

**DISEÑO DE UN MODELO DE PLANEACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN
PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA Y COMERCIALIZADORA DE JOYAS
DEL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA**

EDWARD ANDRÉS GUTIERREZ VARGAS

MARÍA FERNANDA RENGIFO JURADO



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2020**

**DISEÑO DE UN MODELO DE PLANEACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN
PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA Y COMERCIALIZADORA DE JOYAS
DEL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA**

EDWARD ANDRÉS GUTIERREZ VARGAS

MARÍA FERNANDA RENGIFO JURADO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

Director: Msc. Julián Gonzáles Velasco

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2020

Resumen: La planeación de la producción a corto y mediano plazo se hace indispensable para un correcto flujo de los procesos sin incurrir en sobrecostos y retrasos. De allí que la planeación de la producción se centre en encontrar la mejor forma de usar la capacidad existente, tomando en cuenta las restricciones técnicas de los procesos. Eso implica la determinación y cálculo de todos los recursos necesarios a la ejecución de la producción, este proceso normalmente consiste en desarrollar planes agregados con el objetivo de equilibrar la demanda con los niveles de capacidad de inventario disponibles. El presente proyecto de investigación consiste en la aplicación de un modelo matemático de planeación agregada de producción para una empresa manufacturera de joyería, de tal forma que se pueda satisfacer la demanda pronosticada ajustando los índices de producción, los niveles de mano de obra, los niveles de inventario, el trabajo en tiempo extra, las tasas de subcontratación y otras variables controlables; de ésta manera contribuir en mejorar los procesos de planeación de producción, con el objetivo de lograr un control adecuado del abastecimiento de productos terminados en el almacén de la empresa objeto de estudio para su posterior entrega a los clientes.

Palabras clave: planeación de la producción, pronóstico, sobrecostos, plan agregado, joyería.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	GENERALIDADES DEL PROYECTO	8
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
2.3	OBJETIVOS	10
2.3.1	Objetivo general.....	10
2.3.2	Objetivos específicos.....	10
2.4	JUSTIFICACIÓN.....	10
2.5	ANTECEDENTES	12
2.6	DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	18
3	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO.....	20
4	MODELO DE PLANEACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN	31
4.1	DISEÑO DEL MODELO	32
4.1.1	Conjuntos	32
4.1.2	Parámetros	33
4.1.3	Variables de Decisión	34
4.1.4	Función Objetivo.....	34
4.1.5	Restricciones	34
4.2	DATOS DEL MODELO.....	35
4.2.1	Datos de la producción	36
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
6	CONCLUSIONES.....	48
7	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de la metodología.....	19
Figura 2. Diagrama del proceso de pedido make to order	22
Figura 3. Diagrama del proceso de pedido make to stock	24
Figura 4. Ambiente común de un sistema de pronóstico.....	26
Figura 5. Tendencia de las utilidades en millones de pesos	26
Figura 6. Esquema Modelo	33
Figura 7. Cantidad de producto i a producir con el recurso 1 en el periodo t	41
Figura 8. Cantidad de producto i a producir con el recurso 2 en el periodo t	41
Figura 9. Cantidad de producto i a producir con el recurso 3 en el periodo t	42
Figura 10. Horas disponibles.....	43
Figura 11. Cantidad de material a usarse por periodo	44
Figura 12. Demanda cumplida	45
Figura 13. Tendencia utilidades (en millones de pesos por semana).....	45
Figura 14. Análisis comparativo	47
Figura 15. Gráfico de barras comparativo (millones de pesos)	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de inicialización	27
Tabla 2. Pronóstico de utilidad (en millones de pesos)	28
Tabla 3. Artículos fabricados	30
Tabla 4. Demanda esperada	35
Tabla 5. Materiales para la producción de los artículos de joyería.....	36
Tabla 6. Cantidad de materiales para cada articulo	37
Tabla 7. Costo de mano de obra	38
Tabla 8. Horas requeridas de cada recurso para fabricar cada articulo	38
Tabla 9. Precio de venta de los productos:	38
Tabla 10. Pronóstico de utilidades	46

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la información desde todo punto de vista es el activo más importante y valioso que tienen las industrias, ya que, con la información confiable, completa y oportuna, las empresas pueden emprender estrategias y proyectos de crecimiento y mejora continua. Sin embargo, aunque la información es fundamental, hay que saberla manejar para sacar el máximo provecho y las mayores ventajas. Lograr que la información marque la diferencia empresarial es una tarea compleja ya que se presentan un gran número de posibilidades para utilizarla, en las funciones de la administración de operaciones como la demanda, producción, logística, inventarios y ventas. (Ippolito & Malpica, 2009)

Así mismo, el constante crecimiento de la demanda hace que las empresas manufactureras deban administrar efectivamente sus funciones, como producción, mantenimiento, calidad y marketing, uno de los factores clave de desempeño consiste en tratar todos estos servicios simultáneamente. Por otra parte, la satisfacción del cliente es un aspecto necesario para competir en mercados altamente competitivos, por esto, es necesario desarrollar estrategias de producción que logren satisfacer la demanda, mientras se optimizan los costos de operación. Un reto constante para las compañías de manufactura es ser capaces de desarrollar planes de producción factibles y económicamente óptimos. (Mifdal, Hajej, & Dellagi, 2015)

La planeación de la producción a corto plazo se hace indispensable para un correcto flujo de los procesos sin incurrir en sobrecostos y retrasos. De allí que la planeación de la producción se centre en encontrar la mejor forma de usar la capacidad existente, tomando en cuenta las restricciones técnicas de la problemática. Si los programas no se han planeado cuidadosamente para evitar los cuellos de botella, es posible que empiecen a formarse filas de espera. (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008). Así mismo esta clase de planeación tiene como objetivo prever y movilizar todos los recursos necesarios para la producción de un bien, o para la prestación de un servicio, en el plazo adecuado y en las entidades correctas. Eso implica la determinación y cálculo de todos los recursos necesarios a la ejecución de las órdenes de producción, este proceso normalmente consiste en desarrollar planes agregados con el objetivo de equilibrar la demanda con los niveles de capacidad de inventario disponibles. Por su parte el programa maestro de producción toma las demandas previstas y determina un programa de actividades de producción que se utiliza como insumo para la planeación de requerimiento de materiales, que proporciona los requerimientos de las partidas de materiales y materias primas. (Peña & Santa Cruz, 2001).

El presente proyecto de investigación consiste en la aplicación de un modelo matemático de planeación agregada de producción para una empresa manufacturera, de tal forma

determinar la mejor metodología para satisfacer la demanda pronosticada ajustando los índices de producción, los niveles de mano de obra, los niveles de inventario, el trabajo en tiempo extra, las tasas de subcontratación y otras variables controlables; de ésta manera contribuir en mejorar los procesos de planeación de producción, con el objetivo de lograr un control adecuado del abastecimiento de productos terminados en el almacén de la empresa objeto de estudio para su posterior entrega a los clientes.

2 GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planeación es base fundamental para la toma de decisiones que redunde de la conexión entre las diferentes áreas de la organización; con el fin de eliminar las debilidades y aprovechar las oportunidades y fortalezas que se presentan en el desarrollo de los procesos productivos. A través de esta se puede definir el momento y la cantidad a fabricar, fijando un punto de equilibrio, y logrando la construcción de un modelo efectivo que garantice la competitividad en el mercado. (Ramírez, 2014)

Uno de los principales objetivos de la planeación de la producción es la optimización del uso de los recursos productivos, generando de manera anticipada las actividades involucradas en el proceso y los recursos disponibles de la empresa a medio plazo. El enfoque del plan es la determinación de la cantidad de producción, de los recursos necesarios y los niveles de inventario, con el fin de satisfacer la demanda. Éste debe tener coherencia con el plan estratégico a largo plazo. (Jiménez, 2017).

Así mismo (de Sampaio, Wollmann, & Vieira, 2017) afirman que, si en la planeación de la producción se mantiene la información actualizada sobre las estimaciones de la demanda, estimaciones de la capacidad de producción, estimaciones de los recursos disponibles, etc., durante el horizonte de planeación, es particularmente importante para mantener la planeación de producción actual. Por lo tanto, el planificador tiene que cambiar el plan de producción de vez en cuando para acomodar estas actualizaciones, y, por lo tanto, hay un gran desperdicio de planeación de recursos, ya que la planeación de producción se lleva a cabo durante todo el horizonte de planeación, pero solo se ejecuta para algunos períodos, o solo un período. Otro inconveniente de los arreglos existentes para implementar la planeación de la producción es que no funcionan bien por limitaciones de capacidad y, por lo tanto, todos los modelos de planeación móvil que resultan de modelos de programación lineal junto con la función de compensación son claramente fuera del alcance de estos esquemas actuales. Las decisiones de planeación de la producción implican identificar el momento y la naturaleza de las configuraciones de la máquina y las cantidades de producción teniendo en cuenta los costos variables y fijos del proceso productivo, la demanda del cliente y las restricciones del sistema. Esto

conduce a un problema combinatorio difícil considerando la gran cantidad de máquinas y productos que necesitan ser gestionados.

La inadecuada planeación y control de la producción con respecto a la demanda, tiene consecuencias como: el incumplimiento en las fechas de entrega de los pedidos, el exceso o faltante en inventarios, el aumento de costos de producción, el no aprovechamiento de los recursos, la sobre carga de trabajo, los altos niveles de inventario, recurriendo así a los bajos niveles de satisfacción del cliente, por lo tanto, buscar la manera de aplicar un método que contribuya a mejorar el proceso de planeación de la producción de diferentes productos con enfoques productivos distintos hace que la planeación se vuelva un problema de investigación que vincule los diferentes enfoques de producción.

La empresa caso de estudio no es ajena a esta problemática, donde se habitúan problemas en torno a la planeación precaria en los sistemas productivos y cómo esto afecta negativamente los resultados económicos, los costos asociados a las operaciones, la utilización de los recursos y la capacidad de la empresa para satisfacer los requerimientos de demanda, es una realidad que muchas veces las pymes no cuentan con procesos de planeación de la producción. Contextualizando, la empresa objeto de estudio es una empresa manufacturera y comercializadora de joyas que centra sus operaciones en el municipio de Zarzal, Valle del Cauca desde hace nueve años, actualmente la empresa se encuentra en proyectos de mejora que influyan directamente en el área financiera, de seguridad y de producción, siendo este último el eslabón donde la empresa es más débil debido a que sus procesos de producción son muy artesanales, además de que no cuentan con planes de producción establecidos de tal manera que estos puedan satisfacer las necesidades de la demanda.

Actualmente la empresa por no tener un sistema adecuado de planeación tiene unas pérdidas del 12% de la producción total teniendo en cuenta que de acorde a las utilidades brutas alrededor del 60% es por producción y no por comercialización de joyas ya fabricadas. Además, por esta misma situación se tiene un porcentaje de pedidos atrasados da alrededor del 33 % del total de los pedidos y un porcentaje de pedidos no entregados por insatisfacción o incumplimiento al cliente 6% teniendo un promedio de tiempo promedio de demora por entrega de 8 horas.

Teniendo presente todo lo anterior, se requiere de una propuesta de un diseño de un modelo matemático de planeación agregada de la producción donde se definirá cuánto producir y cómo hacerlo. Siendo esta una herramienta para adoptar decisiones tácticas y operativas respecto a los niveles adecuados de fabricación y servicio con el objeto de obtener las cantidades optimas a producir de cada tipo de producto, por ende, cantidad de material a utilizar, cantidad de horas de mano de obra regular y extra a emplear y

cantidad de productos para tercerizar su producción. Esto debido a que actualmente en la planeación en la que la empresa realiza su producción de joyería carece de estas características y necesidades base para una correcta distribución y gestión de los insumos, personal y periodos de tiempo con los que se cuenta actualmente, esto, siendo un generador de problemáticas a la hora de cumplir con metas, horarios y necesidades de los clientes como previamente se mencionó. Surgiendo la necesidad de una correcta planeación de lo que se va a producir, finalmente buscando mejorar los ingresos máximos posibles para la empresa.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un modelo matemático para la planeación de la producción en una empresa manufacturera y comercializadora de joyas del Norte del Valle que permita una óptima utilización de los recursos disponibles y maximice los ingresos posibles por venta?

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Diseñar un modelo matemático para la planeación agregada de la producción en una empresa manufacturera y comercializadora de joyas del Norte del Valle del Cauca que contribuya a una óptima utilización de los recursos disponibles y maximice los ingresos posibles por venta.

2.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización del sistema productivo de la empresa que permita identificar el ambiente de operación y los principales parámetros, variables, costos y restricciones que la componen.
- Definir el diseño un modelo matemático de planeación agregada de la producción que integre la configuración, necesidades, parámetros, variables identificadas
- Validar del modelo de planeación agregada propuesto.

2.4 JUSTIFICACIÓN

La planeación de procesos es una de las tareas más difíciles en el desarrollo de las operaciones productivas causado por la gran cantidad de problemas técnicos, tecnológicos y económicos. Por consiguiente, la programación de procesos de fabricación es un problema complejo debido a que es un proceso metódico diseñado para obtener un objetivo determinado. En el sentido más universal, implica tener uno o varios objetivos a realizar junto con las acciones requeridas para concluirse exitosamente ya

que considera una cantidad de posibles procesos alternativos de fabricación además de gran cantidad de criterios específicos como el personal necesario, su tipo de contratación, la disponibilidad y cantidad de materia prima requerida y los tiempos esperados de entrega.

Lukic et al. (2017). Mencionan que un lugar central en el ciclo productivo de las compañías se asigna a la elaboración del producto, donde todas las actividades se definen, desde una idea hasta la colocación del producto en el mercado. La influencia en el costo total del producto, el tiempo y la calidad dependen del tipo de producción pues, la planeación del desarrollo de los productos es de alrededor del 5-10% en el costo total de fabricación, y las decisiones equivocadas en esta etapa pueden afectar el aumento en el costo de fabricación en más del 60%. Por lo tanto, es necesario considerar el problema de producción lo antes posible, en la etapa de diseño y planeación de producción del producto, es decir, el desarrollo del producto, porque los costos son incluso más altos debido a los cambios del producto si se hacen en las últimas etapas del proceso. El desarrollo de productos es un problema multidimensional determinado por los requisitos del mercado, por un lado, y las condiciones y restricciones del proceso de fabricación.

Una de las primeras acciones en la de toma de decisiones de una empresa es el desarrollo de un plan de producción eficiente. Es necesario encontrar el mejor plan de producción y la mejor estrategia requerida por la compañía para satisfacer las necesidades de los clientes. Esta es una tarea compleja porque hay varias incertidumbres debidas a factores externos e internos. Los factores externos pueden estar asociados con la incapacidad de definir con precisión el comportamiento de la aplicación durante los períodos de producción y los factores internos pueden asociarse con la disponibilidad de recursos propios de la empresa. (Mifdal, Hajej, & Dellagi, 2015).

Para autores como (Pargar, Mahdavi, Reza Kazemi, & Hassanzadeh, 2013) en muchas industrias, uno de los desafíos más importantes es ajustar los volúmenes de producción de acuerdo con los requisitos del mercado, pues el patrón de demanda distintivo de los productos varía con las circunstancias del mercado haciendo que el principal objetivo sea generar planes para resolver eficientemente una producción multiproducto y el problema de la planeación de producción de períodos múltiples. Por lo que la planeación de la producción es responsable de elaborar el plan agregado de uso recursos de producción mano de obra, equipo y material para cumplir con los pedidos de los clientes. Por lo general, el plan cubre un amplio horizonte temporal de varios meses. Además de dar la fecha de completar cada pedido de cliente, la planeación de producción determina la capacidad y requerimientos de materiales de producción en el tiempo. Por ejemplo, cuando los materiales deben llegar, qué actividades deberían subcontratarse a los subcontratistas, cuándo aumentar o disminuir el nivel de la fuerza de trabajo. Debido a las fuertes interrelaciones entre tales decisiones, estas preguntas deben abordarse

simultáneamente, como consecuencia de ello las dos funciones están fuertemente acopladas, pero tradicionalmente se realizan separadas haciendo de la planeación de producción un trabajo arduo y complejo de llevar a cabo. (Egri, Kovács, Márkus, & Váncza, 2004)

2.5 ANTECEDENTES

En este punto se comprenden diferentes estudios concernientes con la planeación de la producción, haciendo un recuento de los conceptos abordados por los autores desde distintas perspectivas frente al tema.

Un aspecto importante dentro de la planeación de la producción es que para alcanzar los objetivos de producción y utilizar de forma eficiente los recursos, las compañías deben planificar y controlar adecuadamente las actividades productivas, de allí que los autores (Peña & Santa Cruz, 2001) desarrollen un modelo para una empresa agroindustrial dedicada a la producción de frutas deshidratadas, harinas y mazamoras, el modelo utiliza la programación matemática para determinar las variables de decisión que minimice la función de costos incurridos en la actividades de producción, como resultado de la aplicación del modelo arroja resultados óptimos a nivel de requerimientos y diferentes niveles de utilización de la planta.

Por otro lado, en industrias como la de fabricación de textiles consiste en la producción de hilo, la formación de telas y las etapas de acabado y teñido. El tema abordado por el autor (Karabuk, 2008) es el problema de planeación de producción de hilo, aunque el enfoque es directamente aplicable al problema de planeación de producción de tejido debido a las similitudes en los respectivos modelos. El problema para solucionar es el de un fabricante internacional de textiles el cual indica que la incertidumbre de la demanda es un desafío importante en el desarrollo de planes de producción de hilados; Es allí donde se desarrolla un modelo de programación estocástico que explícitamente incluye la incertidumbre en forma de escenarios de demanda discreta. Esto da como resultado un modelo de entero mixto a gran escala que es difícil de resolver con solucionadores comerciales disponibles en el mercado, lo cual conlleva al desarrollo de un algoritmo de pre procesamiento de dos pasos que mejora la programación lineal del modelo y reduce su tamaño, mejorando los requisitos computacionales. Llegando a unos óptimos beneficios de un enfoque de programación estocástica sobre un modelo determinista.

Otro enfoque en los problemas de la planeación de la producción es desde el punto de vista de la relación entre el lanzamiento de la producción y la llegada de la orden, producción el sistema se puede clasificar en fabricación contra stock (MTS), fabricación a medida (MTO), ensamblaje a pedido (ATO) y sistemas de ingeniería a pedido (ETO).

La planeación de la producción es una tarea complicada que requiere cooperación entre unidades funcionales múltiples en una organización.

Los autores (Chen, Mestry, Damodaran, & Wang, 2009) abordan en su trabajo el problema de planeación de la capacidad a corto plazo en un proceso de fabricación a pedido (MTO) en el entorno de operación. Presentan un modelo matemático para ayudar a un gerente de operaciones para seleccionar un conjunto de pedidos de clientes potenciales para maximizar el beneficio operativo de manera que todos los pedidos seleccionados se cumplan antes de su fecha límite, con un límite de capacidad dado en cada fuente para cada tipo de recurso, resolver este modelo conduce a un plan de capacidad óptima según se requiera para las órdenes seleccionadas sobre un plan determinado (horizonte de planeación). El modelo propuesto también considera el tiempo regular, las horas extra y el outsourcing como las fuentes para cada tipo de recurso. Al aplicar este modelo a una pequeña operación de MTO, esta investigación demuestra un contraste entre la utilización máxima de la capacidad y el funcionamiento óptimo de los recursos maximizando el lucro.

La planeación de la producción son los modelos de planeación de producción agregada (APP) en un ambiente multi-producto. El trabajo de (Gasim, 2012) desarrollan su trabajo para una empresa de producción de múltiples productos para satisfacer una parte de la demanda completamente determinista en varias ciudades para el horizonte de planeación a corto plazo. Los autores proponen una programación de objetivos preventivos. El enfoque (PGP) se propone con diferentes escenarios para resolver el modelo de APP con funciones conflictivas multiobjetivo para maximizar el beneficio neto total, con inversión limitada (presupuesto), espacio de almacenamiento limitado, capacidad de producción y recursos de la compañía. El modelo de PGP propuesto también se usa para minimizar la producción total, costos de inventario, transporte y artículos defectuosos con transporte óptimo patrón. El modelo está optimizado y resuelto para un pequeño ejemplo numérico de problema de planeación de producción con los resultados de soluciones óptimas para diferentes escenarios obtenidos utilizando el paquete de optimización de software LINGO.

En el trabajo de (Pargar, Mahdavi, Reza Kazemi, & Hassanzadeh, 2013) abordan el problema de planeación de producción para una integración de datos confusos imprecisos y probabilísticamente inciertos en un período de tiempo múltiple. Consideran la fluctuación de demandas y recursos por un enfoque estocástico difuso debido a información incompleta y / o no disponible. El modelo de programación matemática que desarrollan incorpora estos aspectos de incertidumbre con productos de clasificación basados en diferentes calidades que se desarrollan para maximizar la ganancia total, teniendo en cuenta los costos totales: incluye el costo de producción, la subcontratación, el trabajo y la tenencia, sujeto a restricciones asociadas con la satisfacción del cliente, la

demanda y el mantenimiento de inventario. También amplían un nuevo enfoque de los métodos de fuzzifying y aleatoriedad midiendo la superioridad y la inferioridad de las variables estocásticas cuando el modelo tiene parámetros estocásticos difusos tanto en las restricciones como en la función objetivo. Para ilustrar el comportamiento del modelo propuesto y verificar el desempeño del modelo desarrollado de enfoque difuso de base estocástica, presentan una serie de ejemplos numéricos para explicar el uso del anterior enfoque.

Por otro lado, la política de dimensionamiento de lotes es fundamental para planear el lote fabricación, especialmente en planeación de producción en ambientes inciertos. Debido a esto la investigación de (Wang & Choi, 2014) tiene como objetivo examinar un modelo estocástico de optimización de planeación de producción de tamaño de lote para la fabricación a medida (MTO) con un enfoque en un objetivo comercial general: la maximización de la riqueza de los accionistas. Además del objetivo de optimización basado en la riqueza, el efecto del entorno económico también se incorpora en este modelo. Los experimentos numéricos validan la importancia de teniendo en cuenta las limitaciones económicas y financieras, especialmente para empresas con costos de instalación relativamente altos o ser sensible a los tiempos de entrega. La producción propuesta modelo de planeación puede ayudar a la administración en obtener una idea de los posibles desafíos y oportunidades pertinente a la mejora de la riqueza de los accionistas.

En el trabajo de (Mifdal, Hajej, & Dellagi, 2015) abordan el problema del mantenimiento y la planeación de la producción para la fabricación aleatoria en un sistema de múltiples productos. Este último consiste en una máquina que produce varios tipos de productos para satisfacer demanda aleatoria correspondiente a cada tipo de producto en un momento dado, la máquina solo puede producir un tipo de producto y luego cambia a otro. El propósito del estudio es establecer secuencialmente un plan de producción económico y una óptima estrategia de mantenimiento, teniendo en cuenta la influencia de la tasa de producción en la degradación del sistema. El Modelo analítico se desarrolla con el fin de encontrar el plan de producción y la estrategia de mantenimiento preventivo que minimiza secuencialmente el costo total de producción e inventario y luego el costo total de mantenimiento. Finalmente, se presentan un ejemplo numérico para ilustrar la utilidad del enfoque propuesto.

Los autores (Martínez, Toso, & Morabito, 2016) aplican su trabajo al problema de la planeación de la producción a una empresa de envasado de pulpa moldeada donde se deben tomar decisiones sobre la configuración adecuada del proceso de producción para satisfacer las demandas de diferentes productos. El proceso de producción donde se enfocan comprende etapas como la mezcla, el moldeado y el secado, y los principales desafíos para la producción la planeación ocurre en la etapa de moldeo, donde la mezcla

de productos fabricados simultáneamente depende en la combinación de moldes unidos a la máquina de moldeo, llamado patrón de moldeo. Por lo tanto, el problema radica en decidir qué patrones de moldeo se deben usar, por cuánto tiempo se debe usar cada patrón y que secuencia de producción que deben ser programados. Los autores proponen un enfoque de optimización novedoso para tratar este problema considerando algunos ajustes posibles para la máquina de moldeo en restricciones tecnológicas específicas. Estas configuraciones preestablecidas están incluidas en una programación entera mixta el modelo para definir los patrones de moldeo y para tratar el tamaño del lote de producción y la programación de decisiones. Dado que los patrones de moldeo están definidos por el enfoque, tres tipos de tiempos de configuración de producción y los costos (algunos de ellos dependen de la secuencia) también deben calcularse y tenerse en cuenta en las decisiones de planeación. Las pruebas computacionales con datos reales en la planta de pulpa moldeada muestran que los planes de producción generados por este enfoque son adecuados en entornos prácticos, así como también definen el moldeo de patrones diferentes a los comúnmente utilizados y al mismo tiempo reducen los tiempos y costos de configuración, en comparación con los planes de producción de la empresa.

Autores como (Li, Kucukkoc, & Zhang, 2017) en su artículo “Planeación de producción en fabricación aditiva e impresión 3D” establecen que en entornos donde hay máquinas con diferentes especificaciones (es decir, tiempo de producción y costo por volumen de material, tiempo de procesamiento por unidad de altura, tiempo de configuración, área y altura máximas admitidas, etc.) y partes en diferentes alturas, áreas y volúmenes, la asignación de piezas a máquinas en diferentes conjuntos o grupos para minimizar el costo de producción promedio por volumen de material constituye un problema de investigación, y propone un modelo matemático para formularlo. El modelo matemático está codificado en CPLEX y dos procedimientos heurísticos diferentes, a saber, las reglas de "mejor ajuste" y "mejor adaptado"; también se proporciona un ejemplo numérico, para el cual se proporcionan una solución óptima y soluciones heurísticas en detalle, se crean problemas de prueba y se lleva a cabo un estudio experimental exhaustivo para evaluar el rendimiento de la heurística. Las pruebas experimentales indican que ambas heurísticas ofrecen resultados óptimos, llevando esto a que hay la necesidad de planificar máquinas de fabricación aditiva para reducir los costos de procesamiento.

En la investigación de (Baldo, Morabito, Santos, & Guimarães, 2017) proponen nuevos enfoques para abordar el problema de planeación y programación de producción en instalaciones de cervecería, donde abordan dos situaciones reales que se encuentran en las fábricas, las operaciones de configuración en tanques que proporcionan líquido para líneas de embotellado, primero el número de intercambios de tanques es relevante (Caso A) o puede ser descuidado (Caso B). Para ambos escenarios, nuevas fórmulas MIP

(Programación de enteros mixtos) y heurísticas. Se proponen métodos de solución basados en estas formulaciones. Para evaluar el enfoque del Caso A, comparan los resultados de un estudio previo con los resultados obtenidos en este proceso. Para los métodos de solución y el análisis de resultados del Caso B, proponen adaptaciones del caso A se aproxima produciendo una formulación alternativa MIP para representarlo. Las principales contribuciones de este trabajo tienen dos aspectos: uno es proponer modelos MIP alternativos y métodos de solución para el problema en el Caso A, proporcionando mejores resultados de lo que se informó anteriormente, y el segundo para proponer nuevos modelos MIP y métodos de solución para el Caso B, analizar y comparar los resultados y beneficios para el Caso B considerando la inversión tecnológica requerida.

La planeación de procesos es una de las tareas más difíciles en el desarrollo de productos causado por la gran cantidad de problemas técnicos, tecnológicos, económicos y ambientales. Por consiguiente, la selección de procesos de fabricación es un problema complejo de toma de decisiones de criterios múltiples ya que considera una cantidad de posibles procesos alternativos de fabricación además de gran cantidad de criterios especificados de allí que (Lukic, Milosevic, Antic, Borojevic, & Ficko, 2017) presenten en su trabajo una metodología para la evaluación multicriterio y selección de fabricación procesos en la etapa de planeación del proceso conceptual. La metodología desarrollada se centra en el mapeo de diseño y fabricación de productos, para lo cual crea unos requisitos, luego evalúan los procesos de fabricación que no cumplen con los requisitos sobre la base de 10 criterios, luego, la evaluación multicriterio y la clasificación de los procesos de fabricación se realizan en base a 5 criterios: fabricación tiempo de ciclo, flexibilidad del proceso, utilización del material, calidad y costos de operación. Basado en esta metodología, se desarrolla un sistema para la selección multicriterio, procesos de fabricación, cuya implementación se presenta en un caso de la endoprótesis de la articulación de la cadera.

Posteriormente, en la investigación Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica. Caicedo, Criado & Morales (2019) mencionan que se diseñó un modelo matemático para la planeación agregada de la producción en una industria metalmecánica mediana, donde se desarrolló una estrategia mixta que incluyó la persecución (contratación y despido) y nivel de inventarios, a partir de un modelo de programación lineal. Los resultados arrojaron las necesidades de cantidad de empleados, las contrataciones, los niveles de producción por jornada laboral y los inventarios, para cada proceso, que minimizan los costos asociados al plan y satisfacen los requerimientos de la demanda. Como conclusión El plan agregado óptimo de producción desarrollado, representa una alternativa para la planificación táctica intermedia empresarial, que suministra información valiosa para la toma de decisiones en la gerencia de producción y resulta relevante por su enfoque basado en la optimización

de los costos de producción, el cual es imprescindible para apoyar la ventaja competitiva empresarial en el largo plazo. Se comparó el método actual empleado por la empresa y el propuesto por PL, cuya solución óptima fue ajustada considerando las decisiones operacionales de trabajar horas extras y la transferencia de trabajadores. Los costos de la mano de obra y de contratación para el periodo de estudio por el método actual corresponden a \$27.427.693 y el propuesto a \$25.403.880, por lo cual se evidencia una reducción del 7,4%, que se torna valioso para la gestión operacional de la industria metalmecánica.

Al mismo tiempo, Li, Y., Vega, G., Méndez, R. & Esquivel, L. (2019) en su trabajo de investigación tuvo el objetivo de incrementar la productividad en una empresa pesquera con uso intensivo de la mano de obra. La investigación fue aplicativa de diseño preexperimental. Se tomó el diseño de pronóstico-técnica combinada, plan agregado, control y productividad para desarrollar la planificación y control de la producción (PCP). Se utilizaron instrumentos como el cuestionario, el diagrama de Ishikawa y las hojas de control. Se encontró que el subsistema de planificación y control era inadecuado, debido a que no se tomaba en cuenta la cantidad exacta de materia prima que ingresaba al proceso, causando un pobre manejo de la cantidad de personal. La mala planificación propicia una productividad promedio de 6 cajas por día de producción en el proceso productivo de corte y eviscerado en los meses de abril y mayo. La evaluación de las estrategias de plan agregado de producción determina que el plan agregado usando fuerza laboral mínima con subcontratación representa un escenario favorable para la empresa con un costo total de \$ 753,562,62. La implementación del plan agregado con fuerza laboral mínima y subcontratación incrementó la productividad en los meses junio, julio y agosto hasta en 8 cajas por día de producción, lo que pre representa un 33,3 %

Finalmente, Diaz & Diaz (2020). Mencionan que, en el caso de las empresas manufactureras, estas deben estar siempre anticipándose a posibles cambios, para de esta manera poder desenvolverse de forma eficaz, hoy en día existen diferentes herramientas de las cuales pueden valerse, como la implementación de un modelo matemático, que le permita un eficaz desarrollo de actividades, para de esta forma garantizar una adecuada toma de decisiones que a su vez les brinde excelentes resultados y con óptimos costos. Poniendo así en evidencia la importancia de la utilización de técnicas o métodos científicos en las actividades de empresas manufactureras. el presente trabajo investigativo está orientado a la obtención de información y la definición de la importancia que posee la implementación de este plan en el diario vivir de una organización. En las empresas es beneficioso la utilización de técnicas o métodos científicos que le permitan conocer las mejores variables que le permitan obtener la optimización deseada, puesto que mediante ellos se permiten predecir a detalla, la formas correcta de trabajar dentro de la empresa, por ende en la presente investigación

se toma como método un plan agregado de producción, el cual tiene con finalidad disminuir los costos de producción y así aumentar cada vez la productividad, donde se tiene como variables la fuerza laboral donde existirán contratación y despidos eventuales, y además existirán variación en los inventarios por las temporadas altas y bajas que las empresas atraviesen donde el objetivo de la elaboración de este proyecto se cumplió a cabalidad, dado que se estimó el plan de producción con los pasos correspondiente que permiten tener un mayor conocimiento de este método que es fundamental dentro del sector empresarial.

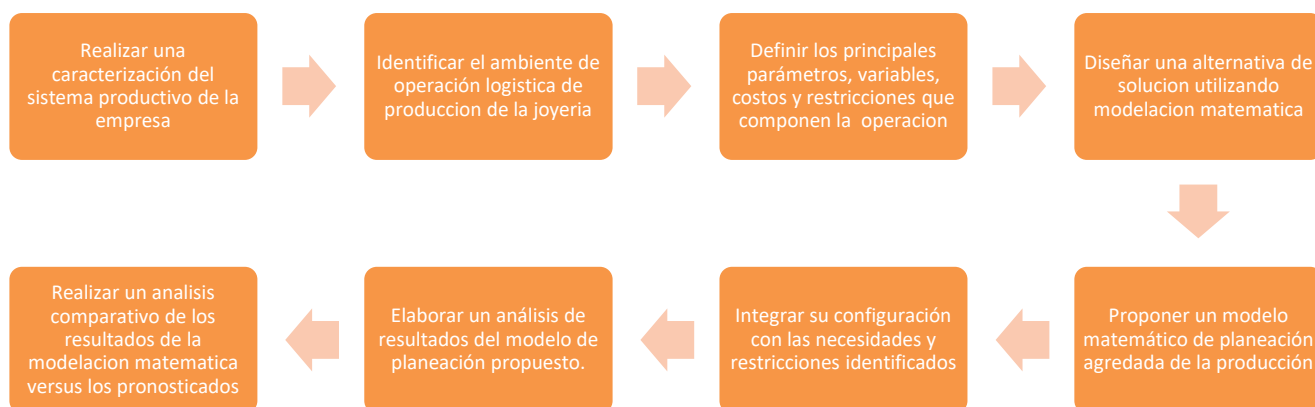
La programación es la labor administrativa que determina previamente cuáles son los objetivos que se deben alcanzar y que tienen que realizarse para realizarlos de la mejor forma posible. La planeación está inclinada hacia la perseverancia de la empresa y se centra en el futuro. Su importancia radica en esto: sin la programación la empresa quedaría en total caos. De tal forma, a partir de la realización de los objetivos que deberán alcanzarse, la planeación determina con anterioridad qué se debe realizar, cuándo, quién debe hacerlo y de qué forma. Asimismo, la planeación se hace en base a planes. Un conjunto de planes genera la planeación. Por otro lado, el control es la función administrativa es la encargada de medir y corregir el desempeño para garantizar que los planes sean ejecutados de la mejor manera posible. La labor del control es comprobar si todo se hace de afinidad con lo que fue planeado y organizado, de acuerdo con las órdenes dadas, para asemejar los errores o desviaciones, con el fin de impedir su reincidencia. La revisión bibliográfica permitió constatar este hecho, donde desde diferentes enfoques, distintos alcances y metodologías se pudo comprobar que una correcta planeación de la producción genera beneficios tanto económicos como en la generación de una fluidez sinérgica de las actividades relacionadas. Las actividades de planeación agregada de elaboración constituyen el estudio de costos y presupuestos para producción, ya que el primordial objetivo, es disminuir los costos totales respectivos con la producción en el horizonte de planeación, especificando el balance de los niveles de fuerza laboral en compensación con los niveles de inventarios necesarios.

2.6 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el presente apartado se presenta visualmente el flujo de la información y de los procesos para la realización del proyecto, además de los resultados de cada uno y las herramientas requeridas para darles completa solución a los objetivos previamente planteados. Donde las actividades uno, dos y tres competen al primer objetivo específico siendo este un diagnóstico. Posteriormente en las actividades cuatro y cinco integrar este diagnóstico proponiendo un modelo matemático de planeación agregada de la producción cuyo universo de solución está delimitado por la naturaleza de la problemática

y los hallazgos diagnósticos. Finalmente, las actividades seis y siete que constituyen la validación del modelo comparando los resultados. Así, se presenta el bosquejo del diseño de la metodología:

Figura 1. Diseño de la metodología.



Fuente: Elaboración propia, 2020

En la primera parte del proyecto se procederá a estudiar el sistema de producción de la empresa objeto de estudio con el fin de definir correctamente el modelo teórico a usar e identificar la configuración del sistema productivo, los parámetros, variables y restricciones que delimitan las operaciones de la empresa. Para esto, se recurrirá a entrevistas con el personal directivo y de producción de la Compañía, también se analizarán los registros de pedidos, ventas, costos y recursos para ser posteriormente utilizados la evaluación del modelo propuesto.

Con base en la caracterización y marco teóricos realizados, la segunda etapa del proyecto comprende la elaboración de un plan de producción que integre las variables, parámetros y restricciones del sistema y que tenga como finalidad mejorar una función de desempeño a seleccionar. Dicho plan debe contemplar la planeación agregada de productos y un modelo programación de operaciones detallado que permita la secuenciación de las actividades.

De manera consecuente, la tercera parte del proyecto hace referencia al tercer objetivo planteado. En este se pretende validar el modelo de planeación de la producción planteado teniendo en cuenta los resultados, este integra el modelo desarrollado y los datos obtenidos durante la caracterización y se desarrollará un análisis de sensibilidad que permita reconocer que el modelo matemático no solo define adecuadamente la realidad del proceso de fabricación de joyería sino que ofrece resultados acordes a las

restricciones y necesidades previamente establecidas además de conocer también la robustez de la solución comparando los resultados con los pronósticos en el mismo periodo de tiempo

3 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO

La planeación y el control de producción (P&CP) se refiere a la gestión de todas aquellas actividades enmarcadas en el desarrollo de las funciones de manufactura. Jacobs et al. (2013) definen la P&CP como el control y la planeación de todas las áreas de la manufactura, como administración de materiales, programación y secuenciación de máquinas y recursos humanos, así como coordinación con los proveedores y clientes clave. Estos mismos autores estudian la P&CP bajo un enfoque que integra los conceptos esenciales del área, un marco de referencia para la comprensión y diseño de sistemas de P&CP, así como una clasificación esquemática de los grupos de la P&CP. Este enfoque es empleado en este trabajo para el estudio de la planeación y control de la producción.

Las funciones de sistema de P&CP se encuentran enmarcadas en la administración de los flujos a través de la utilización de las capacidades productivas, de tal modo que sea posible responder efectivamente a los requerimientos de los clientes. Un sistema de P&CP es aquel que sistematiza todas estas funciones y la agrupa en módulos que interactúan entre sí. Una distinción importante, los sistemas de P&CP no toman decisiones o son respuestas finales, sino, indican un camino de acción y una herramienta apoyo para las personas encargadas de tomar las decisiones finales.

Tradicionalmente, las decisiones de los sistemas de P&CP se han dividido en tres grupos, el largo plazo, el mediano plazo y el corto plazo. En el largo plazo, el sistema de P&CP es responsable por proveer información para planear adecuadamente las modificaciones de capacidad de la empresa para satisfacer la demanda futura. En el mediano plazo, el sistema de P&CP se encarga de balancear la oferta de la empresa con la demanda del mercado a través de volúmenes de producción y mix de productos. Por último, las actividades de corto plazo se enfocan en la secuenciación y programación detallada de las tareas, máquinas, recursos y personal para cumplir a tiempo con fechas y cantidades establecidas.

Similar a los demás procesos de planeación de las compañías, los sistemas de P&CP deben ser evaluados y medidos constantemente para determinar modificaciones que sean requeridas. Entre los indicadores más ampliamente utilizados en el entorno industrial, se encuentran; la utilización de recursos, costos involucrados en la producción y medidas de desempeño enfocadas en la satisfacción de los clientes como cumplimiento de tiempos de entrega, devoluciones y fallas de calidad. (Jacobs et al. 2011)

El primer objetivo del proyecto comprende la caracterización del sistema de planeación de la producción de la compañía en cuestión. Esta parte del proyecto pretende la recopilación de la información necesaria para modelar el caso de la empresa de una manera realista, para esto, es necesario adquirir la información relevante, como: estrategia de producción adoptada por la compañía, flujo de la información, grado de integración con otras áreas, metodología de producción empleada por la empresa (push o pull), costos variables y fijos de producción, costos de mantenimiento de inventario, datos históricos de ventas, niveles de servicio establecidos como adecuados. Se determinaron así los siguientes aspectos sobre la producción y gestión de operaciones:

Sobre el ambiente de operación

La Empresa depende en gran parte de los pedidos de objetos personalizados como anillos, aretes, pulseras, tobilleras, dijes y cadenas, de igual modo, otra fuente de ingresos proviene de la venta de artículos manufacturados por otros fabricantes, y por reparaciones a relojes y joyas las cuales las realiza el personal de atención al cliente, por estas razones, es posible observar que la configuración de operaciones la Empresa corresponde a un sistema híbrido entre los ambientes make-to-stock y make-to-order.

A continuación se representa el flujo de trabajo para los pedidos make to order el cual funciona con los principios de la joyería artesanal básica en donde se utilizan maquinas y fuerza de trabajo física, se establece detalladamente el paso a paso de la realización de joyas ya sean en oro o en plata y se complementa especificando el tiempo que cada fase toma y sus variaciones, cabe añadir que estos tiempos son proporcionados por el jefe de taller de la empresa objeto de estudio y se han identificado de forma empírica ya que no cuentan con instructivos de operación donde se establezca el tiempo preciso para la elaboración de cada joya por lo que existe variabilidad al ser productos personalizados, sin embargo, el personal de la empresa ha determinado tiempos promedios lo mas aproximados posible para la realización de cada tipo de joyas lo que les permite planificarse en la jornada laboral; para validar la información suministrada por el jefe de taller se realiza trabajo de campo mediante una toma de tiempos de cada fase del proceso de elaboración de joyas relacionadas con la investigación.

Figura 2. Diagrama del proceso de pedido make to order

Diagrama del Proceso	Procedimiento	Tiempo promedio para fabricación de joyas
<pre> graph TD Inicio([Inicio]) --> Orden[Orden de Fabricación] Orden --> Clas[Clasificación e Inspección de la materia prima] Clas --> Fund[Fundición del metal] Fund --> Recoc1[Recocida] Recoc1 --> Enfri[Enfriamiento del metal] Enfri --> Lamin[Laminado] Lamin --> Recoc2[Recocida] Recoc2 --> Corte[Corte y Perforación] Corte --> Armado[Armado] Armado --> Decor[Decoración y empate de piedras] Decor --> Brill[Brillado y Pulido] Brill --> Fin([Fin]) </pre>	1. Orden de Fabricación: Es el pedido realizado por el cliente el cual es enviado desde atención al cliente hasta el taller. 2. Clasificación e inspección de la materia prima: Luego de tomar la orden de fabricación se procede a escoger la materia prima necesaria para la realización de la joya verificando que se encuentre en buenas condiciones. 3. Fundición del metal: Se dispone la materia prima a el equipo de fundición que consta de un soplete y un crisol en el cual se deposita el metal ya sea oro o plata con bórax (ayudante en la fundición) y se genera calor a temperaturas aproximadas a los 1070 °C, luego de que el metal está en estado líquido se vacía en un molde; existen dos clases de moldes dependiente el tipo de joya a fabricar, el primer tipo de molde llamado lingotera es el molde el cual forma una (chapa) que finalmente es la forma principal para realizar anillos, argollas, aros o dijes; y el segundo tipo de molde llamado rielera es el tipo de molde el cual forma un (hilo) que finalmente es la forma principal para realizar aretes, cadenas o pulseras, se sumerge en agua con ácido sulfúrico para eliminar impurezas (escorias y partes de bórax),y nuevamente se sumerge en agua con bicarbonato de sodio para eliminar el ácido sulfúrico ya que este puede dañar las herramientas a utilizar en las siguientes fases del proceso, y finalmente se seca, cabe añadir que este proceso para eliminar impurezas hace perder la maleabilidad del metal. 4. Recocida: Esta fase consiste en generar calor a temperaturas aproximadas a los 1000 °C con el fin de que la joya vuelva a tener la maleabilidad perdida. 5. Enfriamiento del metal: Luego de que el metal ha adquirido nuevamente maleabilidad se deja enfriar para poder laminar. 6. Laminado: Se dispone del metal estando en condiciones aptas y se pasa por la máquina de laminado donde se le da forma, grosor y largo dependiente la joya a fabricar.	1. Orden de Fabricación: Luego de tener claro lo que el cliente requiere toma alrededor de 5 minutos especificarle al personal del taller la joya a fabricar. 2. Clasificación e inspección de la materia prima: 7 minutos. 3. Fundición del metal: 6 a 7 minutos. 4. Recocida: 5 a 17 minutos. 5. Enfriamiento del metal: 6 a 14 minutos. 6. Laminado: 6 a 45 minutos. 7. Recocida: 4 a 16 minutos. 8. Corte y perforaciones: 7 a 125 minutos 9. Armado: 8 a 55 minutos. 10. Decoración y empate de piedras: 4 a 120 minutos. 11. Brillado y Pulido: 5 a 75 minutos. TIEMPO DE FABRICACIÓN: Entre 1 a 8 horas Nota: Estos son los tiempos promedio para fabricar cualquiera de las 24 joyas con las que trabaja la empresa.

	7. Recocida: Luego de laminar la joya pierde nuevamente maleabilidad se vuelve a generar calor con el soplete a temperaturas aproximadas a los 1000 °C con el fin de que la joya vuelva a recuperar la maleabilidad. 8. Corte y Perforación: Ya con el metal con forma y con la maleabilidad adecuada se realiza el corte y las perforaciones necesarias ya sea con fresas, ceguetas o tijeras de láminas, en esta fase la joya ya se caracteriza por tener forma de lo que va a ser (anillo, pulsera, arete), es importante recalcar que en esta fase se recose durante varias fases para garantizar maleabilidad en el metal. 9. Armado: En este paso se unifican las partes de la joya ya sea para formar el círculo de un anillo o los tejidos de una pulsera, esta técnica se logra a través de la ayuda de soldadores, martillos especiales de joyería, lijas y boquepatos. 10. Decoración y empate de piedras: Para algunas joyas este paso es importante ya que requieren de piedras preciosas u otros elementos que garantizan la estética de esta, con la ayuda de buriles y fresas se materializa esta fase. 11. Brillado y Pulido: Finalmente la joya ya formada y decorada se le da el respectivo brillo y pulido con cremas especiales para brillarla y pulirla en una brilladora que utiliza felpas donde se aplican estas cremas, finalmente se pasa por un ultrasonido que es una máquina que elimina la crema en la joya.	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 3. Diagrama del proceso de pedido make to stock



Fuente: Elaboración propia, 2020

La empresa objeto de estudio la cual comercializa una gran variedad de productos los cuales su infraestructura y conocimientos no les permiten fabricarlos, productos tales como relojes, pilas, algunos tipos de joyas y artículos de bisutería, estos al ser demandados por los mercados objetivos de la zona la compañía se basa en la relación de procesos especificado en la Figura 3 para obtenerlos, de manera que inicialmente el personal de la empresa realiza una verificación quincenal del inventario para identificar necesidades de productos, también tienen en cuenta pedidos realizados en lo recorrido de los quince días por parte de los clientes, posteriormente se realiza el listado de los productos que se encuentran agotados o próximos a agotar y se establece la cantidad a comprar de estos, cabe añadir que esta actividad es realizada de forma empírica basados

en la experiencia de acuerdo a lo que usualmente se vende más; luego de tener el listado de lo requerido se procede a la compra de los productos, existen dos formas de realizar estas compras a proveedores departamentales en ciudades como Cali y Cartago y a proveedores nacionales en ciudades como Medellín, Bucaramanga y Pereira, para los proveedores departamentales el proceso de compra es sencillo ya que el personal de la empresa se dirige directamente hasta donde el proveedor y realiza la compra en el sitio, en cambio para los proveedores nacionales se realiza una orden de compra a través del contacto del proveedor y posteriormente los productos llegan hasta la empresa, luego de tener los productos en la empresa se dispone a agregarlos al inventario ya existente generando una referencia que permita su fácil identificación y disposición, finalmente se exhibe al público para su posterior venta.

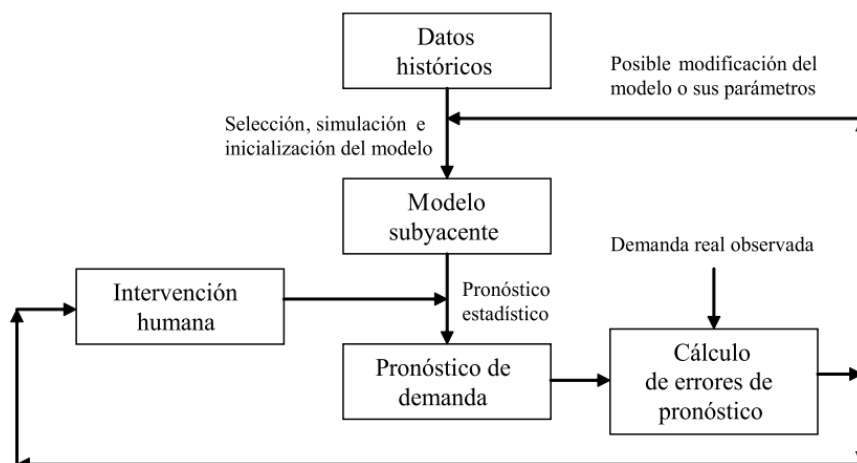
Sobre el pronóstico de ingresos esperados

La Empresa planea los requerimientos de capacidad y recursos de acuerdo con pronósticos realizados bajo criterios de experiencia, no existen en la actualidad técnicas formales implementadas para la realización de esta actividad. Un aspecto sumamente favorable en esta materia es la existencia de datos históricos de ventas sistematizados, cabe resaltar que en la empresa objeto de estudio solo tiene un histórico utilidades monetarias resultantes, sin discriminar el tipo de producto o su cantidad vendida. Estos datos son empleados posteriormente para pronosticar las utilidades esperadas en el mismo periodo de tiempo del que se espera evaluar la propuesta.

El desarrollo de un plan agregado de producción depende en gran medida de la precisión de los pronósticos para el periodo de planeación; es necesario realizar un pronóstico que proporcione información útil para la toma de decisiones. El pronóstico elaborado en este capítulo tiene como característica principal la de ser uno agregado, de ahí que, la referencia pronosticada no se refiere a un ítem, familia o línea de productos, sino a una unidad agregada de producción, que representa a todos los productos bajo consideración. Para el pronóstico agregado y eventual modelo de producción, en este dato histórico son considerados todos los datos de ventas de anillos, argollas, aretes, broches, candongas, dijes, juegos, pulseras, tobilleras, topes, camándulas, cadenas. Cada uno de estos productos puede tener como material principal oro, plata o acero. Se consideró que la unidad agregada que se ajustaba a la naturaleza de estos productos es el valor comercial, medido en pesos.

Los datos históricos de utilidades corresponden a un periodo de 78 semanas, aproximadamente un año y medio; de acuerdo, al procedimiento mencionado por (Vidal, 2010), una vez obtenidos y depurados los datos históricos, se procede a seleccionar un modelo subyacente, para esto es necesario determinar el patrón de comportamiento de la variable aleatoria demanda y seleccionar un modelo que se ajuste a este.

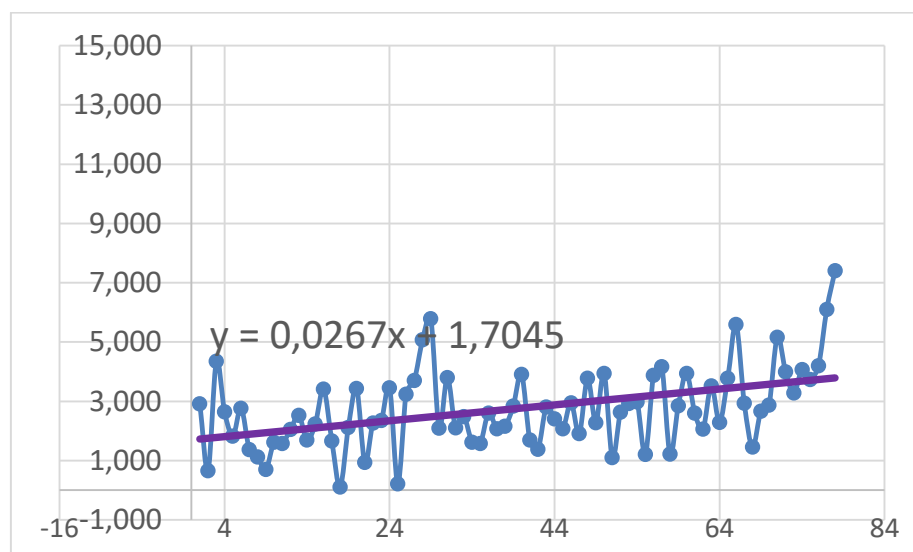
Figura 4. Ambiente común de un sistema de pronóstico



Fuente: Vidal, 2010.

El comportamiento de la demanda y la tendencia pueden ser observados en el gráfico 1. Es posible apreciar una demanda con una tendencia creciente y una variabilidad relativamente alta, con un coeficiente de variación de 50.19%, la cual afecta notablemente la dispersión de los datos, pero hace que esta califique como una demanda no errática y pueda ser modelada mediante técnicas para demanda creciente como la suavización exponencial doble, la cual es justamente empleada.

Figura 5. Tendencia de las utilidades en millones de pesos



Fuente: Elaboración propia, 2020

Para la inicialización del sistema de pronóstico de demanda se utilizó el 40%, el 60% restante se empleó para la simulación del sistema. El cálculo de los parámetros de inicialización es el siguiente:

Tabla 1. Parámetros de inicialización

a1(0)	1,63
b2(0)	0,05
b1(0)	3,08
alpha	0,30
So	2,97
So[2]	2,86

Fuente: Elaboración propia, 2020

Donde $a_1(0)$ es el punto de intersección al eje y (demanda) en la línea de tendencia construida solo con el 40% de los datos, $b_2(0)$ hace referencia a la pendiente de la misma línea de tendencia. $b_1(0)$ es valor de la variable dependiente evaluada en la última semana de los datos de inicialización (semana 32), el cual viene dado por la pendiente y el intersepto hallados:

$$b_1(0) = a_1(0) + x * b_2(0) = 1.63 + 32 * 0.05 = 3,08$$

Los datos S_0 y $S_0^{[2]}$ son los parámetros empleados por la ecuación de pronóstico de demanda X, estos dos inicializan el pronóstico proporcionando datos de partida para el pronóstico de la semana 33, donde empieza la simulación del sistema. Las ecuaciones para calcular S_0 y $S_0^{[2]}$ son las siguientes.

$$S_0 = \hat{b}_1(0) - \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \hat{b}_2(0) = 2.97$$

$$S_0^{[2]} = \hat{b}_1(0) - 2 \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \hat{b}_2(0) = 2.86$$

Con estos datos es posible calcular la demanda para el periodo 33 mediante la ecuación 1.

$$X_{T+\tau}(T) = \left(2 + \frac{\alpha\tau}{1-\alpha}\right) S_T - \left(1 + \frac{\alpha\tau}{1-\alpha}\right) S_T^{[2]} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde τ denota el periodo a pronosticar a partir de los datos de partida, cuando el pronóstico es para la semana inmediatamente siguiente, el valor de τ es 1, y S_T y $S_T^{[2]}$ denotan los dos componentes del modelo de suavización exponencial doble, los cuales son actualizados mediante las siguientes ecuaciones.

$$S_T = \alpha x_T + (1 - \alpha)S_{T-1}$$

$$S_T^{[2]} = \alpha x_T + (1 - \alpha)S_{T-1}^{[2]}$$

Donde α es una constante de suavización entre 0 y 1, sin embargo, en la práctica se ha demostrado que valores entre 0.01 y 0.03 son más apropiados debido a que evitan comportamientos de nerviosismo en el modelo de pronóstico (Vidal, 2010).

Una vez preparado el modelo, se precedió a realizar la optimización para determinar el valor de α que minimiza en Error Cuadrático Medio, este proporcionó los siguientes valores: $\alpha = 0.3$ y $ECM = 0.57$. A partir de estos, se calculó el pronóstico en tiempo real para los seis meses siguientes.

Tabla 2. Pronóstico de utilidad (en millones de pesos)

Datos de pronóstico en meses	
Mes	Pronóstico
1	8,595
2	9,812
3	9,008
4	10,166
5	10,851
6	10,485
TOTAL	58,917

Fuente: Elaboración propia, 2020

Es preciso comentar que los cálculos se realizaron tomando como unidad de tiempo semanas, pero una vez determinados los pronósticos en semanas para 6 meses, estos fueron convertidos a meses debido a que esta es la unidad normalmente utilizado en los modelos de planeación agregada (Nahmias & Olsen, 2015).

Sobre el control de inventarios

La coexistencia de dos ambientes de operación implica dos sistemas diferentes para el control de inventarios, que en algunos puntos confluyen en actividades en común, sin embargo, es necesario tratarlos separadamente.

El sistema de control de inventarios para los productos gestionados bajo la metodología make-to-stock se realiza de la siguiente manera: se revisan los niveles de inventario efectivo cada quince días, posterior a esto, se calcula el tamaño de orden de pedido

siguiendo una regla simple de un inventario máximo, en la cual, restan a este número la cantidad de inventario efectivo, por último, se realiza la orden de compra ese mismo día. Esta práctica aplica para todos los periodos del año, excepto para las temporadas altas, comprendidas por los meses de mayo y diciembre, cuando el proceso anterior se realiza semanalmente.

La política de control de inventarios para los productos fabricados que siguen una metodología make-to-order se basa en un pronóstico de la demanda, que realiza el personal administrativo de la Empresa, cabe notar que es este pronóstico es realizado de manera empírica, una vez determinan la cantidad de demanda esperada para un periodo de tiempo, prosiguen con la compra de materias primas como oro y plata.

La ausencia de una metodología formal para el pronóstico de la demanda y el control de inventarios que podría significar problemas operacionales significativos en la Empresa contrasta con la opinión de la persona encargada de la producción en la Empresa, quien manifiesta que trabajar de esta manera les ha permitido conocer de manera aproximada las cantidades demandadas para cada periodo del año. Solo reportan un problema de desabastecimiento con algunas referencias de relojes.

Clasificación de los productos

Los productos de la Empresa pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Bisutería
 - Pulseras
 - Tobilleras
 - Collares
- Joyería
 - Anillos
 - Pulseras
 - Gargantillas
 - Dijes
 - Cadenas
 - Tobilleras
 - Aretes
- Relojería
 - Digitales
 - Análogos
- Pilas

De estos artículos, se fabrican en la empresa objeto de estudio:

Tabla 3. Artículos fabricados

Anillo Oro
Anillo Plata
Aretes Oro
Aretes Plata
Argolla Oro
Argolla Plata
Broche Oro
Broche Plata
Cadena Oro
Cadena Plata
Camándula Oro
Camándula Plata
Candongas Oro
Candongas Plata
Dije Oro
Dije Plata
Juego de oro
Juego Plata
Pulsera Oro
Pulsera Plata
Tobillera Oro
Tobillera Plata
Topos Oro
Topos Plata

Fuente: Empresa objeto de estudio, 2020.

Sobre el sistema de planeación de la producción

Los productos manufacturados en la Empresa son todos aquellos de la línea de bisutería y joyería. Primero que todo, es necesario mencionar que no se evidencia una correcta división de los periodos de planeación en la Empresa; de manera más precisa, no existe en la actualidad un proceso de planeación de la producción que corresponda al largo plazo, los procesos implementados corresponden al mediano y corto plazo.

El proceso de planeación de la producción a mediano plazo empieza por el pronóstico realizado de forma arcaica de la demanda para un periodo, generalmente, de un mes, la gerencia de la Empresa determina los niveles de demanda esperada mediante el procedimiento mencionado anteriormente, una vez conocidos estos datos, la empresa adquiere la materia prima necesario para este periodo de planeación. Actualmente se

determinan las cantidades a producir durante este periodo depende de dos variables relacionadas: la demanda pronosticada y los pedidos, a los cuales, normalmente se les a una fecha de entrega no inferior a 5 días laborales y como máximo 15 días, la producción de cierta semana debe primero que todo, priorizar los pedidos comprometidos, la capacidad excedente –en caso de existir- es empleada para fabricar productos para almacenar.

4 MODELO DE PLANEACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN

La planeación agregada de la producción contempla el desarrollo de planes de producción para un periodo de mediano plazo entre 3 y 18 meses (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009). El resultado de este plan es una descripción de los niveles de producción, fuerza de trabajo e inventario que minimizan los costos incurridos por la empresa y satisfacen el nivel de servicio establecido.

Existen varias estrategias para resolver este problema, entre ellas:

Estrategia de nivel de producción: mantiene un nivel de producción constante durante el periodo de producción. Algunas de las ventajas de esta estrategia son, condiciones de estabilidad para los empleados, evita costos asociados a los cambios, minimiza la necesidad de capacidad extra; sin embargo, este también implica un conjunto de desventajas, por ejemplo, puede conllevar a niveles excesivos de inventarios como resultado de la producción para un periodo de bajo consumo, puede resultar en faltantes en periodos de alto consumo. (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

Estrategia de producción de Chase(Ajuste) : mediante esta estrategia los niveles de producción para cada periodo de tiempo son iguales a las demandas pronosticadas. Sus principales ventajas es que soluciona los problemas relacionados con la estrategia de nivel de producción; sus desventajas son, puede llevar a cambios drásticos en las necesidades de mano de obra y requiere de una alta capacidad de producción para poder abastecer en periodos de alto consumo.(Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

Estrategia de fuerza de trabajo estable: mantiene un nivel de contratación constante mediante la variación de las horas trabajadas. Su principal ventaja es la de evitar los costos emocionales y tangibles asociados a la contratación y despido de los empleados.

Las anteriores son conocidas como estrategias puras, un segundo grupo, denominado estrategias mixtas combina dos o más de estas estrategias y por lo general representan mejores resultados económicos. (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009)

Outsourcing o subcontratación: la estrategia de subcontratación transfiere las actividades de manufactura a un tercero. Es similar a la estrategia de Chase, pero las decisiones de producir o no pasan a ser decisiones de subcontratar más. Una ventaja es que permite a la empresa enfocarse en actividades donde esta pueda tener una ventaja

competitiva; la principal desventaja es el riesgo de perder control sobre la producción y la calidad.

Optimización de costos: Según (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009) El modelo general de programación lineal es apropiado para la planeación agregada si el costo y las relaciones variables son lineales y la demanda se puede manejar como determinante. Esta técnica consiste en la construcción de modelos matemáticos de optimización que minimizan los costos y determinan las cantidades a producir, los niveles de contratación y despido y los niveles de inventario óptimos. Los modelos corresponden a modelos lineales que son resueltos mediante la ayuda de software de optimización u hojas de cálculo. La principal ventaja es la capacidad de la optimización para determinar una solución óptima, la cual, sería casi imposible de determinar por una persona; la principal desventaja está relacionada con el riesgo de modelar el sistema de producción de una manera equívoca, omitiendo relaciones, variables y restricciones importantes.

4.1 DISEÑO DEL MODELO

Se diseña un modelo de programación lineal entera para solucionar el problema de planeación agregada de producción de la empresa objeto de estudio acondicionado como producto de las investigaciones encontradas en la revisión bibliográfica. Este siendo adaptado a las necesidades, disponibilidad de información y capacidades del sistema productivo encontradas en el diagnóstico. Con este modelo adaptado se desea obtener las cantidades optimas de materiales a utilizar, cantidades optimas a producir de cada tipo de producto, cantidad de horas de mano de obra regular y extra a emplear y cantidad de productos para tercerizar su producción, todo esto en un horizonte de planeación de 6 meses y basado en las limitaciones actuales del sistema arrojando los ingresos máximos posibles por venta. Se utiliza lenguaje AMPL, es un lenguaje de modelado algebraico para programación matemática: un lenguaje capaz de expresar en notación algebraica problemas de optimización tales como los problemas de programación lineal.

Donde se define el modelo como se muestra a continuación, los modelos AMPL envuelven variables, restricciones, y objetivos, expresados con la ayuda de conjuntos y parámetros. A todos se les llama elementos del modelo. Cada elemento del modelo tiene un nombre alfanumérico (una cadena de uno o más letras, dígitos, y caracteres de subrayado):

4.1.1 Conjuntos

MAT: Conjunto de materiales necesarios para fabricar cada producto indexado al subíndice m.

$$\{m1, m2, m3, \dots, m_n \in MAT\}$$

PRO: Conjunto de productos a fabricar indexado al subíndice i.

$$\{i_1, i_2, i_3, \dots, i_n \in PRO\}$$

REC: Conjunto de recursos para fabricación indexado al subíndice j.

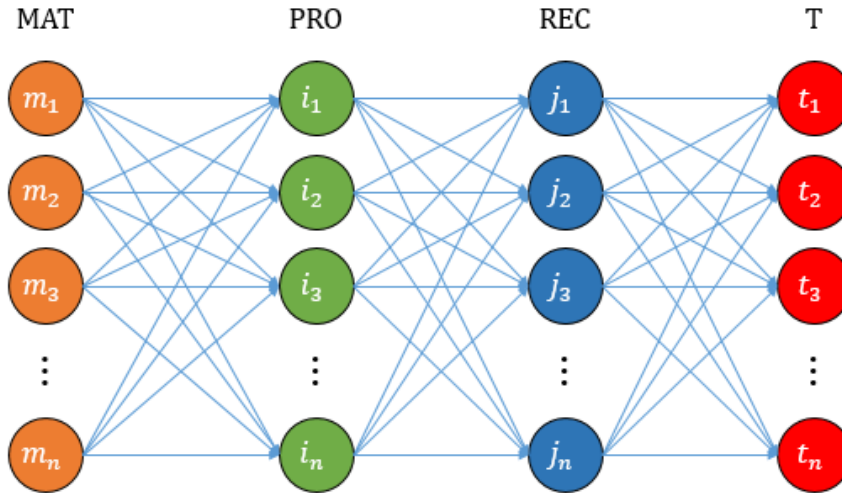
$$\{j_1, j_2, j_3, \dots, j_n \in REC\}$$

T: Conjunto de periodos que forman el horizonte de planeación indexado al subíndice t.

$$\{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n \in T\}$$

La interacción entre los conjuntos de recursos y las variables de decisión se ilustra en la siguiente figura.

Figura 6. Esquema Modelo



Fuente: Elaboración propia, 2020

4.1.2 Parámetros

TP_{ji} : Tiempo promedio de uso del recurso j para producir una unidad de producto i.

$MATNEC_{mi}$: Material necesario m para producir el producto i.

CM_j : Costo mano de obra del recurso j.

CMP_m : Costo de la materia prima m.

CA_t : Costo de almacenamiento en cada periodo t.

DM_{jt} : valor disponible para mano de obra del recurso j en el periodo t .

DMP_{mt} : Disponibilidad máxima de materia prima m en el periodo t .

DEM_{it} : Demanda estimada del producto i en el periodo t .

PV_{ti} : Precio de venta por unidad en el periodo t de producto i .

4.1.3 Variables de Decisión

Y_{ijt} : Cantidad de producto i a producir con el recurso j en el periodo t .

4.1.4 Función Objetivo

*FO: Maximizar las utilidades de la empresa objeto de estudio
con la produccion de los productos i en el horizonte de planeacion*

$$Z_{max} = \text{Ingreso} - \text{Costo}$$

$$Z_{max} = (\text{Ingresos por venta}) - (\text{Costos de materia prima}) \\ - (\text{Costos de mano de obra}) - (\text{Costo de almacenamiento})$$

$$Z_{max} = \sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} \sum_{t \in T} (PV_{ti} * Y_{ijt}) \\ - \sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} \sum_{t \in T} \sum_{m \in MAT} [(MATNEC_{mi} * Y_{ijt}) * CMP_m] \\ - \sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} \sum_{t \in T} [(TP_{ji} * Y_{ijt}) * CM_j] - \sum_{t \in T} CAt$$

4.1.5 Restricciones

Sujeto a:

1. El costo de las horas empleadas en la producción de los artículos no debe exceder el valor disponible para mano de obra para cada periodo.
2. La empresa cuenta con materiales limitados para la producción de los artículos en cada periodo.
3. La producción no debe exceder las cantidades esperadas para cada artículo en cada periodo.

4. Hay artículos que no se pueden tercerizar; se define así una restricción donde la suma total de horas tercerizadas para los artículos de plata sea igual a cero (solo hay posibilidad de tercerizar la producción en oro)
5. Las cantidades a producir deben ser enteras positivas.

Forma matemática de las restricciones:

1. $\sum_{i \in PRO} [(TP_{ji} * Y_{ijt}) * CM_j] \leq DM_{jt} \quad \forall j \in REC, t \in T$
2. $\sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} [(MATNEC_{mi} * Y_{ijt})] \leq DMP_{mt} \quad \forall m \in MAT, t \in T$
3. $\sum_{j \in REC} Y_{ijt} \leq DEM_{it} \quad \forall i \in PRO, t \in T$
4. $Y_{23t} + Y_{43t} + Y_{63t} + Y_{83t} + Y_{103t} + Y_{123t} + Y_{143t} + Y_{163t} + Y_{183t} + Y_{203t} + Y_{223t} + Y_{243t} = 0$
5. $Y_{ijt} \in \mathbb{Z}^+$

4.2 DATOS DEL MODELO

Actualmente la empresa objeto de estudio no cuenta con sistemas adecuados de pronósticos de demanda ni un sistema planificado de requerimiento de materias primas e insumos. Se tiene presente que existe un histórico de utilidades semanales, definidas en la Tabla 2. Donde se pronostica las utilidades esperadas en los próximos 6 periodos, con esta base histórica se podrá comparar la situación planteada con el modelo matemático teniendo presente la demanda esperada que proporciona la empresa sin algún tipo de metodología de pronóstico. Así, para definir la demanda para el horizonte de planeación se tuvo presente la demanda esperada por ellos, esto basado en la experiencia del proceso y el mercado objetivo.

Tabla 4. Demanda esperada

i	DEM_it [und]	1	2	3	4	5	6
1	Anillo Oro (4GR)	7	8	8	8	9	8
2	Anillo Plata (10 GR)	25	23	24	23	26	24
3	Aretes Oro (2GR)	9	7	8	7	7	7
4	Aretes Plata (4 GR)	6	7	7	8	7	7
5	Argolla Oro (4 GR)	11	9	10	7	7	7
6	Argolla Plata (8 GR)	10	7	8	6	8	7
7	Broche Oro (0,5 GR)	11	9	10	15	18	17
8	Broche Plata (0,5GR)	7	9	8	8	9	9
9	Cadena Oro (5 GR)	11	14	12	9	7	8

10	Cadena Plata (15 GR)	4	3	3	3	4	3
11	Camandula Oro (20 GR)	7	6	6	4	1	5
12	Camandula Plata (30 GR)	13	10	11	14	16	15
13	Candongas Oro (3 GR)	14	18	16	17	13	15
14	Candongas Plata (4 GR)	6	8	7	10	5	7
15	Dije Oro (1 GR)	8	9	8	7	5	6
16	Dije Plata (4 GR)	8	5	7	6	6	6
17	Juego de oro (10 GR)	7	8	7	7	9	8
18	Juego Plata (12 GR)	10	10	10	8	6	7
19	Pulsera Oro (3GR)	6	7	6	7	6	7
20	Pulsera Plata (8 GR)	5	6	6	5	6	5
21	Tobillera Oro (8 GR)	6	7	11	10	11	7
22	Tobillera Plata (10 GR)	5	9	6	9	6	9
23	Topos Oro (1 GR)	8	7	7	8	12	10
24	Topos Plata (2 GR)	31	18	24	33	28	30

Fuente: Elaboracion propia, 2020

4.2.1 Datos de la producción

Así mismo, se presentan los otros datos hallados en el diagnostico utilizados para el modelo matemático. Todos los datos presentados de la producción de joyería tienen vigencia 2020, cabe resaltar de la variación mínima de los mismos por cuestiones del mismo mercado. Los datos son actualizados a febrero del presente año.

Tabla 5. Materiales para la producción de los artículos de joyería

m	CMP_m [\$ /gr]	Costo materia prima
1	ORO	\$ 108.000,00
2	PLATA	\$ 1.200,00
3	COBRE	\$ 350,00
4	CERA	\$ 12,00
5	ACIDO SULFURICO	\$ 74,00
6	PEROXIDO DE HIDROGENO	\$ 27,00
7	CIANURO DE SODIO	\$ 30,00
8	BICARBONATO DE SODIO	\$ 5,00
9	BORAX	\$ 10,00
10	LIGA DE SOLDADURA	\$ 2.000,00
11	JABON INDUSTRIAL	\$ 4,47

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 6. Cantidad de materiales para cada artículo

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MATNEC_mi [gr]	Oro	Plata	Cobre	Cera	Acido sulfurico	Peroxido de hidrogeno	Cianuro de sodio	Bicarbonato de sodio	Borax	Liga de soldadura	Jabon industrial
Anillo Oro (4GR)	4,30	0,00	0,00	0,40	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Anillo Plata (10 GR)	0,00	10,80	0,50	1,00	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Aretes Oro (2GR)	2,20	0,00	0,00	0,20	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Aretes Plata (4 GR)	0,00	4,30	0,20	0,40	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Argolla Oro (4 GR)	4,30	0,00	0,00	0,40	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Argolla Plata (8 GR)	0,00	8,60	0,40	0,80	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Broche Oro (0,5 GR)	0,55	0,00	0,00	0,05	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Broche Plata (0,5GR)	0,00	0,55	0,03	0,05	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Cadena Oro (5 GR)	5,40	0,00	0,00	0,50	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Cadena Plata (15 GR)	0,00	16,20	0,80	1,50	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Camandula Oro (20 GR)	21,60	0,00	0,00	2,00	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Camandula Plata (30 GR)	0,00	32,40	1,50	3,00	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Candongas Oro (3 GR)	3,30	0,00	0,00	0,30	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Candongas Plata (4 GR)	0,00	4,30	0,20	0,40	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Dije Oro (1 GR)	1,08	0,00	0,00	0,10	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Dije Plata (4 GR)	0,00	4,30	0,20	0,40	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Juego de oro (10 GR)	10,80	0,00	0,00	1,00	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Juego Plata (12 GR)	0,00	13,00	0,60	1,20	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Pulsera Oro (3GR)	3,30	0,00	0,00	0,30	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Pulsera Plata (8 GR)	0,00	8,60	0,40	0,80	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Tobillera Oro (8 GR)	8,60	0,00	0,00	0,80	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Tobillera Plata (10 GR)	0,00	10,80	0,50	1,00	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Topos Oro (1 GR)	1,08	0,00	0,00	0,10	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00
Topos Plata (2 GR)	0,00	2,20	0,10	0,20	1,70	1,00	1,30	5,00	0,08	0,20	5,00

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 7. Costo de mano de obra

j	CM_j [\$ /hr]	Costo mano de obra
1	Mano de obra normal	4087,00
2	Mano de obra extra	5102,00
3	Mano de obra tercerizada	9000,00

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 8. Horas requeridas de cada recurso para fabricar cada articulo

j		1	2	3
i	TP_ji [hr]	Mano de obra normal	Mano de obra extra	Mano de obra tercerizada
1	Anillo Oro (4GR)	3	3	4
2	Anillo Plata (10 GR)	3	3	0
3	Aretes Oro (2GR)	2	2	3
4	Aretes Plata (4 GR)	2	2	0
5	Argolla Oro (4 GR)	3	3	4
6	Argolla Plata (8 GR)	3	3	0
7	Broche Oro (0,5 GR)	1	1	2
8	Broche Plata (0,5GR)	1	1	0
9	Cadena Oro (5 GR)	3	3	4
10	Cadena Plata (15 GR)	3	3	0
11	Camandula Oro (20 GR)	8	8	10
12	Camandula Plata (30 GR)	8	8	0
13	Candongas Oro (3 GR)	3	3	4
14	Candongas Plata (4 GR)	3	3	0
15	Dije Oro (1 GR)	2	2	3
16	Dije Plata (4 GR)	2	2	0
17	Juego de oro (10 GR)	5	5	6
18	Juego Plata (12 GR)	5	5	0
19	Pulsera Oro (3GR)	3	3	4
20	Pulsera Plata (8 GR)	3	3	0
21	Tobillera Oro (8 GR)	3	3	4
22	Tobillera Plata (10 GR)	3	3	0
23	Topos Oro (1 GR)	1	1	2
24	Topos Plata (2 GR)	1	1	0

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 9. Precio de venta de los productos:

PV_it [\$ /und]	1
Anillo Oro (4GR)	\$ 590.000

Anillo Plata (10 GR)	\$ 46.000
Aretes Oro (2GR)	\$ 315.000
Aretes Plata (4 GR)	\$ 37.000
Argolla Oro (4 GR)	\$ 600.000
Argolla Plata (8 GR)	\$ 50.000
Broche Oro (0,5 GR)	\$ 100.000
Broche Plata (0,5GR)	\$ 35.000
Cadena Oro (5 GR)	\$ 750.000
Cadena Plata (15 GR)	\$ 60.000
Camandula Oro (20 GR)	\$ 2.900.000
Camandula Plata (30 GR)	\$ 80.000
Candongas Oro (3 GR)	\$ 450.000
Candongas Plata (4 GR)	\$ 37.000
Dije Oro (1 GR)	\$ 170.000
Dije Plata (4 GR)	\$ 37.000
Juego de oro (10 GR)	\$ 1.500.000
Juego Plata (12 GR)	\$ 50.000
Pulsera Oro (3GR)	\$ 460.000
Pulsera Plata (8 GR)	\$ 45.000
Tobillera Oro (8 GR)	\$ 1.200.000
Tobillera Plata (10 GR)	\$ 50.000
Topos Oro (1 GR)	\$ 170.000
Topos Plata (2 GR)	\$ 33.000

Fuente: Elaboración propia, 2020

5 ANALISIS DE RESULTADOS

Ciertos problemas de optimización combinatoria no pueden ser fácilmente linealizados ni resueltos con los métodos tradicionales de programación matemática. Para manejar estos problemas, el CPLEX de Neos Server usando el lenguaje AMPL proporciona un amplio conjunto de restricciones aritméticas y lógicas, así como un robusto optimizador que aporta todos los beneficios de un proceso de desarrollo de modelo y ejecución a la optimización combinatoria. Se obtiene una solución óptima dando respuesta a lo que se planteó en la construcción del modelo y se obtienen las siguientes salidas al ejecutar el código:

Presolve eliminates 72 constraints and 72 variables.

Adjusted problem:

360 variables:

334 integer variables

162 constraints, all linear; 720 nonzeros

162 inequality constraints

1 linear objective; 360 nonzeros.

Ingresos máximos por ventas (Zmax):

$$\begin{aligned} Zmax = & \sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} \sum_{t \in T} (PV_{ti} * Y_{ijt}) - \\ & - \sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} \sum_{t \in T} \sum_{m \in MAT} [(MATNEC_{mi} * Y_{ijt}) * CMP_m] \\ & - \sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} \sum_{t \in T} [(TP_{ji} * Y_{ijt}) * CM_j] - \sum_{t \in T} CA_t = 69'826.020 \end{aligned}$$

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Se analiza así el modelo matemático planteando las siguientes preguntas (Refiriéndose por recurso 1 a las horas normales laboradas, como recurso 2 a las horas extras y como recurso 3 a las tercerizadas posteriormente se realiza un análisis comparativo de los resultados arrojados por el solver contra los pronósticos de utilidades resultantes de los datos históricos de la empresa. Con la solución de las preguntas y la verificación del aumento de utilidad que genera la propuesta se verifica la solución total de los objetivos específicos. Además, de darle cumplimiento al objetivo general que era el de diseñar una propuesta para la planeación agregada de la producción en una empresa manufacturera y comercializadora de joyas del Norte del Valle del Cauca que contribuya a una óptima utilización de los recursos disponibles y maximice los ingresos posibles por venta. A continuación, se presentan las preguntas relacionadas con los resultados del solver:

1. ¿Como asignar la carga laboral a los recursos disponibles? Para conocer cómo se distribuye la fuerza laboral, tanto regular como fuerza extra y fuerza tercerizada en los meses pico
2. ¿Cuántas horas quedaron disponibles de cada recurso? Para así identificar si se abarcó todo el capital humano en los 6 periodos de planeación o quedaron horas sin ser utilizadas.

3. ¿Cuánto material es necesario comprar para cada periodo? Para poder definir adecuadamente una planeación de gestión y compra de materia prima en unos periodos modestos para disponer de lo requerido en cada periodo de tiempo.
4. ¿Cuál es la demanda por satisfacer? ¿Qué productos, en que cantidades y en qué periodo debe producir cada recurso? Para así identificar que productos se van a realizar en cada periodo, evitando tener pedidos inconclusos, retrasados o no cumplidos en los tiempos previamente definidos.

Solución pregunta 1

Figura 7. Cantidad de producto i a producir con el recurso 1 en el periodo t

Y	[* ,1,*]					
:	1	2	3	4	5	6
1	6.0	7.0	7.0	8.0	9.0	8.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	9.0	7.0	5.0	7.0	7.0	7.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	11.0	9.0	10.0	6.0	6.0	6.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	3.0	2.0	2.0	15.0	18.0	17.0
8	0.0	0.0	0.0	1.0	9.0	1.0
9	11.0	14.0	12.0	9.0	7.0	8.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	7.0	6.0	6.0	4.0	1.0	4.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	6.0	6.0	7.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	6.0	7.0	11.0	10.0	11.0	7.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	8.0	7.0	7.0	8.0	12.0	10.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Figura 8. Cantidad de producto i a producir con el recurso 2 en el periodo t

[* ,2,*]						
:	1	2	3	4	5	6
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	8.0	7.0	8.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	1.0	0.0	5.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Figura 9. Cantidad de producto i a producir con el recurso 3 en el periodo t

[* ,3,*]						
:	1	2	3	4	5	6
1	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Teniendo en cuenta las tres matrices previamente visualizadas se define en que periodos y con qué productos se requieren los distintos tipos de fuerza laboral. Definiéndose así que primero siempre se hace uso de la fuerza laboral normal, siendo la segunda prioridad la fuerza laboral extra y finalmente la fuerza laboral tercerizada en casos extraordinarios.

Solución pregunta 2

Para dar solución a las horas disponibles que quedaron resultantes en cada periodo se analiza la holgura de la restricción número 1 del modelo.

Restricción numero 1:

$$\sum_{i \in PRO} [(TP_{ji} * Y_{jit}) * CM_j] \leq DM_{jt} \quad \forall j \in REC, t \in T$$

Figura 10. Horas disponibles

```
horas_e.slack
1 1 0.0
1 2 0.0
1 3 0.0
1 4 0.0
1 5 0.0
1 6 0.0
2 1 0.0
2 2 0.0
2 3 0.0
2 4 0.0
2 5 0.0
2 6 0.0
3 1 0.0
3 2 0.0
3 3 0.0
3 4 0.0
3 5 0.0
3 6 0.0
```

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Se observa como en este caso la holgura de la restricción que en el modelo fue llamada $horas_e = 0 \forall j \in REC, t \in T$, lo que indica que se usaron todas las horas disponibles de cada recurso j en cada periodo t . El resultado informa que en los 6 periodos de cada uno de los 3 recursos se utilizó la fuerza laboral disponible un 100% cuya restricción es la más evidente en cuanto la capacidad productiva del proceso de fabricación de joyería.

Solución pregunta 3

Para conocer la cantidad de material que se necesita en cada periodo. Este material distribuido en oro, plata, cobre, cera, ácido sulfúrico, peróxido de hidrogeno, cianuro de sodio, bicarbonato de sodio, bórax, liga de soldadura y jabón industrial respectivamente. Para identificar la cantidad a usar se observa el lado izquierdo de la restricción número 2 del modelo.

Restricción número 2:

$$\sum_{i \in PRO} \sum_{j \in REC} [MATNEC_{mi} * Y_{ijt}] \leq DMP_{mt} \quad \forall m \in MAT, t \in T$$

Figura 11. Cantidad de material a usarse por periodo

disp_mp.body	[*,*]					
:	1	2	3	4	5	6
1	449.7	452.8	466.1	416.5	384.7	421.0
2	0.0	0.6	0.0	3.3	7.2	0.6
3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0
4	41.6	42.0	43.2	38.9	36.3	39.0
5	130.9	129.2	129.2	149.6	168.3	144.5
6	77.0	76.0	76.0	88.0	99.0	85.0
7	100.1	98.8	98.8	114.4	128.7	110.5
8	385.0	380.0	380.0	440.0	495.0	425.0
9	6.2	6.1	6.1	7.0	7.9	6.8
10	15.4	15.2	15.2	17.6	19.8	17.0
11	385.0	380.0	380.0	440.0	495.0	425.0

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Solución pregunta 4

Para dar solución a la demanda que se debe satisfacer basta con observar la solución de la variable Y_{ijt} , pero esta viene dada en 3 matrices como se presentó anteriormente, una apreciación más sencilla de la demanda satisfecha se puede obtener al observar el lado izquierdo de la restricción número 3 del modelo, dado que nos arroja una sola matriz con la información que necesitamos.

Restricción número 3:

$$\sum_{j \in REC} Y_{ijt} \leq DEM_{it} \quad \forall i \in PRO, t \in T$$

Figura 12. Demanda cumplida

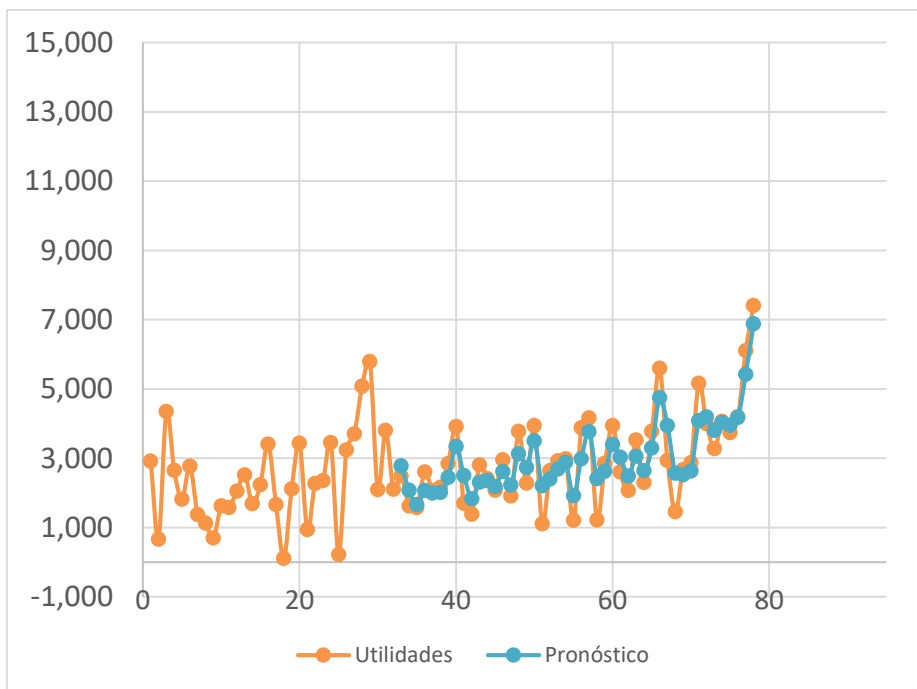
demanda.body	[*,*]					
:	1	2	3	4	5	6
1	7.0	8.0	8.0	8.0	9.0	8.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	9.0	7.0	5.0	7.0	7.0	7.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	11.0	9.0	10.0	7.0	7.0	7.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	11.0	9.0	10.0	15.0	18.0	17.0
8	0.0	1.0	0.0	6.0	9.0	1.0
9	11.0	14.0	12.0	9.0	7.0	8.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	7.0	6.0	6.0	4.0	1.0	5.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	7.0	8.0	7.0	7.0	9.0	8.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	7.0	6.0	7.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	6.0	7.0	11.0	10.0	11.0	7.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	8.0	7.0	7.0	8.0	12.0	10.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0

Fuente: Neos Server for CPLEX/AMPL, 2020

Teniendo en cuenta las restricciones del proceso productivo como cantidad de horas-hombre disponible, demanda esperada por la empresa, costos de materia prima, almacenamiento y de mano de obra se ofrece una propuesta de producción acorde que cumple con todos los parámetros previamente definidos cumpliendo así a cabalidad con la naturaleza de la problemática.

Para realizar una comparativa con el proceso productivo actual, se realiza una comparación de las utilidades pronosticadas teniendo en cuenta un histórico de 78 semanas. Se presenta a continuación la tendencia de las utilidades a lo largo del tiempo, así como del pronóstico para los siguientes 6 meses los cuales serán utilizados para realizar una comparativa de los cambios generados por el plan de mejora de la planeación agregada de la producción:

Figura 13. Tendencia utilidades (en millones de pesos por semana)



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Posteriormente, se presentan el pronóstico de utilidad de las 24 semanas de interés:

Tabla 10. Pronóstico de utilidades

SEMANA	UTILIDAD PRONOSTICADA
Semana 1	2,79
Semana 2	2,08
Semana 3	1,66
Semana 4	2,07
Semana 5	2,00
Semana 6	2,02
Semana 7	2,45
Semana 8	3,35
Semana 9	2,50
Semana 10	1,83
Semana 11	2,31
Semana 12	2,36
Semana 13	2,18
Semana 14	2,62
Semana 15	2,23
Semana 16	3,14
Semana 17	2,74
Semana 18	3,50
Semana 19	2,21
Semana 20	2,40
Semana 21	2,69

Semana 22	2,88
Semana 23	1,92
Semana 24	2,99

Fuente: Elaboración propia, 2020.

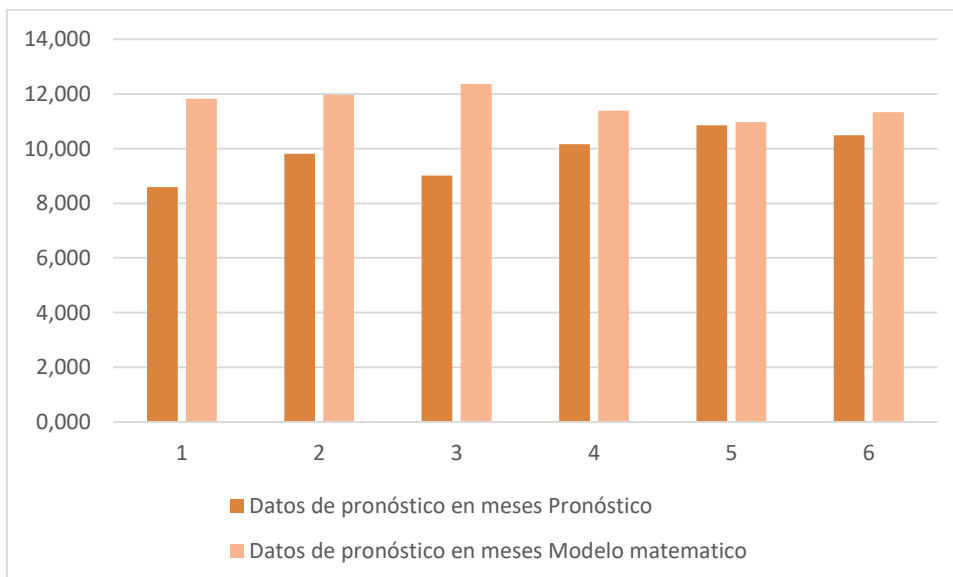
Se realiza de forma análoga la agrupación de cada cuatro semanas para volver la proyección a meses para comparar con los resultados hallados por el solver se tiene:

Figura 14. Análisis comparativo

Datos de pronóstico en meses			Comparacion	
Mes	Pronóstico	Modelo matematico	Diferencia absoluta	Diferencia porcentual
1	8,595	11,823	3,228	38%
2	9,812	11,961	2,149	22%
3	9,008	12,366	3,358	37%
4	10,166	11,388	1,222	12%
5	10,851	10,962	0,110	1%
6	10,485	11,326	0,842	8%
TOTAL	58,917	69,826	10,909	19%

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 15. Gráfico de barras comparativo (millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia, 2020.

De la tabla y el grafico previamente expuestos se resalta que:

- El pronóstico se realiza con base en las utilidades totales de la empresa, estas utilidades no discriminan tanto los artículos fabricados por la empresa como por los comercializados que se compran a un tercero.
- En 6 de los 6 periodos donde se realizó la planeación agregada de la producción se evidencia un aumento de las utilidades teniendo solo en cuenta los productos fabricados por la joyería, comprobando que en el posible escenario planificado de producción se denota un aumento en las utilidades, estas aumentando aún más la diferencia al llegarse para tener en cuenta los artículos que se comercializan mas no son fabricados por la empresa.
- Para el periodo de planeación de 6 meses se tiene un aumento de 10,909 millones de pesos siendo un aumento porcentual total del 19% de utilidades generados por el proceso productivo de la empresa objeto de estudio, esto siendo un factor decisorio en cuanto a que la metodología a elegir para seguir planificando las actividades es la propuesta en la investigación.

6 CONCLUSIONES

En la investigación de alternativas que permitan la optimización de las cadenas de suministro, se encontró en este modelo matemático adaptado a la industria de la producción de joyería instrumento que sin lugar a duda facilita la toma de decisiones en la organización y permite gestar de manera más eficaz la cadena de abastecimiento y la planeación de la producción. Al estudiar el método de elaboración y la comercialización presente comparándola con el modelo planteado se puede deducir que las metodologías arcaicas entorpecen el flujo y el tiempo de respuesta de los procesos, los costos a los procesos de producción, inventarios, optimizando los medios de la empresa.

Se diseña un modelo de programación lineal entera el cual se adaptó para solucionar el problema de planeación agregada de producción de la empresa objeto de estudio, teniendo como factor principal la facilidad de operación presente de la compañía. A partir de este se logró manifestar una propuesta de maximizar las ganancias posibles. Este modelo incluye 360 variables de decisión, 334 variables enteras, 162 restricciones, 162 restricciones de desigualdad, con una función objetivo la cual consiste en maximizar las utilidades de la empresa objeto de estudio con la producción de los productos en el horizonte de planeación dando como resultado de ganancias de \$ 69'826.020 teniendo presente materia prima, almacenamiento, mano de obra, tercerización y costos de producción.

Se realizo la validación del modelo el cual en primera instancia determino mediante un análisis de los límites de las restricciones que el modelo planteado se ajusta a la

descripción de la realización actual del proceso de producción de la empresa objeto de estudio. Se realizó el correspondiente análisis de las variables resultantes logrando concluir que el modelo cumple con las restricciones de capacidad, demanda e inventarios. Posteriormente teniendo en cuenta los datos históricos de las utilidades se comprobó el aumento de la utilidad resultante en el periodo de tiempo proyectado con un aumento de 19% teniendo en cuenta solo los ingresos de los productos fabricados por la empresa sin contar con los que se comercializan comprándose a terceros. Convirtiéndose de esta manera en un instrumento rápido y económico para la toma de decisiones alrededor de la producción y comercialización de joyería en la empresa objeto de estudio.

7 RECOMENDACIONES

Se tiene un histórico de las utilidades semanales de la empresa objeto de estudio, mas esta no discrimina cual es el tipo y cantidad de cada artículo vendido. Por esta razón recomienda realizar un estudio extenso del comportamiento histórico de la demanda para la referencia de que permitan poseer pronósticos más acertados a la situación que vive el cliente. La implementación de herramientas de estudio de la demanda, y de técnicas como promedio móvil, suavización exponencial simple y doble ayudarán a la compañía a ejecutar pronósticos de acuerdo con la comercialización, de esta manera podrán efectuar sus presupuestos y requerimientos de materiales de forma más precisa. Con los cuales podrá retribuir la demanda logrando niveles óptimos de eficacia

Concretar políticas claras de inspección de inventarios como sistema de verificación constante (s, Q) o el sistema de control periódico (R, S), para examinar los niveles de inventario. Cualquiera de los sistemas implementados facilitaría la organización del control de varios ítems, y tendrán la dimensión de objetar a las fluctuaciones de demanda durante el tiempo de recuperación de los proveedores o del método de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldo, T., Morabito, R., Santos, M., & Guimarães, L. (2017). Alternative Mathematical Models and Solution Approaches for Lot-Sizing and Scheduling Problems in the Brewery Industry: Analyzing Two Different Situations. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Caicedo, A., Criado, A., & Morales, K. (2019). Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica. *Scientia et technica*, 24(3), 408-419.
- Chen, C.-S., Mestry, S., Damodaran, P., & Wang, C. (2009). The capacity planning problem in make-to-order enterprises. *Mathematical and Computer Modelling*, 1461-1473.
- Díaz, J. & Díaz, J. (2020). Estrategias de costos de una empresa manufacturera para desarrollar un plan agregado de producción. Facultad De Ciencias Empresariales. Carrera De Comercio Internacional. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- Egri, P., Kovács, A., Márkus, A., & Váncza, J. (2004). Project-Oriented Approach To Production Planning And Scheduling In Make-To-Order Manufacturing . *Production Systems and Information Engineering*, 23-36.
- Gasim, M. (2012). Aggregate Production Planning Using Goals Programming. 78-90.
- Gharehgozli, A., Rabbani, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2006). *A Proposed Hierarchical Production Planning Structure For Combined Mts/Mto Environments*. Tehran : University Of Tehran.
- Ippolito, D., & Malpica, F. (2009). *Modelo De Planeación De La Producción Para Colchones El Dorado*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Jiménez Escarda, I. (2017). *Problemas de Planeación de la Producción e Inventarios. Estudio y resolución de diferentes modelos de Programación Entera Mixta para el cálculo del tamaño de lotes (Lot Sizing)*. Valladolid: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- Karabuk, S. (2008). Production planning under uncertainty in textile manufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 510-520.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración De Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Li, Q., Kucukkoc, I., & Zhang, D. (2017). Production planning in additive manufacturing and 3D printing. *Computers & Operations Research*, 157–172.

- Li, Y., Vega, G., Méndez, R. & Esquivel, L. (2019). Planificación y control de la producción en una empresa conservera de pescado. *NGnosis. Revista de investigación científica. Universidad Cesar Vallejo* 5(1):66 -75
- Lukic, D., Milosevic, M., Antic, A., Borojevic, S., & Ficko, M. (2017). Multi-criteria selection of manufacturing processes in the conceptual process planning. *Advances in Production Engineering & Management*, 151–162.
- Martínez, K., Toso, E., & Morabito, R. (2016). Production planning in the molded pulp packaging industry. *Computers & Industrial Engineering*, 554–566.
- Mifdal, L., Hajej, Z., & Dellagi, S. (2015). Joint Optimization Approach of Maintenance and Production Planning for a Multiple-Product Manufacturing System. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*.
- Nahmias, S. y Lennon Olsen, T. (2015). *Production and Operation Analysis*. Ed. Waveland Press Inc. New edition.
- Pargar, F., Mahdavi, I., Reza Kazemi, M., & Hassanzadeh, R. (2013). Applying fuzzy stochastic programming for multi-product multi-time period production planning. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 132–147.
- Peña, I., & Santa Cruz, R. (2001). Modelo de Planeación de la Producción para una Empresa Agroindustrial. *Acta Nova*, 181.
- Ramírez Diaz, A. (2014). *Mejoramiento Del Sistema De Planeación De La Producción En La Empresa Icomallas S.A.* . Santiago De Cali : Universidad Autonoma De Occidente.
- Sampaio, R., Wollmann, R., & Vieira, P. (2017). A flexible production planning for rolling-horizons . *International Journal of Production Economics*, 31-36.
- Vergara Portela, R. (2006). Desarrollo De Los Procesos De Planeación Y Programación De La Producción En El Sector Manufacturero De La Pyme En Bogotá. *Avances Investigación En Ingeniería*, 69-78.
- Vidal, C.J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Programa Editorial Universidad del Valle, Cali, Colombia. ISBN = 978-958-670-863-0.
- Wang, X., & Choi, S. (2014). Wealth-Based Production Planning With Uncertain Lot Sizing. *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 109-117.