

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Diseño de una solución para la planeación de compras, producción y gestión de inventarios en una empresa metalmecánica

Jorge Daniel Lovera Camacho^{a, c}, Nicolas Medina Caraballo^{a, c}, Jessica Milena Ríos
Niño^{a, c}

Julián David Reyes Rueda^{b, c}

^aEstudiante de ingeniería industrial

^bProfesor, Director del proyecto de grado, Departamento de Ingeniería industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Abstract

This study focuses on a proposal of an integrated solution for the problem of purchasing planning, production and inventory management in the metalworking company Exclusividad e Innovación en el diseño S.A.S (Excin). The first part of the design, definition and design of cutting in metal sheets and rods, responds to the problem of the lack of a standard methodology to determine the cuts to be made to satisfy the demand of an order. Currently, the cutting design process is performed empirically without taking into account the optimization of the consumption of raw materials and the reduction of waste during the process. The proposed solution to this problem corresponds to the use of a heuristic that determines graphically the cuts to be made, estimates the requirement and the unit waste. The second part corresponds to the structuring of the production plan and programming for an order. The foregoing, because of the fact that the company is currently experiencing a decreasing in customer satisfaction due to non-compliance with agreed delivery dates as result of the lack of centralized control to estimate the needed days considering the company's current installed capacity. Finally, the third part of the design focuses on purchasing planning and inventory policy, responding to the need to determine the quantities to be purchased and its periodicity.

The proposed design is an application in Microsoft Excel developed in Visual Basic for Applications. The used methodology has three phases: first, to gather information about the methods currently used and to carry out a time study. With the obtained information, the operations standard times and the precedence diagram were determined. In the second phase, the models of the application were developed and later, it was determined that the cutting design in metal sheets and rods corresponded to a NP-Hard problem which led to the development of two heuristics. Finally, a comparison was made between the estimated variables by the application in regard to the historical information of the company in order to measure the impact.

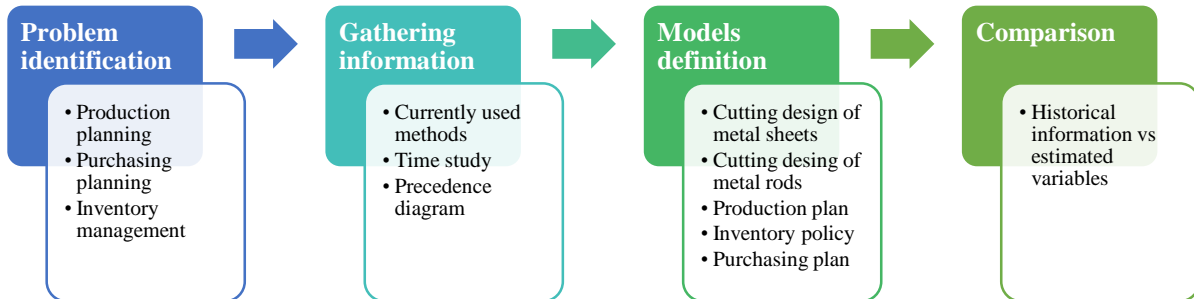
The application is composed of four models: first, cutting design of sheets and rods where the allocation of pieces in the raw materials is defined, generating a visual guide for the workers. Also, it estimates the amount of material required and the total waste. Secondly, the batch size to enter in the oven is established considering the capacity and restrictions of outdoors time. Third, the production plan and programming are structured using a line balancing model in order to define the workers' tasks assignment and the workstations required. Then, with the obtained cycle time of the product, is estimated the number of days necessary to meet the demand of the order. Later on, the units to be sent to the client are determined taking into account the established dispatch rule. Finally, the application articulates the requirements of daily materials with the inventory policy in order to estimate the quantities and the purchasing periodicity.

To measure the impact of the solution, a comparison was made between the results obtained and the historical information of the company. First, we contrasted the time required to perform the cutting design of metal sheets used by the production manager in contrast to the application, finding that the proposed solution reduces the time by 96.55%. Also, there was a decrease in the number of sheets required likewise in the total waste obtained. Second, it was compared the number of necessary oven runs obtaining that the solution of the application decreases in 25.37% the total of batches required to fulfill the demand of the order. Finally, it was made a comparison of the production plan considering the number of

workers, days needed and costs for direct labor through a simulation in Flexim software, finding that the results obtained by the application reduce labor costs in 14.67%.

In conclusion, the application presents an efficient and effective solution for Exclusividad e Innovación en el diseño S.A.S, which will allow them to determine: the required raw material, the inventory policy and structure their production plan, decreasing waste and the workers required in the production processes. Besides, the application is adaptable to a greater or lesser number of exhibitors, cutting pieces required, dimensions of the product and machinery. Finally, the graph 1 illustrates the used methodology.

Graph 1. Design process summary



Source: own construction


Key Words: *Purchasing planning, production, pieces cutting, inventory policy, heuristics.*

1. Justificación y planteamiento del problema

Exclusividad e Innovación en el Diseño (Excin Design) es una empresa del sector metalúrgico especializada en el diseño y fabricación de muebles publicitarios que pertenece a la industria manufacturera (Excin, 2017). Por medio de los procesos de diseño, corte en láminas de acero, corte en plasma, metalmecánica y ensamble, la empresa desarrolla productos para exhibición comercial como son exhibidores, material P.O.P, stands publicitarios y arquitectura efímera. Dentro de sus clientes más importantes se encuentran Postobón, Texaco y Terpel. Los productos a fabricar dependen de los diseños específicos entregados por los clientes, de los cuales se extrae información relevante para estimar de manera empírica los requerimientos de material, el valor a cobrar del proyecto y la estimación del tiempo de entrega. Actualmente, la empresa ha presentado inconvenientes en el cumplimiento de los plazos acordados de entrega de pedidos y en el excesivo desperdicio de material requeridos para la fabricación de los productos.

Si bien los productos producidos por la empresa varían según el diseño demandado por el cliente, éstos se pueden agrupar dentro de las siguientes categorías:

Tabla 1. Descripción de las categorías de productos

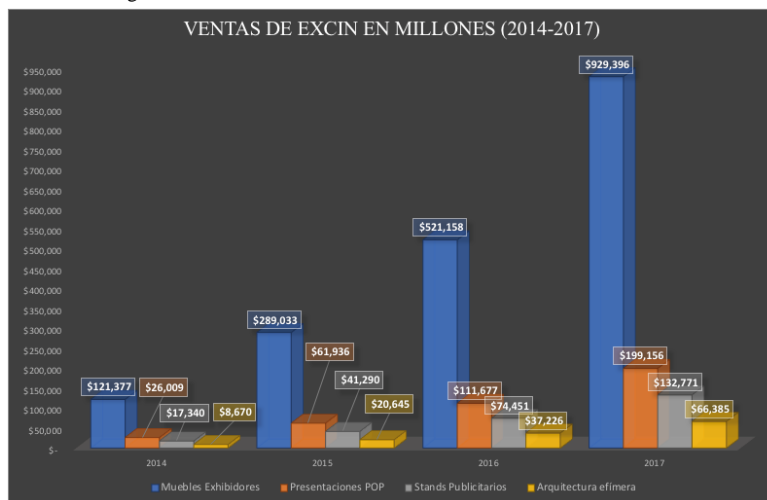
CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Muebles Exhibidores	Muebles utilizados para mostrar productos a la venta.	 <p>Imagen 1. Exhibidores Fuente: Excin</p>
Presentaciones P.O.P (Point of purchase)	Productos estampados con información o marca de una empresa.	

		 <p>Imagen 2. Presentación P.O.P Fuente: Excín</p>
<p>Stands Publicitarios</p>	<p>Espacio donde una empresa expone sus productos o servicios.</p>	 <p>Imagen 3. Stands Publicitarios Fuente: Excín</p>
<p>Arquitectura Efímera</p>	<p>Arquitectura desmontable utilizada en eventos de promoción.</p>	 <p>Imagen 4. Arquitectura efímera Fuente: Excín</p>

Fuente: construcción de los autores

Las ventas que ha tenido Excín durante los últimos cuatro años en cada una de las anteriores categorías se presenta a continuación:

Gráfico 2. Diagrama de barras de ventas de Excín en millones.

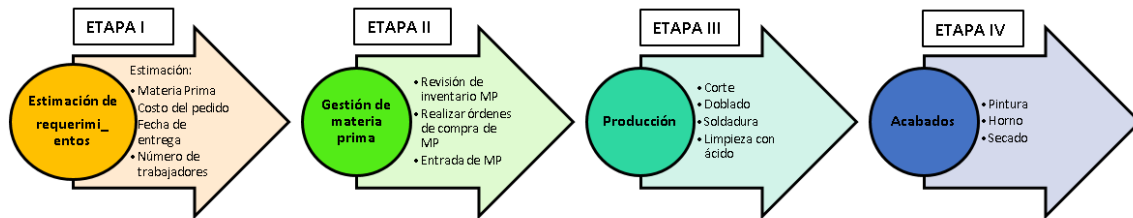


Fuente: construcción de los autores

Se puede observar que el producto que representó el 70% de ventas para Excín en el 2017 fue “muebles exhibidores”, siendo uno de los que más genera utilidad para la empresa. Asimismo, se observa que la venta de este tipo de producto ha mostrado un incremento gradual en los últimos años, del 2014 al 2015 fue del 173%, del 2015 al 2016 el 92% y finalmente entre el 2016 y 2017 se evidenció un incremento del 94%. Por consiguiente, el nivel de producción de esta categoría es elevado, lo cual demanda por parte de Excín una mayor cantidad de insumos para su fabricación. Estos insumos se han manejados en los últimos años con una inadecuada planeación de compras que ha generado un aumento en el nivel de sobrantes, como se observó en las visitas realizadas. De este modo, la empresa ha identificado como prioridad atender la planeación de compras, programación de producción y la gestión de inventarios en esta categoría.

Después de entrevistar al gerente, de las visitas realizadas, y de analizar el proceso de fabricación de estos elementos en la empresa, se identificaron las siguientes etapas:

Gráfico 3. Etapas del proceso productivo en Excín



Fuente: construcción de los autores

A continuación, se presenta para cada una de las etapas, la descripción y las oportunidades de mejora identificadas:

Etapa 1. Estimación de requerimientos: con base en el diseño entregado por el cliente, el gerente analiza los planos de los productos demandados e identifica los componentes requeridos para su fabricación. Asimismo, determina las dimensiones de los componentes y estima empíricamente la cantidad de material a comprar para la fabricación del pedido. Luego, considerando el número de unidades a producir se determina el número de trabajadores necesarios. Por último, se hace una aproximación de la fecha de entrega y la estimación del precio del pedido, considerando el material requerido y los demás costos asociados. Es de importancia resaltar que las estimaciones realizadas se hacen según la experiencia del gerente teniendo en cuenta la capacidad instalada actual.

El problema de esta etapa radica en los incumplimientos presentados con las fechas de entrega pactadas. Por ejemplo, en el 2017 se firmó un contrato con Postobón, el cual solicitó 5.000 exhibidores por un valor de \$682'500.000. Para este pedido, se estimó la entrega final en tres meses, sin embargo, se efectuó tres meses después de lo acordado. Lo anterior, incidió negativamente sobre el porcentaje de rentabilidad esperado en este proyecto, ya que se incrementó el costo real de fabricación debido a la necesidad de contratar 25 trabajadores adicionales y la subcontratación de una bodega adicional para almacenar producto terminado. Para este proyecto se tenía prevista una ganancia neta de \$220'000.000, sin embargo, los anteriores inconvenientes representaron una pérdida neta de \$117'500.000.

Etapa 2. Gestión de Materia Prima: se realiza la revisión del inventario existente de forma visual y con base en lo que falte se realiza la orden de compra al proveedor, de ser necesario. Sin embargo, los despachos de material no se realizan inmediatamente y el tiempo de reposición depende de la disponibilidad de los proveedores. Por ejemplo, para el alambre, solo existen dos empresas en Colombia que realizan el tratamiento de trefilado, requerido para el tipo de productos que Excín realiza, por lo que una orden de materia prima en promedio se puede demorar entre 10 y 15 días en ser despachada cuando no hay disponibilidad. Para evitar esto se deben realizar los pedidos con suficiente antelación. Debido a la dependencia de Excín a sus proveedores y a que el tiempo esperado de reposición es alto, las fechas de entrega se ven afectadas por no contar con una política de inventarios que permita el reaprovisionamiento adecuado de material.

Por otro lado, realizar la revisión de forma visual incrementa el error en el número de unidades a ordenar. Esto lo confirma el gerente, quién manifiesta que tenían almacenados diferentes calibres de material, pero desconocían la cantidad real en inventario. Las siguientes imágenes corresponden al inventario de material.

Imagen 5. Inventario de Láminas metálicas



Fuente: construcción de los autores

Imagen 6. Inventario de tubos y alambre



Fuente: construcción de los autores

Etapa 3. Producción: el jefe de producción con base en el diseño define empíricamente la forma y número de cortes a realizar en las láminas y a los tubos. Para el corte de láminas se utiliza una máquina cortadora hidráulica de 1.60 metros. La máquina cuenta con un límite máximo que le permite al operario realizar el corte de forma precisa, el cual es de 1mm. Sin embargo, en algunos casos por el tamaño del corte, la responsabilidad de la precisión recae en el operario, lo que aumenta la variabilidad del proceso. Los cortes posibles son en línea recta, lo cual permite figuras del tipo rectángulos, triángulos y cuadrados. De acuerdo con las especificaciones del producto, pueden quedar piezas sobrantes después de realizar el proceso, las cuales pasan al inventario de materia prima en el que permanecen hasta que pueda ser utilizada en otro pedido o producto. El porcentaje de desperdicio por lámina es aproximadamente 5%. En la imagen 7 se observan las piezas que corresponden con los sobrantes de corte. Para el corte de los tubos se utiliza la tronadora de disco endentado. Aunque para el operario el material más fácil de trabajar en el proceso de corte es tubo, también están quedando sobrantes que pasan a inventario como se evidencia en la imagen 8.

Imagen 7. Sobrantes de láminas metálicas



Fuente: construcción de los autores

Imagen 8. Sobrantes de tubo cuadrado



Fuente: construcción de los autores

Estas piezas sobrantes que no se encuentran cuantificadas, pueden pasar en el inventario hasta seis meses puesto que, están sujetas a las necesidades de los pedidos futuros. A pesar del excesivo número de sobrantes, Excin no tiene estimado el costo de los mismos.

Después del proceso de corte, se realiza el doblado de piezas. Durante este procedimiento, el operario ubica las piezas cortadas y enciende la máquina dobladora. Luego, las piezas son soldadas y, por último, se limpian con ácido para retirar las impurezas de la superficie antes de pasar al proceso de pintura electrostática. Aunque en estos procesos también se presentan desperdicios, la cantidad no es significativa y no representa un problema para la empresa.

Etapa 4. Acabados: Luego de finalizar el proceso de transformación de la materia prima, las piezas pasan a las estaciones de pintura en polvo y posteriormente al horno de curado en el cual la pintura electrostática se adhiere a la

superficie de la pieza para mejorar su acabado. Debido a las demoras en las etapas anteriores y a la restricción en el tiempo de entrega, Excin busca maximizar la capacidad del horno (6.9m x 2m x 6m) sin tener en cuenta el número de piezas o lotes que ingresan. Actualmente, la empresa no cuenta con una metodología que le permita estimar el lote o la cantidad de piezas óptima que debería ingresar de forma que se minimice el costo por encender el horno y maximice la capacidad del mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se concluye que es importante abordar el problema de planeación de compra, programación de la producción y gestión de inventarios de materia prima, considerando como parámetro de entrada el número de unidades de exhibidores a fabricar para cumplir con un pedido, es decir, no se analizará el comportamiento de la demanda. Dentro de la programación de la producción se debe considerar la determinación del diseño óptimo de los cortes en las láminas para minimizar los residuos y la gestión de inventarios para darle un adecuado manejo a los sobrantes de materia prima. Asimismo, es relevante definir el lote óptimo de piezas que deben ingresar al horno. Con base en esto, surge la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo determinar la planeación de compras de materia prima, programación de la producción y la gestión de inventarios para cumplir con un pedido de manera que Excin minimice los costos de fabricación y almacenamiento?*

2. Antecedentes

Las decisiones empíricas en la planeación de compras y la programación de la producción están afectando negativamente la gestión actual de Excin, la repercusión se ve reflejada en el incumplimiento de las fechas de entrega pactadas y en el excesivo número de sobrantes que incrementan el nivel de inventario. Con el fin de analizar los aspectos relevantes para la solución del problema, se realizó la búsqueda bibliográfica. Los estudios consultados tienen el mismo enfoque de las problemáticas identificadas anteriormente, utilizando diferentes metodologías de solución que sirven como referente inicial. Las tablas presentan el nombre del estudio, la problemática y la solución encontrada, se agruparon según los temas de interés de este estudio: estimación de recursos, política de inventarios, diseño de cortes y asignación de piezas.

Estimación de recursos

Tabla 2. Artículos referentes a estimación de recursos

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order (Corres, 2015)	Planeación y control de la producción a mediano plazo en un ambiente make to order	Se aplicó planeación agregada de los productos en familias para maximizar el beneficio total en el horizonte de planeación. Además, se implementó un modelo de programación de operaciones Scheduling para minimizar el makespan.
Production planning under a working time accounts scheme (Ortega, 2009)	Planificar la producción, los niveles de inventario y el tiempo de trabajo en una empresa de fabricación que opera bajo un esquema WTA estándar.	Se aplicó un modelo matemático de programación lineal mixta. Usa balanceo de línea de producción que permite planificar la producción, los niveles de inventario y el tiempo de trabajo, además de evaluar diferentes esquemas de working time accounts.
Production planning for a ramp-up process with learning in production and growth in demand (Lusa, 2012)	Planificar la producción para un periodo de aprendizaje con un crecimiento en la demanda y la producción.	Modelo de programación matemática. Busca sincronizar la producción y la demanda para evitar inventario. Lo anterior mediante la evaluación de diferentes escenarios entre la tasa de producción y la demanda como restricciones.
Integrating workers differences into workforce planning (Othman, 2012)	Determinar el número de trabajadores de trabajadores para cada tipo de trabajador, la cantidad de trabajadores capacitados y el número de horas extraordinarias	Modelo de programación no lineal multiobjetivo para minimizar los costos de contratación, despido, capacitación y sobretiempo y minimizar el número de despidos de los trabajadores más productivos, teniendo en cuenta las habilidades y atributos mediante su ponderación.

Uso de la programación lineal paramétrica en la solución de un problema de planeación de requerimiento de materiales bajo condiciones de incertidumbre (Arango, 2010)	Planeación de requerimientos de materiales bajo condiciones de incertidumbre.	Modelo de programación lineal paramétrica que busca satisfacer la demanda al menor costo posible. Propone minimizar los costos totales de plan de requerimiento de materiales (MRP) con restricciones de capacidad, multinivel y multiperíodo.
Modelo de programación lineal para un sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP) en la empresa de calzado de seguridad industrial marcia. (Fierro, 2017)	Planeación y control de la producción a mediano plazo en un ambiente make to order	Se realiza el plan maestro de producción, por medio del MRP (Planeación de materiales) determinando la lista de materiales, tiempo de entrega y costo de pedido, minimizando el costo total de producción.

Política de inventarios

Tabla 3. Artículos referentes a políticas de inventarios

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Diseño de nuevas políticas para el control de inventario en el almacén de materias primas en un laboratorio farmacéutico (H. Karen, 2015)	Gestión y control eficiente de inventario de materias primas dentro del almacén de la empresa.	Clasificación de materias primas por el método ABC junto con políticas de recepción, control de pesaje y conteo cíclico. Y así incrementar la exactitud de la información y garantizar la disponibilidad de los insumos a tiempo.
Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC (Marin, 2013)	Minimizar costos de capital de trabajo en inventarios y mejorar el nivel de servicio a los clientes reduciendo las ventas perdidas por agotamiento de existencias.	Método de pronóstico Holt-Winters. Éste modelo calcula la demanda de los próximos periodos para luego clasificar los productos según sus volúmenes de ventas. Lo anterior mediante clasificación ABC, lo cual establece niveles de servicio diferenciales a aplicar en el sistema de inventarios.

Diseño de cortes

Tabla 4. Artículos referentes a diseño de cortes

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Heurística para obtener la mejor región rectangular en piezas irregulares y su implementación en máquinas de corte de madera (Corres, 2015)	Determinar el corte óptimo para un trozo de madera irregular para aprovechar la mayor cantidad de madera.	Se presenta una heurística que determina el corte rectangular de un trozo de madera. Para transformar el problema geométrico a uno lineal, se incorporó un sistema laser que detecta el área de madera útil y la corteza del tronco. El algoritmo se programó en lenguaje C, proporcionando una mejora en el tiempo de producción y mayor aprovechamiento de la madera útil.
Building General Hyper-Heuristics for Multi-Objective Cutting Stock Problems (Racero, 2018)	Minimizar la cantidad de residuos acomodando la mayor cantidad de piezas con distintas figuras sobre una superficie (Problema de corte de valores).	Se utilizó el algoritmo evolutivo multi-objetivo NSGA-II, para solucionar el problema de cortes irregulares empleando un esquema bi-objetivo. Minimizando el número de hojas utilizadas para cortar las piezas y el tiempo total para

		acomodar las piezas dentro de la hoja.
Two-dimensional cutting stock problem with sequence dependent setup times (Wuttke, 2017)	Minimizar el tiempo total de producción, teniendo en cuenta el tiempo de alistamiento de las máquinas de corte, la tolerancia del corte, y el número de piezas dentro de una empresa de confección.	Clasificación de cortes por medio de una heurística secuencial, teniendo en cuenta como parámetros de entrada el tiempo de alistamiento de las máquinas y las tolerancias de corte. Reduciendo el número de movimientos que deben realizar los cuchillos.
Mathematical models and a heuristic method for the multiperiod one-dimensional cutting stock problem (Poldi, 2013)	Planificar que piezas se van a cortar y cómo se van a ordenar, durante un horizonte de tiempo conocido.	Se realizó el modelo matemático para la solución del corte óptimo, cada periodo se clasifican los desperdicios para determinar si se pueden re utilizar en otro corte, minimizando los pedidos de materia prima.

Asignación de piezas

Tabla 5. Artículos referentes a asignación de piezas

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Modelo MILP para la programación de la producción en ambiente Job-Shop flexibles con división de lotes (Novas, 2016)	Programación de tareas de manufactura en ambientes job-shop flexibles con división de lotes.	Modelo mixto entero lineal (MILP). Permite establecer si es necesaria la división de cada lote en sublotes y el tamaño óptimo de los mismos. Además, determina los tiempos de inicio y fin de las operaciones de manufactura de los sublotes.

Balaceo de línea

Tabla 6. Artículos referentes a balaceo de línea

Artículo	Problema que soluciona	Solución
Aplicación de técnicas de balaceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento (Peña, 2016)	Equilibrar las cargas de trabajo para minimizar el tiempo de ciclo.	Balaceo de línea implementando el algoritmo SALBP y programación lineal, el modelo propuesto maximizó la eficiencia del proceso.

En consideración de lo anterior, se concluye que ningún autor aborda de manera conjunta la problemática planteada en este estudio. Sin embargo, se tendrán en cuenta los siguientes conceptos para el diseño de la solución.

- Heurísticas para el problema de corte
- Balaceo de línea
- Método ABC para clasificar las materias primas.

3. Objetivos

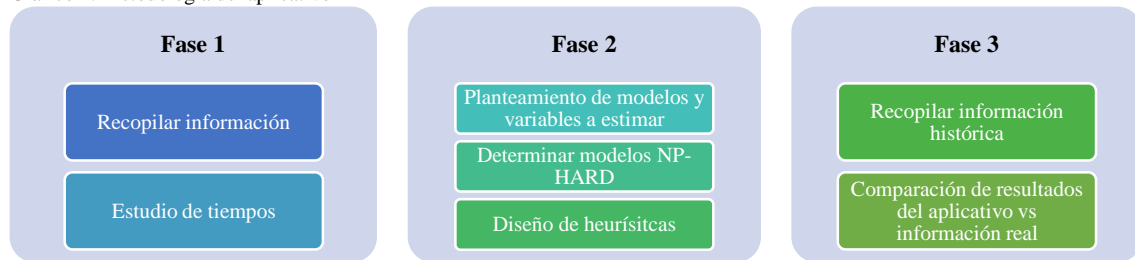
Diseñar una solución integral para el problema de planeación de compras, programación de la producción y gestión de inventarios de manera que se disminuyan los costos por fabricación y almacenamiento para la empresa Excín.

1. Determinar la cantidad de materia prima a comprar de acuerdo a las necesidades para la fabricación de un pedido.
2. Diseñar la política de inventarios.
3. Determinar el diseño del corte en las láminas que disminuya el número de sobrantes.
4. Determinar la planeación de producción para un pedido.
5. Medir el impacto de la solución en la empresa.

4. Metodología

Para abordar la planeación de compras de materia prima, la programación de la producción y la gestión de inventarios para la empresa Excin, se desarrolló una metodología compuesta por tres fases para la construcción del aplicativo en Visual Basic for Application de Microsoft Excel. En la primera fase, realizaron entrevistas a los directivos y trabajadores para determinar los métodos utilizados actualmente. En la segunda fase, se realizó la división de los modelos que responden a los objetivos planteados y se determinaron las variables de salida. Además, se confirmó que el modelo de láminas y varillas correspondía a un problema NP-HARD lo que condujo a desarrollar una heurística. Finalmente, en la tercera fase se realizó la comparación de los resultados obtenidos con el aplicativo respecto a la metodología utilizada actualmente para el corte de láminas, el número de trabajadores requeridos y la estimación de días necesarios para la fabricación de un pedido. En el gráfico 4 se presenta de forma resumida la metodología:

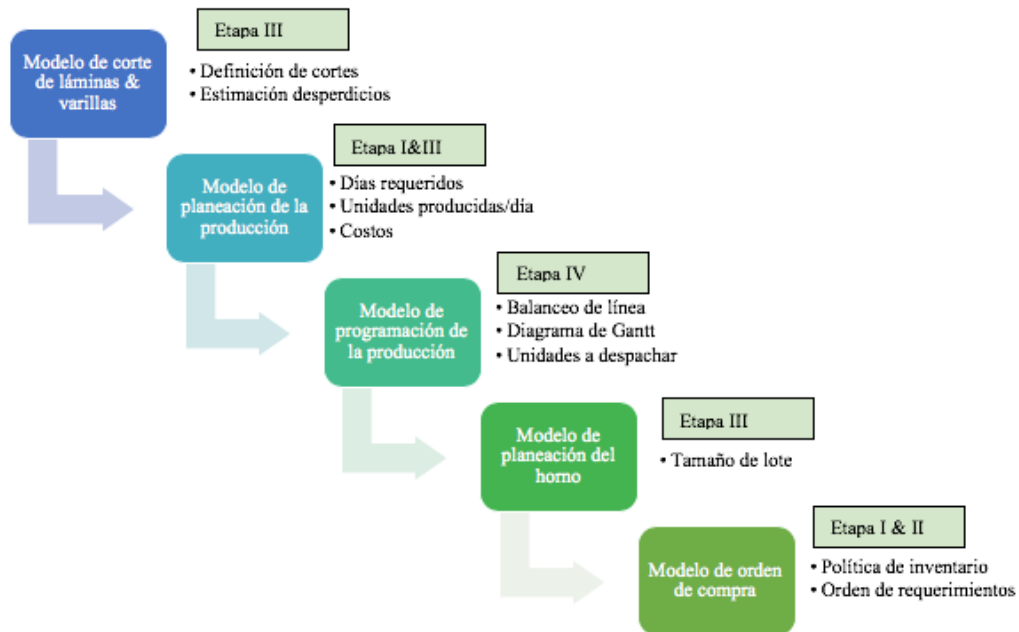
Gráfico 4. Metodología del aplicativo



Fuente: Construcción de los autores

Los modelos propuestos responden a las etapas definidas previamente en el capítulo 1 de este documento. El gráfico 5 ilustra la relación entre los modelos propuestos en el aplicativo y las etapas del proceso productivo que corresponden a los cuadros de borde negro.

Gráfico 5. Etapas del aplicativo propuesto



Fuente: Construcción de los autores

Los supuestos en los que se basa el aplicativo se enuncian a continuación.

- Excin prioriza la fabricación de los pedidos de gran tamaño concentrando todos los recursos disponibles y capacidad instalada en la producción de estos.
- Un pedido está compuesto por un único tipo de exhibidor (estándar)

- Los pedidos se ejecutan por orden de llegada, el primero en llegar, será el primero en salir.

Con base en lo anterior, se presenta la descripción de cada uno de los modelos.

A. Modelo de corte de láminas: el objetivo de este modelo es determinar los cortes a realizar en las láminas con el fin de disminuir los desperdicios resultantes en la operación. Asimismo, brindarle al operario una guía visual para facilitar esta tarea. Este modelo utiliza como parámetros de entrada número de exhibidores a fabricar, las dimensiones de las piezas requeridas para la fabricación de los exhibidores y la cantidad de cada una de estas.

Teniendo en cuenta la literatura, se determina que el problema de corte en dos dimensiones (corte tipo guillotina), es un problema NP-HARD debido a la complejidad del modelo matemático. Por esta razón, es fundamental el desarrollo de una heurística que permita encontrar una buena respuesta.

I. Pseudo-Código: el pseudo-código de la heurística desarrollada en el aplicativo para establecer los cortes en las láminas es el siguiente:

1. **Iniciar**
2. Limpiar variables y hoja de resultados.
3. Leer parámetros de entrada para el modelo.
 - a. Iniciar variables en 0.
 - b. Leer información de las materias primas.
 - c. Leer información de los requerimientos de corte.
 - d. Crear el total de cortes a realizar.
4. Cambiar el tamaño de cada corte
 - a. SI (largo del corte < Ancho del corte) ENTONCES
 - i. CAMBIAR Longitud Largo por Longitud Ancho
5. Ordenar por ancho todos los cortes
 - a. Desde $i = 1$ hasta (Total Cortes - 1)
 - i. SI (Ancho Corte(i) > Ancho Corte($i+1$)) ENTONCES
 1. CAMBIAR Corte (i) por Corte ($i+1$)
6. Agregar corte lámina
 - a. MIENTRAS (Total Cortes > 0) HACER
 - b. $i = i + 1$
 - i. DESDE $j = 1$ HASTA Largo Lamina (i)
 DESDE $k = 1$ HASTA Ancho Lamina (i)
 DESDE $l = 1$ HASTA Total Cortes
 SI (Lamina (i) Posición (j, k) = 0 & Corte (l). Realizo = Falso) ENTONCES
 SI (Al agregar el corte cumple restricción Corte guillotina)
 SI (Al agregar el corte no excede el largo de la lámina)
 SI (Al agregar el corte no excede el ancho de la lámina)
 ENTONCES AGREGAR Corte a lámina
7. Calcular laminas utilizadas
8. Calcular desperdicio
9. Imprimir resultados.
10. **Finalizar.**

II. Resultados del modelo: los resultados del modelo son:

- Láminas utilizadas.
- Porcentaje de utilización de la lámina.
- Desperdicio por lámina.
- Interfaz gráfica de cortes a realizar: guía gráfica para el operario, el cambio de color determina dónde se deberá realizar el corte. Para ampliar información sobre el funcionamiento de la interfaz gráfica del corte de láminas consulte la guía de uso (Anexo 2).

III. Rendimiento del modelo: una vez definida la heurística, es necesario determinar el rendimiento de la misma y de ser necesario, implementar una meta-heurística que mejore la solución obtenida. En consideración de lo anterior, se

realizaron diferentes corridas incrementando el número de cortes a realizar con el fin de medir el impacto de la función objetivo. La tabla 7 muestra los desperdicios obtenidos al ejecutar el aplicativo.

Tabla 7. Operaciones

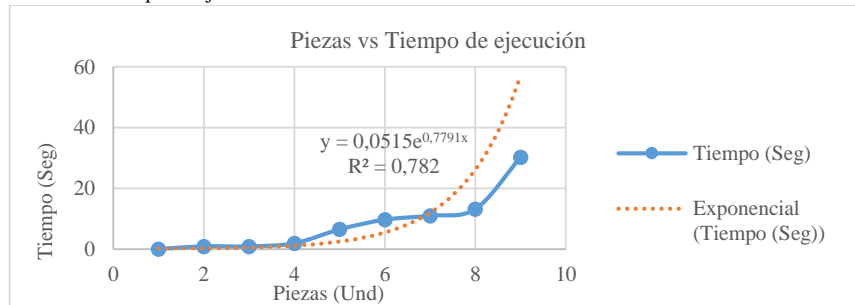
Corrida	% de desperdicio
1	5.3%
2	6.2%
3	5.1%
4	3.3%
5	4.1%
6	5.2%
7	5.3%
8	5.6%
9	6.3%
10	6.6%

Dado que el porcentaje de los desperdicios no excede el 10%, se considera que la solución que brinda el aplicativo es buena y se utiliza como criterio para sustentar el uso de una heurística.

B. Modelo de corte de varillas: este modelo busca minimizar la cantidad de varillas a utilizar para la producción total de exhibidores y determinar los cortes que el operario debe realizar para satisfacer la demanda del pedido.

Teniendo en cuenta que la literatura no sustenta este problema como NP-HARD, se determinó el modelo matemático que pudiese obtener el resultado óptimo. Este se implementó en Gusek y se comprobó su eficacia midiendo el tiempo de ejecución en diferentes escenarios donde el número de piezas necesarios para la fabricación de los exhibidores incrementaba. La gráfica 6 se ilustra los resultados obtenidos.

Gráfica 6. Tiempo de ejecución del modelo matemático



Fuente: Construcción propia

Como se observa, aunque el modelo matemático permite obtener resultados óptimos, al aumentar el tamaño del conjunto piezas a cortar, el tiempo requerido para solucionar el problema crece exponencialmente. Por ello, se considera pertinente desarrollar una heurística para la solución del problema que disminuya el tiempo de ejecución e implementarla en Visual Basic for Applications de Excel con el fin de brindarle a la empresa un aplicativo unificado.

I. Pseudo-Código: el pseudo-código de la heurística desarrollada en el aplicativo para establecer los cortes en las varillas es el siguiente:

1. **Iniciar.**
2. Limpiar variables y hoja de resultados.
3. Leer parámetros de entrada para el modelo.
 - a. Largo de la materia prima (Varilla)
 - b. Largo de cada corte (Requerimiento para un exhibidor).
4. Ordenar por longitud los cortes
 - a. Desde $i=1$ hasta (Total Cortes - 1)
 - i. SI (Largo Corte(i) > Largo Corte($i+1$)) ENTONCES CAMBIAR Corte (i) por Corte ($i+1$)
5. Agregar corte a la varilla

- a. MIENTRAS (Total Cortes < 0) HACER
 - i. $i=i+1$
 - ii. Desde $j=1$ hasta (Total Cortes)

SI (Longitud Usada Varilla (i) + longitud Corte (j) $<$ Longitud Varilla (i)) ENTONCES
 Longitud Usada Varilla (i) = Longitud Usada Varilla (i) + longitud Corte (j)
 AGREGAR Corte (j) a Cortes Varilla (i)
 Total Cortes= Total Cortes-1
 Total Varillas=i
6. Calcular el desperdicio de cada varilla utilizada.
 - a. DESDE $i=1$ HASTA Total Varillas Usadas
 - i. Desperdicio Varilla (i) = Longitud Varilla (i) – (Varilla (i). Cortes (j) x Longitud Corte (j))
 - b. DESDE $i=1$ HASTA Total Varillas Usadas
 - i. Desperdicio total = Desperdicio total + Desperdicio Varilla (i)
7. Quitar los moldes repetidos.
 - a. Reconocer los moldes.
 - b. Contar cuantas veces se repite cada molde.
8. Imprimir resultados.
9. **Finalizar.**

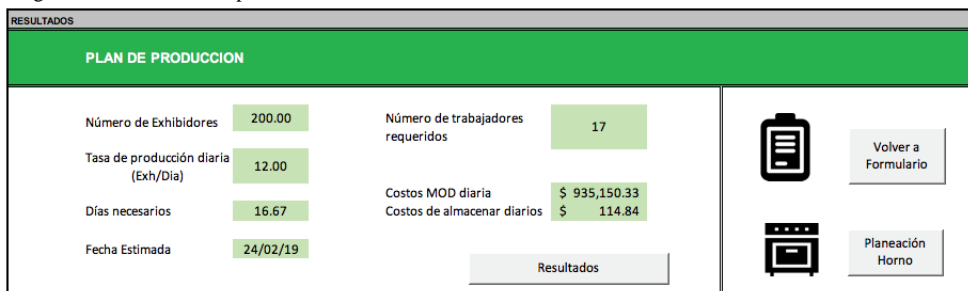
II. Resultados del modelo: los resultados del modelo son:

- Varillas utilizadas.
- Desperdicio por Varilla.
- Interfaz gráfica de cortes a realizar: para ampliar información sobre el funcionamiento de la interfaz gráfica del corte de varillas consulte la guía de uso (Anexo 2).

C. Modelo de planeación de la producción: el objetivo de este modelo es proporcionarle a Excin información relevante que le permita tomar decisiones en el proceso de planeación de la producción. Si bien, es necesario estimar los requerimientos de materia prima, estos se pueden obtener a través del modelo de orden de compra mientras este apartado del aplicativo proporciona las siguientes variables (Véase imagen 9):

- Tasa de producción diaria (Exhibidores/día): esta variable le permite a la empresa estimar los días necesarios y la fecha de entrega.
- Días necesarios. Días necesarios para completar el pedido
- Fecha Estimada.
- Número de trabajadores requeridos: fuerza de trabajo requerida durante la fabricación del pedido
- Costos MOD diaria y costos de almacenar diarios: estos valores le permiten a la empresa determinar la incidencia de la mano de obra directa y de costos de almacenamiento en la utilidad esperada.

Imagen 9. Planeación de la producción



Fuente: Construcción propia

D. Modelo de programación de la producción: el modelo propuesto para la programación de la producción tiene como objetivo determinar la asignación de operaciones y estimar la duración del proceso productivo. Para ello, se plantea balancear la línea de producción con el objetivo de minimizar el tiempo ocioso de los trabajadores.

Considerando la literatura, los problemas de balanceo de línea se clasifican según el tipo de producto ensamblado y por el tiempo de la tarea. El problema identificado en la empresa Excin es de tipo GALBP-MMS. Las siglas GALBP

corresponden a un problema General Assembly Line Balancing Problem que se caracteriza por tener estaciones en paralelo, procesamientos alternativos y tiempos de proceso variable. Por otro lado, las siglas MM hacen referencia al tipo de producto procesado en la línea, para Excin corresponde a modelo mixto o múltiple que se caracteriza por tener varios modelos de un mismo producto. Por último, la sigla S corresponde a la variabilidad de las duraciones de las tareas que es estocástico. Para este caso de estudio se definieron juntamente con Excin los siguientes supuestos:

- Los parámetros de entrada serán las operaciones del proceso, estas pueden variar dependiendo de las necesidades de la empresa y customización del producto
- Se quiere minimizar los costos por contratación de mano de obra directa
- Solo se trabaja en un turno de 8 horas diarias
- Cada puesto de trabajo elabora un solo exhibidor
- El tiempo para cada tarea no depende de la secuencia
- Todas las tareas respetan las relaciones de precedencia
- Todos los productos siguen la misma ruta
- La velocidad del ritmo de trabajo para todos los trabajadores se considera normal (100%)
- Todos los operarios son expertos, no hay operarios novatos
- Los tiempos utilizados como parámetros consideran suplementos constantes asociados a necesidades personales y fatiga
- Las operaciones Soldadura (de punto o MIG), Limpieza con ácido y Pintura tienen predefinidos el número de trabajadores.
- En caso de presentarse tiempo ocioso para un operario después de cumplir con sus tareas, este se puede dedicar a otro tipo de actividades extraordinarias que son fortuitas, variables y de compleja medición

El gráfico 7 muestra el diagrama de precedencias que actualmente Excin ha definido para la fabricación de los exhibidores. Las convenciones de este se encuentran en la tabla 8.

Gráfico 7. Diagrama de precedencias de la empresa Excin

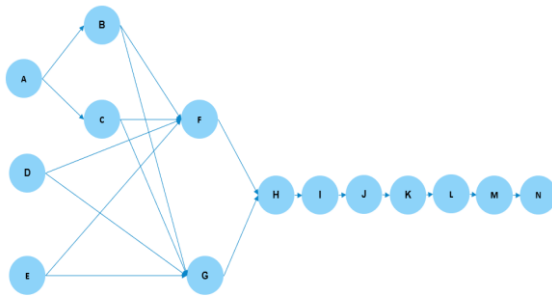


Tabla 8. Operaciones

Operación	Nombre	Predecesor (es)	Sucesor(es)
A	Cortadora de lámina	-	B, C
B	Doblado con dobladora de lámina 2.50	A	F, G
C	Doblado con dobladora de lámina 1.60	A	F, G
D	Corte de tubo con tronadora	-	F, G
E	Corte de tubo con acolilladora	-	F, G
F	Soldadura MIG	B, C, D, E	H
G	Soldadura de punto	B, C, D, E	H
H	Troquelado	F, G	I
I	Pulido con lija	F, G	J
J	Limpieza con ácido	I	K
K	Pintura	J	L
L	Set-up horneado	K	M
M	Horneado	L	N
N	Secado	M	-

Fuente: Construcción propia

I. Pseudo-Código: el pseudo-código de la heurística desarrollada en el aplicativo para balancear la línea es el siguiente:

1. **Iniciar**
2. Leer parámetros (Nombre de las operaciones, precedencias, número de máquinas disponibles, tiempo de ciclo)
3. Leer las operaciones incluidas
4. Determinar el número de máquinas que permiten obtener un menor tiempo de ciclo
5. Determinar el cuello de botella encontrando la operación de mayor duración
 - a. Tiempo de Referencia = Tiempo de ciclo de mayor duración
6. Asignación de tareas:
 - a. Desde $i=1$ hasta Número de Operaciones incluidas
 - i. Si Operación(i). Precedencias = True y Operación(i). Asignada = False entonces
 1. Si $\text{Tiempo de Referencia} - \text{Operación}(i). \text{Tiempo de Ciclo} \leq 0$ entonces
Tiempo de Referencia = Tiempo de ciclo de mayor duración
 2. Si $\text{Tiempo de Referencia} - \text{Operación}(i). \text{Tiempo de Ciclo} \geq 0$ entonces

- Operación(i). Tiempo Ocioso = Tiempo de Referencia – Operación(i). Tiempo de Ciclo
- Tiempo de Referencia = Tiempo de Referencia – Operación(i). Tiempo de Ciclo
- Operación(i). Asignada = Verdadero
- b. Desde $i=1$ hasta Número de Operaciones incluidas
 - i. Si Operación(i). Asignada= True entonces

Contador = Contador +1

Estación (Contador). Nombre = Operación(i). Nombre

Estación (Contador). Tiempo de Ciclo = Operación(i). Tiempo de Ciclo

Estación (Contador). Tiempo Ocioso = Operación(i). Tiempo Ocioso
 - c. Desde $i=1$ hasta Contador
 - i. Si Operación(i-1). Tiempo Ocioso \leq Operación(i). Tiempo de Ciclo y $i <> 1$ entonces

Auxiliar contador = Auxiliar Contador + 1

Estación (Contador). Numero de Estación = Auxiliar Contador
7. Imprimir resultados
 8. Reiniciar variables
 9. **Finalizar**

II. Diagrama de Gantt: el diagrama de Gantt tiene como objetivo representar gráficamente la programación de las operaciones diarias para la elaboración de exhibidores teniendo en cuenta el diagrama de precedencia. Le permite a la empresa organizar las ideas de forma más fácil contribuyendo al establecimiento de plazos realistas dentro de los horarios determinados por la empresa. Para este caso de estudio se definieron juntamente con Excin los siguientes supuestos y aclaraciones:

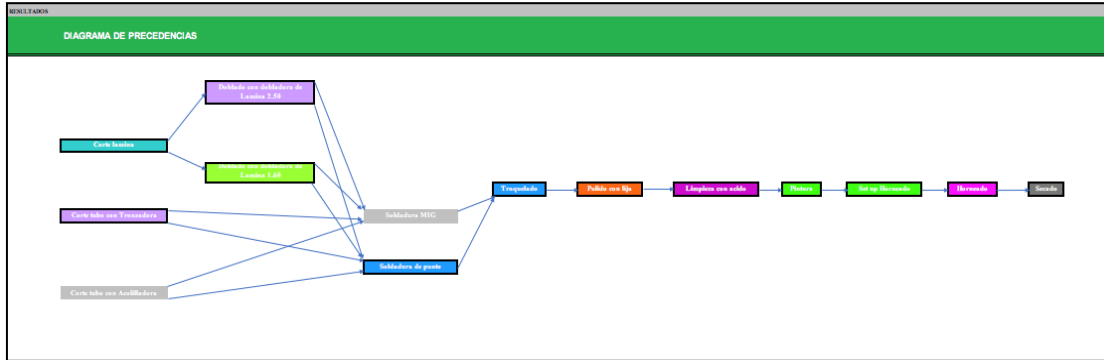
- Las etapas de estimación de requerimientos y gestión de inventarios se realizan una semana antes del inicio de actividades manufactureras.
- El proceso de corte de láminas, corte de tubos y doblado se realizan de forma continua durante la jornada laboral, de tal forma que a partir del segundo día no se paren las actividades que preceden y se mantenga una la línea de producción continua.
- Se realizan por lo menos la tasa constante de producción diaria obtenida por el balanceo de línea, 12 exhibidores.
- Una vez terminada la jornada laboral, todos los trabajadores paran actividades y continúan en la misma parte con total normalidad, es posible dejar tareas a medias.
- Los tiempos de descanso, comida e imprevistos ya están considerados en la duración de las tareas.

Es necesario aclarar que el sistema de producción es un flujo en línea, por lo que las tareas se realizan de forma continua e iguales entre los diferentes días.

III. Resultados del modelo: los resultados obtenidos en este modelo son:

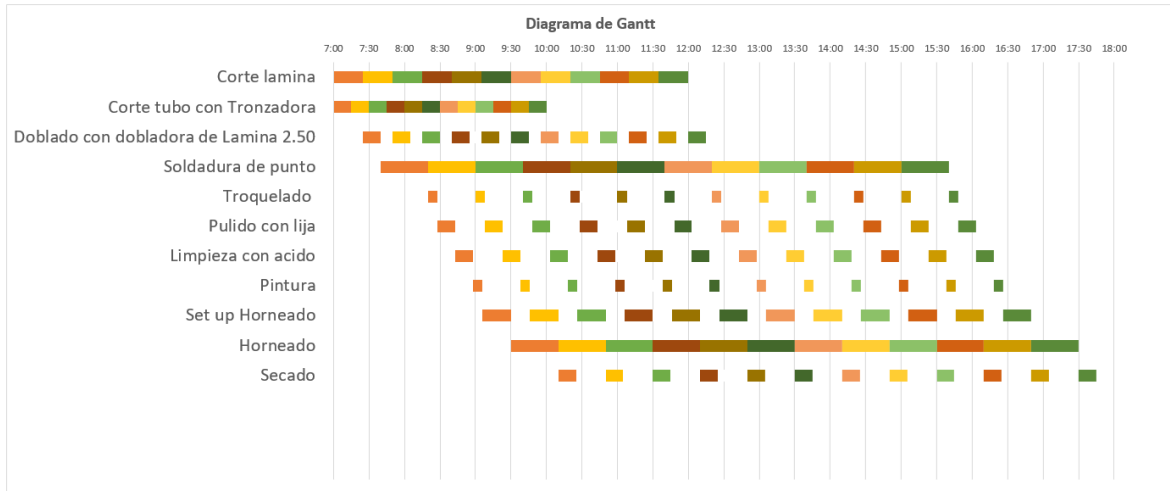
- Número de estaciones y asignación de tareas: estas serán ejecutadas por un único operario.
- Tiempo de ciclo y tasa de producción.
- Días necesarios: estimados a partir del tiempo de ciclo de los exhibidores.
- Fecha estimada: estimación de la fecha de finalización del pedido.
- Diagrama de precedencias: este diagrama permite visualizar las estaciones de trabajo propuestas por el modelo y la asignación de tareas. Las operaciones que comparten color pertenecen a la misma estación y serán ejecutadas por un único operario. Véase imagen 10.
- Diagrama de Gantt: este diagrama le permite a la empresa modelar la programación de las tareas diarias, necesarias para la realización de un pedido mediante una representación gráfica del proceso considerando el diagrama de precedencia. Cada color corresponde a la elaboración de un exhibidor durante el día. Véase imagen 11

Imagen 10. Diagrama de precedencias



Fuente: Construcción propia

Imagen 11. Diagrama de Gantt



Fuente: Construcción propia

IV. Despacho: es importante mencionar que la capacidad de almacenamiento de producto terminado de la empresa es limitada y está relacionada con las unidades producidas, por lo que, es necesario definir reglas de despacho e incluirlas dentro de las consideraciones del aplicativo. Las restricciones identificadas son las siguientes:

- El porcentaje de utilización de la capacidad de la bodega de producto terminado no deberá exceder el 80%.
- Los exhibidores no pueden apilarse ni verticalmente ni horizontalmente ya que se vería comprometida la calidad de los mismos.
- Se realizarán despachos periódicos al cliente y estas unidades no pueden exceder la capacidad máxima de almacenamiento de la bodega de producto terminado. Por conveniencia y en acuerdo con Excin, se estableció una periodicidad semanal, sin embargo, este parámetro se puede modificar de acuerdo con las necesidades del cliente.

Para determinar el número máximo de unidades a almacenar se planteó un modelo utilizando Solver de Excel, mientras que, el número de unidades a despachar semanalmente se estima a través de la tasa de producción diaria. A continuación, se muestra el modelo matemático.

- Conjuntos

$i = Dimensiones \{ Ancho, Profundidad \}$

- Parámetros:

$Bodega_i = Dimensiones \text{ de la bodega de producto terminado}$

$Exhibidor_i = Dimensiones \text{ del exhibidor}$

- Variables de decisión:

$x = Número \text{ de exhibidores a almacenar en la bodega de producto terminado}$

- Función objetivo:

$$\max \sum_{i \in I} x$$

- Sujeto a:
 - El número de exhibidores no puede exceder el 80% de la capacidad de la bodega
 $x * Exhibidor_i \leq Bodega_i * 0.8$
 - Restricción de no negatividad
 $x \geq 0$

E. Modelo de planeación del horno: el objetivo de este modelo es determinar el número óptimo de exhibidores por lote que deberán ingresar al horno para maximizar la utilización de este y minimizar costos. Las dimensiones de los exhibidores se consideran parámetros de entrada para estimar las variables I, II y III. La interfaz que el usuario debe completar se muestra en la imagen 12.

Imagen 12. Ingreso de datos

The image shows a web-based data entry form. At the top, there is a green header with the text 'INGRESO DE DATOS' and 'DIMENSIONES EXHIBIDOR'. Below the header, there are several input fields: 'Número de Exhibidores' with the value '100', 'Largo' with '20', 'Alto' with '10', and 'Profundidad' with '10'. A 'Ingresar datos' button is located at the bottom right of the form.

Fuente: Construcción propia

I. Exhibidores por cabina: en este proceso, los exhibidores se pintan verticalmente en la cabina de pintura y posteriormente se ubican dentro del horno por lo que, las restricciones de capacidad están dadas por las dimensiones de estos. Estimar esta variable permite determinar la cantidad de exhibidores a colgar verticalmente para maximizar la utilización del espacio disponible en la cabina de pintura. A través de Solver de Excel, se determina el número de exhibidores por cabina a colgar por medio del siguiente modelo:

- Conjuntos
 $i = Dimensiones \{Altura, Ancho, Profundidad\}$
- Parámetros:
 $Cabina_i = Dimensiones \text{ de la cabina de pintura}$
 $Exhibidor_i = Dimensiones \text{ del exhibidor}$
- Variables de decisión:
 $x = \text{Número de exhibidores a colgar verticalmente en la cabina de pintura}$
- Función objetivo:

$$\max \sum_{i \in I} x$$

- Sujeto a:
 - El número de exhibidores no puede exceder las dimensiones de la cabina de pintura
 $x * Exhibidor_i \leq Cabina_i$
 - Restricción de no negatividad

$$x \geq 0$$

II. Tamaño de lote: estimar esta variable permite determinar el número de exhibidores que ingresará en cada corrida del horno. Se determina considerando el área máxima del horno respecto al área del exhibidor. Además de la restricción de capacidad, es importante tener en cuenta que un exhibidor pintado no puede permanecer más de 30 minutos a la intemperie puesto que, se ve comprometida la calidad del producto. El siguiente pseudo-código ilustra el procedimiento utilizado:

1. **Iniciar**
2. Exhibidores del lote = 1
3. Tiempo Restante = 30 minutos
4. Mientras que el Tiempo Restante < Tiempo de Ciclo de Pintura hacer
 - a. Si el Área Total Disponible (Horno) – Área del Exhibidor > 0 entonces

$$\text{Área Total Disponible} = \text{Área Total Disponible} - \text{Área del Exhibidor}$$

$$\text{Tiempo Restante} = \text{Tiempo Restante} - \text{Tiempo de Ciclo de Pintura}$$

$$\text{Exhibidores por lote} = \text{Exhibidores por lote} + 1$$
5. Exhibidores por lote = Exhibidores por lote * Número de exhibidores colgados verticalmente
6. Imprimir resultados
7. **Finalizar**

III. Número de lotes: una vez determinados el número de exhibidores que se ubicarán vertical y horizontalmente en el horno por corrida, se determina el número de lotes que se deberán ingresar para satisfacer la demanda. El resultado de la variable se obtiene a través del cociente entre el número de exhibidores a fabricar ingresados por el usuario y tamaño del lote.

IV. Resultados del modelo: además de las variables anteriormente mencionadas, el aplicativo estima el costo total de las corridas necesarias para cumplir con la fabricación de los exhibidores.

F. Modelo de orden de compra: el objetivo de este modelo es orquestar los requerimientos de materia prima (varillas y láminas) con la política de inventario para brindarle al usuario un estimado de la cantidad de materiales a ordenar y la periodicidad de compra. Para definir la política de inventario y posteriormente los parámetros de la orden de compra se establecieron con Excin las siguientes observaciones:

- Se considera como parámetro de entrada los requerimientos unitarios de varillas y láminas para la fabricación de un exhibidor y la última posición del inventario
- La tasa de producción se considera constante a lo largo del proceso de fabricación del pedido por lo que, el requerimiento diario de material es proporcional al número de exhibidores producidos. La tasa constante se basa en los supuestos especificados en el modelo de balanceo de línea.
- Los requerimientos de material diarios serán constantes durante los días necesarios estimados para la fabricación del pedido
- Se considerará un stock de seguridad correspondiente al 10% de los requerimientos semanales

Dado lo anterior y teniendo en cuenta las características del problema (demanda determinística y constante) se propone el modelo EOQ para la política de inventario propuesta. El pseudo-código y las variables de salida para este modelo son:

1. **Iniciar**
2. Demanda Diaria = Tasa de producción diaria * Requerimiento Unitario de Material (Lámina o Varilla)
3. Demanda Semanal = Demanda Diaria * 6
4. Si Ultima posición del Inventario/ Requerimiento Unitario de Material (Lámina o Varilla) > 0 entonces

$$\text{Exhibidores a Fabricar con Inventario Disponible} = \frac{\text{Ultima posición del Inventario}}{\text{Requerimiento Unitario de Material (Lámina o Varilla)}}$$
 De lo contrario

$$\text{Exhibidores a Fabricar con Inventario Disponible} = 0$$
5. Obtener Q – Cuánto Ordenar
6. Obtener T – Periodicidad de compra en días
7. SS= Demanda Semanal* 0.1
8. Imprimir resultados
9. **Finalizar**

I. Resultados del modelo: los resultados determinados por este modelo se pueden observar en la imagen 13.

- Inventario disponible para: número de exhibidores que se pueden fabricar con el inventario disponible
- Cuánto ordenar: cantidad a ordenar periódicamente
- Cada cuánto: periodicidad de compra
- Stock de seguridad: inventario de seguridad

Imagen 13. Ingreso de datos y resultado de modelo de despacho

Fuente: Construcción propia

G. Cumplimiento del estándar

Considerando que el objetivo del diseño de este estudio es el desarrollo de un aplicativo que mejore la planeación de compras, producción y la gestión actual de inventarios, se define como lineamiento la ISO 9126 que presenta las métricas de calidad para un software, como son: funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia y calidad en el uso. (Muñoz, 2010)

Este aplicativo es una herramienta que permite dar solución a las necesidades explícitas e implícitas de Excin, optimizando la planeación de la producción y de compras de forma eficiente con un tiempo de respuesta y procesamiento rápido. La ejecución de los modelos no excede los 10 minutos. Cabe resaltar la factibilidad de cada uno de los modelos propuestos ya que consideran las restricciones de capacidad instalada, las características de almacenamiento y la secuencia de tareas que debe seguir el producto y las especificaciones del mismo.

Esta herramienta es intuitiva y fácil de usar. La guía de uso desarrollada explica de forma clara cada una de las funciones que entrega el aplicativo con el fin de que los usuarios requieran un menor tiempo y esfuerzo para aprender a usar la aplicación. Otra de las características que permiten resaltar su usabilidad es la interfaz amigable, visualmente atractiva y flexible, no es necesario que la persona encargada de ejecutar la aplicación sea experta en programación o uso de softwares similares. Además, no requiere de programas o licencias especiales, es un aplicativo que se puede usar en cualquier dispositivo que cuente con el paquete Office, ofreciendo una amplia portabilidad. Por último, se presentan resultados fáciles de leer e interpretar, facilitando y brindando información pertinente para la tomar decisiones en la empresa.

5. Resultados

Este capítulo tiene como objetivo analizar el impacto que la solución propuesta puede generar en el desempeño y operación actual de la empresa. Es necesario aclarar que no se realizó comparación para los modelos de corte de varillas, despacho y orden de compra debido a que actualmente la empresa no tiene una metodología definida para estos procesos, el aplicativo representa una propuesta que le permita a la empresa optimizar y llevar control sobre estos procesos a corto y mediano plazo.

a) Modelo de corte de lámina

Como se describió en el capítulo 1, el jefe de producción es el encargado de determinar y ubicar las piezas a cortar, este proceso se realiza empíricamente y posteriormente, se entrega el diseño al operario. Para realizar la comparación se realizó una reunión con el jefe de producción en la cual él realizó el diseño de cortes para ubicar 2000 piezas de 3 x 10 cm. La tabla 9 muestra los resultados de los indicadores obtenidos para la metodología utilizada respecto a la propuesta por el aplicativo.

Tabla 9. Comparación de corte de láminas.

	Metodología Actual	Aplicativo	% de mejora
Tiempo utilizado	28.9 min	59, 7 seg	-96.55%

Láminas utilizadas	4	3	-0.25%
% Utilización	52.10% (por lámina)	94 %, 94% y 62%	59.94%
Desperdicio Total (m)	55180	14400	-73.90%

Como se observa en la tabla 7, el tiempo utilizado para determinar los cortes a realizar disminuyó en un 96.55% al utilizar el aplicativo propuesto. Asimismo, el número de láminas a utilizar disminuyó en 25%. El porcentaje de utilización de estas aumentó en un 59.94% mientras que el desperdicio disminuyó en un 73.90%. Los resultados observados permiten concluir que el uso del aplicativo disminuye el tiempo requerido para el diseño de los cortes, la ubicación propuesta permite incrementar el porcentaje de utilización de las láminas y disminuir el requerimiento, así como el desperdicio total. Lo que repercute en la estructura financiera de la empresa puesto que, requerirán una inversión menor en la compra de láminas metálicas.

b) Modelo de planeación del horno

Para realizar la comparación entre los modelos, se utilizó información histórica del proyecto Bavaria que ejecutó la empresa el 2018 para la fabricación de 200 exhibidores cuyas dimensiones eran 152 x 35 x 42 cm. La tabla 10 ilustra los datos documentados por la empresa respecto a los propuestos por el aplicativo.

Tabla 10. Comparación de planeación del horno

	Metodología Actual	Aplicativo	% de mejora
Tamaño de lote	1x3	1x4	33.33%
Número de corridas	68	50	-25.37%
Costo total	\$440.686	\$322.907	-26.72%

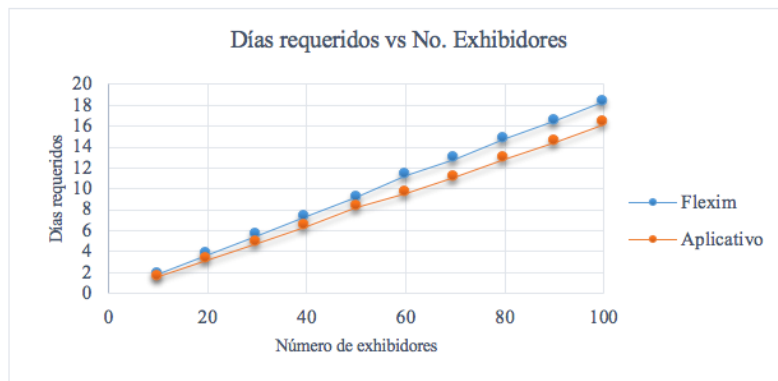
Como se observa en la tabla 8, el tamaño del lote aumentó en 33.33% debido a que el aplicativo busca maximizar la capacidad del horno considerando la restricción de tiempo máximo a la intemperie mientras que, estimar empíricamente esta variable puede ser complejo. Por otro lado, el número de corridas propuestas disminuyó respecto a las ejecutadas lo que repercute considerablemente en los costos y puede generar un impacto financiero positivo para la empresa.

c) Modelo de planeación de la producción

I. Error del modelo

Debido a que el modelo de balanceo de línea no considera los tiempos de transporte entre estaciones ni los tiempos de cola durante el proceso productivo de los exhibidores, se estimó el error del modelo a través de una comparación entre los días requeridos estimados por el modelo del aplicativo respecto a los determinados por el software Flexim al incrementar el número de exhibidores a fabricar. La gráfica 8 ilustra los resultados obtenidos.

Gráfico 8. Comparativo de los días requeridos para la fabricación de los exhibidores



Fuente: Construcción propia

Con el fin de medir el error existente entre las estimaciones realizadas por el aplicativo, se calculó el MAPE. Se utilizó este indicador dado que considera la diferencia absoluta entre las observaciones sin afectarse o verse sesgado por el signo de las diferencias y debido a su sencilla interpretación. Considerando el valor del MAPE obtenido para las observaciones de la gráfica 8, se puede concluir que el modelo de balanceo de línea tiene un error del 14.41%.

II. Comparación

Para realizar la comparación entre los modelos, se utilizó la información histórica de la asignación de operaciones para el proyecto Bavaria del año 2018 el cual requería 200 exhibidores. A través del software Flexim se simuló la distribución de tareas utilizada durante dicho proyecto y la propuesta por el aplicativo. Se contrastaron el número de días utilizados para la fabricación de los exhibidores, los trabajadores requeridos y los costos por mano de obra directa. La tabla 11 ilustra los resultados obtenidos.

Tabla 11. Comparación de planeación de la producción

	Metodología Actual	Aplicativo	% de mejora
Días requeridos	39.67	36.87	-7.05%
Número de operarios	18	15	-16.66%
Costos MOD total días req.	\$39'005.281	\$33'281.677	-14.67%

Como se observa en la tabla 9, los días requeridos disminuyeron en un 7.05% así como el número de operarios ya que, al balancear la línea los operarios pueden llevar a cabo diferentes tareas disminuyendo el tiempo ocioso. Por otro lado, el modelo propuesto le permite a la empresa reducir sus costos por mano de obra directa en un 14.67% lo que corresponde aproximadamente a \$5'723.610.

d) Medición del impacto operacional

Si bien es cierto que el impacto operacional que logra la aplicación dentro de la empresa es de compleja medición monetaria debido a la infinidad de nuevos cambios operacionales que hace engorrosa la labor, es posible evidenciar los buenos hábitos de ejecución de las tareas diarias a lo largo de las operaciones que logra afectar el aplicativo propuesto. Es posible obtener un mayor control y coordinación de las diferentes operaciones logrando así, tomar mejores decisiones en la planeación de compras, mejorar el diseño de los cortes en lámina para aprovechar el material y disminuir desperdicios, como también evitar encender el horno con tanta frecuencia; todo esto logrando entregar los pedidos en las fechas establecidas, al igual que la obtención de beneficios financieros directos e indirectos como se explica más adelante. La tabla 12 muestra el impacto operacional detallado en la empresa:

Tabla 12. Impacto operacional del aplicativo.

Operación/actividad	Impacto operacional
Gestión de inventario	<ul style="list-style-type: none"> El desperdicio de MP se controla, documenta y administra para reutilizar en pedidos futuros de ser posible. En complemento de una política de inventario EOQ para evitar contratiempos por reaprovisionamiento.
Planeación de compras	<ul style="list-style-type: none"> Se compra lo necesario para cumplir con un pedido, sin sobrantes de MP debido al control de inventario existente y a la estimación de requerimientos el cual arroja el aplicativo.
Corte de láminas	<ul style="list-style-type: none"> Mayor cantidad de cortes por lámina lo cual disminuye desperdicios. Menor cantidad de tiempo en el diseño de los cortes en lámina al no tener que realizarse debido al uso del aplicativo.
Planeación de la producción	<ul style="list-style-type: none"> Se tiene conocimiento acerca de la mano de obra y materia prima, considerando la capacidad instalada actual para realizar la fabricación de un pedido y tomar decisiones acertadas.
Programación de la producción	<ul style="list-style-type: none"> Se conoce a ciencia cierta la cantidad de trabajadores en cada unidad de trabajo, permitiendo tener un mayor control en el tiempo de ejecución de las diferentes tareas, el cual ayuda a determinar la fecha de entrega de un pedido.
Horneado	<ul style="list-style-type: none"> Se introduce mayor cantidad de exhibidores por lote, evitando encender el horno mayor cantidad de veces de las requeridas para un pedido.

Además, el impacto financiero directo e inmediato que se obtiene por hacer uso del aplicativo propuesto, se ve evidenciado en el costo del horno como también en la mano de obra directa en Exclusividad e Innovación en el diseño S.A.S (Excin), como se observa en la tabla 13. Para realizar la comparación entre los modelos, se utilizó la información histórica de la asignación de operaciones para el proyecto Bavaria del año 2018 el cual requería 200 exhibidores. Es necesario aclarar que estos datos corresponden a solamente un proyecto o pedido considerado pequeño comparado, por ejemplo, con el proyecto de Postobón enunciado anteriormente en el documento, el cual correspondió a 5.000 exhibidores.

Tabla 13. Impacto financiero directo del aplicativo.

Costo	Metodología Actual	Aplicativo	Ganancia
Costo de horno	\$440.686	\$322.907	\$117.779
Mano de obra directa	\$39'005.281	\$33'281.677	\$5'723.604
TOTAL			\$5'841.383

Por otro lado, otros impactos financieros que se evidenciaron claramente en esta situación; pero que no se enuncian en la tabla 11 debido a la imposibilidad de una medición monetaria confiable para su análisis, es la disminución de desperdicios y la disminución del tiempo de operación en el proceso de corte de láminas. Además, de la minimización de situaciones fortuitas que pudo presenciarse como, reabastecimiento inesperado de materia prima o sobrecostos de almacenamiento. Todas estas situaciones conllevan a aumentar las ganancias por lo menos en \$5,841,383 o más, haciendo uso del aplicativo.

6. Conclusiones y recomendaciones

- El uso de un aplicativo a través del robusto lenguaje de programación Visual Basic, el cual integra los temas de planeación de compras, producción y gestión de inventarios en la empresa, permite tener un mejor control en la compra de materia prima como también el correcto monitoreo a través de sus procesos de producción. Permitiendo tener una administración eficiente de los recursos en orden de lograr mayor provecho y disminuir costos.
- El diseño de la nueva política de inventario de materia prima en la empresa permite disminuir la probabilidad de faltantes en pedidos futuros y mitigar el riesgo de fluctuaciones en la demanda debido a anomalías en el sector económico. Lo anterior, permite cumplir con los pedidos a tiempo mitigando la posibilidad de incurrir en sobrecostos.
- La optimización del proceso de corte donde se establece el diseño de corte de láminas y varillas donde se define la asignación de piezas en las materias primas en conjunto de una guía visual para el operario, permite la estandarización de un proceso crucial en el desarrollo de un pedido logrando un mayor seguimiento en éste eslabón. Por lo anterior, es posible estimar la cantidad de material requerido y el desperdicio total. En el caso de los resultados obtenidos de las metodologías empleadas, se obtuvo un resultado sobresaliente respecto al método utilizado actualmente ya que se dispone de menor tiempo para el corte por lámina, menor cantidad de material requerido y al alto porcentaje de aprovechamiento, resultando ser más beneficioso.
- La reestructuración del modelo de planeación del horno de acuerdo a la propuesta desarrollada a lo largo del documento permite mejorar en un 33% el tamaño del lote a ingresar al horno a un costo 26% más económico respecto al método actual. Lo anterior, teniendo en cuenta que tanto Excín Design S.A.S como el aplicativo busca maximizar la capacidad del horno considerando la restricción de tiempo máximo a la intemperie.
- A partir de las visitas realizadas a Excín Design S.A.S fue posible evidenciar que los operarios que realizan la soldadura de las piezas para la elaboración de exhibidores ejecutan múltiples desplazamientos irregulares cruzándose entre ellos mismos. Esto puede generar problemas de movilidad y coordinación al interior de la planta que pueden tener repercusión en el tiempo de su operación y por tanto posibles demoras en la secuencia de procesos. Por lo anterior, para posteriores estudios se recomienda replantear la distribución de la planta para disminuir tiempos de transporte entre estaciones.
- Implementar indicadores de inventario como días de inventario a la mano, inventario promedio y nivel de servicio para cuantificar la efectividad de la política. Esto permite retroalimentar la política y tomar mejores decisiones dentro de la empresa y cumplir con los pedidos en los tiempos establecidos.
- Promover el uso del aplicativo en los distintos niveles de la organización permite el involucramiento y entendimiento de los procesos de Exclusividad e Innovación en el diseño S.A.S (Excín).
- Documentar y analizar el comportamiento de la demanda para elaborar un pronóstico que permita alimentar el aplicativo y hacer más robusta la herramienta.

7. Glosario

- **MRP:** la planificación de requerimientos de materiales, cuya sigla (MRP) del inglés significa Material Requirements Planning, clasifica como una técnica de planificación de la producción y de gestión de stock más utilizada en la actualidad; se fundamenta en un soporte matemático y se utiliza cuando el método de gestión del flujo material es programado y se parte de una demanda conocida. (Miño, 2015)

- **Tiempo de reposición:** tiempo que toma una orden desde se expide hasta que se recibe. (Gutiérrez, 2008)
- **Variabilidad:** desviación en la producción de un proceso, que es aleatoria e inherente al proceso mismo. (Chase, 2009)
- **Inventario:** recurso almacenado al que se recurre para satisfacer una necesidad actual o futura.
- **Lote óptimo:** conjunto de partes o piezas que requieren los mismos procesos para transformarse en producto terminado, cuya subdivisión minimiza los costos totales asociados a su fabricación. (Novas, 2016)
- **Subcontratar:** trasladar parte de las actividades internas y la responsabilidad de decisión de una empresa a proveedores de fuera. (Chase, 2009).
- **Metaheurística:** es un proceso maestro iterativo que guía y modifica las operaciones de heurísticas subordinadas para producir eficientemente soluciones de alta calidad. (Guerrero, 2016)
- **Programación lineal:** se refiere a varias técnicas matemáticas utilizadas para asignar, en forma óptima, recursos limitados entre demandas que compiten por ellos. (Chase, 2009)
- **Suplementos constantes o fijos:** hacen referencia a los suplementos o tiempos que se brindan al trabajador para dar la posibilidad de reponerse fisiológicamente por la ejecución de determinada tarea bajo ciertas condiciones. (Morales, 2011)

8. Tabla de anexos

Tabla 8. Anexos

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de archivo	Enlace corto	Relevancia para el documento
1	Aplicativo	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1beFXZV4WjCk3q2efXjo8Bdr9wlM1OJ7K	5
2	Guía de uso	Propio	Word	https://drive.google.com/open?id=1AYKlFiti-2UFH5JQWeKvdt9yc88S-PT	5
3	Entrevista	Propio	Word	https://drive.google.com/file/d/1qm4mJzmcZxEJu4lzQ0OZkgMJOYa2SBWY/view?usp=sharing	4
4	Comparación de diseño de láminas	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1O2Os0T5w5A_bNWKvtlnOg2OCb2A6wi4y	3
5	Estudio de tiempos	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=126eu-ipZcnqTwapSRSSzX8SD0NG-Xpdc	4
6	Flexim Situación actual	Propio	Flexim	https://drive.google.com/open?id=1YjYC UwA0zU5d0HhViWBkIH_4cQRczEoN	5
7	Flexim Aplicativo	Propio	Flexim	https://drive.google.com/open?id=1qvYx-id17GQ14EFwipzJxmyWxnxvnBQs	5

9. Referencias

Arango Serna, M. D., Augusto Serna, C., & Pérez Ortega, G. (2010). Uso de la programación lineal paramétrica en la solución de un problema de planeación de requerimiento de materiales bajo condiciones de incertidumbre. *Ingeniería e Investigación*, 30(3).

- Corres, C. G., & Iturralde, M. L. (2015). Heurística para obtener la mejor región rectangular en piezas irregulares y su implementación en máquinas de corte de madera. *DYNA-Ingeniería e Industria*, 90(1).
- Fierro Freire, C. T. (2017). Modelo de programación lineal para un sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP) en la empresa de calzado de seguridad industrial MARCIA.
- Glock, C. H., Jaber, M. Y., & Zolfaghari, S. (2012). Production planning for a ramp-up process with learning in production and growth in demand. *International Journal of Production Research*, 50(20), 5707-5718.
- Gómez, J. C., & Terashima-Marín, H. (2012). Building general hyper-heuristics for multi-objective cutting stock problems. *Computación y Sistemas*, 16(3).
- Leonard Hurtado, K. (2015). Diseño de nuevas políticas para el control de inventario en el almacén de materias primas en un laboratorio farmacéutico.
- Lusa, A., Corominas, A., Olivella, J., & Pastor, R. (2009). Production planning under a working time accounts scheme. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3435-3451.
- Ortega, G. A., Jaramillo, K. V. O., Cabrera, J. P. O., & Trejos, C. A. R. (2017). Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 169-193.
- Othman, M., Bhuiyan, N., & Gouw, G. J. (2012). Integrating workers' differences into workforce planning. *Computers & Industrial Engineering*, 63(4), 1096-1106.
- Poldi, K. C., & de Araujo, S. A. (2016). Mathematical models and a heuristic method for the multiperiod one-dimensional cutting stock problem. *Annals of Operations Research*, 238(1-2), 497-520.
- Wuttke, D. A., & Heese, H. S. (2018). Two-dimensional cutting stock problem with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 303-315.
- Muñoz, C. C., Velthuis, M. G. P., & de la Rubia, M. Á. M. (2010). Calidad del producto y proceso software. Editorial Ra-Ma.
- Chase, Richard B., Jacobs, F. Roberts, Aquilano, N.J (2009). Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros. México: Mc Graw Hill.
- Miño-Cascante, Gloria, Samuel-Fonseca, Elena, Toledo-Borrego, Antonio, Roldan-Ruenes, Amilcar, & Moreno García, Roberto René. (2015). Planeación de requerimientos de materiales por el sistema MRP. Caso Laboratorio Farmacéutico Oriente. Cuba. *Tecnología Química*, 35(2), 208-219.
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. (2008). Modelos de Gestión de Inventarios en Cadenas de Abastecimiento: Revisión de la Literatura. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (43), 134-149.
- Novas, J. M. (2016). Modelo MILP para la programación de la producción en ambientes Job-Shop con división de lotes. *Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering*, 8(16), 56-72.
- Guerrero Guerra, L. M., Gómez Ruiz, J. D., Zapata Ruiz, D. L., & Valencia Cárdenas, M. (2016). Comparación de tres metaheurísticas para la optimización de inventarios con estimación de demanda. *Revista Ingeniería Industrial*, 15(1), 51-68.
- Peña Orozco, D.L, Neira García A.M., & Ruiz Grisales R. A., (2016). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia et Technica*, (21), 239-247.
- Morales, K. SlideShare: medición del trabajo. (2011). Recuperado de: <https://es.slideshare.net/ingkarent84/medicion-del-trabajotiempo-suplementariosfatiga>