0	694.0	313.0	148.0	177.0	181.0	186.0	256.0
95	KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA MORADO)	4,000.0	350.0	424.0	344.0	194.0	560.0	833.0	767.0	704.0	337.0	826.0	465.0	637.0

9.2. Anexo 2: Análisis del Comportamiento de la Demanda.



Pronósticos.



9.3. Código de Visual Basic de automatización para minimizar los ECM

Sub P_126()

,

' P_126 Macro

,

,

ActiveWindow.SmallScroll Down:=-7

Range("C29").Select

SolverReset

*SolverOk SetCell:="\$C\$29", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$28", Engine _
:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"''''*

SolverAdd CellRef:="\$C\$28", Relation:=1, FormulaText:="0.3"

*SolverOk SetCell:="\$C\$29", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$28", Engine _
:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"*

SolverAdd CellRef:="\$C\$28", Relation:=3, FormulaText:="0.001"

*SolverOk SetCell:="\$C\$29", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$28", Engine _
:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"*

*SolverOk SetCell:="\$C\$29", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$28", Engine _
:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"SolverSolve*

ActiveWindow.SmallScroll Down:=4

Range("C41").Select

SolverReset

*SolverOk SetCell:="\$C\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$37", Engine _:=1,
EngineDesc:="GRG Nonlinear"SolverAdd CellRef:="\$C\$37", Relation:=1, FormulaText:="1"*

*SolverOk SetCell:="\$C\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$37", Engine _
:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"*

*SolverOk SetCell:="\$C\$41", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$37", Engine _
:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"*

SolverSolve

ActiveWindow.SmallScroll Down:=7Range("C47").Select

SolverReset

SolverOk SetCell:="\$C\$47", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$44:\$C\$46", _

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverAdd CellRef:="\$C\$43", Relation:=2, FormulaText:="1"

SolverOk SetCell:="\$C\$47", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$44:\$C\$46", _

Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

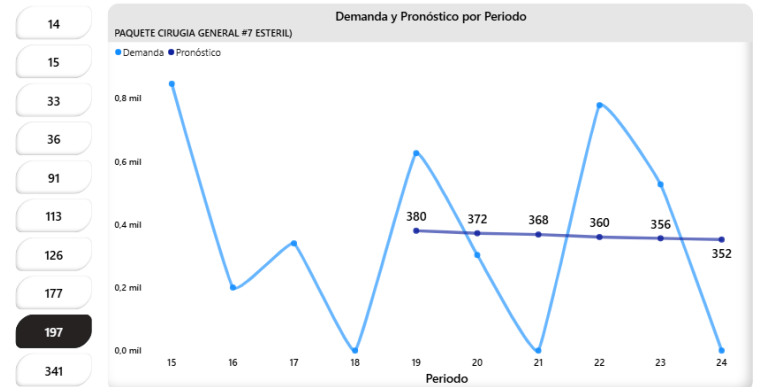
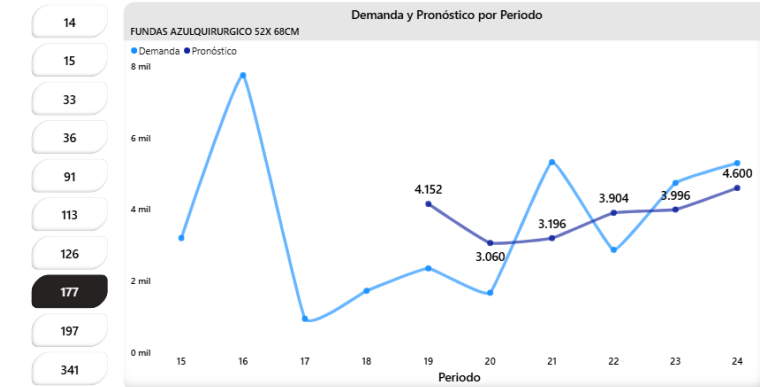
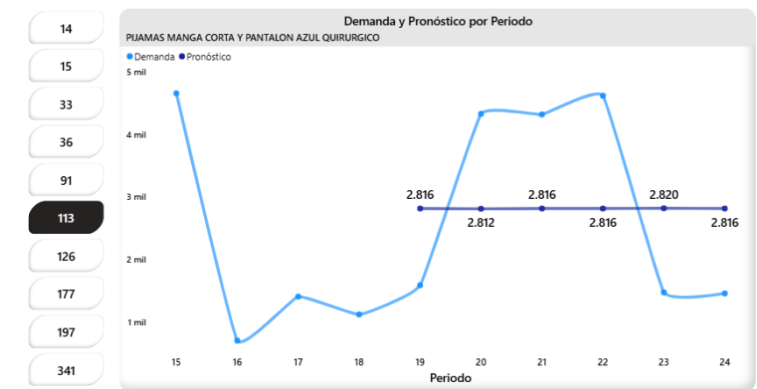
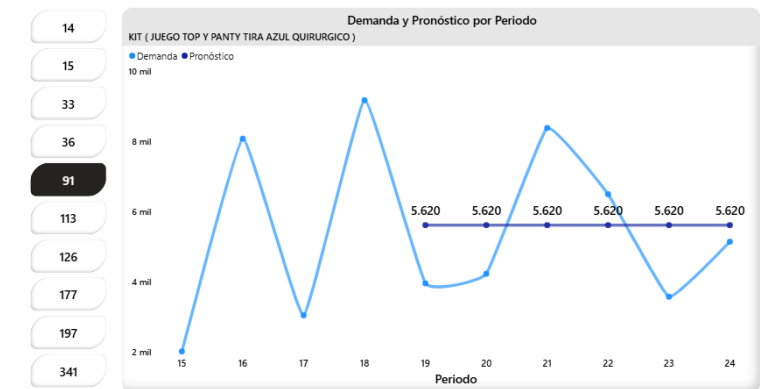
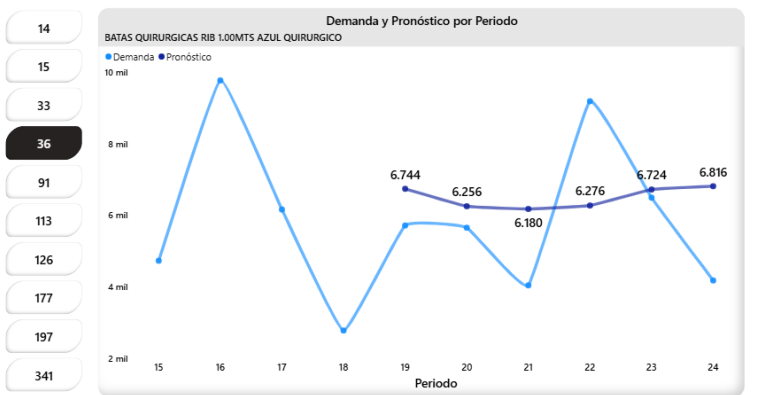
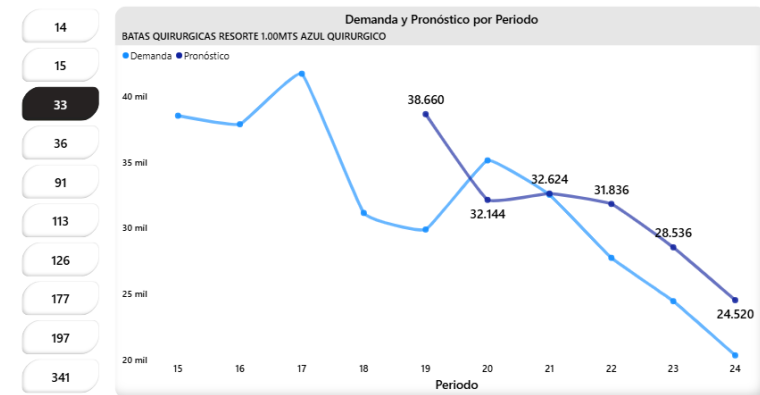
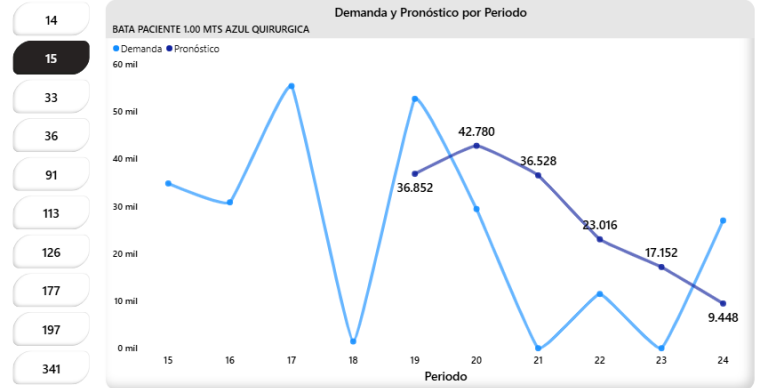
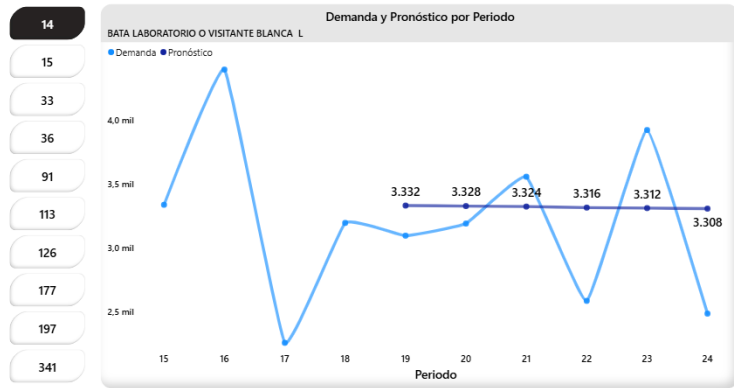
SolverOk SetCell:="\$C\$47", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="\$C\$44:\$C\$46", _

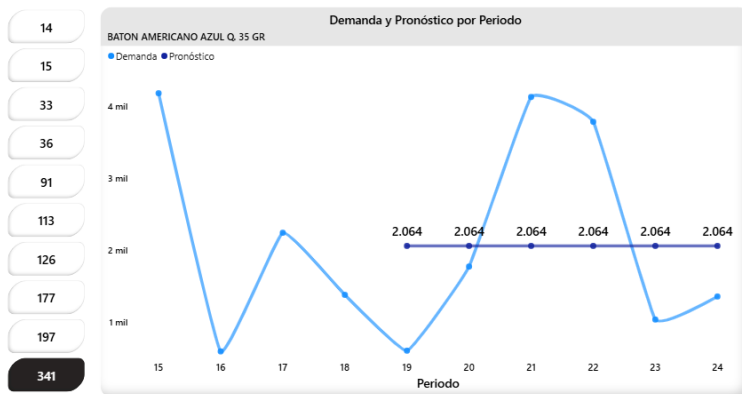
Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverSolve

End Sub

9.3. Anexo 3. Interfaz Gráfica de Power Bi para Pronósticos de Demanda.





9.4. Anexo 4 Nivel de Respuesta MPS vs método Antiguo.

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

BATA LABORATORIO O VISITANTE BLANCA L

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	3.096	3.356	91,60 %	3.456	88,37 % ❌
20	3.191	3.220	99,09 %	3.397	93,56 % ❌
21	3.558	3.255	91,48 %	3.680	96,57 % ✅
22	2.585	3.772	54,08 %	3.688	57,35 % ✅
23	3.924	2.715	69,19 %	4.236	92,05 % ✅
24	2.485	3.964	40,48 %	3.722	50,24 % ✅

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

BATA PACIENTE 1.00 MTS AZUL QUIRURGICA

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	52.704	57.290	91,30 %	60.630	84,96 % ❌
20	29.411	54.813	13,63 %	49.467	31,81 % ✅
21	0	30.294	0,00 %	36.528	0,00 % ✅
22	11.462	30.294	-64,30 %	28.797	-51,24 % ✅
23	0	11.692	0,00 %	17.152	0,00 % ✅
24	26.988	11.692	43,32 %	35.760	67,50 % ✅

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

BATAS QUIRURGICAS RESORTE 1.00MTS AZUL QUIRURGICO

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	29.892	31.463	94,74 %	43.050	55,98 % ❌
20	35.144	31.088	88,46 %	36.648	95,72 % ✅
21	32.533	36.550	87,65 %	32.670	99,58 % ✅
22	27.739	32.859	81,54 %	33.887	77,84 % ❌
23	24.442	28.572	83,10 %	30.587	74,86 % ❌
24	20.324	24.931	77,33 %	26.622	69,01 % ❌

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

BATAS QUIRURGICAS RIB 1.00MTS AZUL QUIRURGICO

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	5.718	3.449	60,32 %	7.257	73,08 % ✅
20	5.655	5.947	94,84 %	6.561	83,99 % ❌
21	4.042	5.712	58,68 %	7.249	20,66 % ❌
22	9.195	4.204	45,72 %	10.659	84,08 % ✅
23	6.496	9.563	52,79 %	6.842	94,67 % ✅
24	4.179	6.691	39,89 %	8.135	5,35 % ❌

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

KIT (JUEGO TOP Y PANTY TIRA AZUL QUIRURGICO)

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	3.960	9.365	-36,49 %	6.460	36,87 % ✅
20	4.234	5.405	72,34 %	6.323	50,66 % ❌
21	8.391	4.446	52,99 %	9.781	83,43 % ✅
22	6.501	8.475	69,64 %	6.943	93,20 % ✅
23	3.579	6.762	11,06 %	6.651	14,18 % ✅
24	5.147	3.723	72,33 %	5.867	86,02 % ✅

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

PUJAMAS MANGA CORTA Y PANTALON AZUL QUIRURGICO

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	1.589	1.190	74,89 %	3.432	-15,95 % ❌
20	4.330	1.621	37,44 %	5.090	82,45 % ✅
21	4.321	4.417	97,78 %	5.079	82,46 % ❌
22	4.620	4.408	95,41 %	5.522	80,48 % ❌
23	1.475	4.898	-132,07 %	3.493	-36,78 % ✅
24	1.458	3.423	-34,77 %	3.497	-39,85 % ❌

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

SABANA CON RESORTE Y TIRA AZUL QUIRURGICA 90 X 2 1

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	30.403	49.275	37,93 %	49.008	38,81 % ✅
20	34.928	31.316	89,66 %	41.114	82,29 % ❌
21	40.482	35.627	88,01 %	40.482	100,00 % ✅
22	38.900	41.292	93,85 %	38.900	100,00 % ✅
23	49.152	41.234	83,89 %	49.152	100,00 % ✅
24	29.656	50.136	30,94 %	46.750	42,36 % ✅

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

FUNDAS AZULQUIRURGICO 52X 68CM

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	2.349	1.757	74,80 %	5.054	-15,13 % ❌
20	1.667	2.420	54,83 %	3.757	-25,34 % ❌
21	5.323	1.701	31,96 %	6.389	79,97 % ✅
22	2.868	5.377	12,52 %	4.426	45,68 % ✅
23	4.740	2.955	62,34 %	5.112	92,15 % ✅
24	5.296	4.883	92,20 %	5.648	93,35 % ✅

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

PAQUETE CIRUGIA GENERAL #7 ESTERIL)

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	626	361	57,67 %	752	79,87 % ✅
20	303	664	-19,14 %	409	65,18 % ✅
21	0	361	0,00 %	368	0,00 % ✅
22	778	361	46,40 %	990	72,75 % ✅
23	527	817	44,97 %	613	83,68 % ✅
24	0	543	0,00 %	352	0,00 % ✅

14 15
33 36
91 113
126 177
197 341

BATON AMERICANO AZUL Q. 35 GR

Periodo	Demanda	Actual	CAP	MPS	CAP (MPS)
19	608	1.454	-39,14 %	2.792	-259,21 % ❌
20	1.777	846	47,61 %	2.208	75,77 % ✅
21	4.134	1.849	44,73 %	5.170	74,94 % ✅
22	3.789	4.217	88,70 %	4.653	77,20 % ❌
23	1.041	3.827	-167,63 %	2.576	-47,41 % ✅
24	1.361	2.786	-4,70 %	2.416	22,52 % ✅

9.5. Anexo 5. Código Visual Basic para la programación de la producción:

```
Sub ProgramarProduccion()
```

```
    Dim wsDatos As Worksheet, wsPedidos As Worksheet, wsCalendario As Worksheet
```

```
    Dim fila As Long, nuevaFila As Long
```

```
    Dim producto As String
```

```
    Dim capas As Double, totalMinutos As Double
```

```
    Dim maxDiasSemana As Integer: maxDiasSemana = 6 ' Lunes a Sábado
```

```
    Set wsDatos = ThisWorkbook.Sheets("Datos")
```

```
    Dim nombreHoja As Variant, hojaExiste As Boolean
```

```
    For Each nombreHoja In Array("Pedidos 1", "Calendario Diario")
```

```
        hojaExiste = False
```

```
        Dim ws As Worksheet
```

```
        For Each ws In ThisWorkbook.Sheets
```

```
            If ws.Name = nombreHoja Then
```

```
                hojaExiste = True
```

```
            Exit For
```

```
        End If
```

```
    Next
```

```
    If hojaExiste Then
```

```
        ThisWorkbook.Sheets(nombreHoja).Cells.Clear
```

```
    Else
```

```
        ThisWorkbook.Sheets.Add(After:=Sheets(Sheets.Count)).Name = nombreHoja
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
Set wsPedidos = ThisWorkbook.Sheets("Pedidos 1")
```

```
Set wsCalendario = ThisWorkbook.Sheets("Calendario Diario")
```

```
wsPedidos.Range("A1:C1").Value = Array("Producto", "Capas", "Minutos  
requeridos")
```

```
wsCalendario.Range("A1:F1").Value = Array("Día", "Producto", "Minutos  
asignados", "Horas extras", "Capas asignadas", "Comentario")
```

```
fila = 2
```

```
Dim pedidosLista() As Variant
```

```
Dim pedidosCount As Long: pedidosCount = 0
```

```
Dim partes As Integer
```

```
Do While wsDatos.Cells(fila, "B").Value <> ""
```

```
    pedidosCount = pedidosCount + 1
```

```
    fila = fila + 1
```

```
Loop
```

```
ReDim pedidosLista(1 To pedidosCount * 4, 1 To 5)
```

```
Dim idx As Long: idx = 0
```

```
fila = 2
```

```
Do While wsDatos.Cells(fila, "B").Value <> ""
```

```
    producto = Trim(wsDatos.Cells(fila, "B").Value)
```

```
    capas = wsDatos.Cells(fila, "G").Value
```

```
    totalMinutos = wsDatos.Cells(fila, 15).Value
```

If capas < 300 Then

partes = 1

Elseif capas > 1500 Then

partes = 4

Elseif capas > 500 Then

partes = 1

Else

partes = 1

End If

Dim parte As Integer, subCapas As Double, subMinutos As Double

For parte = 1 To partes

idx = idx + 1

If partes > 1 Then

If parte < partes Then

subCapas = Round(capas / partes, 0)

subMinutos = Round(totalMinutos / partes, 2)

Else

subCapas = capas - Round(capas / partes, 0) * (partes - 1)

subMinutos = totalMinutos - Round(totalMinutos / partes, 2) * (partes
- 1)

End If

Else

subCapas = capas

subMinutos = totalMinutos

End If

pedidosLista(idx, 1) = producto & If(partes > 1, " - Parte " & parte, "")

pedidosLista(idx, 2) = subCapas

pedidosLista(idx, 3) = subMinutos

pedidosLista(idx, 4) = subMinutos

pedidosLista(idx, 5) = subCapas

Next parte

fila = fila + 1

Loop

nuevaFila = 2

Dim k As Long

For k = 1 To idx

wsPedidos.Cells(nuevaFila, 1).Value = pedidosLista(k, 1)

wsPedidos.Cells(nuevaFila, 2).Value = pedidosLista(k, 2)

wsPedidos.Cells(nuevaFila, 3).Value = pedidosLista(k, 3)

nuevaFila = nuevaFila + 1

Next k

Dim diaDisponibleMinutos() As Double

Dim minutosExtrasDia() As Double

Dim dia As Integer

Dim maxExtrasPorDia As Double: maxExtrasPorDia = 120

Dim maxMinutosPorDia As Double: maxMinutosPorDia = 342

ReDim diaDisponibleMinutos(0 To maxDiasSemana - 1)

ReDim minutosExtrasDia(0 To maxDiasSemana - 1)

For dia = 0 To maxDiasSemana - 1

diaDisponibleMinutos(dia) = maxMinutosPorDia

minutosExtrasDia(dia) = 0

Next dia

wsCalendario.Range("A2:F10000").ClearContents

Dim calendarioFila As Long: calendarioFila = 2

Dim productosAsignadosDia As Object

Dim cambios As Boolean, asignadoEnEsteDia As Boolean

Dim productoPendiente As Variant: productoPendiente = Null

For etapa = 1 To 2

 cambios = True

 Do While cambios

 cambios = False

 For dia = 0 To maxDiasSemana - 1

 Set productosAsignadosDia = CreateObject("Scripting.Dictionary")

 Do

 asignadoEnEsteDia = False

 If Not IsNull(productoPendiente) Then

 For k = 1 To idx

 If pedidosLista(k, 1) = productoPendiente And pedidosLista(k, 4) > 0.01 Then

 GoTo ProcesarPedido

 End If

 Next k

 productoPendiente = Null

 End If

For k = 1 To idx

 If pedidosLista(k, 4) < 0.01 Then GoTo SiguientePedido

ProcesarPedido:

 Dim prodBase As String

 prodBase = Split(pedidosLista(k, 1), " - Parte")(0)

 Dim vecesAsignadoHoy As Integer

 If productosAsignadosDia.exists(prodBase) Then

 vecesAsignadoHoy = productosAsignadosDia(prodBase)

 Else

 vecesAsignadoHoy = 0

 End If

 If vecesAsignadoHoy >= 2 Then GoTo SiguientePedido

 Dim minutosDisponiblesDia As Double

 Dim permitirHorasExtras As Boolean

 permitirHorasExtras = (dia >= 1 And dia <= 3)

 Dim horasExtrasAsignadas As Double

 If etapa = 1 Then

 minutosDisponiblesDia = diaDisponibleMinutos(dia)

 horasExtrasAsignadas = 0

 Elseif permitirHorasExtras Then

 minutosDisponiblesDia = diaDisponibleMinutos(dia) +
(maxExtrasPorDia - minutosExtrasDia(dia))

 horasExtrasAsignadas =
WorksheetFunction.Min(maxExtrasPorDia - minutosExtrasDia(dia),
pedidosLista(k, 4) - diaDisponibleMinutos(dia))

 If horasExtrasAsignadas < 0 Then horasExtrasAsignadas = 0

Else

 minutosDisponiblesDia = diaDisponibleMinutos(dia)

 horasExtrasAsignadas = 0

End If

If minutosDisponiblesDia <= 0 Then

 productoPendiente = pedidosLista(k, 1)

 GoTo FinDia

End If

' Se asigna lo que quepa, incluso si parte

 Dim tiempoAsignado As Double, tiempoFinal As Double,
 capasAsignadas As Double

 tiempoAsignado = WorksheetFunction.Min(pedidosLista(k, 4),
 minutosDisponiblesDia)

 tiempoFinal = tiempoAsignado

If etapa = 2 And permitirHorasExtras Then

 If tiempoAsignado > diaDisponibleMinutos(dia) Then

 horasExtrasAsignadas = tiempoAsignado -
 diaDisponibleMinutos(dia)

 If horasExtrasAsignadas > maxExtrasPorDia -
 minutosExtrasDia(dia) Then

 horasExtrasAsignadas = maxExtrasPorDia -
 minutosExtrasDia(dia)

 tiempoFinal = diaDisponibleMinutos(dia) +
 horasExtrasAsignadas

 End If

 Else

 horasExtrasAsignadas = 0

```

        End If

    Else

        horasExtrasAsignadas = 0

    End If

    capasAsignadas = pedidosLista(k, 5) * (tiempoFinal /
pedidosLista(k, 4))

    wsCalendario.Cells(calendarioFila, 1).Value = Array("Lunes",
"Martes", "Miércoles", "Jueves", "Viernes", "Sábado")(dia)

    wsCalendario.Cells(calendarioFila, 2).Value = pedidosLista(k, 1)

    wsCalendario.Cells(calendarioFila, 3).Value =
Round(tiempoFinal, 2)

    wsCalendario.Cells(calendarioFila, 4).Value =
Round(horasExtrasAsignadas, 2)

    wsCalendario.Cells(calendarioFila, 5).Value =
Round(capasAsignadas, 2)

    wsCalendario.Cells(calendarioFila, 6).Value =
If(horasExtrasAsignadas > 0, "Con horas extras", "Tiempo normal")

    calendarioFila = calendarioFila + 1

    pedidosLista(k, 4) = pedidosLista(k, 4) - tiempoFinal
    pedidosLista(k, 5) = pedidosLista(k, 5) - capasAsignadas

    If horasExtrasAsignadas > 0 Then

        Dim normalesAsignados As Double

        normalesAsignados
WorksheetFunction.Min(diaDisponibleMinutos(dia), tiempoFinal) -
horasExtrasAsignadas)

        diaDisponibleMinutos(dia) = diaDisponibleMinutos(dia) -
normalesAsignados

```

minutosExtrasDia(dia) = minutosExtrasDia(dia) +
horasExtrasAsignadas

Else

diaDisponibleMinutos(dia) = diaDisponibleMinutos(dia) -
tiempoFinal

End If

If productosAsignadosDia.exists(prodBase) Then

productosAsignadosDia(prodBase) =
productosAsignadosDia(prodBase) + 1

Else

productosAsignadosDia.Add prodBase, 1

End If

If pedidosLista(k, 4) > 0.01 Then

productoPendiente = pedidosLista(k, 1)

Else

productoPendiente = Null

End If

asignadoEnEsteDia = True

cambios = True

Exit For

SiguientePedido:

Next k

If Not asignadoEnEsteDia Then Exit Do

Loop

FinDia:

Next dia

Loop

Next etapa

' Verificar pendientes

Dim pendientesTotales As Double: pendientesTotales = 0

For k = 1 To idx

pendientesTotales = pendientesTotales + pedidosLista(k, 4)

Next k

If pendientesTotales > 0.01 Then

MsgBox "Quedan pedidos pendientes no asignados dentro del rango lunes a sábado con horas extras limitadas.", vbInformation

Else

MsgBox "Programación completada satisfactoriamente.", vbInformation

End If

End Sub