



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

TRABAJO TERMINAL DE GRADO:

**“MODELO PARA LA PLANEACIÓN DEL APROVISIONAMIENTO DE INSUMOS EN UNA
EMPRESA MANUFACTURERA”**

PRESENTA:

ING. LAURA CAMILA RODRIGUEZ HERNANDEZ

TUTOR ACADÉMICO:

M. en I. JOSÉ CONCEPCIÓN LOPEZ RIVERA

TUTORES ADJUNTOS:

DRA. LOURDES LOZA HERNÁNDEZ

DR. RENÉ MUCIÑO CASTAÑEDA

TOLUCA, MÉXICO

2023

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
PLANTEAMIENTOS DEL PROBLEMA.....	8
OBJETIVOS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	10
HIPÓTESIS.....	10
1 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	11
1.1 ANTECEDENTES.....	19
1.2 MARCO METODOLÓGICO.....	21
1.2.1 PREPARACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN.....	21
1.2.2 DISEÑO DE ESTRATEGIA.....	22
1.2.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN.....	22
1.2.4 DESPLIEGUE E IMPLEMENTACIÓN.....	24
1.3 MARCO TEÓRICO.....	24
1.3.1 INVENTARIOS.....	25
1.3.2 FUNCIÓN DE INVENTARIO.....	27
1.3.3 PROCESOS LOGÍSTICOS.....	27
1.3.4 COSTOS DE INVENTARIOS.....	29
1.3.5 POLÍTICAS DE INVENTARIOS.....	30
1.3.6 TECNICAS PARA EL CONTROL DE INVENTARIO.....	31
1.3.7 CATEGORIZACIÓN ABC.....	32
1.3.8 PRONÓSTICOS.....	33
1.3.9 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	35
1.3.10 PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS).....	36
1.3.11 LISTA DE MATERIALES.....	38
1.3.12 PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES (MRP).....	38
1.3.13 DESARROLLO CONCEPTUAL DEL MODELO.....	40

2	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.	47
2.1	PRODUCTOS TERMINADOS.	47
2.2	GESTIÓN DE LOS PROCESOS ACTUALES.	49
2.3	ANÁLISIS DE COSTOS.	51
3	DESARROLLO DEL MODELO DE APROVISIONAMIENTO DE INSUMOS Y COMPONENTES.	55
3.1	PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.	55
3.2	LISTA DE MATERIALES.	59
3.3	PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES (MRP).	63
3.4	APLICACIÓN DEL MODELO EN GAMS.	63
3.5	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.	66
	CONCLUSIONES.	71
	RECOMENDACIONES.	72
	TRABAJO A FUTURO.	73
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	74
	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fases para la ejecución del proyecto.	23
Figura 2.1 Producto terminado 1	48
Figura 2.2 Producto terminado 2	48
Figura 2.3 Producto terminado 3	48
Figura 2.4. Proceso actual de gestión de inventarios.	50
Figura 2.5. Proceso actual de gestión de almacenes.	50
Figura 2.6 Proceso actual de servicio al cliente.	51
Figura 3.1 Análisis ABC Global y por empresas.	55
Figura 3.2 Consolidado ABC empresarial.....	56
Figura 3.3 Gráfico de descomposición de series del artículo 15.	57
Figura 3.4 Notación de la estructura empleada para el desarrollo del modelo matemático.	59
Figura 3.5 Insumos que componen el conjunto del SKU 1	60
Figura 3.6 Insumos que componen el elemento 2.	61
Figura 3.7 Insumos que componen el elemento 3.	62
Figura 3.8 Aplicación del MRP al artículo 15.	63
Figura 3.9 Pantalla de solución del modelo en GAMS.	64
Figura 3.10 Análisis de sensibilidad del costo total al modificar los costos de producción.	68
Figura 3.11 Análisis de sensibilidad del costo total al modificar los costos de almacenar.	69
Figura 3.12 Análisis de sensibilidad de los parámetros modificados.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Resultados de la clasificación ABC.....	56
Tabla 3.2 Desarrollo y selección del pronóstico para el artículo 15	56
Tabla 3.3 Unidades de venta pronosticadas para 3 artículos tipo A.	58
Tabla 3.4 Extracción de MPS aplicado al artículo 1.	58
Tabla 3.5 Elementos que componen al conjunto del SKU 1.	60
Tabla 3.6 Elementos que componen el SKU 2.	61
Tabla 3.7 Elementos que componen el SKU 3.	62
Tabla 3.8 Costo total anual de operación para 21 artículos.	64
Tabla 3.9 Demanda de 3 artículos en t.	65
Tabla 3.10 Artículo i a producir en el periodo de tiempo t.	65
Tabla 3.11 Artículo i a almacenar en el periodo de tiempo t.	65
Tabla 3.12 Resultados de la función objetivo escenario 1.	67
Tabla 3.13 Producción del artículo 2 bajo el escenario 1.	67
Tabla 3.14 Resultados de la función objetivo escenario 2.	68
Tabla A1. Demanda del artículo i en el periodo de tiempo t.	79
Tabla A2. Coeficientes técnicos de i requeridos del componente j.	79
Tabla A3. Coeficientes técnicos de j requeridos del insumo k.	80
Tabla A4. Artículo i a producir en el periodo de tiempo t.	80
Tabla A5. Artículo i a almacenar en el periodo de tiempo t.	80
Tabla A6. Componente j a producir/pedir en el periodo de tiempo t.	81
Tabla A7. Insumo k a comprar en el periodo de tiempo t.	81
Tabla A8. Costo de producción de los artículos i en el periodo t.	82
Tabla A9. Costo de adquisición de los componentes j en el periodo t.	82
Tabla A10. Costo de almacenamiento del artículo i en el periodo t.	83
Tabla A11. Costo de almacenamiento de la componente j en el periodo t.	83
Tabla A12. Costo de almacenamiento del insumo k en el periodo t.	83

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo terminal de grado busca desarrollar un modelo de abastecimiento de insumos aplicado en una empresa perteneciente del sector manufacturero, que busca contemplar las restricciones y limitaciones de esta. Ya que una de las principales problemáticas detectadas ha sido los recursos limitados para la adquisición de nuevos sistemas y herramientas que permitan mejorar la administración de la cadena de suministro (Soinio, J., et al., 2012). Es de gran importancia de contar con un sistema eficiente de aprovisionamiento que permita optimizar los procesos de adquisición de materiales y suministros necesarios para la producción de artículos. Evaluando las estrategias de aprovisionamiento actuales de la compañía y analizando el comportamiento de la demanda de los artículos que vende la compañía para poder enfocar los esfuerzos de la empresa en los artículos de mayor importancia.

El presente documento se divide en tres capítulos en el siguiente orden:

Capítulo 1. Antecedentes y Marco teórico: En este segmento, se abordan los conceptos, definiciones y términos clave que ayudarán a entender el proceso de solución, en donde se documentan referencias importantes que serán útiles para la construcción del proyecto; se contemplan distintas estrategias modernas que subyacen a la conformación sistemática del método.

Capítulo 2. Descripción de empresa: Se resalta principalmente la situación actual de la empresa, motivo del estudio, datos clave en la investigación, descripciones de costos, gestión y funcionamiento industrial. La información allí contenida gira explícitamente alrededor de la empresa con la que se trabajará.

Capítulo 3. Modelo de aprovisionamiento de gestión de inventario: Presenta formalmente el procedimiento hasta llegar a la solución, su interpretación y aplicación. Finalmente, se condensa el proyecto en ciertas conclusiones y recomendaciones, mencionando proyecciones de profundización del presente trabajo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente existen diversas causas que impactan de manera negativa el desempeño logístico de una organización, como la poca capacitación, la carencia de conocimientos sobre estrategias de integración y los altos costos logísticos (Álvarez, N., & Trujillo, J., 2015), lo que genera economías de escala inexistentes o poco viables (Díaz, A., et al., 2005) lo que limita el campo de acción que pueda llegar a tener empresas más pequeñas. El sector de la logística es clave para garantizar la competitividad de las PyMEs en particular, es un área con un gran potencial de crecimiento (Kirby, C. & Brosa, N., 2011). La gestión de la cadena de suministro es uno de los factores claves para que las PyMEs alcancen competitividad dentro de los procesos de aprovisionamiento, almacenamiento, transporte y distribución (Saavedra, M., et al., 2019).

La empresa en estudio no cuenta actualmente ni siquiera con una categorización ABC que considere la demanda de sus clientes principales y sus restricciones de tiempos de entrega, almacenamiento. Su inadecuada planeación en el aprovisionamiento de insumos genera diversos efectos negativos. En primer lugar, ocasiona escasez de materiales y suministros necesarios para la producción, lo que resulta en retrasos en la entrega de productos y pérdida de clientes, así como en la afectación del indicador de nivel de servicio. Además, genera un aumento en los costos de adquisición y almacenamiento, ya que esta carencia de planeación genera picos de recibos de insumos y componentes que genera una búsqueda de capacidad de almacenaje externa que dificulta el control de sus existencias.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar un modelo de programación lineal para optimizar la planeación del aprovisionamiento de insumos y componentes en una empresa manufacturera.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Revisar las estrategias actuales para la determinación de aprovisionamiento en la empresa caso estudio.
- Identificar los artículos más importantes de la empresa manufacturera a través de un análisis ABC.
- Desarrollar un plan de producción de los productos con clasificación tipo A.
- Detallar la lista de materiales para la realización de un plan de requisición de materiales de los productos tipo A de la empresa.
- Desarrollar un modelo de programación lineal que determine el aprovisionamiento de los insumos y componentes para satisfacer la demanda derivada de los productos terminados.
- Comparar la situación actual de la compañía y sus estrategias con la solución del modelo propuesto.

JUSTIFICACIÓN

En la empresa del caso estudio, se observó un aumento de sus costos logísticos debido a una planeación pobre o inexistente en la requisición de materia prima o componentes necesarios para cumplir con el plan de producción mensual, lo que genera inconvenientes e imprevistos de forma diaria, que obliga a tomar decisiones en cortos periodos de tiempo, pero que impactan económicamente de gran manera a la empresa. Las diversas crisis internas que esto genera repercuten en su productividad y competitividad.

Es por esto, que se detecta la necesidad de desarrollar e implementar un modelo de planeación de insumos, ya que en la actualidad se requiere desarrollar e implementar estrategias adaptables al cambio y entender las oportunidades de mejora en etapas de crecimiento y aprendizaje empresarial, para poder crecer dentro de un mercado globalizado. Aumentando así sus ingresos u obtener una rentabilidad cada día mayor; esto puede lograrse reduciendo costos, accediendo o implementando nuevas metodologías o tecnologías que ayuden a incrementar las ventajas competitivas dentro de la cadena de suministro.

HIPÓTESIS

El desarrollo de un modelo de aprovisionamiento de insumos dentro de una pequeña empresa perteneciente al sector manufacturero basado en el plan de producción proyectado puede reducir los costos logísticos de adquirir, producir y almacenar.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Las Micro, Pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs) son de gran importancia en el país, ya que permiten una distribución de bienes y servicios más equitativa que forman e incitan a una estructura productiva sólida con el objetivo de mejorar el desarrollo económico de una nación. (Mayssara A., 2014). Debido a la escasez de recursos tanto económicos como operativos, es común ver en las MiPyMEs (Micro, Pequeñas y medianas empresas) personal poco especializado y con diversas actividades dentro de sus funciones. (Cano, P., et al., 2015). Es por esto por lo que la búsqueda de soluciones alternas para fortalecer las PyMEs se vuelve imprescindible (Cano, P., et al., 2015).

El desarrollo de herramientas de apoyo para mejorar el crecimiento logístico dentro de la cadena de suministro de las MiPyMEs se debe generar para brindar una estructura de planeación y gestión de inventario tomando en cuenta el contexto, recursos y su configuración empresarial. Se requiere de procesos de aprendizaje tecnológico, transferencia de conocimiento e innovación para poder así, desarrollar las capacidades que permitan a las MiPyMEs adquirir, asimilar, transformar y explotar conocimiento que genere un mejor rendimiento dentro de las cadenas globales de valor. (Mayssara A., 2014). Dentro de la cadena de suministro se encuentran grandes procesos que deben ser afrontados por las MiPyMEs, entre ellos se identifican el manejo de proveedores, inventarios, procesos, salida y despacho a clientes. Se identifica una carencia de procedimientos y estructuras operacionales transversales que sustenten la toma de decisiones en las actividades diarias de una micro, pequeña y mediana empresa.

El papel de las MiPyMEs en Latinoamérica es de gran importancia, ya que son instrumentos de estabilidad social cuando se brindan oportunidades de empleo a colectivos escasamente cualificados (Hernández Y. & Saavedra, M., 2008). Las PyMEs en busca de efectividad, competitividad y supervivencia a futuro, deben ser constantes, adaptables al cambio tecnológico, enfrentando problemas tanto internos como externos, para lograr los resultados financieros propuestos (Yance, C., et al., 2017). Entre las ventajas de este tipo de empresas, se puede destacar su flexibilidad a la adaptación de cambios cuando los requerimientos del mercado así lo requieran, esta facilidad de ajuste dinámico brinda ventajas competitivas que contribuyen a la transformación de procesos estructurales que la compañía suponga.

Se requiere de un ambiente de mejora continua donde las PyMEs desarrollan un crecimiento sostenible para posicionarse dentro del mercado; reduciendo costos de operación, mejorando la eficiencia de procesos, cuidando los niveles de inventario, la calidad de sus productos e incrementando la productividad (Yance, C., et al., 2017). En el proceso de planeación de materiales o abastecimiento, se requiere determinar cuánto y cuándo pedir los productos requeridos para que lleguen en el tiempo establecido y en el lugar deseado, por medio de diferentes modelos cuantitativos; esta gestión de abastecimiento se debe planear y controlar para reducir riesgos de faltantes y minimizar costos. Los modelos de inventario nos permiten mejorar el desempeño logístico dentro de una organización, ya que permite un mejor control del surtimiento de materiales, la generación de órdenes de compra en tiempo y cantidad. (Cano, P., et al., 2015).

Las PyMEs presentan subutilización de maquinaria dada la inexistencia de economías de escala, carencia de estructura de costos y falta de elaboración de cotizaciones rápidas (Zapata, E., 2004). Las micro, pequeñas y medianas empresas son un factor importante para el crecimiento y desarrollo del país, sin embargo, representan el eslabón más débil por su carencia en sistemas de planeación, organización, administración y control eficiente dentro de sus actividades productivas (Kauffman, S., 2001). Las MiPyMEs en América Latina poseen un papel económico fundamental; es por esto que históricamente se ha buscado generar un desarrollo del capital humano, tecnología e innovación, por medio de programas de apoyo, políticas regulatorias y de financiamiento que promuevan su competitividad (Henriquez, L., 2009). En sus procesos de abastecimiento se perciben fallas en el tiempo y la eficiencia de éstos, ya que no se evidencia un adecuado pronóstico ni dominio del mercado, lo que genera un aumento de sus costos logísticos en la administración de inventario (Torres, M. & Mancera, P., 2017).

“La productividad de las PyMEs a nivel de América Latina, llega en el mejor de los casos, al 36% con respecto a la productividad de las grandes empresas; en cambio, en algunos países de Europa, la productividad varía entre el 73 y 75%” (Yance, et al., 2017).

La posibilidad de sobrevivencia se ve reducida en América Latina principalmente por problemas regulatorios, demanda limitada, poco acceso a financiamiento y disponibilidad de recursos calificados (Henriquez, L., 2009). Las incidencias del entorno determinan el desarrollo y

comportamiento de estas organizaciones, sin embargo, un entorno interno estructurado, equilibrado y sostenible mitiga los riesgos anteriormente mencionados.

A través del tiempo se han propuesto múltiples modelos de gestión logística para las pequeñas y medianas empresas, siendo en su mayoría modelos ambiciosos que no toman en consideración la estructura informal y la carencia de conocimientos técnicos de las PyMEs (Cano, P., et al., 2015). El desarrollo de un modelo de gestión logística que entienda y contemple las necesidades de esta empresa, permitiría un control de variables y un incremento en su competitividad. Una ventaja de estas empresas dado su tamaño es su capacidad de responder a los requerimientos cambiantes del mercado; sin embargo, esta ventaja competitiva no es generalmente aprovechada. Se ha visualizado que las PyMEs buscan un crecimiento gradual y en algunos casos, se conforman con la supervivencia (Zapata, E., 2004).

El buen desempeño dentro de la cadena de suministro se ve estrechamente vinculado a la sincronización de funciones, entendiendo su estrategia global para poder así realizar una alineación, control e implementación de herramientas de mejora dentro de sus procesos. Los modelos simples con énfasis en planeación estratégica generan una mayor adaptabilidad dentro de las MiPyMEs, ya que estas empresas se caracterizan por su respuesta positiva ante los cambios del entorno.

En el sector empresarial se encuentran diferentes enfoques para integrar estas prácticas (Saavedra, M., Camarena, M., & Saavedra, M., 2019); pero siempre es crucial reconocer los factores más importantes e influyentes dentro de la productividad de la cadena de suministro. Es importante gestionar un adecuado control de inventarios, con información real y confiable para que el sistema de gestión cumpla su objetivo (Díaz, D. & Patiño, V., 2011).

La eficiencia en la administración de materias primas e inventarios impacta en la reducción de costos y tiempos de respuesta a los clientes, mejorando la productividad y competitividad de la PyME manufacturera (Saavedra, M., et al., 2019). Un modelo de administración de inventarios es de gran importancia en la unificación, ya que muestra la inversión y la capacidad de atención a la demanda cambiante (Osorio, C., 2013). Por tanto, el conocimiento del funcionamiento de los inventarios junto con las políticas que los controlan es tanto necesarias como beneficiosas para una empresa, especialmente una MiPyME.

Las instalaciones inadecuadas por ubicación o reducido tamaño y un manejo inadecuado de inventarios tomando decisiones de compra de materias primas basadas en precio y no en el nicho de mercado y su demanda (Zapata, E., 2004). Es importante considerar el tiempo ciclo de una orden de compra y crear procesos de estandarización de solicitud de materiales en tiempo, secuencia y cantidad adecuada mediante el modelo de inventarios (Cano, P., et al., 2015).

México dentro del Índice de desempeño logístico (LPI) con un 3.05 ocupa el lugar 51 de 160 economías evaluadas en el 2018, año del último informe de este indicador publicado por el Banco Mundial. Se concluye que México posee mayores capacidades de crecimiento y aprendizaje logístico, no solamente por su ubicación geográfica estratégica, sino también por su capacidad de aprendizaje y desarrollo, establecidos por las políticas económicas que buscan mejorar sistemas tecnológicos, de seguridad y de apoyo a las MiPyMEs. Entre los programas que maneja la Secretaria de Economía en México, se encuentra el Fondo PyME de México Emprende, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo económico nacional mediante apoyos ofrecidos a iniciativas que promuevan la inversión, fortalecimiento y generación de empleo en la nación, específicamente a micro, pequeñas y medianas empresas que deseen mejorar sus procesos.

Especialmente en el Estado de México, la Secretaria de Desarrollo Económico cuenta con el Instituto Mexiquense del Emprendedor, que brinda herramientas empresariales y espacios de difusión que generan oportunidades de negocio y desarrollo de prácticas productivas. El Gobierno Mexicano cuenta también con diferentes organismos que ofrecen guías y capacitación a las MiPyMEs, como son el Instituto Nacional del Emprendedor y la iniciativa GREENPYME, entre otros, que ofrecen asesoría financiera. Se busca incrementar las capacidades productivas, la innovación, sus propias economías de escala para potenciar la competitividad en las MiPyMEs (González, G., 2020).

Las compañías con un buen desempeño logístico y que alcanzan una ventaja competitiva, están brindando un nivel de servicio mayor a sus clientes, aunque es cada vez más un reto crear integraciones de sistemas, habilidades y recursos para alcanzar una logística apropiada (Cano, P., et al., 2015). Entre los problemas de las PyMEs se encuentra la determinación de puntos de reorden e inventario, con base en el promedio de la demanda, sin contemplar ningún factor de variabilidad (Osorio, C., 2013). El nivel educacional y el acceso al conocimiento de estos empresarios es muchas veces limitado, lo que repercute en su productividad y malas prácticas

empresariales, como lo es la mentalidad de compra de insumos basada únicamente en los precios (Henriquez, L., 2009).

La tecnología dentro de la cadena de suministro ha sido factor de apoyo a ciertos procesos, pero no es capaz de comprender las necesidades de las empresas; es el factor humano quien identifica las necesidades o requerimientos y establece el plan de acción a mejorar por parte de estas herramientas. Sin embargo, la falta de sincronización en tiempo real de los datos, el desconocimiento de información esencial o la falta de comunicación entre las diferentes áreas, genera malas interpretaciones en los diferentes procesos, causando fallas en los resultados esperados. El proceso de aprovisionamiento requiere del departamento de compras para generar la requisición de los bienes o servicios, pero las otras áreas funcionales deben proporcionarle la información necesaria, de acuerdo con las actividades de fabricación o comercialización planificadas en función de la información fiable y la gestión de stock manejada por el departamento de aprovisionamiento. Es necesaria también una integración B2B que responda a las necesidades específicas de las empresas, lo que proporciona una colaboración entre ambas partes y agrega mayor valor a la cadena de suministro, cuando se alinean los objetivos y las metas.

Dentro de un modelo de aprovisionamiento se deben considerar las fluctuaciones en las diferentes etapas del abastecimiento, como la demanda, los tiempos de entrega, el espacio disponible, entre otros elementos que afectan los periodos de revisión, los costos totales y el nivel de servicio que se desee alcanzar por la compañía, de acuerdo con su configuración. Se requiere también un conocimiento estratégico de las partes involucradas como los son conocimientos de selección de proveedoría (así como sus tiempos de entrega y cumplimiento), condiciones cambiantes del mercado (Demanda, inflación, entre otros), y el diseño de políticas aprovisionamiento de forma interna como externa. Es por todo esto que, con el presente trabajo, se busca generar un modelo de inventario que integre las fases más relevantes e impactantes dentro de la cadena de suministro. Una eficiente planeación de los niveles de inventario tiene influencia positiva en la productividad de la empresa (Montaño, Y., et al., 2014), buscando contribuir, de esta manera, al desarrollo, crecimiento y transformación de las MiPyMEs manufactureras.

Las políticas de inventario planean y mejoran el flujo de productos dentro de la cadena de suministro por medio de la definición, control y establecimiento de los niveles de existencia

adecuados para poder alcanzar una apropiada administración de éstos. El exceso de inventario o su mala planeación repercute en obsolescencia, inventario sin rotación impactando los costos de almacenamiento y, a su vez, capital detenido en las bodegas afectando el nivel de servicio brindado a los clientes. Es por esto importante, la identificación y clasificación de los productos por su volumen, rotación y nivel de servicio deseado para tomar decisiones que impacten positivamente a los siguientes aspectos:

- Capacidad de almacenamiento
- Nivel de servicio
- Reducción de inventario
- Desabasto de materia prima
- Negociación de contratos
- Conteos cíclicos

Con una clasificación ABC de los productos terminados se puede lograr un inventario más eficiente, asegurando la disponibilidad de materiales necesarios para mejorar nuestro nivel de servicio y reduciendo costos de almacenamiento de productos sin rotación. (Macías, J., 2018)

Según INEGI (2022), las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs) desempeñan un papel fundamental en el mercado mexicano, ya que 4.9 millones de establecimientos de este tipo no solamente se encargan de darle trabajo a 27 millones de personas, sino que también fomentan una participación económica importante. No obstante, hallan que su tasa de supervivencia en los primeros siete años de vida es baja en comparación con la de las grandes empresas.

Existen distintos factores críticos que dificultan las condiciones para una MiPyME: La antigüedad de una empresa, sus redes o conexiones, la administración de las relaciones con sus clientes, los recursos económicos y humanos deben direccionarse hacia el mercado y el producto, ayuda bastante la planificación estratégica, el marketing y el tamaño de la empresa (Lampadarios, E., 2013). Sin embargo, dado que las empresas en etapas tempranas no cuentan con la capacidad adquisitiva de una empresa que compra a gran escala, y carecen de los medios necesarios para el desarrollo de las actividades que faciliten la gestión de su cadena de suministro, se identifica que el costo de logística es uno de los factores más influyentes y que mayor impacto suelen tener en ellas, compartiendo lo expresado por Kirby, C.

y Brosa, N. (2011) que el sector de la logística es de gran relevancia en el desarrollo del sector privado y del crecimiento en el resto de los actores económicos de un país. Una logística eficiente y accesible constituye un elemento clave para que las PyMEs puedan competir con éxito en este nuevo marco global.

Si bien es cierto que uno de los retos de la mayoría de las organizaciones es alcanzar un desempeño superior y adquirir ventajas competitivas sostenibles, el objetivo de las MiPyMEs, aunque sea el mismo, puede resultar en una tarea de mayor complejidad al contar con limitadas herramientas y alternativas para la planeación organizacional, que “constituyen una columna vertebral de toda empresa”, como bien expresan Aguilar, O., Bastida, J., Lagos, M., Salinas, E. (2012). Una carencia en la planeación es deformada por procedimientos ineficientes, falta de criterio cuando se presentan problemas de tipo logístico, falta de liderazgo, entre otras. Es por esto que, se deben contemplar procedimientos lógicos y modelos matemáticos que apoye la toma de decisiones empresariales.

Por lo anterior, se considera necesario integrar estrategias ingenieriles en sus cadenas de suministro para reducir sus costos logísticos, optimizar sus procesos y, como resultado, aumentar su probabilidad de supervivencia dentro del mercado.

Alcanzar competitividad en la industria cambiante implica entonces que las MiPyMEs se adentren simultáneamente tanto en el análisis de la efectividad de sus procesos, como en la búsqueda de posibilidades de optimizar los mismos, puesto a que proporciona claves que, si se implementan de manera correcta, conllevarían a una facilitación comercial, asociatividad y éxito en ámbitos varios. Kirby, C. y Brosa, N. (2011), contemplan la perspectiva de que la capacidad logística en una empresa es de gran importancia y determina el éxito o pérdidas en un proceso de evolución o internacionalización. Es por esto que, las medidas políticas, económicas, de infraestructura y sociales por parte de organismos estatales pueden impulsar la competitividad logística de las PyMEs.

En la actualidad, la industria se centra en la transformación de unas condiciones específicas de ciertas materias primas, manteniendo un flujo adecuado de productos e información para la supervivencia de las industrias manufactureras. Anteriormente el manejo de estos flujos se encaminaba en producir la mayor cantidad de productos para ofrecer al mercado. Como también lo es reconocer la importancia de la administración de la cadena de suministro como

indicador competitivo clave y capaz de ser un diferenciador para la generación de valor dentro de la compañía (Deros, B., et al.,2012).

Desde luego, se requiere una metodología sólida que emplee modelos de gestión industrial ajustados a las particularidades de la empresa, haciendo uso de herramientas y técnicas que ahorren tiempo, recursos, retrasos y eviten sobrecargas informativas, necesidad que se acentúa aún más cuando se habla de implementar un modelo de aprovisionamiento, como lo señalan Hurtado, J. en 2010. El llevar bienes y servicios en diferentes mercados requiere de esfuerzos y recursos que en su mayoría se encuentran fuera del alcance las PyMEs, es por esto importante emplear herramientas logísticas especializadas que permitan una gestión eficiente y coordinada del flujo de materiales e información para cumplir de forma oportuna con la entrega del producto esperado al cliente final.

Lo anterior hace hincapié precisamente en que las estrategias a utilizar no deben sobrepasar en ningún sentido el alcance que pueda tener la MiPyME en el momento. Que, siguiendo a Hurtado, J. (2010), utilicemos medios como: herramientas especializadas en la gestión, especialmente las nuevas tecnologías, para así lograr ofrecer productos y servicios con un alto valor agregado.

1.1. ANTECEDENTES

A nivel mundial las PyMEs son una parte fundamental dentro del sector productivo por su alto aporte en el desarrollo y crecimiento económico de un país (Carrera, M. M., 2012). Las acciones encaminadas a la conservación y fortalecimiento de este tipo de empresas son cada vez más necesarias. Se requiere de estructuras flexibles dentro de las organizaciones, capaces de identificar los cambios presentes en el mercado y adecuarse de forma positiva a los mismos.

Zapata, hace un llamado importante al análisis de las problemáticas de las PyMEs, de acuerdo con los factores internos y externos que impiden su crecimiento. La falta de garantías financieras, la competencia desleal, el poco apoyo estatal, el escaso acceso a la tecnología, la carencia de orientación estratégica, entre otros muchos problemas, han sido los causantes del bajo desempeño empresarial y de su incapacidad de supervivencia dentro del mercado. La compra de materia prima por precios especiales o aprovechamiento de descuentos por este tipo de empresas en muchas ocasiones suele tomarse sin definir previamente nichos de mercado, ni considerar sus pronósticos de demanda. (Zapata, E., 2004).

En México los problemas estructurales dificultan el desarrollo de las PyMES, debido principalmente a la existencia de infraestructura técnica y operativa inapropiada, políticas inadecuadas y carencia de cultura empresarial. La globalización económica que afrontamos impone retos competitivos para este sector empresarial, generando un mayor dinamismo y búsqueda de adaptación al mercado (Kauffman, S., 2001). Es por esto importante hacer competitivas este tipo de compañías mediante estrategias innovadoras que permitan su desarrollo y crecimiento.

Entre los modelos de planeación de inventarios, se encuentra el modelo de simulación por medio de programación computacional para la toma de decisiones empresariales en toda la cadena de suministro mediante la formulación matemática (Ramírez, D., et al., 2015); también podemos encontrar en Márquez la referencia a un sistema de planeación y control de inventarios como solución a problemas de almacenamiento, baja rotación y falta de información mediante niveles de confianza para determinar nivel de stock de seguridad, nivel máximo, puntos de reorden por medio de una herramienta de simulación en hojas de cálculo.

Una fuerte problemática detectada, fue también la sub utilización de la maquinaria en las MiPyMEs; se tiende a trabajar sobre pedidos, generando una ineficiencia en la producción, reduciendo las posibilidades de economías de escala y, en muchas ocasiones, sus instalaciones de operación no son adecuadas, bien sea por su ubicación o por su reducido tamaño (Zapata, E., 2004). Los apoyos económicos que impulsan la innovación en México son recientes y se enfocan en promover productos tecnológicos nuevos y esporádicamente incorporan nuevas formas de operatividad dentro de las industrias manufactureras o de producción (Suárez, T. & Martín, M., 2008).

La productividad mexicana muestra una situación desfavorable en comparación con otros países como Chile y Estados Unidos; es por esto importante que las pequeñas y medianas empresas incorporen herramientas administrativas que incluyan los requerimientos del mercado y sean eficientes (Hurtado, J., 2010). Por ejemplo, un reconocido portal web que comparte estadísticas oficiales de carácter internacional, revela que la industria que busca transformar la materia prima en productos finales para consumo por cliente final es de gran importancia para alcanzar un desarrollo económico dentro de un país. Esta industria representa un 18% del producto interno bruto (PIB) y en el 2021 captó 12,560 millones de dólares estadounidenses y brindó trabajo a más de nueve millones de trabajadores (Statista Research Department, 2023). Sin embargo, la industria manufacturera en las MiPyMEs se encuentra constantemente amenazada por la ineficiencia dentro de su cadena de producción; por la carencia tecnológica que genera ineficiencias y la alta informalidad del sector, debido a los altos costos que implica.

González, G. en (2020) comentaba que una de las principales problemáticas para las MiPyMEs se centra en no propiciar la competitividad empresarial para robustecer y consolidar las cadenas de suministro regionales. Al referirnos a la industria, y específicamente a la fabricación de plásticos, debemos vincular el proceso de transformación que genera el nuevo producto, en conjunto con los procesos logísticos que facilitan el adecuado desarrollo de cada una de las etapas que se requieren. Este trabajo desarrolla una aplicación práctica a la formación conceptual que se recibe en el ámbito universitario, en el cual se realiza un estudio a los procesos de logística que se aplican en una empresa del sector de la industria de los plásticos.

1.2. MARCO METODOLÓGICO

La empresa en la que se enfoca el presente trabajo ofrece servicio de inyección y soplado de productos plásticos, metalmecánica, sub ensambles y troquelaría, con los más altos estándares de calidad a través del uso de mano de obra, maquinaria y métodos adecuados para llevar a cabo procesos asegurados y mejoramiento continuo acorde a las necesidades del mercado, caracterizándose por brindar atención personalizada y diferenciada, cumpliendo con todo la normatividad legal exigida y contribuyendo al desarrollo del país.

1.2.1. PREPARACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

El presente trabajo terminal de grado se fundamenta en una base teórica de investigación y trazabilidad, que inició con una búsqueda en diversas bases de datos para acceder a revistas, artículos y libros que se relacionan con el presente trabajo. Los criterios de selección de artículos y de búsqueda fueron “Problemáticas MiPyMEs”, “Logística en MiPyMEs”, “Logistics in MSMEs” “Modelos de inventario en MiPyMEs”, “Modelo de aprovisionamiento de inventarios”, “Inventory models MSMEs”, “Inventory policies” e “Inventory Control Through ABC Analysis”, filtrando en disciplina la rama de ingeniería para consolidar el marco teórico.

Posteriormente, se hizo una clasificación de artículos entre los teóricos y los aplicados. Adicionalmente, se revisaron páginas oficiales del gobierno mexicano, colombiano y entidades oficiales, que se relacionan con el tema tratado en el presente proyecto. La construcción del marco teórico en esta búsqueda bibliográfica sirvió como estructura teórica para la recolección de tendencias de manejo logístico en MiPyMES en la actualidad, que se constituyeron en un referente para la construcción teórica del manejo y control de inventarios mediante políticas, validando así, la factibilidad y necesidad del proyecto. Luego, se llevó a cabo un análisis tipo ABC dentro de una pequeña empresa manufacturera en específico, identificando las áreas, sistemas y procesos determinantes en sus resultados, canalizando las diferencias principales con otros sectores económicos.

1.2.2. DISEÑO DE ESTRATEGIA

A partir del marco teórico y el análisis empresarial previamente elaborado, se buscó componer el continuo desarrollo y la construcción de la metodología, donde se extraía la obtención de información cuantitativa para analizar los costos de la empresa, posterior a la implementación del modelo de inventario propuesto. Al interior de una empresa, se estableció un plan de acción interno y externo que conllevó a una efectiva aplicación del modelo de abastecimiento. Esto se logró partiendo de sus principios de operación logística y comprometiendo a todas las personas y áreas involucradas (Mora, L., 2010).

1.2.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN

En el presente trabajo de investigación se hizo uso de conteos, mediciones numéricas y estadísticas para el análisis de la información recolectada; de igual forma se utilizó información obtenida por medio de acercamientos con el personal y trabajos estándar documentado, buscando estructurar un panorama de investigación completo. Las fases contempladas en el proyecto se pueden observar en la Figura 1.1 y son las siguientes:

- **Documentación:** Investigación de problemáticas de las micro, pequeñas y medianas empresas y la estructuración de éstas, analizando su impacto en el desarrollo empresarial.
- **Diagnóstico:** Es la primera fase para construir un plan de acción para la pequeña empresa manufacturera en estudio. Durante esta fase se realizó un diagnóstico de la forma como opera actualmente, su proceso de aprovisionamiento dentro de su cadena de suministro y su relación con los proveedores.
- **Análisis del diagnóstico:** Esta etapa requiere de la información obtenida en la etapa de diagnóstico, en la cual se identificaron las debilidades en el proceso de aprovisionamiento, producción y almacenamiento.

- **Revisión:** Se realizó una revisión de la literatura y herramientas útiles para solucionar el problema identificado en la etapa de análisis.
- **Elaboración de la propuesta de mejora.** Teniendo en cuenta el análisis realizado, se elaboró una propuesta de mejora que permita a la pequeña empresa manufacturera superar las debilidades que se hayan encontrado en su proceso, siendo ésta, una guía de la manera en que se implementará la propuesta de acuerdo con el diagnóstico realizado y la propuesta metodológica que se proponga.
- **Análisis de beneficios de la implementación** de un modelo de aprovisionamiento.
- **Conclusiones y recomendaciones,** control y evaluación del modelo propuesto, para una adecuada medición de resultados con la inclusión de esta nueva propuesta.

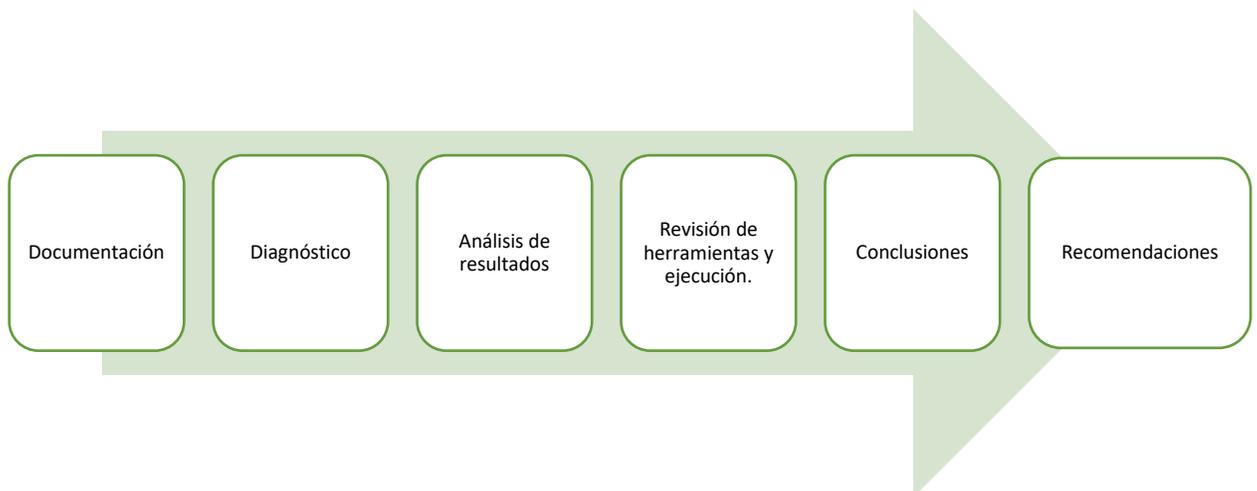


Figura 1.1 Fases para la ejecución del proyecto. (Elaboración propia)

1.2.4. DESPLIEGUE E IMPLEMENTACIÓN

La implementación del modelo de aprovisionamiento de insumos en la empresa manufacturera se encuentra entre las limitaciones del presente trabajo terminal de grado, por lo que se recomendará dentro del trabajo futuro.

1.3 MARCO TEÓRICO

La logística ha sido definida como la disciplina encargada de gestionar el flujo de materiales e información asociada, a lo largo de una cadena de suministro en un proceso productivo. Es una herramienta que facilita la interacción entre los procesos de gestión y los procesos de transformación. Esta disciplina se compone de algunos procesos internos, que facilitan el estudio y permiten tener cohesión entre todas las actividades que involucran las materias primas, su transformación y la producción de un bien o servicio que cumplirá las expectativas de los clientes (Ballou, R. H., 2004).

Estos procesos tienen la particularidad de alternarse con facilidad entre procesos de gestión y de transformación, por lo que resulta de vital importancia identificar de manera detallada el desarrollo de cada proceso. Estos procesos logísticos son: Gestión de proveedores, Gestión de compras, Gestión de inventarios, Gestión de almacenes y Gestión de distribución. Adicionalmente, en el estudio de las relaciones, se vincula un proceso transversal de servicio al cliente, que brinda la posibilidad de realizar procesos de evaluación a las gestiones de cada proceso interno.

Pero primero, y de acuerdo con la temática del presente trabajo, para comprender cómo establecer un modelo de aprovisionamiento de insumos, es fundamental tener claro el papel que desempeñan los inventarios dentro del funcionamiento de los procesos logísticos de una empresa, ya que son los encargados de almacenar, transportar, y entregar en óptimas condiciones los bienes y servicios, mientras se ejecutan esos procesos al menor costo posible. El objetivo de éstos es básicamente mejorar el desempeño a largo plazo de una empresa a través de la cadena de suministro, que, según Alarcón, D. R., Peña, D. L. y Rivera, F. J. (2016), se define como el conglomerado de pasos para un acertado intercambio de información y materiales en las diferentes etapas y proceso logísticos e involucrados con la compra de insumos y entrega de productos terminados al cliente final.

En el ámbito logístico, es importante caracterizar que existen dos modalidades de negocio relevantes: B2C (Business to customer) y B2B (Business to business). En el presente trabajo, nos enfocaremos en B2B, que se encarga de consolidar aspectos como la confianza y la aportación de valor en forma responsable mediante transferencia de información sólida y segmentada de gran importancia dentro de la cadena de suministro. Cuando se tiene una buena relación con el proveedor principal a través de la integración estratégica al final de la cadena, éste agrega un valor especial para el consumidor final. La importancia radica en el compromiso y la confianza que se tienen mutuamente, generando buenas relaciones comerciales que afectan positivamente el desempeño empresarial (Medina, D., et al., 2017).

Con el fin de evaluar las estrategias de aprovisionamiento vigentes en la empresa, se llevará a cabo la recopilación, registro y análisis de la información mediante dos fuentes principales: la información primaria que se generará directamente del levantamiento de procesos en la pequeña empresa y la información secundaria que será la relacionada con investigaciones similares. Esto permitirá que la formulación de las estrategias sea fundamentada con información concerniente e integral.

La información relevante para el análisis se centra en:

- Información empresarial
- Identificación y caracterización de la empresa
- Giro económico al que pertenece
- Procesos logísticos que realiza
- Utilización de modelos de aprovisionamiento en la actualidad
- Disposición para implementar nuevos modelos

1.3.1 INVENTARIOS

La eficiencia de la logística está ligada fuertemente al funcionamiento de los inventarios, ya que un manejo inadecuado de éstos supone entre varias consecuencias, la existencia de materia sobrante innecesaria (que genera sobrecostos) o faltante (que produce desconfianza al no lograr cumplir con una meta en el tiempo indicado). Esto provoca pérdidas y retrasos no solamente a la cadena de suministro, sino a la empresa como tal. Por lo tanto, el uso de estrategias que permitan ser resilientes a las necesidades de la empresa, y que generen una política de inventario sólida resulta siendo una urgencia de primera categoría.

En consecuencia, comprender qué es un inventario proporciona una perspectiva profunda del papel que desempeña en los procesos logísticos, su importancia y su impacto en los mismos. Además, guía a una visión de inventario evolucionada y fundamentada para lograr el éxito en la formulación de una política de control sobre éste y que cumpla con las expectativas del cliente, cómo menciona Ballou mientras define lo que es inventario:

“Es el proceso de planeación, instrumentación y control eficiente y efectivo del flujo y almacenamiento de materias primas, productos en proceso y terminados, así como del flujo de la información desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el propósito de cumplir con los requerimientos del cliente.” (Ballou, R. H., 2004)

No obstante, para llevar esto a cabo, es importante elaborar una planeación cuyo objetivo sea proyectar la cantidad de inventario de insumos, componentes o materia prima necesario para cumplir con la demanda reduciendo los costos de manejo de inventario. Por ejemplo, el Plan Maestro de Producción (MPS) es una de las herramientas de planeación de inventarios más útiles y ampliamente usadas a nivel mundial, que partiendo de la planificación de requerimientos de materiales, nos permite realizar la planeación de la producción teniendo en cuenta los diferentes factores que intervienen en el sistema como lo son el stock de seguridad requerido por la compañía, el tiempo entre pedidos o entre llegadas de las materias, el tamaño de lote de producción, entre otros factores que son determinantes a la hora de realizar esta planeación.

Otra solución al problema de planeación de producción es el empleo de un algoritmo que parte del estudio del proceso productivo, así como del análisis de los productos necesarios para la fabricación, teniendo en cuenta también, factores como: la demanda, los costos por inventario, por pedido o suministro, etc. y así se establece una función objetivo y un sistema de restricciones, para la optimización de los resultados que permitan encontrar las cantidades óptimas de material a requerir, por supuesto con el fin de satisfacer la demanda y minimizar el costo total de la gestión de inventarios.

1.3.2 FUNCIÓN DE INVENTARIO.

El sistema de inventarios recibe como insumos los materiales o materias primas que se almacenan para su disponibilidad controlando, al mismo tiempo, las entradas y salidas, tanto de las materias primas como del producto terminado. Uno de los objetivos centrales de los inventarios es impulsar la competitividad empresarial por medio de la disponibilidad de los materiales requeridos en el plazo de tiempo pactado para generar una mayor confianza en los clientes para la fidelización que genera permanencia e incremento de mercado (Parada, O., 2009).

Los objetivos de la gestión de inventario son:

1. Aumentar la rentabilidad corporativa a través de una mejor gestión de inventario
2. Predecir el impacto de las políticas corporativas en los niveles de inventario
3. Minimizar el costo total de las actividades logísticas mientras se cumplen los requisitos de servicio al cliente.

La gestión de inventario como componente dirige la progresión de la mercancía desde los fabricantes hasta el almacén y desde los centros de distribución hasta el punto de venta. Control de inventario significa una gestión bien organizada de materias primas y suministros, productos semielaborados y productos terminados.

1.3.3. PROCESOS LOGÍSTICOS

La industria se relaciona ampliamente con las actividades que implican la transformación de materias primas, con el fin de obtener satisfacer las necesidades de los clientes a través de nuevos productos. En esencia, la industria gestiona el flujo de materiales e información a lo largo de la cadena de suministro en un proceso productivo. En este sentido, la logística se presenta como una herramienta clave que facilita la gestión y transformación de estos materiales. Su composición depende de una serie de procesos internos que permiten comprender su naturaleza y garantizan la cohesión entre todas las actividades relacionadas con las materias primas, su modificación y la producción de bienes o servicios que cumplan con las expectativas de los clientes.

Los procesos logísticos fundamentales incluyen: la gestión de proveedores, la gestión de compras, la gestión de inventarios, la gestión de almacenes y la gestión de distribución. Además, en el estudio de estas relaciones, se incorpora un proceso transversal de servicio al cliente, el cual brinda la oportunidad de evaluar las distintas gestiones realizadas en cada proceso interno. Estos procesos tienden a involucrar bastantes puentes entre el campo gestión y el de transformación, por lo tanto, es importante identificar y describir detalladamente el desarrollo de cada uno de ellos.

Gestión de proveedores: Significa un proceso de acercamiento y comunicación con posibles proveedores de bienes o servicios necesarios para el alcance del objetivo de la empresa. Una vez se encuentre un buen proveedor se genera una contratación, acuerdos de pago, presupuestos y obligaciones de las dos partes.

Gestión de compras: Es un esquema que se utiliza cuando es necesario hacer una o varias compras (periódicas o no), en el que se establecen aspectos importantes de la misma, como los precios, las entregas, disponibilidad, calidad, y demás especificaciones. Generalmente vienen sustentadas con el análisis de inventario.

Gestión de inventarios: Se encarga de supervisar y controlar la cantidad de unidades disponibles de un producto, así como registrar costos y el flujo de mercancía. Es la que define en muchos casos la manera de actuar de otros procesos logísticos.

Gestión de almacenes: Aquella que supervisa el funcionamiento adecuado de un almacén, revisando que todos los aspectos que lo componen sean los suficientes y operen de manera óptima. Estos incluyen entre otros a: medios humanos y maquinaria de almacenaje y manipulación. Tiene como objetivo asegurar que el proceso de recepción, retirada, almacenamiento, recolección, embalaje y envío sea eficiente.

Gestión de distribución: Maneja los factores como lo son medios de transporte y humanos para que la entrega a los clientes o empresas sea oportuna y eficiente. De modo que la demanda se proporcione de forma completa.

1.3.4 COSTOS DE INVENTARIOS

La totalidad del costo que genera el inventario es la condensación del costo de distintos procesos. Muchos de ellos, si no todos, es necesario identificarlos individualmente, puesto que proporcionan información más detallada que representa entre varias cosas el porcentaje que cada proceso cuesta, las variables que se comprometen en cada uno y hasta puede proporcionar claves en la reducción de sus costos.

A continuación, se verán 6 tipos de costos de los cuales varios de ellos se consideran en el presente trabajo.

- **Costos generales**

Incluyen:

- Costos de supervisión.
- Gasto de gestión general del inventario.
- Costos de registro.
- Costos administrativos.

- **Costos unitarios**

Incluye (por cada unidad de inventario):

- Costos de producción.
- Costo de transporte.
- Costo de adquisición.

- **Costos de almacenamiento**

Incluye gastos relacionados a:

- Seguro de riesgos.
- Renta de almacén.
- Seguridad del almacén.
- Mantenimiento del almacén

- **Costos de pedir**

Incluye costos de las compras que se efectúan para la reposición de stock, como los gastos de:

- Comunicación con proveedores
- Envío de productos

- **Costos de alistar**

Incluye el gasto que supone el proceso de acondicionamiento que sufre un producto antes de ser enviado, como:

- Costos de empaquetado
- Costos de etiquetado.
- Costos de verificación de calidad.

- **Costos de escasez**

Incluye las pérdidas que representan la falta de stock a la hora de recibir un pedido, como:

- Pérdida de reputación o imagen de la empresa.
- Pérdida de venta.

Para el cálculo de estos costos, cada empresa tiene su formulación específica y métodos que muestren de forma oportuna determinados valores que sean requeridos. Sin embargo, es necesario buscar en fuentes especializadas para lograr llegar a un cálculo exitoso, como "Logística y Gestión de la Cadena de Suministro" de Martin Christopher.

1.3.5 POLÍTICAS DE INVENTARIO

Las políticas de inventario consisten en establecer un nivel de existencia de insumos, componentes o materia prima económicamente conveniente en las organizaciones. Las políticas van encaminadas a dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Cuándo realizar una solicitud de material?

- ¿En qué cantidades se debería realizar este reaprovisionamiento?
- ¿Cómo ejecutar una solicitud de reabastecimiento?

Las anteriores preguntas deberán contemplar el consumo del material, el precio de venta, su tipo y la capacidad de almacenaje disponible. (Gutiérrez, V., & Vidal, C. J., 2008).

1.3.6 TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE INVENTARIO

Las técnicas de control de inventario son métodos de organización determinados que ayudan a administrar y monitorear parámetros de operatividad para beneficio de una empresa. Las técnicas más conocidas son:

- Categorización ABC. El cual se abordará más adelante. (Apartado 1.3.7)
- Último en entrar, primero en salir (UEPS) y Primero en entrar, primero en salir (PEPS): Básicamente son métodos de control de inventario que registran la materia más nueva (en el caso del UEPS) o la más antigua (en el caso del PEPS) como la que se vendió primero. Se elige entre ellos dependiendo principalmente de los productos; si son perecederos, es ideal elegir el PEPS, de lo contrario, se puede elegir cualquiera de los dos.
- Seguimiento de lotes: Reúne a los productos en conjuntos grandes, llamados lotes, de manera que simplifica el proceso de inventario, el seguimiento se vuelve más general, funciona para productos complejos de registrar individualmente en el inventario.
- Existencias de seguridad: Es una cantidad determinada de productos sobrantes, que se mantienen almacenadas para un posible aumento de demanda, por lo tanto, ayuda a mitigar la volatilidad de desviación de ésta.

Estas técnicas son fundamentales para que cada asociación o empresa garantice el buen funcionamiento de la interacción de producción, reduzca el costo de pedido del stock, aproveche la cantidad de descuento, evite una situación prometedora en las transacciones, use y agilice el límite de la planta y reduzca el costo general. En consecuencia, se podría decir que el stock es inevitable y debe mantenerse en una cantidad adecuada (Nirmala, A., et al., 2022).

El uso de estos sistemas de inventario puede ser:

- Perpetuo: Utiliza una herramienta tecnológica que actualiza la base de datos en tiempo real, permitiendo la generación de informes útiles acerca del inventario y mayor control sobre el mismo. Sin embargo, el costo de implementación de este sistema es mucho mayor al periódico, por lo tanto, no es muy viable para empresas con pocos recursos, como las MiPyMEs.
- Periódico: Recuento físico de los movimientos de inventario cada cierto periodo de tiempo. Generalmente no requiere tecnología para su implementación, sin embargo, la incertidumbre de lo que sucede entre periodos baja su nivel de precisión y eficiencia. (TRADELOG, 2020)

Existen muchas otras técnicas que complementan la efectividad de las de control de inventario, y que de igual manera contribuyen a la fundamentación de procesos logísticos robustos en la cadena de suministro. Entre éstas encontramos: La implementación de tecnologías de pronóstico de la demanda (siguiente sección), el uso de tecnología de identificación por radiofrecuencia, la aplicación de modelos de reabastecimiento de inventario y la cantidad económica de pedido del punto de pedido (EOQ). De manera tanto conjunta como individual, estas técnicas permiten a las empresas optimizar costos de almacenamiento, prevenir materia faltante o sobrante y mantener los inventarios controlados. Implementar adecuadamente estas técnicas, puede mejorar la calidad de servicio al cliente, la confianza en la empresa y demás subsecuentes.

1.3.7 CATEGORIZACIÓN ABC

La gestión eficiente del inventario es de mucha utilidad para la cadena de suministro de una empresa, puesto que puede impactar significativamente en cuestiones como: reducción de costos, optimización del flujo de producción y por tanto aumento del nivel de satisfacción del cliente. Por consiguiente, el sistema ABC, que destaca como una herramienta fundamental para la optimización del inventario, hace uso de una categorización con el fin de priorizar aquellos productos que poseen un mayor impacto en la empresa.

El modelo de clasificación en tres categorías, A, B y C, se utiliza para categorizar los artículos en stock según su valor y relevancia para la empresa. Los productos clasificados como A son los de mayor valor e importancia, ya que tienen una alta demanda o frecuencia de uso. Los artículos en la categoría B se consideran de menor importancia en comparación con los de la categoría A, y finalmente, los artículos en la categoría C son aquellos con menor relevancia para la empresa. El propósito de esta clasificación es priorizar los artículos críticos para la operación diaria de la empresa (Macías, J., 2018). El análisis ABC busca dividir el inventario existente y enfocarse en los realmente críticos, los cuales se dividen en tres partes que consideran distintos factores como: valor monetario, volumen de ventas, demanda, rotación y rentabilidad. (Parada, O., 2009).

1.3.8 PRONÓSTICOS

Los pronósticos consisten en cálculos sustentados en el análisis de datos históricos, de la propensión estacional, patrones de demanda, y demás factores. Tienen el objetivo de estimar la cantidad necesaria de productos para ordenar en la próxima compra de modo que se mantenga el nivel de stock. Son fundamentales para la gestión de inventarios, asegurando niveles adecuados y evitando así la falta (que genera retrasos) o sobra innecesaria (que genera sobrecostos) de productos. Implementando algún modelo de pronóstico, las empresas pueden tomar decisiones informadas sobre producción, abastecimiento y distribución, optimizando los procesos logísticos de la cadena de suministro y beneficiando ampliamente a la empresa.

Existen varios modelos famosos que emplean acercamientos distintos para la realización del cálculo, entre ellos se encuentran:

- Suavización Exponencial: Mediante promedios ponderados, suaviza las variaciones en los datos históricos. Funciona bien con datos que posean tendencias por periodos.
- Modelos de Regresión: Establece una relación entre la demanda (variable dependiente) y variables independientes, como el tiempo, costo de compra, precio, entre otras. Son útiles para relacionar factores determinados.

- **Análisis de Series de Tiempo:** Se basa en encontrar un patrón en los datos históricos a la espera de que en el futuro sucedan de nuevo.
- **Modelos de Redes Neuronales:** Sistema de algoritmos con aprendizaje automático programado, que recoge datos históricos y genera pronósticos más precisos a medida que se entrena con más datos. Son especialmente útiles cuando los datos son muy dispersos y no siguen patrones tradicionales, sin embargo, la implementación de este modelo es costosa respecto a otros métodos.
- **Método del Promedio Móvil:** Realiza el cálculo y las predicciones subyacentes al promediar datos en durante un periodo de tiempo determinado. Es adecuado para datos que no poseen tendencias claras.

Los indicadores de desempeño que se contemplaron dentro del presente trabajo fueron:

- **MAPE:** Es el error porcentual absoluto medio, siendo un indicador del desempeño del pronóstico, su fórmula es la siguiente:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - Y_t^{\wedge}|}{n \cdot Y_t} \quad (1.1)$$

- **MAD:** Expresa exactitud en las mismas unidades que los datos, lo cual ayuda a conceptualizar la cantidad de error (Murillo, L. & Guerrero, C.,2016).

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - Y_t^{\wedge}|}{n} \quad (1.2)$$

- **MSD:** Una medida utilizada comúnmente de la exactitud de los valores ajustados de las series de tiempo. Los valores atípicos tienen mayor efecto en MSD que en MAD (Murillo, L. & Guerrero, C.,2016).

$$MSD = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - Y_t^{\wedge}|^2}{n} \quad (1.3)$$

En donde:

$Y_t = \text{Valor real.}$

$Y_t^{\wedge} = \text{Valor pronosticado.}$

$n = \text{Número de periodos.}$

1.3.9 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La programación de la producción tiene un impacto significativo dentro de una empresa. Lo que se busca es la planificación y organización de las actividades de producción para cumplir con los objetivos de la empresa, como la entrega puntual de los pedidos para incremento del nivel de servicio y la maximización de la eficiencia operativa. Los pasos para la realización y aplicación según Ortiz & Caicedo (2014) se describen a continuación:

1. **Definición del problema:** Esto se logra mediante la identificación y recolección de las restricciones del sistema de variables como niveles de inventario, ya que una adecuada programación de la producción eficiente ayuda a mantener niveles de inventario óptimos, evitando la acumulación excesiva de insumos, materia prima o componentes, lo que puede llevar a disminuir aquellos costos de almacenamiento innecesarios.
2. **Desarrollo de un modelo matemático:** a través de la identificación de un modelo que contemple las restricciones operativas vistas en el punto anterior, se debe buscar plasmar de forma lógica las restricciones, parámetros, variables de decisión de un programa óptimo de producción.
3. **Solución e implementación:** En este punto se debe validar el cumplimiento y satisfacción de la demanda de la empresa por medio de preguntas como ¿Es válida la solución?, de ser así se puede proceder con la implementación y aplicación del programa de producción que nos brinda el modelo. En caso contrario, se debe replantear o profundizar en el objetivo que se trata de optimizar y las restricciones que se buscan satisfacer.

Una programación ineficiente puede llevar a retrasos en la entrega de los productos, lo que puede afectar la satisfacción del cliente y la credibilidad de la empresa ante sus clientes. Por el contrario, una programación eficiente garantiza una producción y entrega oportuna, lo que contribuye a la fidelización de los clientes, aumento de niveles de servicio y al crecimiento o perdurabilidad de la empresa en el tiempo.

1.3.10 PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS)

En cualquier empresa, es esencial satisfacer la demanda de los clientes conforme a los criterios establecidos de calidad y tiempo, evitando excesos en la producción y gastos innecesarios. Esto se vuelve crucial para la supervivencia y el crecimiento de la empresa. Por lo tanto, la creación de un plan operativo ajustado al tiempo real que la empresa necesita para responder al volumen de productos o servicios se convierte en una medida indispensable y beneficiosa.

En este contexto, el uso de la estrategia de Plan Maestro de Producción (MPS, por sus siglas en inglés Master Production Scheduling) resulta beneficioso. Esta estrategia se enfoca en mejorar los niveles de cumplimiento mediante un plan minuciosamente diseñado que administra la producción y garantiza el uso eficiente de los recursos. Además, el PMP contribuye a la generalización y organización de procesos entre las partes administrativas y operativas, mejorando el control de fechas de recepción y producción de materia prima.

“Permite a la empresa tomar decisiones respecto a su producción con un costo mínimo, considerando la naturaleza de sus procesos y proporcionando información útil para el diseño posterior de un MRP”. (Zotelo,2017)

La estrategia de MPS consta de una serie de pasos sofisticados de análisis y procesamiento de información con el objetivo de optimizar su viabilidad, por ejemplo, para Paiz, A 2023, las fases de estudio para implementación asertiva de un PMP se dividen en 12 componentes clave:

- Revisión documental: Recopila toda la documentación que determine la gestión empresarial, normalmente proveniente del conocimiento de los ingenieros encargados de la producción o de softwares de gestión, como el ERP.
- Identificación de restricciones: Se establecen criterios de limitación.

- Cálculo de bases para la planificación: Se abordan las variables de planificación.
- Revisión de datos para definir las condiciones de planificación: Corroborar la información veraz y actualizarla de ser necesario.
- Mapeo de demanda: Se recopila información relacionada a las ventas históricas, se organiza y analiza en búsqueda del mejor método de planificación.
- Clasificación de artículos a planificar: Se categorizan artículos dependiendo de su importancia para la empresa, con métodos como el ABC.
- Revisión de datos para definir las condiciones de planificación: Se rectifica la rotación y demanda de cada producto.
- Creación de la herramienta de MPS: Aplicación de toda la información útil, parámetros y restricciones para la creación del Plan Maestro de Producción.
- Pruebas de herramienta y medición de porcentaje de error: Se verifican los resultados obtenidos y se mejoran de ser necesario.
- Corrida de MPS en vivo: Ejecución del MPS como proceso oficial de la empresa, de ser posible.
- Identificación de responsabilidades: Se definen las responsabilidades para llevar a cabo el MPS de forma ideal.
- Creación de indicadores: Seguimiento del desempeño del MPS aplicado.

Estos pasos, aunque son adaptables a cambios, aseguran que la estrategia de MPS se implemente correctamente y los recursos de la empresa se utilicen de manera eficiente, reduciendo costos de inactividad, gastos de inventario, previniendo la mano de obra directa necesaria, cumpliendo con los tiempos de entrega requeridos y minimizando posibles interrupciones y pérdidas por obsolescencia. Esto mejora notablemente la confiabilidad de la entrega, la organización de inventarios y proporciona información suficiente para una coordinación sostenible entre los diferentes departamentos de una empresa. Por ejemplo, en el caso de su aplicación para una empresa textil realizada por Cossío, (2018), este determina que: La confección del MPS y su plan aproximado de capacidad permitió identificar las cantidades a producir en las semanas planificadas, controlar la recepción de pedidos de los clientes sobre la base de la capacidad del proceso, así como, los niveles de inventarios. (Cossío, 2018)

1.3.11 LISTA DE MATERIALES

La lista de materiales un documento que busca enumerar y describir todos los insumos, componentes y materiales necesarios para construir un producto terminado. Su objetivo principal es proporcionar una lista detallada incluyendo cantidades, descripciones y especificaciones técnicas. Esto facilita la planificación, la adquisición de materiales y la gestión de inventario (Quispe, A., 2019). Es conocido también como BOM (Bill of materials) o explosión de materiales para determinar la estructura de un producto, el objetivo principal es proporcionar una lista completa y detallada de todos los materiales necesarios para fabricar un producto. Esta información es esencial para la planificación de la producción, la gestión de inventario y la programación de la producción (Miño, G., et al., 2015). Es empleado también para la planeación de requerimiento de materiales (MRP), que es un sistema de planificación y control de inventario que ayuda a determinar cuánto material se necesita y cuándo se necesita.

Es de gran utilidad en la fabricación de productos, ya que permite tener un control preciso sobre los materiales necesarios y su disponibilidad. Además de facilitar la gestión de materiales, también es útil para estimar costos, realizar seguimiento de la producción y planificar el cronograma de trabajo. Al contar con una lista completa y detallada de los componentes, se puede calcular con mayor precisión los costos involucrados y asegurar que todos los elementos necesarios estén disponibles en el momento adecuado.

1.3.12 PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES (MRP)

La planificación de requerimiento de materiales, (MRP, por sus siglas en inglés Material Requirement Planning) busca planificar las actividades de fabricación, compra y entrega ayudando a mantener los niveles de inventario adecuados. Busca llevar un control de la cantidad de material que se compra o fabrica, sus cantidades para satisfacer la demanda de los clientes al menor costo posible. Un sistema MRP debe cumplir estos tres objetivos:

- Asegurar que los materiales estén disponibles para la producción y los productos estén disponibles para su entrega a los clientes.

- Mantener los niveles de stocks de material y de producto terminado lo antes posible.
- Planificar actividades de fabricación, órdenes de entrega y compras.

Este método cuenta con distintas variables importantes que generan un pronóstico detallado y firme, sin embargo, algunas de ellas destacan más por su utilidad, por ejemplo: El inventario disponible, Stock o inventario de seguridad, Tiempos de entrega (Lead time), Recepciones programadas. Elementalmente se usan para poder hallar las necesidades netas que son las necesidades brutas más el stock de seguridad menos el inventario disponible del período anterior menos las recepciones programadas y de este modo lograr lanzar una orden específica.

La idea principal de MRP es el asegurar tener a la mano los recursos indicados para fabricar un producto antes de que se necesitaran más, concepto abarcado primordialmente desde la década de 1960, cuando el ingeniero Joseph Orlicky creó una versión desarrollada de MRP, difundiendo así su popularidad, sustento y versatilidad por todo el mundo, posteriormente mejorada por Oliver Wight en el 83 (MRP II), el cual incluyó horas de trabajo del empleado y de maquinaria para mayor precisión, sin embargo problemas mucho más profundos y complejos se involucran en este sistema, como la relación numérica entre capacidad, dimensionamiento de lotes y plazos de entrega, para la cual es necesario un fundamento matemático, que ni el MRP II junto al ERP tienen en cuenta. El MRP 2 no puede estimar los tiempos de espera y se los deja como entrada al usuario, se ignora el MCT (manufacturing critical-path time) que determina cuándo debe comenzar la producción y el dimensionamiento de lote los altera. En resumen, el modelo a pesar de las integraciones que han venido contribuyendo a su perfeccionamiento, posee todavía una descoordinación y un déficit de funcionalidad significativo que dificulta la rentabilidad del usuario (Ericksen, P., Stoflet, N. & Suri, R., 2007).

La importancia e insistencia en la mejora del MRP recae mucho en los requerimientos que satisface, los cuales se han venido mencionando anteriormente, pero también en los costos que acarrearán los varios problemas logísticos de inventario sobre la planificación y control de procesos industriales, por tanto para las empresas se convierte en necesidad utilizar un sistema de gestión organizado, desde el clásico modelo MRP, el cual planifica las necesidades netas de los componentes que conforman un artículo terminado, hasta variaciones asociadas a éste como el MRP II o el ERP. Sumado a que, debido a la alta competencia, su uso es

netamente imperativo a nivel industrial, tanto en PyMEs como grandes empresas, ya que, implementado correctamente, podría evitar retrasos, desperdicios, gastos y desorganización al crear y vender sus productos.

El hecho de que el modelo MRP constituye una gran serie de problemáticas para abordar y solucionar y puesto que no es posible dar respuesta general inmediatamente con los softwares y la tecnología a mano, se idea una segmentación para dar respuestas parciales a casos específicos dentro de las variaciones en necesidades requeridas por las empresas a nivel global. Sin embargo, este trabajo aborda la problemática desde la perspectiva de una pequeña empresa manufacturera que vende productos de inyección a empresas más grandes.

El MRP en contextos de incertidumbre suele ser uno de los temas más importantes dentro de la gestión de inventario y cadena de suministro, en donde las compañías tratan en la medida de lo posible de satisfacer los deseos y demandas de los clientes y el costo de control. Pues bien es cierto que es necesario reducir factores aleatorios, contar con métodos que sean resilientes a las incertidumbres también los son; y puede generar respuestas óptimas a qué cantidad y en qué momentos es necesario aprovisionarse; cuánto, cuándo y qué producto manufacturar, y qué demandas satisfacer con qué productos. Se determina entonces que, con la expansión de la cadena de suministro, la planeación estratégica de posicionamiento protagoniza un rol importante, y que aún más, cuando factores como el uso de almacenamiento por seguridad hacen gastos que desmejoran la calidad de satisfacción al cliente (Rizad Md Sapry, H., et al., 2018).

1.3.13 DESARROLLO CONCEPTUAL DEL MODELO

El modelo que se propone utilizar para el presente trabajo, parte de uno de planeación de la producción de un artículo; este modelo se encuentra disponible en casi cualquier libro de texto sobre el tema, y se conforma por ecuaciones como

$$a_{t-1} + x_t - d_t = a_t \quad (1.4)$$

Las que indican que para un período t , el almacenamiento del artículo que proviene del periodo anterior a_{t-1} , más la producción de dicho artículo en el presente periodo x_t , menos la demanda

del artículo en el mismo d_t , constituyen el almacenamiento a_t con el que termina este periodo y pasa al siguiente. (Martínez, I., et al., 2014)

Reordenando términos, las ecuaciones anteriores conocidas como *ecuaciones de continuidad*, quedan con la forma:

$$a_{t-1} - a_t + x_t = d_t \quad (1.5)$$

Y, en conjunto para todo el horizonte de planeación, garantizan la satisfacción de la demanda del artículo para cada periodo del horizonte.

El costo involucrado en el proceso se expresa como:

$$Z = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_Tx_T + m_1a_1 + m_2a_2 + \dots + m_Ta_T = \sum_{t=1}^T(p_t x_t + m_t a_t) \quad (1.6)$$

Donde p_t y m_t , costos unitarios de producción y almacenamiento en el período t .

Con la expresión para Z como función objetivo y las ecuaciones de continuidad como restricciones, se construye un modelo de programación lineal para minimizar el costo del proceso.

La adaptación de este modelo a las condiciones específicas del presente trabajo requiere de su expansión al manejo de varios artículos de manera simultánea y, de conformidad con las listas de materiales (BOM) y la planificación de requerimientos de estos (MRP), incluir también en el proceso a las componentes e insumos.

Para conseguir lo anterior, se introduce el concepto de niveles, con la idea gráfica de una lista de materiales. Por ejemplo, el de la producción de artículos, correspondería al nivel 1; el de la producción de componentes sería el nivel 2 y el de los insumos el nivel 3. El número de niveles puede ser tan grande como se requiera, pero con la intención de que se conserve un esquema similar para cada uno de ellos.

Considerando que la información de entrada más importante al modelo es la demanda de cada uno de los artículos en cada periodo del horizonte de planeación, se decidió iniciar el análisis en el nivel 1, el de los artículos.

Para ello, se emplean las siguientes notaciones y definiciones:

$Dem1_{it}, Prod1_{it}, Alm1_{it}$: unidades del artículo i demandadas, producidas y almacenadas, respectivamente, en el periodo t .

Con excepción de las unidades demandadas, que son parámetros, las producidas y las almacenadas son variables del modelo y su valor se determina como parte de su solución.

Los términos anteriores deben cumplir con la continuidad:

$$Alm1_{it-1} - Alm1_{it} + Prod1_{it} = Dem1_{it} \quad \forall i, t \quad (1.7)$$

Como $Alm1_{it} \geq 0$, entonces, sin importar cuánto se tenga almacenado del periodo anterior ni cuánto se produzca en el actual, siempre habrá lo suficiente para satisfacer la demanda del periodo actual. El uso del número 1 en la notación de los términos anteriores, indica el nivel al que pertenecen.

Los costos en contraposición son los de producción, almacenamiento (manejo y capital) y los de renta del espacio de almacenamiento. No se incluyen costos de pedido. En producción se consideran costos por periodo variables, para explotar la tendencia a producir en periodos con menores costos. En almacenamiento (manejo y capital), se tiene la tendencia a mantener bajos volúmenes en existencia o bien, durante lapsos cortos.

En renta del espacio, como el periodo con mayor volumen de almacenamiento utilizado es el que establece el costo, la tendencia es obtener una distribución uniforme del volumen almacenado. Este costo no se considera en el modelo, pero de hacerlo, no se incluiría como tal en la función objetivo, sino como una restricción de almacenamiento, que puede variarse de corrida a corrida. Con base en lo anterior, se introducen los términos siguientes:

$CPr1_{it}$ y $CAlm1_{it}$: costos de producción y almacenamiento del artículo i en el periodo t .

El costo de producción señalado comprende estrictamente lo relativo a las tareas de fabricación, sin incluir los costos de los componentes o insumos que los integran, cuyo

tratamiento se lleva a cabo en los niveles inferiores siguientes. Aunque los insumos no se producen, el costo de producción puede aplicarse, en su caso, a su adquisición. El costo de almacenamiento (manejo y capital), contempla lo relativo a su manejo, pérdidas, roturas, robo, seguridad, etc., así como los intereses perdidos sobre el capital inmovilizado.

$VU1_i$ y $Val1_i$: volumen y valor unitarios del artículo i .

$InvSeg1_i$: Inventario de seguridad del artículo i , en porcentaje de la demanda.

Los tres conceptos anteriores son parámetros. El volumen y el valor unitario del artículo permitirían ajustar el almacenamiento a la capacidad de la infraestructura disponible y al monto del capital que se desee mantener inmovilizado en inventarios. Por su parte, el inventario de seguridad introduciría una ligera modificación en la ecuación de continuidad:

$$Alm1_{it-1} - Alm1_{it} + Prod1_{it} = Dem1_{it}(1 + InvSeg1_i) \quad \forall i, t \quad (1.8)$$

De esta manera, los costos de producción y almacenamiento de todos los artículos en todos los periodos, como parte de una función objetivo, quedan como sigue:

$$Z_1 = \sum_i^I \sum_t^T (CPr1_{it} * Prod1_{it} + CAlm1_{it} * Alm1_{it}) \quad (1.9)$$

con $i = 1, 2, \dots, I$ $t = 1, 2, \dots, T$ I : número de artículos T : número de periodos

Para las producciones anteriores, los términos siguientes permiten establecer una conexión entre niveles:

$LeadT1_i$: tiempo de producción del artículo i , en número de periodos. Parámetro

$CoefT1_{it}$: coeficiente técnico; indica el número de unidades del componente j requeridas por unidad del artículo i .

Como la producción del artículo i requiere de un tiempo $LeadT1_i$ para su realización, los componentes que lo conforman deben estar disponibles un lapso igual a $LeadT1_i$, antes del correspondiente periodo de producción.

De esta manera, la conexión con el siguiente nivel se consigue a través de:

$Dem2_{jt} = \sum_i^I (Prod1_{it+LeadT1_i} * CoefT1_{ij})$: número de unidades de la componente j requeridas en t para todos los artículos que se producirán en los periodos $t + LeadT1_i$ según cada i . Es una variable que depende de las $Prod1_{it}$ del nivel 1, que aplica como “parámetro” en el nivel 2)

Se observa entonces que la fabricación de un determinado artículo en cada uno de los periodos del horizonte de planeación genera una demanda *derivada* de sus diversas componentes.

Establecida la conexión, el tratamiento en el nivel 2 es similar al del nivel 1, con las adaptaciones requeridas. Las variables y parámetros del nivel 2 tienen notación y definición similares a los del nivel 1:

$Dem2_{jt}, Prod2_{jt}, Alm2_{jt}$: unidades de la componente j demandadas, producidas y almacenadas, respectivamente, en el periodo t .

A diferencia de los artículos en el nivel 1, en este caso, las unidades demandadas, producidas y almacenadas son todas variables del modelo y su valor se obtiene como parte de su solución.

Las ecuaciones de continuidad para este caso se expresan como:

$$Alm2_{jt-1} - Alm2_{jt} + Prod2_{jt} = Dem2_{jt} \quad \forall j, t \quad (1.10)$$

A su vez, los costos de producción y almacenamiento de componentes del nivel 2 quedan:

$$Z_2 = \sum_j^J \sum_t^T (CPr2_{jt} * Prod2_{jt} + CAlm2_{jt} * Alm2_{jt}) \quad (1.11)$$

con $j = 1, 2, \dots, J$ $t = 1, 2, \dots, T$ J : número de componentes T : número de periodos

Una diferencia sustancial entre niveles es la de que los artículos se producen, no se adquieren; en tanto que los insumos se adquieren, no se producen.

Para el nivel 3, insumos, la propuesta relativa a los insumos es similar a las anteriores, con las adaptaciones correspondientes. En resumen, se propone el siguiente modelo:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (1.12)$$

$$Z_1 = \sum_i^I \sum_t^T (CPr1_{it} * Prod1_{it} + CAlm1_{it} * Alm1_{it}) \quad (1.13)$$

$$Z_2 = \sum_j^J \sum_t^T (CPr2_{jt} * Prod2_{jt} + CAlm2_{jt} * Alm2_{jt}) \quad (1.14)$$

$$Z_3 = \sum_k^K \sum_t^T (CPr3_{kt} * Prod3_{kt} + CAlm3_{kt} * Alm3_{kt}) \quad (1.15)$$

Sujeto a:

$$Alm1_{it-1} - Alm1_{it} + Prod1_{it} = Dem1_{it} \quad \forall i, t \quad (1.16)$$

$$Alm2_{jt-1} - Alm2_{jt} + Prod2_{jt} = Dem2_{jt} \quad \forall j, t \quad (1.17)$$

$$Alm3_{kt-1} - Alm3_{kt} + Prod3_{kt} = Dem3_{kt} \quad \forall k, t \quad (1.18)$$

$$Dem2_{jt} = \sum_i^I (Prod1_{it+LeadT1_i} * CoefT1_{ij}) \quad \forall j, t \quad (1.19)$$

$$Dem3_{kt} = \sum_j^J (Prod2_{jt+LeadT2_j} * CoefT2_{jk}) \quad \forall j, t \quad (1.20)$$

$$Dem1_{it}, Dem2_{jt}, Dem3_{kt} \geq 0 \quad \forall i, j, k, t \quad (1.21)$$

$$Alm1_{it}, Alm2_{jt}, Alm3_{kt} \geq 0 \quad \forall i, j, k, t \quad (1.22)$$

$$Prod1_{it}, Prod2_{jt}, Prod3_{kt} \geq 0 \quad \forall i, j, k, t \quad (1.23)$$

con $i = 1, 2, \dots, I$ $j = 1, 2, \dots, J$ $k = 1, 2, \dots, K$ $t = 1, \dots, T$

I : número de artículos J : número de componentes

K : número de insumos T : número de periodos

Donde:

$Dem1_{it}, Prod1_{it}, Alm1_{it}$: unidades del artículo i demandadas, producidas y almacenadas, respectivamente, en el periodo t .

$CPr1_{it}$ y $CAlm1_{it}$: costos de producción y almacenamiento del artículo i en el periodo t .

$LeadT1_i$: tiempo de producción del artículo i , en número de periodos.

$CoefT1_{it}$: coeficiente técnico; indica el número de unidades del componente j requeridas por unidad del artículo i .

$Dem2_{jt} = \sum_i^I (Prod1_{it+LeadT1_i} * CoefT1_{ij})$: número de unidades de la componente j requeridas en t para todos los artículos que se producirán en los periodos $t + LeadT1_i$ según cada i .

La notación y definición de términos es similar para los siguientes niveles. En términos generales, el modelo comprende lo siguiente: Una función objetivo que engloba los costos de producción o de adquisición, en su caso, más los de almacenamiento de todos los artículos, componentes e insumos. Las restricciones incluyen las ecuaciones de continuidad que relacionan la producción, el almacenamiento y la demanda entre los periodos del horizonte de planeación y la demanda derivada de las componentes y los insumos generadas de la producción de artículos y componentes respectivamente.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La industria es el conjunto de procesos y actividades que tienen como finalidad transformar las materias primas en productos elaborados, de forma masiva. Existen diferentes tipos de industrias, según sean los productos que fabrican. Este sector comprende todas las actividades económicas de un país relacionadas con la transformación de materias primas y otros tipos de bienes o mercancías, para la elaboración de nuevos productos, es decir, reúne las actividades transformadoras de esas materias primas, generadoras de un valor agregado.

La empresa que se describe a continuación es una manufacturera dedicada a la inyección de productos plásticos, metalmecánica y troquelados de productos metálicos. Cuenta con colaboradores capacitados y comprometidos en generar productos de alta calidad con procesos asegurados, que fortalezcan los vínculos con sus clientes, y generen crecimiento en la organización y en los hogares de los colaboradores. Fue fundada en 1979 con el objetivo inicial de prestar servicios de fabricación de repuestos y herramientas para el mantenimiento industrial en varias industrias, sin embargo, su cliente principal buscaba directamente los productos generados de sus procesos de inyección. Con esto, la empresa adoptó como propias las normas de calidad ISO 9001 aplicándolas directamente a sus procesos de inyección y para 1998 abrieron el departamento de inyección de plásticos que actualmente es su actividad principal. Actualmente cuenta con 17 empleados por contrato directo y 29 empleados indirectos.

2.1. PRODUCTOS TERMINADOS

La inyección de productos plásticos requiere de diferentes procesos de producción y calidad según la composición, precisión, durabilidad y resistencia de la pieza que se está fabricando. Entre los productos terminados principales de esta compañía se encuentran algunos interruptores, contenedores alimenticios, entre otros debido a la versatilidad que pueden llegar a ofrecer las máquinas, con tan solo tener los moldes de producción, permite la producción de una amplia variedad de productos, adaptándose a las necesidades y demandas de diferentes industrias. La calidad, eficiencia y capacidad de innovación son aspectos clave para el éxito de una empresa de inyección en el mercado. A continuación, se muestra en las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 los productos terminados de la empresa en cuestión.



Figura 2.1 Producto terminado 1.



Figura 2.2 Producto terminado 2.



Figura 2.3 Producto terminado 3.

2.2. GESTIÓN DE LOS PROCESOS ACTUALES

GESTIÓN DE PROVEEDORES

En la actualidad, la empresa no adelanta procesos logísticos con proveedores, en algunos casos son los clientes los encargados de establecer los acuerdos comerciales con los proveedores, de acuerdo con los parámetros que se consideren adecuados en cada una de las empresas. Sin embargo, se debe destacar que, para esta empresa los factores relevantes son el cumplimiento en términos de plazos y calidad de las materias primas, que permitan adelantar sus actividades de manera adecuada y dando cumplimiento a los plazos establecidos.

GESTIÓN DE COMPRAS

El proceso de compras se maneja según especificaciones de la orden de compra que es recibida por la empresa vía email, generalmente el día siguiente que se recibe la orden de compra se hace el alistamiento de la materia prima, primeramente, se hace una verificación del almacenaje generando un documento de remisión y una contabilización vía Excel del día que llegó el material, código y cantidad.

GESTIÓN DE INVENTARIOS

Los inventarios de mercancía se manejan actualmente con un stock máximo del 5% de la producción total o su unidad de empaque cercana a éste, el stock depende de la importancia del producto en el proceso, de su consumo promedio mensual, del tiempo de entrega del proveedor, de la regularidad del pedido. El proceso actual se puede observar en la Figura 2.4, este inventario de seguridad es controlado a su vez, por un software que indica en verde un óptimo de inventario de la materia prima, amarillo es alerta y rojo desabastecido. La empresa también maneja un stock de bolsas y cajas regularmente y no contabilizadas.

PROCESO LOGÍSTICO ACTUAL DE INVENTARIO

Responsable: Jefe de Producción

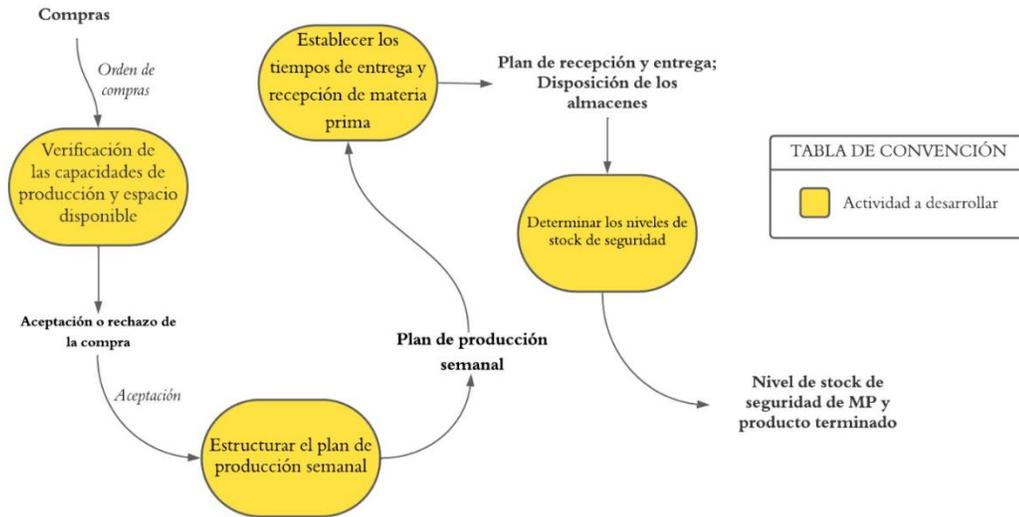


Figura 2.4. *Proceso actual de gestión de inventarios. (Elaboración propia)*

GESTIÓN DE ALMACENES

Únicamente se cuenta con un almacén externo, en éste se pueden manejar máximo 32 Toneladas de Materia Prima y muchas cajas no cuantificadas de pigmentos en inventario, proceso descrito en la Figura 2.5.

PROCESO LOGÍSTICO ACTUAL DE ALMACENES

Responsables: Jefe de Producción y Proveedor

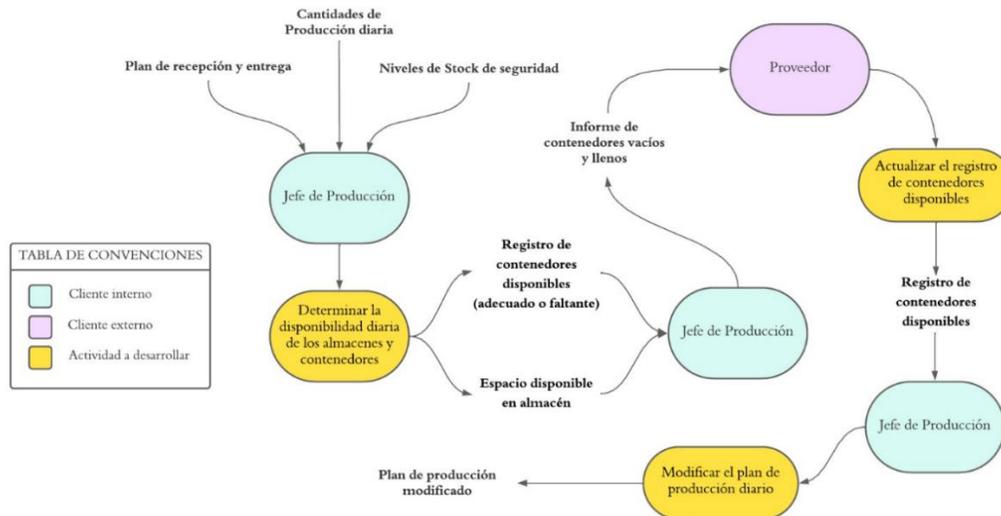


Figura 2.5. *Proceso actual de gestión de almacenes. (Elaboración propia)*

GESTIÓN DE DISTRIBUCIÓN

Los productos son distribuidos a mayoristas y minoristas en diferentes cantidades y con diferentes periodicidades, generalmente la mercancía es recogida por los contratantes cuando ya está totalmente procesada, transformada, empacada o con las condiciones preestablecidas con estos. Son programadas las entregas de productos según fechas establecidas con el cliente.

LOGÍSTICA DE SERVICIO AL CLIENTE

Este proceso se describe en la figura 2.6.

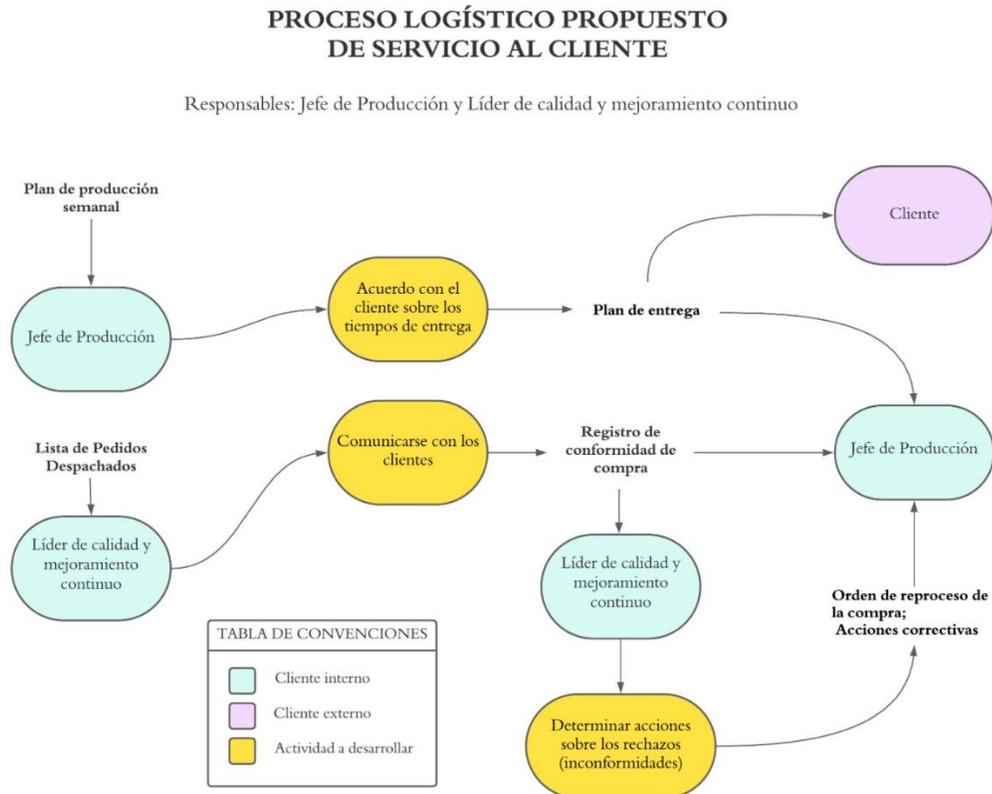


Figura 2.6 Proceso actual de servicio al cliente. (Elaboración propia)

2.3. ANÁLISIS DE COSTOS

En el siguiente apartado se busca aplicar un análisis de costos a la empresa estudio, para integrar los mismos posteriormente en el modelo de programación lineal. Identificar, medir

y controlar los costos en una empresa nos permite cuantificar las diferentes estrategias de inventario a implementar.

COSTOS GENERALES

Dentro de los costos generales a evaluar para el análisis de costos, se deben tener en cuenta los gastos y costos requeridos para el funcionamiento de las actividades de la organización, pero que no afectan directamente al producto:

- Nómina
- Servicios, Incluye los servicios en los que incurre la empresa para ejecutar sus actividades.
- Mantenimiento de bodegas
- Hace referencia a todos los gastos en los que incurre una empresa para realizar limpieza y mantenimiento a la zona de bodega de los distintos materiales.

COSTOS UNITARIOS

Los costos unitarios tanto de los productos como de los subproductos, se obtuvieron los 3 costos que forman parte del coste unitario, que son: materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación.

- Materia prima es todo elemento que se transforma e incorpora en un producto final.
- Mano de obra es el esfuerzo tanto físico como mental que una persona realiza durante el proceso de elaboración de un bien.
- Costos indirectos de fabricación son costos que no se pueden asignar directa. Entre estos se destacan los servicios públicos, las depreciaciones, o la materia prima y mano de obra indirectas.

COSTOS DE ALMACENAMIENTO

Dentro de los costos de mantenimiento se tomó en cuenta arriendo, sistema de seguridad, aseo, iluminación y útiles de aseo. El volumen que éste ocupa y las unidades que

puede tener en el espacio. El espacio generalmente se considera limitado o hay empresas logísticas que ofrecen servicios tercerizados de espacios y administración del producto que ayuda a reducir estas restricciones de espacio y por ende almacenamiento de producto terminado o materia prima dentro de las instalaciones.

COSTOS DE PEDIR

El costo de pedir se evaluó a partir de las dos categorías de materiales que se manejan, los polímeros por lonas y los insumos para los ensambles eléctricos junto con las bolsas y cajas para almacenar. Como costos fijos se tomaron la realización del pedido, desde los cálculos de los requerimientos realizados por el gerente y una carga fija por la utilización del vehículo de carga. En cuanto a los costos variables, éstos tienen en cuenta la cantidad de materia que se va a transportar; esto es válido únicamente para el caso de los polímeros, ya que los insumos no representan un peso ni un volumen significativo y su valor no es muy alto. El costo total fijo de pedir para este caso es de \$2949.

COSTOS DE ALISTAR

La empresa contempla en este rubro también el tiempo invertido por los facilitadores y el supervisor dedicados para el alistamiento de producción.

COSTO DE ESCASEZ

El costo de escasez aplica cuando se pierden ventas por falta de inventario o existencias del producto dentro del almacén, en el proceso de inyección se realiza un control para la separación de las piezas no conformes de las conformes de manera simultánea con los procesos de producción de las inyectoras. Este proceso es ejecutado por las operarias, quienes se encargan de retirar los excesos y clasificar las piezas.

El criterio de las operarias dependerá de la experiencia de cada una de ellas, verificando errores como burbujas, material frío, golpeaduras, distribución no homogénea o escasez, entre otros. Debido a esto, en ocasiones la falta de experiencia en los procesos y en la identificación de productos conformes, permita el paso de piezas no conformes y esto ocasione una devolución de los pedidos.

Para la empresa resulta importante este problema porque debe procurar la elaboración de estos productos, sin necesidad de repetirlos. Puesto que se generarán desajustes en los programas de planeación de la producción, implicando mayores costos de producción y el riesgo de incumplimiento de los compromisos con los clientes.

La supervisión en estos procesos es moderada, por lo que no es común identificar productos no conformes durante el empaque y almacenaje de procesos. En los procesos de revisión de materiales alrededor del 3% de las piezas son rechazadas en el turno. También se tiene el indicador de devolución de pedidos por inconformidades es cerca del 10%, que equivale a 2 pedidos al mes aproximadamente. Gracias a esto observamos que, aunque las devoluciones generan demoras en el cumplimiento de los requerimientos, este problema es rápidamente satisfecho por el alto volumen de producción por turno y el bajo índice de productos no conformes. Por política de la empresa, esta empresa asume un costo de escasez por unidad de producto equivalente al 40% del costo unitario.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL MODELO DE APROVISIONAMIENTO DE INSUMOS Y COMPONENTES

Una vez realizada la revisión literaria y la construcción del marco teórico del presente trabajo y después de revisar los procesos logísticos de la empresa se procede con el diagnóstico y detección de oportunidades de mejora. En este capítulo se presenta el desarrollo y ejecución de un modelo de gestión y aprovisionamiento.

3.1. PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Como se mencionó previamente, la empresa para la que se realizó el estudio es una manufacturera dedicada a la inyección de productos plásticos, metalmecánica y troquelados de productos metálicos. La compañía cuenta con 187 artículos también conocidos por sus siglas en inglés como SKUs (Stock Keeping Units), de los cuales se tiene un histórico de ventas de los últimos cinco años. Con la data brindada se realizaron diferentes análisis; uno de ellos con el volumen de salida, pero evaluando las necesidades empresariales se detectó que 2 de sus clientes principales cuentan con más del 89% del volumen de salida. Sin embargo, su nivel de servicio no supera el 90% lo que genera inconformidades y penalidades. Fue por esto que la selección de los productos tipo A, B y C se realizó por empresa, para poder darle prioridad a las necesidades de los clientes más importantes como se puede observar. En la Figura 3.1 se puede observar la cantidad de SKUs (Artículos) A, B y C vendidas, tanto en forma global, es decir, con todos los clientes a los cuales la compañía ha realizado venta de sus productos, como para las empresas 1 y 2 las más importantes, durante los años del 2015 al 2020.

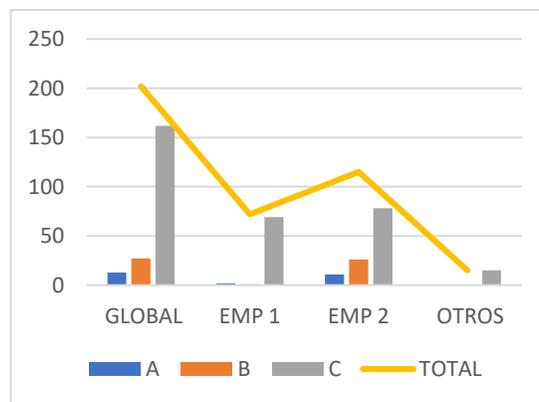


Figura 3.1 Análisis ABC Global y por empresas. (Elaboración propia).

En la Figura 3.2 se pueden observar los SKUs que componen finalmente la clasificación ABC para la pequeña empresa manufacturera, considerando la participación de los elementos SKUs tipo A, B y C de sus clientes principales y en la tabla 3.1 se puede observar su participación porcentual.

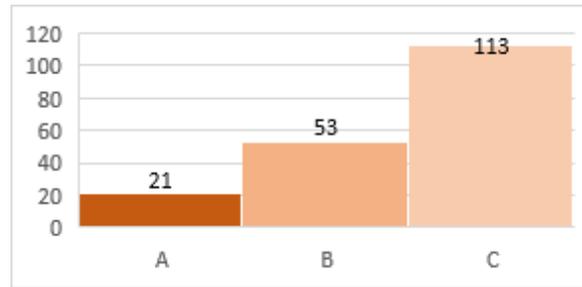


Figura 3.2 Consolidado ABC empresarial. (Elaboración propia)

Tabla 3.1 Resultados de la clasificación ABC. (Elaboración propia)

Tipo	Cantidad de artículos	Volumen de ventas (%)
A	21	79.50%
B	53	18.90%
C	113	1.60%
TOTAL	187	100%

PRONOSTICO DE LA DEMANDA

El propósito de este apartado estuvo dirigido a determinar la demanda de los productos seleccionados previamente (21 productos de clasificación tipo A), los cuales fueron sometidos a 6 diferentes modelos de pronósticos para determinar el mejor (ejemplo para el artículo 15 se puede observar en la tabla 3.2), bajo criterios estadísticos de medición de errores más comunes con la ayuda del software Minitab como se muestra en la figura 3.3. Esto, con el objetivo de garantizar un nivel óptimo de inventario, ya que éstos representan el 79.5% de participación histórica en las ventas de la empresa.

Tabla 3.2 Desarrollo y selección del pronóstico para el artículo 15. (Elaboración propia)

Análisis de Tendencia	Descomposición	Promedios Móviles	Suavización exponencial	Suavización exponencial doble	Método de Winters
MAPE= 5	MAPE= 1	MAPE= 3	MAPE= 4	MAPE= 8	MAPE= 2
MAD= 1048	MAD= 244	MAD= 682	MAD= 874	MAD= 842	MAD= 333
MSD= 1,504,243	MSD= 108,666	MSD= 702,319	MSD= 1,180,995	MSD= 1,227,219	MSD= 199,546

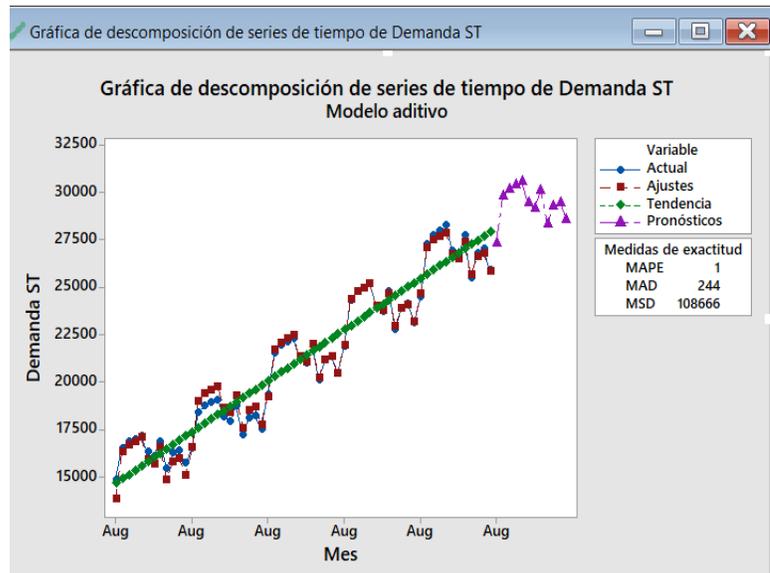


Figura 3.3 Gráfico de descomposición de series del artículo 15. (Elaborada con Minitab)

En general, el criterio empleado para la selección del método de pronóstico fue principalmente el MAPE. Una extracción del análisis realizado se puede observar con los siguientes SKUs: para el Artículo 1 (Conjunto tuerca, tornillo, arandela), el método de pronóstico seleccionado fue el de promedios móviles; el pronóstico para el Artículo 9 (Base tubo), tuvo un mejor ajuste con el método de descomposición y, de la misma forma, para el artículo 15 (Soporte trifásico), dando como resultado la tabla 3.3

Tabla 3.3 Unidades de venta pronosticadas para 3 artículos tipo A. (Elaboración propia)

Pronostico/ Mes	Artículo 1	Artículo 9	Artículo 15
Mes 1	294126	27081	27346
Mes 2	301337	30081	29804
Mes 3	297577	30560	30190
Mes 4	300300	30786	30386
Mes 5	299797	31019	30579
Mes 6	297982	29496	29438
Mes 7	301823	29083	29183
Mes 8	301110	30321	30087
Mes 9	295847	27749	28354
Mes 10	298191	29087	29309
Mes 11	302127	29248	29483
Mes 12	294987	27958	28579

Este pronóstico de la demanda buscaba estimar la cantidad de productos que se solicitarán y que se deben producir en un horizonte de planeación de un año, en la tabla 3.4 se puede observar una extracción del plan maestro de producción para el artículo 1. La generación de un modelo de aprovisionamiento requiere esta estimación de la demanda para poder garantizar el abastecimiento de la materia prima e insumos necesarios para producir la cantidad de productos requeridos por los clientes sin caer en escasez o sobre inventario. Los pronósticos de la demanda son fundamentales para generar un modelo de aprovisionamiento de insumos efectivo. Los pronósticos proporcionan información clave para optimizar los niveles de inventario, mejorar la planificación de la producción, aumentar la satisfacción del cliente y reducir los costos asociados con la gestión de inventario (Peña, O., y Silva, R., 2016).

Tabla 3.4 Extracción de MPS aplicado al artículo 1. (Elaboración propia)

MES	1	2	3	4	5	6
INVENTARIO INICIAL	500	9,040	8,927	9,009	8,994	8,939
UNIDADES PRONOSTICADAS	294,126	301,337	297,577	300,300	299,797	297,982
INVENTARIO FINAL	9,040	8,927	9,009	8,994	8,939	9,055
MPS	302,666	301,224	297,659	300,285	299,743	298,097

3.2. LISTA DE MATERIALES

La lista de materiales se emplea en la planeación de la producción y el control de inventario, ya que involucra el desglose de todo lo que involucra la fabricación de un producto final como materiales y subensambles, así como también se indican las cantidades necesarias requeridas de cada uno de los materiales que lo integran. Se considera dentro de este proyecto, ya que al desglosar el producto final en sus componentes individuales en función de la demanda y contemplando los tiempos de entrega para la planificación de la fabricación de un producto se puede determinar con exactitud en qué periodo ordenar y en qué cantidades. Se realizó un ejercicio de explosión de materiales para todos los SKUs Tipo A, identificando con ello, sus componentes internos necesarios para el ensamble final, así como sus cantidades empleando la estructura contemplada en la figura 3.4

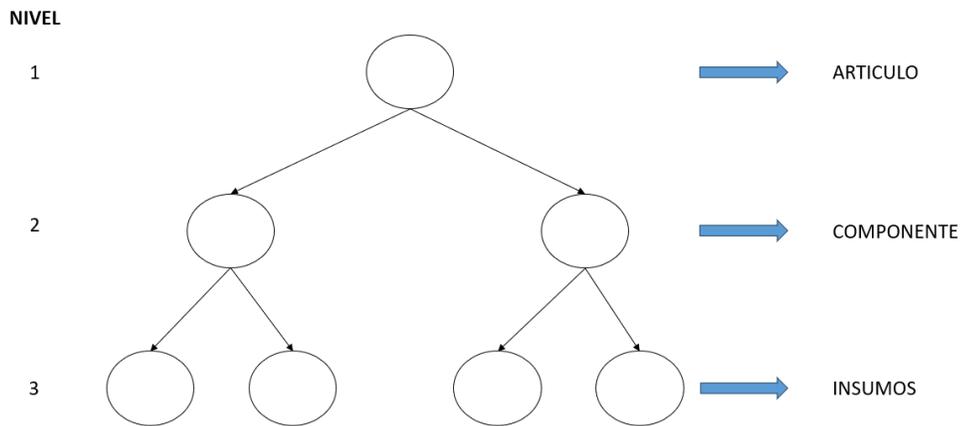


Figura 3.4 Notación de la estructura empleada para el desarrollo del modelo matemático. (Elaboración propia)

A continuación, se presenta un resumen del ejercicio aplicado al artículo 1 (tabla 3.5 y figura 3.5), artículo 2 (tabla 3.6 y figura 3.6), y al artículo 3 (tabla 3.7 y figura 3.7) de la empresa en estudio:

Tabla 3.5 Elementos que componen al conjunto del SKU 1. (Elaboración propia)

Cód	Elemento	Unidades
A	Conjunto	Unidad
B	Tornillo	Unidad
C	Arandela	Unidad
D	Tuerca	Unidad
E	Bolsa 10x7 cm	Unidad
F	Celcon	Kilogramos(Kg)
G	Kepital	Kilogramos(Kg)
H	Polipropileno	Kilogramos(Kg)
I	Pigmento	Kilogramos(Kg)

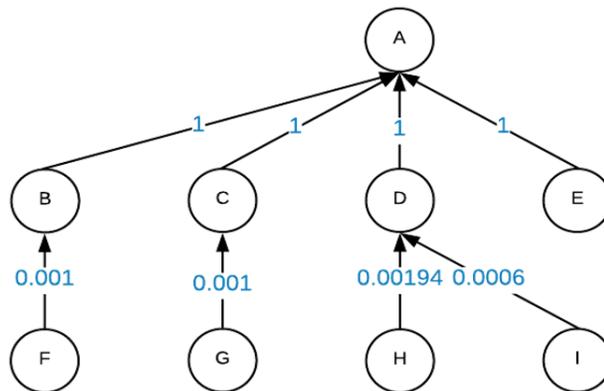


Figura 3.5 Insumos que componen el conjunto del SKU 1. (Elaboración propia)

Tabla 3.6 Elementos que componen el SKU 2. (Elaboración propia)

Cód	Elemento	Unidades
A	Contacto Cajataco Trifásico	Unidad
B	Tornillo M5x12	Unidad
C	Pasacable AC 10-50A	Unidad
D	Contacto Aluminio Izquierdo	Unidad
E	Soporte Trifásico	Unidad
F	Polycarbonato	Kilogramos (Kg)
G	Pigmento negro	Kilogramos (Kg)

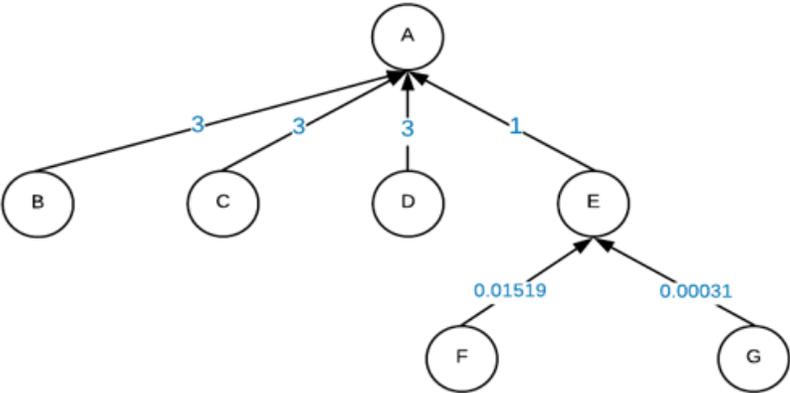


Figura 3.6 Insumos que componen el elemento 2. (Elaboración propia)

Tabla 3.7 Elementos que componen el SKU 3. (Elaboración propia)

Cód	Elemento	Unidades
A	Base tubo	Unidad
B	Contacto Izquierdo	Unidad
C	Contacto Derecho	Unidad
D	Base giratoria	Unidad
E	Tapa Fluorescente	Unidad
F	Columna	Unidad
G	Tuerca Central	Unidad
H	Bolsa 14x5	Unidad
I	Tornillo M3.5x15mm	Unidad
J	Tornillo M3.5x32mm	Unidad
K	Lamina contacto	Unidad
L	Lamina contacto	Unidad
M	Tornillo	Unidad
N	Tuerca de contacto	Unidad
O	Polipropileno	Kilogramos (Kg)
P	Pigmento	Kilogramos (Kg)

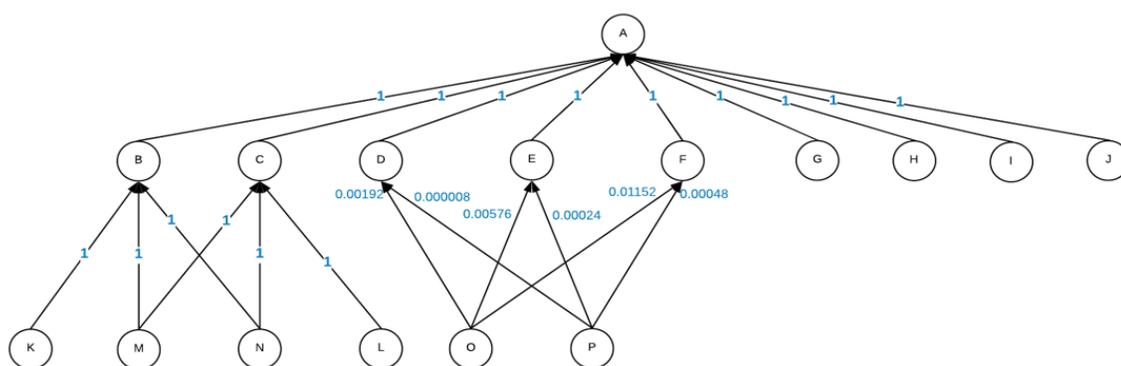


Figura 3.7 Insumos que componen el elemento 3. (Elaboración propia)

Una vez identificadas y consolidadas las cantidades necesarias para la producción de todos los elementos con clasificación tipo A, se tienen las bases necesarias para la realización de las diferentes tareas requeridas para establecer un modelo de aprovisionamiento de insumos para esta empresa, entre ellas se encuentran la aplicación de MRP, propuestas de inventario y análisis de sensibilidad.

3.3 PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES (MRP)

La planeación de requerimiento de materiales es un método de gestión de materiales que permite determinar características importantes dentro del proceso de fabricación con el objetivo de satisfacer las necesidades de demanda de productos eficientemente, es decir que dicho sistema proporciona a las empresas información determinante en el qué, cuándo y cuánto del material se necesita para alcanzar un equilibrio de inventario u otros objetivos específicos. Este modelo funciona hacia abajo desde el producto hacia sus insumos, organizándolos en niveles, contemplando la demanda para empezar a planificar, en tiempos determinados. Es así, que la lista de materiales y archivo de registro de inventarios permite generar un plan de solicitud y compra de materiales, informe de acción y de ser así salidas secundarias en un horizonte de planeación adecuado, se puede observar un ejercicio aplicado al artículo 15 en la figura 3.8.

Para la aplicación de éste, generalmente se utiliza software sofisticado y programas de computadora, sin embargo, éstos todavía no generan una solución de suministro completamente óptima.

	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
DemanNivSup		27,346	29,805	30,191	30,386	30,580	29,438	29,184	30,087	28,355	29,309	29,483	28,580								
		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>InvSeg =</td> <td>5%</td> <td>TSum =</td> <td>1</td> <td>TLote =</td> <td>285</td> <td>ReqUni =</td> <td>1.000</td> </tr> </table>												InvSeg =	5%	TSum =	1	TLote =	285	ReqUni =	1.000
InvSeg =	5%	TSum =	1	TLote =	285	ReqUni =	1.000														
	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
RequerDeman		27,346	29,805	30,191	30,386	30,580	29,438	29,184	30,087	28,355	29,309	29,483	28,580								
Inventario	1,500	1,514	1,634	1,653	1,762	1,677	1,594	1,480	1,603	1,463	1,509	1,666	1,586								
Requerim		27,214	29,782	30,067	30,253	30,348	29,233	29,050	30,112	28,170	29,312	29,449	28,344								
NumLotes		96	105	106	107	107	103	102	106	99	103	104	100								
Producción		27,360	29,925	30,210	30,495	30,495	29,355	29,070	30,210	28,215	29,355	29,640	28,500								
PCO		27,360	29,925	30,210	30,495	30,495	29,355	29,070	30,210	28,215	29,355	29,640	28,500	0							

Figura 3.8 Aplicación del MRP al artículo 15. (Elaboración propia)

3.4. APLICACIÓN DEL MODELO EN GAMS

El modelo conceptual desarrollado en el apartado 1.3.13 se ejecutó apoyado en el software GAMS versión 23.5 como se describe en el apartado de anexo A13 con un tiempo de ejecución de 19.253 segundos y un consumo de 3Mb, como se puede observar en la figura 3.9.

```

Optimal solution found.
Objective : 251651200.144765

--- Restarting execution
--- GamsProy5 cambios2.gms(375) 0 Mb
--- Reading solution for model MRP72
--- Executing after solve: elapsed 0:00:19.253
--- GamsProy5 cambios2.gms(379) 3 Mb

```

Figura 3.9 Pantalla de solución del modelo en GAMS.

Los resultados de este trabajo consideran los costos de producción (tabla en anexo A8) o adquisición (tabla en anexo A9) y los costos de mantenimiento de inventario (tablas en anexo A10, A11 y A12). Estos resultados son importantes para evaluar y optimizar la gestión de inventario de una empresa, ya que ayudan a identificar qué porcentaje de los costos totales corresponde a cada tipo de producto y tomar decisiones basadas en información cuantitativa para reducir costos y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro. El objetivo principal del modelo es reducir los costos en la empresa. Para lograr este objetivo se utilizó el modelo de programación lineal (descrito en el apartado 4.4.2), que permitió formular un modelo de aprovisionamiento para la producción 21 productos (anexo A4), 28 componentes (anexo A5) y 13 insumos (anexo A6), dando como resultado que el costo total anual de \$ 251,651,200.14 que son en promedio \$20,970,933.35 mensuales. De este costo, como se puede observar en la tabla 3.8, el 56.2% corresponde a los artículos, el 40.9% corresponde a componentes y el 2.9% a los insumos.

Tabla 3.8 Costo total anual de operación para 21 artículos. (Elaboración propia)

Z1	141,391,307.52
Z2	103,016,341.60
Z3	7,243,551.03
	\$ 251,651,200.14

La programación lineal es una herramienta matemática utilizada para optimizar la asignación de recursos limitados y minimizar los costos. En este caso, este método se utilizó para determinar la cantidad óptima de cada producto a almacenar y producir considerando los costos involucrados dentro de esta cadena de suministro. Durante la investigación se reveló que la implementación que el modelo de aprovisionamiento generado permitirá reducir significativamente los costos operativos y de almacenamiento de la empresa.

Esto se debe a que se ha evitado el exceso de inventario y a una mejor planeación de reabastecimiento considerando el lead time (Tiempos de entrega) provisto por los proveedores. En las políticas anteriores de la compañía se incurrían en costos adicionales de almacenamiento y deterioro del producto, así como escasez de inventario en algunas materias primas, lo que puede generar pérdidas de ventas y clientes insatisfechos afectando directamente el nivel de servicio ofrecido para su cliente. Este costo de penalización por entregas de órdenes incompletas también ocasionaba un gran impacto dentro de los costos regulares de la compañía.

El modelo de aprovisionamiento determinó la cantidad de insumos, componentes a requerir por periodo para cada tipo de producto, para cumplir con el pronóstico de demanda la cual se puede observar una extracción en la tabla 3.9, los plazos de entrega de los proveedores y otros factores importantes. Además, se tuvieron en cuenta los costos asociados con la compra o fabricación de productos y el mantenimiento de almacenes, lo que proporciona una estrategia de producción de estos artículos (tabla 3.10) y de almacenamiento (tabla 3.11).

Tabla 3.9 Demanda de 3 artículos en t. (Elaboración propia)

Dem (i,t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	294,126	301,337	297,577	300,300	299,797	297,982	301,823	301,110	295,847	298,191	302,127	294,987
2	16,904	59,361	8,256	16,904	16,904	18,870	37,740	9,435	9,435	9,435	3,931	18,834
3	24,494	38,375	31,434	19,187	11,431	8,165	15,513	8,165	11,839	4,491	2,245	10,206

Tabla 3.10 Artículo i a producir en el periodo de tiempo t. (Elaboración propia)

Prod i en t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	892,540			300,300	597,779		301,823	596,957		895,805		
2	16,404	67,617		16,904	16,904	18,870	37,740	9,435	9,435	9,435	3,931	19,334
3	23,994	38,375	31,434	19,187	11,431	8,165	15,513	8,165	11,839	4,491	2,245	10,706

Tabla 3.11 Artículo i a almacenar en el periodo de tiempo t. (Elaboración propia)

Alm de i en t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	598,914	297,577			297,982			295,847		598,010	295,883	
2		8,256										

De la misma forma se realizó la validación y desglose por periodo para los niveles 2 y 3 (componentes e insumos) que se puede encontrar en los anexos A6 y A7. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, ya que se logró una importante reducción de los costos operativos y de innovación de la empresa. Esto supone un aumento de la rentabilidad y eficiencia de la empresa, así como una mejora en la calidad del servicio prestado a los clientes.

En resumen, se puede afirmar que este trabajo dirigido a reducir los costos de operación y almacenamiento con un modelo de aprovisionamiento de insumos y componentes basada en un modelo de programación lineal fue exitoso. Los resultados obtenidos muestran la importancia de una gestión eficaz de inventarios en las empresas, ya que promueve la optimización de recursos, la reducción de costos y la mejora de la calidad del servicio.

La validación del modelo de programación lineal para el aprovisionamiento de insumos se llevó a cabo utilizando en las diferentes etapas del presente trabajo. En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de los datos de entrada utilizados en el modelo. Estos datos incluían información sobre la demanda de los insumos, los niveles de inventario existentes, los tiempos de entrega y los costos asociados. Se verificó que todos los datos fueran completos, precisos y actualizados, a fin de asegurar que el modelo se basara en información confiable y relevante. Se verificó que las soluciones generadas por el modelo fueran factibles y se compararon con los resultados obtenidos previamente en la gestión manual del aprovisionamiento de insumos. Se llevaron a cabo análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles cambios en los parámetros del modelo, como los costos de estos, lo que nos dio como resultado soluciones precisas y satisfactorias que nos garantiza la confiabilidad y eficacia del modelo, asegurando que pueda ser utilizado de manera efectiva para optimizar el proceso de aprovisionamiento de insumos y componentes de la empresa estudio.

3.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad se define como la incertidumbre resultante de un sistema, manifestada a través de variaciones en parámetros clave. En este Trabajo Terminal de Grado (TTG), reviste una importancia especial al determinar los parámetros cuyo impacto puede ser significativo y medir en qué proporción estas variaciones afectan aspectos cruciales del sistema, como el funcionamiento óptimo de la política de inventario. Esto es especialmente relevante para una MiPyME, donde estas variaciones podrían representar pérdidas que no se pueden permitir. Por lo tanto, es prudente anticipar y considerar estas posibles pérdidas mediante este análisis. Ahora, como bien menciona (Nishihara, A. & Mele, F., 2013) la forma en la que normalmente se construye un análisis de sensibilidad se desarrolla cuando se ejecuta el modelo para diversos valores del parámetro cuya sensibilidad quiere calcularse dejando fijos todos los demás. Este acercamiento permite examinar analíticamente variables esenciales.

Identificando así los factores que más influyen en el rendimiento de la solución propuesta en un ámbito aplicado.

El modelo de planeación de aprovisionamiento busca dar respuesta a la adquisición de insumos y componentes de una empresa manufacturera contemplando los requerimientos de demanda de los productos terminados. En este análisis de sensibilidad se considera la revisión y evaluación de posibles modificaciones en parámetros que por agentes externos o internos puedan modificarse. El entorno cambiante requiere que se revise la robustez del modelo matemático propuesto para evaluar su respuesta ante variación de parámetros claves.

Escenario 1. Modificación en los parámetros de los costos de producción y adquisición de materia prima.

El primer escenario realizado se enfocó en los incrementos y decrementos de un 5% y un 10% de los costos de producción y adquisición en general. Con los nuevos valores que toma nuestra función objetivo se puede observar en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Resultados de la función objetivo escenario 1. (Elaboración propia)

Variación de los Cpr	-10%	-5%	0%	5%	10%
Costo total (Z)	\$ 228,146,978.05	\$ 239,908,999.58	\$ 251,651,200.14	\$ 263,199,557.12	\$ 274,698,458.08
Diferencia (\$)	\$ (23,504,222.09)	\$ (11,742,200.57)	\$ -	\$ 11,548,356.98	\$ 23,047,257.94

Esto significa que un aumento proporcional del 5% para el primer caso, en este parámetro al usar el modelo matemático nos permite que el impacto en términos económicos no sea proporcional al 5% sino de un 4.6% en ambos casos.

Bajo este escenario el incremento del 5% para el artículo 2 evidencia un cambio en los periodos a producir y almacenar específicamente en el periodo 2 y 3 en los que el costo de producción combinado con el de almacenamiento del periodo 2 ya no significa un beneficio para la empresa el adelantar un periodo de producción, tal como lo muestra la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Producción del artículo 2 bajo el escenario 1. (Elaboración propia)

Prod 2 ent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	16,847	59,361	8,256	16,904	16,904	18,870	37,740	9,435	9,435	9,435	3,931	18,891

Los cambios en este costo de producir y adquirir impactan directamente en los costos de producción y periodos de estos, lo que modifica el plan de producción inicial para algunos artículos y sus componentes, lo que obliga a reestructurar el plan de producción original. El comportamiento de la función objetivo se muestra en la Figura 3.10.

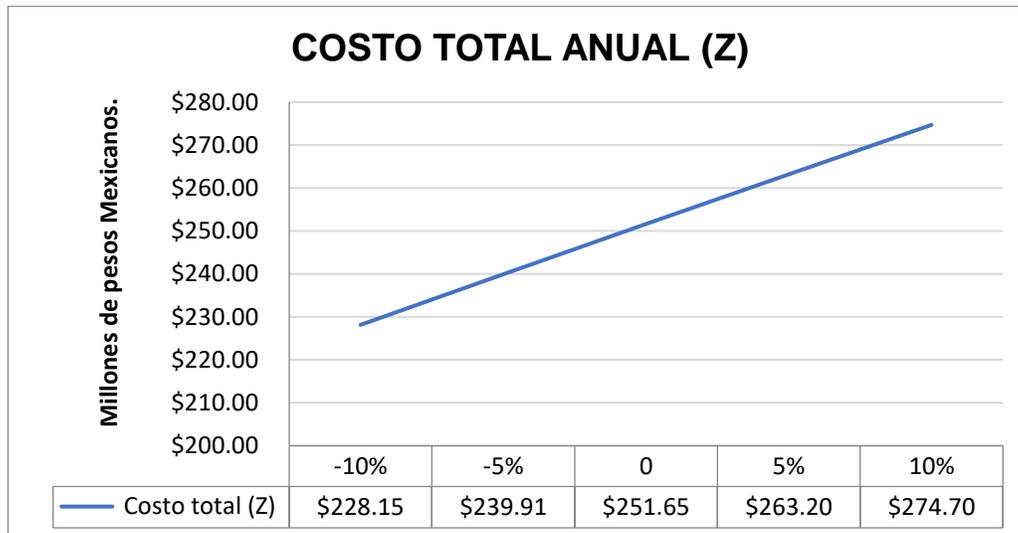


Figura 3.10 Análisis de sensibilidad del costo total al modificar los costos de producción.
(Elaboración propia)

Escenario 2. Modificación en los parámetros de los costos de almacenamiento.

El segundo parámetro que se modificó fue el costo de almacenamiento de los artículos, componentes e insumos. En este se realizó el mismo ejercicio de incremento y decremento porcentual que en el escenario anterior manteniendo los otros parámetros constantes. Los resultados se pueden observar en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Resultados de la función objetivo escenario 2 (Elaboración propia).

Variación de los CAIm	-10%	-5%	0%	5%	10%
Costo total (Z)	\$249,524,208.81	\$250,614,934.98	\$251,651,200.14	\$252,492,101.32	\$253,291,800.17
Diferencia (\$)	\$ (2,126,991.33)	\$ (1,036,265.16)	\$ -	\$ 840,901.18	\$ 1,640,600.03

El incremento del 5% en los costos de almacenamiento impacta el costo total en un 0.33%, aquí el cambio de estrategia también se evidencia en el artículo 2 en donde ya no se almacena este artículo en ningún periodo y se produce conforme a la demanda de este. En la gráfica 3.11, se puede observar el comportamiento del costo total al realizar las modificaciones

incrementales del costo de almacenamiento del modelo en un incremento y decremento del 5% y 10%.

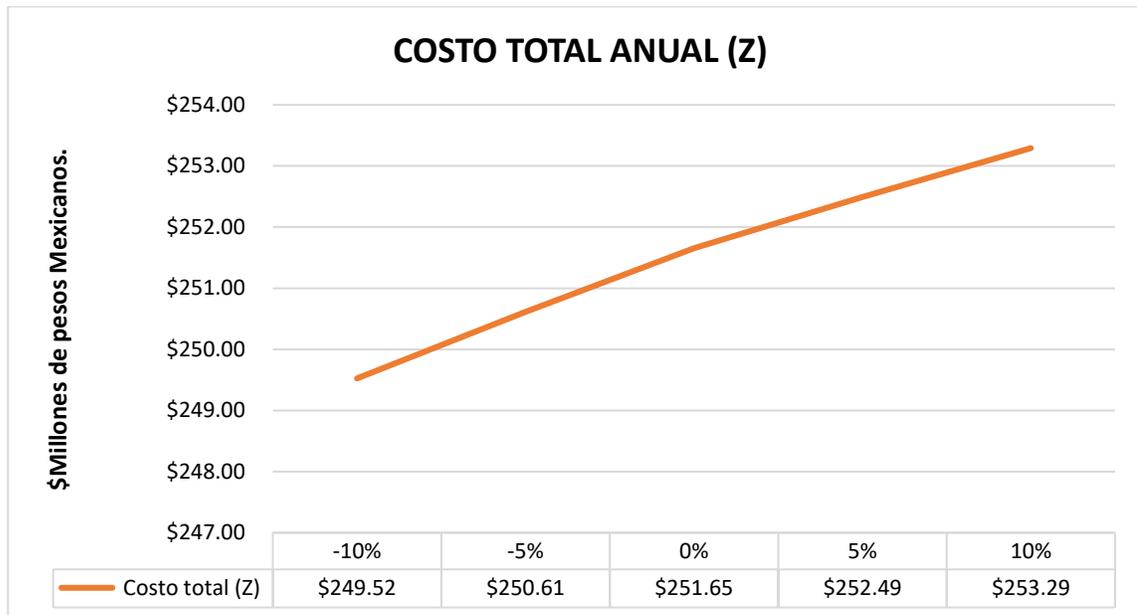


Figura 3.11 Análisis de sensibilidad del costo total al modificar los costos de almacenar.
(Elaboración propia)

Escenario 3. Variación en la demanda.

Finalmente, el último escenario ejecutado para este análisis de sensibilidad fue la variación de disminución y aumento de la demanda que, en este caso, impacta de forma directamente proporcional, ya que no tenemos una limitante de producción y los costos de producir y almacenar se mantuvieron constantes. Esto nos indica que la estrategia inicial mostrada de producción y almacenamiento es la óptima.

La consolidación de los escenarios ejecutados se puede observar en la Figura 3.12.

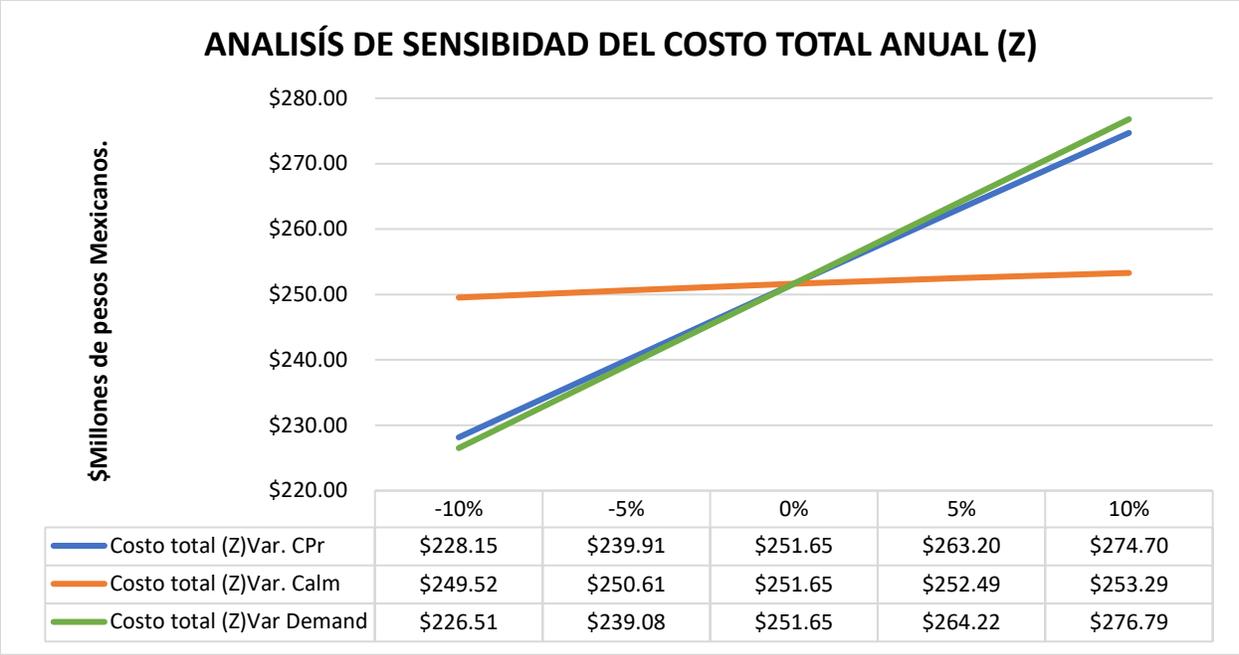


Figura 3.12 Análisis de sensibilidad de los parámetros modificados. (Elaboración propia)

El análisis de sensibilidad realizado en el trabajo reveló resultados interesantes en relación con posibles variaciones en la demanda, los costos de producción y los costos de almacenamiento. En el caso de los costos de producción, se encontró que un aumento en estos costos tiene un impacto directo en los costos totales de operación. Sin embargo, este impacto es menor de lo esperado debido a la facilidad de generar una nueva estrategia gracias al modelo de aprovisionamiento en un tiempo corto. La capacidad de generar rápidamente estrategias de almacenamiento y producción en un periodo de tiempo con el software permite adaptarse eficientemente a los cambios o aumentos de precios en los costos de producción.

Esto implica que la empresa puede ajustar la cantidad de productos a producir y almacenar en función de los cambios en los costos. Al producir y almacenar productos en aquellos meses que más conviene, se logra optimizar el costo general de operación. Por otro lado, en el análisis de sensibilidad de los costos de almacenamiento se encontró que un aumento significativo en este costo no se refleja proporcionalmente en el costo total de operación. Esto se debe a la nueva estrategia proporcionada por el software, la cual implica una reducción en la cantidad de artículos, componentes e insumos a almacenar. El software analiza diversos factores, como la demanda esperada, los tiempos de entrega de los proveedores y los costos de almacenamiento, para determinar los niveles óptimos de stock. De esta manera, se evita el

exceso de inventario y se minimizan los costos asociados al almacenamiento, como el costo de obsolescencia y el costo de financiamiento.

CONCLUSIONES

El presente trabajo terminal de grado tuvo como objetivo desarrollar un modelo de aprovisionamiento de insumos y componentes mediante un modelo de programación lineal para generar una administración eficiente, sustentada en la estimación de requerimientos de producto terminado, componentes y materia prima basado en una categorización de sus productos terminados (Tipo A). El modelo desarrollado en caso de ser aplicado puede generar un ahorro para la empresa en estudio de un 5.59%.

Los factores indispensables para el desarrollo de este modelo fueron: el tiempo de entrega, la demanda y los niveles de existencias de seguridad. Dado que su estrecha relación con la gestión de inventarios aporta parámetros que mejoran la precisión del modelo utilizado, y son fundamentales para mantener nivel de stock suficiente para cumplir con la demanda, evitando excedentes para generar sobrecostos y faltantes para generar pérdidas. El presente trabajo revisó las estrategias actuales para el aprovisionamiento dentro de la empresa caso estudio y la implementación de este modelo le ahorraría una cantidad significativa de dinero al año, además de proporcionarle procesos estructurados para la planeación del aprovisionamiento de sus materias primas y la información necesaria para la generación de políticas de inventario.

La estructura del producto principal de este trabajo le permite generar un programa de producción que atienda de manera eficiente a la demanda que se pronosticó. La introducción de niveles para la atención de artículos, componentes e insumos proporciona un panorama amplio del proceso de producción, no solamente de los artículos demandados sino, también, de sus componentes e insumos, tomando en consideración las listas de materiales y las relaciones que surgen por su uso. El aspecto temporal incorpora el programa de demanda y los tiempos de producción y adquisición y la conectividad entre producción y almacenamiento. El manejo de toda esta información, que se entiende como una tarea de alta complejidad, se puede realizar con el producto de este trabajo, en forma organizada y sistemática.

El análisis ABC demostró ser una herramienta valiosa, especialmente para que las empresas medianas administren su inventario de manera eficiente, puesto que, al categorizar los artículos

del inventario según su valor y uso, las empresas pueden priorizar sus esfuerzos y recursos hacia los artículos más importantes. Utilizar este análisis, permitió la categorización de los 187 SKUs que maneja la empresa, obteniendo un 79.5%, 18.9% y 1.6% respectivamente.

Tener una lista de materiales es crucial para que las empresas proyecten los componentes e insumos requeridos y administren sus niveles de existencias de manera efectiva. Esto permite no solamente optimizar procesos logísticos y mejorar el índice de confiabilidad hacia una empresa, sino también es una ventaja económica para las empresas. En este caso puntualmente, la implementación del modelo propuesto proporciona un beneficio estimado de \$14,925,004 anuales, lo cual representa una cifra atractiva para el nivel de operatividad en la empresa comparado con la situación actual.

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran la importancia de contar con un software que permita generar planes de aprovisionamiento de insumos de forma eficiente. Este tipo de herramienta permite ajustar rápidamente los niveles de producción y almacenamiento en función de los cambios en la demanda y los costos de producción y almacenamiento. De esta manera, se logra reducir los costos totales de operación y optimizar la gestión de aprovisionamiento en la empresa.

RECOMENDACIONES

Cada uno de los grupos de artículos obtenidos del análisis ABC requiere un estudio profundo de la dinámica de costos, un análisis matemático de restricciones y la utilización de un proceso para determinar una política de inventario adecuada, como es el caso del modelo lineal aquí desarrollado, así como otras estimaciones que varían según el grupo. Por lo tanto, la política de inventario desarrollada se enfoca en optimizar principalmente el nivel A, que es el más relevante para la empresa. Esto representa un avance significativo y ofrece importantes ventajas prácticas, lo cual facilita la realización de trabajos futuros en la gestión de inventarios para los SKUs de los grupos B y C.

La implementación de esta política se deja a criterio del departamento de logística de la empresa, ya que necesita de varios monitoreos mensuales, validando pronóstico y demanda. Además, tampoco existen permisos de intervención directa con la operatividad de la empresa, ni vinculaciones de obra laboral. Sin embargo, sustentado en el presente proyecto, se envía un

plan de implementación para que sea replicado en sus operaciones indicando SKU i con sus respectivos componentes (j) a adquirir o elaborar en el tiempo T e insumos (k) que se debe considerar pedir o comprar en el periodo de tiempo T .

TRABAJO A FUTURO

Se sugiere la inclusión de otras variables importantes como: restricciones presupuestales mensuales, capacidad de almacenamiento en las bodegas actuales de la empresa. Estas variables pueden desempeñar un papel fundamental a considerar cuando en ciertos casos son indispensables para la generación de estrategias de inventario, que suele suceder con frecuencia en sectores como el de la moda o el tecnológico. Contribuyen en la mejora del nivel de servicio y en el aseguramiento de un nivel adecuado de existencias, así como la precisión del modelo propuesto.

Se recomienda también, profundizar el presente trabajo mediante simulación para la validación de diversos índices de desempeño como el indicador de niveles de cumplimiento de servicio al cliente, por ejemplo, empleando software especializado para estos propósitos. En general, una estrategia de administración eficiente enfocada en el manejo equilibrado de inventarios, bien planeada e implementada, tiene la capacidad de ajustarse a las diferentes condiciones del mercado y de la empresa para impactar de manera positiva en aspectos tanto económicos como logísticos de la misma. Se aconseja también agregar al modelo los descuentos por lote para poder validar con el análisis de sensibilidad la variación en los posibles ahorros adicionales para la empresa y su respectiva estrategia de adquisición de insumos con estos beneficios económicos existentes.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, O., Bastida, J., Lagos, M., Salinas, E. (2012). Cadena de abastecimiento, factores que afectan la competitividad en las MIPYMES Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle, vol. 10, núm. 38, julio-diciembre, 2012, pp. 207-219. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34224543014>.
- Alarcón, D. R., Peña, D. L. y Rivera, F. J. (2016). Análisis dinámico de la capacidad de respuesta de una cadena de suministros de productos tecnológicos. Caso Samsung. Entramado. Julio - Diciembre, 2016 vol. 12, no. 2, p. 254-275. <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2016v12n2.24218>.
- Álvarez, N., y Trujillo, J. (2015). Cooperación e integración en la gestión de la cadena de suministros en PYMES del calzado en la ciudad de Bogotá. Revista Dimensión Empresarial, vol. 13, núm. 1, p. 147-164. <http://dx.doi.org/10.15665/rde.v13i1.343>.
- Ballou, R. H. (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro. Pearson Education. Quinta edición. <https://books.google.co.ve/books?id=ii5xqLQ5VLgC&lpg=PR1&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>.
- Cano, P., Orue, F., Martínez, J., Mayett, Y. y López, G. (2015). Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México. Contaduría y Administración, vol. 60, núm. 1, enero-marzo, 2015, pp. 181-203 Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39533059008>.
- Carrera, M. M. (2012). Factores que intervienen en el desarrollo de las PyMes del sector manufacturero en cinco municipios del área metropolitana de Monterrey, afiliadas a la CAINTRA. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis Doctoral. <https://eprints.uanl.mx/2636/1/1080227499.pdf>.
- Collignon, J. y Vermorel, J. (2012), Análisis ABC (inventario). Lokad. [https://www.lokad.com/es/definicionanalisis-abc-\(inventario\)](https://www.lokad.com/es/definicionanalisis-abc-(inventario)).
- Cossío, N. S., Crespo, E. O., Cariba, L. R., & Yakcleem, M. (2018). Plan maestro de producción de una empresa textil. Caso de estudio de Imbabura, Ecuador. Revista UNIANDÉS Episteme, 5(4), 448-462.
- Deros, B., Mohamed, N., Saibani, N., Rahman, N. (2012). Improving Teaching and Learning Effectiveness Through Customer's Feedback, Procedia - Social and Behavioral Sciences. Volume 60, 2012, Pages 196-205, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.368>.

- Díaz, A., Lorenzo, O. y Solís, L. (2005). Procesos de negocios de Pymes insertas en redes colaborativas. Academia, Revista Latinoamericana de Administración, Primer semestre, 34, 25-46. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71603403>.
- Díaz, D., Patiño, V. (2011). Implementación de sistema de gestión de inventarios para formas y color en lámina WJ Ltda. Universidad Libre. <https://hdl.handle.net/10901/9188>.
- Ericksen, P., Stoflet, N. & Suri, R. (2007). Manufacturing Critical-path Time (MCT): The QRM Metric for Lead Time. University of Wisconsin-Madison, Center for Quick Response Manufacturing. <https://qrm.engr.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/4/2020/02/mct-definition.pdf>.
- González, G. (2020). Importancia de las MiPyMEs en el desarrollo económico de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. Primera edición. <https://doi.org/10.22201/iiiec.9786073042420e.2020>.
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. J. (2008). Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: Revisión de la literatura. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, núm. 43, marzo, 2008, pp. 134-149. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43004313>.
- Henriquez, L. (2009). Políticas para las MiPyMEs frente a la crisis. Conclusiones de un estudio comparativo de América Latina y Europa. OIT (Organización Internacional del Trabajo). EuropeAid. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-santiago/documents/publication/wcms_191351.pdf.
- Hernández Y. y Saavedra, M. (2008). Caracterización e importancia de las MiPyMEs en Latinoamérica: Un estudio comparativo. Actualidad Contable Faces, vol. 11, núm. 17, julio-diciembre, 2008, pp. 122-134. Universidad de los Andes. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25711784011>.
- Hurtado, J. J. (2010). Logística: El reto competitivo de las PyME's mexicanas. Universidad del Caribe. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/5475>.
- INEGI (2022). Demografía de los establecimientos MiPyME en el contexto de la pandemia por Covid-19. COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 335/22 https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_Demog_MIPYME_22.pdf.
- Kauffman, S. (2001). El desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas: Un reto para la Economía Mexicana". México: Universidad Veracruzana, IIESCA. Revista Ciencia Administrativa, No. 2001-1. <https://www.uv.mx/iiesca/files/2013/01/empresas2001-1.pdf>.
- Kirby, C. y Brosa, N. (2011). La logística como factor de competitividad de las Pymes en las

- Américas. BID (Banco Interamericano de Desarrollo). <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-log%C3%ADstica-como-factor-de-competitividad-de-las-Pymes-en-las-Am%C3%A9ricas.pdf>.
- Lampadarios, E. (2013). Critical Success Factors for Small Medium Enterprises (SMEs): A Literature Review. https://www.researchgate.net/publication/299512037_Critical_Success_Factors_for_Small_Medium_Enterprises_SMEs_A_Literature_Review.
- Macías, J. (2018). Políticas de inventario a partir de una segmentación ABC. Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://eprints.uanl.mx/16255/1/1080290235.pdf>.
- Martínez, I., López, F., Vertíz, G., Investigación de Operaciones: Serie Universitaria Patria Serie Universitaria Patria, Grupo Editorial Patria, 2014, ISBN 6074389233, 9786074389234.
- Maysara A. Abo Hassanin Supervised, A. (2014). La transformación social desde el protagonismo del estudiante y la convivencia escolar. In Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents.
- Medina, D., Rodriguez, M. (2017). Análisis de las relaciones B2B en el proceso de intercambio. Universidad ICESI. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/83636/1/TG01894.pdf.
- Millán, O. y Pedraza, L. (2015). DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PLANEACIÓN DE INVENTARIOS EN LA EMPRESA "INMOGAS LTDA". Universidad Libre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11361/DOCUMENTO%20FINAL%2009012015.pdf?sequence=1>.
- Miño, G., Saumell, E., Toledo, A., Roldan, A., y Moreno, R. (2015). Planeación de requerimientos de materiales por el sistema MRP. Caso Laboratorio Farmacéutico Oriente. Cuba. Tecnología Química, XXXV(2), 248-260. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543787008>.
- Montaño, Y., Ramirez, K., Melo, J. y Rojas, J. (2014). MANUAL DE INVENTARIOS PARA PYMES BASADO EN MODELO DE REVISION CONTINUA. Modal Sosial Dalam Pendidikan Berkualitas Di Sekolah Dasar Muhammadiyah Muitihan, September.
- Mora, L. (2010). Gestión Logística Integral. Las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento. ECOE Ediciones. Segunda edición.
- Murillo, L. y Guerrero, C. (2016). Diseño de un modelo de inventario para la albumina. Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero Industrial Espol fimcp, Guayaquil. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34403/1/D-CD88281.pdf>.

- Nirmala, A. R., Kannan, V., Thanalakshmi, M., Gnanaraj, J. P. & Appadurai, M. (2022). Inventory management and control system using ABC and VED analysis. *Materials Today: Proceedings*, Volume 60, Part 2, 922–925. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.315>.
- Nishihara, A. & Mele, F. (2013). Análisis de Sensibilidad de un Caso del Noroeste Argentino de Ciclo de Vida de la Industria del Azúcar y del Bioetanol de Caña de Azúcar.
- Ortiz, V., y Caicedo, Á. (2014). Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa de calzado. *Scheduling and production control procedure of a small shoe business. Scientia Et Technica*, 19(4), 377–384. <https://doi.org/10.22517/23447214.8537>.
- Osorio, C. (2013). Modelos para el control de inventarios en las PyMEs. *Panorama*, Volúmen 2, Núm. 6. <https://doi.org/10.15765/pnrm.v2i6.241>.
- Paiz López, A. (2023). Diseño de investigación para la implementación de un plan maestro de producción para mejorar el cumplimiento de la demanda de una fábrica de materiales prefabricados para la construcción en la ciudad de Guatemala (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Parada, O. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Cuadernos de Administración*, vol. 22, núm. 38, enero-junio, 2009, pp. 169-187 Pontificia Universidad Javeriana. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20511730009>.
- Peña, O., y Silva, R. (2016). Factores incidentes sobre la gestión de sistemas de inventario en organizaciones venezolanas. *Telos*, vol. 18, núm. 2, mayo-agosto, 2016, pp. 187-207 Universidad Privada Dr. Rafael Bellosillo Chacín. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99345727003>.
- Quispe, A. (2019). Planeamiento de requerimiento de materiales para reducir los costos de inventarios.
- Ramírez, D. y Tobón, M. (2012). Modelo de simulación continua para la gestión de la cadena de suministro en productos con ciclo de vida corto. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*. <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/543f5a60-8b88-4b55-a65e-c0f96b03e3f5/content>.
- Rizad Md Sapry, H., L' wiew Anak Tawi, L., Rahman Ahmad, A. & Baskaran, S. (2018). The Effectiveness of MRP System to Forecast the Accuracy Inventory Requirement. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.1), pp. 90-93.

<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.1.28232>.

- Saavedra, M., Camarena, M., y Saavedra, M. (2019). La gestión de la cadena de suministro y la Competitividad de la PyME Industrial en la Ciudad de México. *Ciencias Administrativas Teoría y Praxis*, Volúmen 15, Núm. 1, 27–45. <https://cienciasadmvasyp.uat.edu.mx/index.php/ACACIA/article/view/215/240>.
- Soinio, J., Tanskanen, K. & Finne, M. (2012). How logistics-service providers can develop value-added services for SMEs: A dyadic perspective. *International Journal of Logistics Management*. https://www.researchgate.net/publication/241395958_How_logistics-service_providers_can_develop_value-added_services_for_SMEs_A_dyadic_perspective.
- Statista Research Department (2023). Personal ocupado en el sector manufacturero en México de 2005 a 2023. <https://es.statista.com/estadisticas/623122/variacion-del-personal-ocupado-del-sector-manufacturero-mexico-por-empleado/>.
- Suárez, T. y Martín, M. (2008). Impacto de los capitales humano y organizacional en las estrategias de la PyME. *Cuadernos de Administración*, 21 (35): 229-248. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922008000100010.
- Torres, M. y Mancera, P. (2017). Administración de inventarios, un desafío para las Pymes. *Inventio, La Génesis de La Cultura Universitaria En Morelos*, 13(29), 31–38. <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/192/196>.
- TRADELOG. (2020). Modelo SCOR, ¿Qué es y cómo aplicarlo correctamente? Garin, Argentina. <https://www.tradelog.com.ar/blog/modelo-scor/>.
- Yance, C., Solís, L., Burgos, I. y Hermida, L. (2017). La importancia de las PyMEs en el Ecuador. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, Ecuador, 17. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/pymes-ecuador.html>.
- Zapata, E. (2004). Las PyMES y su problemática empresarial. *Análisis de casos Revista Escuela de Administración de Negocios*, núm. 52, septiembre-diciembre, 2004, pp. 119-135 Universidad EAN. <https://www.redalyc.org/pdf/206/20605209.pdf>.
- Zotelo, Y. R., Mula, J., Díaz-Madroño, M., & González, E. G. (2017). Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 24, 147-168.

ANEXOS

Tabla A1. Demanda del artículo *i* en el periodo de tiempo *t*. (Elaboración propia)

Dem (i,t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	294,126	301,337	297,577	300,300	299,797	297,982	301,823	301,110	295,847	298,191	302,127	294,987
2	16,904	59,361	8,256	16,904	16,904	18,870	37,740	9,435	9,435	9,435	3,931	18,834
3	24,494	38,375	31,434	19,187	11,431	8,165	15,513	8,165	11,839	4,491	2,245	10,206
4	27,346	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	28,579
5	178,848	64,800	66,960	43,200	86,400	95,904	124,848	71,280	76,032	108,864	16,416	58,000
6	9,310	20,844	9,590	37,001	38,945	25,942	34,193	19,710	23,717	42,260	31,244	11,102
7	294,126	301,337	297,577	300,300	299,797	297,982	301,823	301,110	295,847	298,191	302,127	294,987
8	27,346	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	28,579
9	27,081	30,081	30,560	30,786	31,019	29,496	29,083	30,321	27,749	29,087	29,248	27,958
10	544,320	241,380	108,540	174,960	194,400	130,680	162,540	200,340	64,800	279,342	166,158	72,900
11	21,046	22,972	10,800	58,320	7,832	33,264	39,960	28,620	17,820	23,171	14,273	17,820
12	634	1,458	162	1,283	540	2,114	1,327	2,114	3,738	3,755	261	869
13	7,020	12,960	10,800	26,460	18,630	16,200	19,440	15,120	10,800	5,903	7,020	5,400
14	1,296	40,500	36,936	10,044	26,158	50,220	28,490	80,892	9,072	44,982	6,804	9,072
15	27,346	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	28,579
16	17,302	27,572	8,640	8,369	18,349	14,118	2,160	14,376	8,268	21,341	10,800	6,480
17	15,120	10,649	3,240	10,580	11,677	11,919	3,240	21,600	12,420	10,692	4,784	1,199
18	19,255	16,060	17,657	12,242	20,125	16,071	10,800	13,045	8,354	17,280	2,522	9,901
19	11,092	19,548	20,466	34,884	32,076	22,788	30,456	21,384	20,412	36,990	23,112	9,180
20	20,552	7,442	8,748	23,328	3,639	46,656	31,947	24,763	30,048	20,995	14,580	5,832
21	22,607	32,400	29,808	64,800	9,936	75,081	51,340	53,568	63,442	81,804	24,624	53,214

Tabla A2. Coeficientes técnicos de *i* requeridos del componente *j*. (Elaboración propia)

CoefT1(i,j)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1																
2								1								
3									1							
4																
5											1					
6					1											
7	8					1										
8										1						
9		8					1									
10												1				
11																
12													1			
13														1		
14				1												
15	1	1														
16																
17				1.2												
18			1													
19															2	
20													1			1
21													1			1

Tabla A3. Coeficientes técnicos de j requeridos del insumo k. (Elaboración propia)

CoefT2(j,k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.01												
2		0.01											
3			0.00194		0.0006								
4			0.01519			0.00031							
5							1	1	1				
6							1	1	1				
7				0.0019	0.00008								
8				0.00576	0.00024								
9				0.01152	0.0048								
10				0.04	0.96								
11			0.03		0.008								
12	0	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	0
14	0	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	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17		0.0025	0.0194		0.006								
18			0.035443333			0.0014							
19			0.070886667			0.0028							
20			0.00776		0.0024					0.002181818			
21			0.01164							0.003272727			
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23											1		
24			0.00291		0.0009								
25			0.004365		0.00135							0.0004725	
26			0.00776			0.002181818							
27				0.044	1.056								
28			0.03										0.009053

Tabla A4. Artículo i a producir en el periodo de tiempo t. (Elaboración propia)

Prod l e n t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	892,540			300,300	597,779		301,823	596,957		895,805		
2	16,404	67,617		16,904	16,904	18,870	37,740	9,435	9,435		3,931	19,334
3	23,994	38,375	31,434	19,187	11,431	8,165	15,513	8,165	11,839	4,491	2,245	10,706
4	26,846	120,959				29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
5	178,348	64,800	66,960	129,600		95,904	196,128		76,032	108,864	16,416	58,500
6	303,858											
7	293,626	301,337	297,577	300,300	299,797	297,982	301,823	301,110	295,847	298,191	302,127	295,487
8	26,846	59,994		30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
9	26,581	60,641		30,786	31,019	29,496	29,083	30,321	27,749	29,087	29,248	28,458
10	543,820	1,723,140										73,400
11	20,546	22,972	10,800	58,320	7,832	33,264	39,960	28,620	17,820	23,171	14,273	18,320
12	134	1,458	162	1,283	540	2,114	1,327	2,114	3,738	3,755	261	1,369
13	6,520	12,960	10,800	26,460	18,630	16,200	19,440	15,120	10,800	5,903	7,020	5,900
14	796	113,638				78,710		89,964		44,982	6,804	9,572
15	26,846	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
16	16,802	27,572	8,640	8,369	18,349	14,118	2,160	14,376	8,268	21,341	10,800	6,980
17	14,620	10,649	3,240	10,580	11,677	11,919	3,240	21,600	12,420	10,692	4,784	1,699
18	18,755	16,060	17,657	12,242	20,125	16,071	10,800	13,045	8,354	17,280	2,522	10,401
19	10,592	19,548	20,466	34,884	32,076	22,788	30,456	21,384	20,412	36,990	23,112	9,680
20	20,052	16,190		23,328	3,639	46,656	31,947	24,763	30,048	20,995	14,580	6,332
21	22,107	32,400	29,808	64,800	9,936	75,081	51,340	53,568	63,442	81,804	24,624	53,714

Tabla A5. Artículo i a almacenar en el periodo de tiempo t. (Elaboración propia)

Prod l e n t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	598914	297577			297982			295847		597614	295487	
2		8256										
4		91155	60965	30579								
5				86400			71280					
6	295048	274204	264614	227613	188668	162726	128533	108823	85106	42846	11602	
8		30190										
9		30560										
10		1481760	1373220	1198260	1003860	873180	710640	510300	445500	166158		
14		73138	36202	26158		28490		9072				
20		8748										

Tabla A6. Componente j a producir/pedir en el periodo de tiempo T. (Elaboración propia)

jen t	t-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,436,360	1,723,140		300,300	597,779		301,823	596,957		895,805		73,400
2	1,436,360	1,723,140		300,300	597,779		301,823	596,957		895,805		73,400
3	1,463,206	1,752,944	30,190	330,686	628,358	29,438	331,006	627,044	28,354	925,114	29,483	102,479
4	2,514,586	817,429				403,154	87,549	450,117	85,062	267,855	115,665	125,525
5	154,282	499,055		84,100	64,797	193,846	177,862	175,198	171,818	167,540	161,995	151,727
6	411,242	392,681	30,190	30,386	30,579	117,752	116,732	120,348	113,416	117,236	117,932	116,316
7	330,704	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
8	53,692	180,953		30,386	30,579	58,876	58,366	60,174	56,708	58,618	58,966	58,158
9	53,692	89,798	30,190	60,772	61,158	58,876	58,366	60,174	56,708	58,618	58,966	58,158
10	26,846	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
11	26,846	29,804	30,190	30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
12	571,462	1,866,582	30,190	30,386	30,579	108,148	29,183	120,051	28,354	74,291	36,287	112,051
13	2,375,854	2,440,500	2,410,806	2,432,786	2,428,955	2,413,294	2,443,767	2,438,967	2,395,130	2,414,837	2,446,499	2,392,975
14	239,494	514,932	30,190	276,674	278,731	265,406	261,847	272,655	250,346	262,005	263,467	256,743
15	36,299	28,839	21,545	24,938	34,137	30,374	14,688	38,965	23,258	30,110	8,263	12,440
16	796	113,638				78,710		89,964		44,982	6,804	9,572
17	303,858											
18	293,626	301,337	297,577	300,300	299,797	297,982	301,823	301,110	295,847	298,191	302,127	295,487
19	26,581	60,641		30,786	31,019	29,496	29,083	30,321	27,749	29,087	29,248	28,458
20	16,404	67,617		16,904	16,904	18,870	37,740	9,435	9,435	9,435	3,931	19,334
21	23,994	38,375	31,434	19,187	11,431	8,165	15,513	8,165	11,839	4,491	2,245	10,706
22	26,846	59,994		30,386	30,579	29,438	29,183	30,087	28,354	29,309	29,483	29,079
23	178,348	64,800	66,960	129,600		95,904	196,128		76,032	108,864	16,416	58,500
24	543,820	1,723,140										73,400
25	42,293	50,048	29,970	89,411	14,115	123,851	84,614	80,445	97,228	106,554	39,465	61,415
26	6,520	12,960	10,800	26,460	18,630	16,200	19,440	15,120	10,800	5,903	7,020	5,900
27	37,986	66,668	49,572	78,137	82,501	59,694	63,072	57,144	49,092	95,321	57,024	26,340
28	42,159	48,590	29,808	88,128	13,575	121,737	83,287	78,331	93,490	102,799	39,204	60,046

Tabla A7. Insumo k a comprar en el periodo de tiempo T. (Elaboración propia)

k de t	t-2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	31,540		3,003	5,978		3,018	5,970		8,958		789
2	32,298		3,003	5,978		3,018	5,970		8,958		790
3	289,417										
4	12,640	1,613	5,586	5,792	4,877	5,007	4,815	4,328	6,435	4,763	3,484
5	223,497	29,428	112,585	117,459	92,060	95,551	90,279	79,745	130,047	89,135	57,584
6	2,099	440	564	547	660	574	679	542	595	556	598
7	1,456,210	30,190	114,486	95,376	311,598	294,594	295,546	285,234	284,776	279,927	269,093
8	1,456,210	30,190	114,486	95,376	311,598	294,594	295,546	285,234	284,776	279,927	269,093
9	1,456,210	30,190	114,486	95,376	311,598	294,594	295,546	285,234	284,776	279,927	269,093
10	335	103	100	74	68	133	47	59	35	16	130
11	439,158				95,904	196,128		76,032	108,864	16,416	59,050
12		8	42	7	59	40	38	46	50	19	79
13	767	270	798	123	1,102	754	709	846	931	355	548

Tabla A8. Costo de producción de los artículos i en el periodo t (Elaboración propia)

CPr1(i,t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.60	3.49	3.65	2.30	2.53	2.91	3.18	3.28	3.90	2.66	3.27	3.92
2	9.22	8.68	11.55	15.14	14.75	13.01	9.25	12.35	10.74	13.97	15.82	13.46
3	8.33	9.88	9.64	10.23	11.10	8.95	11.60	10.43	11.59	7.75	11.38	11.76
4	15.99	15.83	13.29	14.45	19.20	17.75	22.38	22.45	20.15	18.51	24.66	19.03
5	1.34	0.93	0.75	0.90	1.30	0.90	0.81	1.32	1.22	0.90	1.04	1.04
6	23.07	25.20	19.34	14.26	17.43	21.49	18.78	23.31	25.44	14.54	24.89	20.57
7	12.10	8.93	7.77	12.42	9.67	14.61	9.09	13.16	13.15	14.10	13.39	9.78
8	7.49	11.00	11.94	8.76	8.26	10.01	7.15	11.23	9.04	7.30	7.53	10.53
9	11.36	15.89	19.17	17.77	16.70	11.62	12.72	14.04	16.16	13.56	18.02	16.82
10	4.63	4.91	6.80	5.68	5.90	6.79	4.63	5.26	4.88	4.93	6.93	3.95
11	6.38	7.68	6.95	7.08	11.02	8.35	11.11	7.94	9.15	5.88	9.80	10.61
12	12.25	14.70	17.35	15.27	19.26	13.13	16.11	12.87	14.56	14.10	17.89	11.86
13	18.68	20.10	13.95	17.76	13.74	22.29	14.22	16.37	20.07	13.99	22.71	24.23
14	22.18	16.90	28.70	21.59	31.76	23.85	31.70	17.81	28.86	17.49	19.31	16.84
15	14.67	15.60	9.36	12.46	15.05	9.05	14.96	13.95	10.94	8.47	13.67	13.30
16	20.94	11.58	14.33	18.17	13.28	21.46	20.06	20.72	13.82	20.53	17.62	16.40
17	11.10	12.67	7.43	9.88	9.36	8.77	8.85	11.39	10.90	8.13	11.97	10.32
18	9.07	8.69	6.95	11.01	7.39	10.84	9.73	10.01	8.80	10.15	8.60	9.01
19	15.26	20.08	16.20	12.09	12.89	22.12	16.00	18.30	21.92	21.84	20.22	12.76
20	9.46	14.11	10.00	8.39	12.61	13.82	14.40	12.17	12.80	8.56	14.76	15.96
21	21.22	16.36	13.01	21.58	13.84	19.82	20.55	15.13	13.74	19.89	12.92	13.12

Tabla A9. Costo de adquisición de los componentes j en el periodo t . (Elaboración propia)

CPr2(j,t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.73	0.74	0.71	0.70	0.73	0.72	0.74	0.75	0.70	0.72	0.76	0.70
2	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15
3	0.27	0.28	0.29	0.27	0.30	0.31	0.28	0.30	0.30	0.29	0.28	0.30
4	3.59	3.72	3.50	3.67	3.49	3.65	3.70	3.52	3.57	3.54	3.53	3.55
5	1.75	1.73	1.75	1.67	1.81	1.70	1.81	1.80	1.75	1.71	1.68	1.72
6	1.64	1.76	1.69	1.69	1.73	1.71	1.77	1.79	1.81	1.68	1.79	1.73
7	1.45	1.44	1.44	1.44	1.48	1.49	1.51	1.39	1.40	1.38	1.53	1.48
8	0.72	0.72	0.69	0.69	0.74	0.70	0.74	0.70	0.71	0.72	0.70	0.75
9	0.54	0.57	0.56	0.55	0.60	0.58	0.56	0.56	0.59	0.60	0.57	0.57
10	2.19	2.16	2.16	2.03	2.18	2.19	2.13	2.15	2.23	2.25	2.14	2.13
11	6.05	6.46	6.14	6.06	6.44	6.73	6.59	6.57	6.62	6.39	6.74	6.49
12	0.88	1.34	1.55	1.17	2.37	1.57	1.82	1.51	1.66	1.34	2.14	1.44
13	1.44	1.74	1.30	1.46	1.70	2.77	1.57	1.88	2.33	1.35	2.73	2.95
14	1.73	1.44	2.62	1.71	3.87	2.91	3.39	2.05	3.52	1.66	2.39	2.03
15	1.08	1.35	0.87	0.95	1.80	1.13	1.73	1.61	1.25	0.80	1.65	1.52
16	1.52	1.03	1.26	1.50	1.62	2.65	2.18	2.35	1.62	2.04	2.23	1.97
17	7.37	7.74	7.83	7.55	7.68	7.53	7.77	7.53	7.98	7.77	7.59	7.54
18	3.07	3.03	3.10	2.93	2.98	3.06	3.14	3.04	2.98	3.07	3.07	3.07
19	4.03	4.11	4.38	4.25	4.56	4.57	4.21	4.22	4.50	4.23	4.20	4.32
20	4.00	3.98	4.05	4.01	3.98	4.10	4.01	3.92	4.27	4.20	3.95	4.16
21	3.52	3.71	3.50	3.38	3.60	3.83	3.67	3.47	3.51	3.69	3.68	3.59
22	1.38	1.36	1.37	1.08	2.75	1.42	1.48	2.55	2.51	1.01	2.66	1.81
23	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29
24	4.85	4.87	5.13	5.11	4.95	5.36	4.92	5.33	5.12	5.16	5.09	5.30
25	6.05	5.97	6.27	6.19	6.15	6.33	6.09	6.23	6.03	6.16	6.42	6.19
26	4.60	5.03	4.65	4.76	4.95	4.89	4.86	5.16	5.14	4.68	5.13	5.13
27	2.95	3.05	2.93	2.96	3.03	3.19	3.13	2.93	2.99	3.11	3.02	2.92
28	3.08	3.17	3.37	3.33	3.29	3.26	3.41	3.21	3.28	3.15	3.43	3.48

Tabla A10. Costo de almacenamiento del artículo i en el periodo t. (Elaboración propia)

CAlm1(i,t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.41	0.41	0.40	0.39	0.43	0.43	0.41	0.43	0.41	0.43	0.44	0.40
2	5.61	5.97	5.92	5.62	5.88	5.72	6.07	5.82	5.75	6.03	6.13	5.97
3	4.44	4.46	4.17	4.51	4.47	4.55	4.42	4.33	4.64	4.36	4.66	4.29
4	9.18	9.03	9.10	8.98	9.57	9.50	9.28	9.81	9.71	9.61	9.49	9.81
5	0.26	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27
6	1.79	1.77	1.72	1.66	1.77	1.72	1.73	1.77	1.78	1.83	1.86	1.85
7	10.90	11.81	11.20	11.15	11.30	11.64	12.04	11.51	12.25	11.07	12.16	12.06
8	8.29	8.56	8.32	8.06	8.43	8.16	8.70	8.51	8.43	8.45	8.37	8.41
9	12.78	13.91	13.72	13.76	14.13	13.68	13.83	13.99	14.25	13.93	13.31	13.78
10	0.90	0.93	0.95	0.89	0.91	0.99	0.94	0.93	0.93	0.94	0.96	0.98
11	8.81	9.09	9.58	9.60	9.59	9.43	9.27	9.21	9.68	9.39	9.52	9.58
12	15.96	15.95	16.44	16.11	16.45	16.48	17.16	17.09	16.31	16.23	17.46	16.84
13	21.84	21.35	21.16	22.63	23.24	23.50	21.61	21.90	22.93	22.27	22.03	22.96
14	6.25	6.64	6.30	6.27	6.46	6.62	6.38	6.45	6.57	6.68	6.73	6.57
15	20.60	20.09	20.78	19.59	19.79	19.72	20.55	19.86	19.70	20.66	20.32	20.54
16	11.25	12.08	11.78	11.15	11.44	11.67	11.31	12.24	11.79	12.00	12.46	11.70
17	6.37	6.42	6.32	6.39	6.19	6.61	6.41	6.57	6.23	6.43	6.37	6.39
18	7.99	8.06	8.36	7.90	8.16	8.05	8.34	8.58	8.56	8.21	8.06	8.03
19	14.55	14.97	15.48	14.46	15.11	15.14	16.07	15.81	15.28	14.99	16.35	15.84
20	6.60	6.55	6.19	6.27	6.56	6.66	6.35	6.64	6.81	6.82	6.57	6.75
21	14.81	14.65	15.42	15.05	15.17	15.18	15.70	15.41	15.23	15.04	15.48	14.82

Tabla A11. Costo de almacenamiento de la componente j en el periodo t. (Elaboración propia)

CAlm2(j,t)	t-2	t-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.04	1.98	2.79	2.60	2.62	2.62	2.81	2.88	2.75	2.71	2.83	2.65	2.85	2.70
2	1.23	0.68	0.94	0.94	0.96	0.88	0.91	0.92	0.98	0.94	0.93	0.93	0.96	0.95
3	1.75	1.45	2.03	2.05	2.06	1.93	1.98	1.95	2.07	2.00	2.12	1.92	1.96	1.95
4	0.75	0.71	1.41	1.43	1.44	1.40	1.55	1.52	1.42	1.55	1.44	1.46	1.49	1.53
5	12.40	6.80	9.46	9.38	8.97	9.62	9.30	9.88	9.68	9.10	9.33	8.98	9.56	9.43
6	17.84	9.73	13.23	12.86	13.68	13.17	14.04	13.84	13.40	13.78	13.05	13.48	13.36	13.47
7	10.63	8.45	11.61	11.15	11.20	11.40	11.88	11.79	11.71	12.09	11.60	11.69	11.94	11.96
8	3.06	1.85	3.68	3.83	3.77	3.82	4.08	4.00	3.78	3.74	3.96	3.65	3.79	3.88
9	2.03	1.19	1.65	1.62	1.61	1.59	1.65	1.71	1.69	1.60	1.69	1.69	1.69	1.69
10	7.98	5.32	7.47	7.34	7.24	7.42	7.68	7.30	7.21	7.63	7.14	7.10	7.40	7.32
11	53.29	32.49	44.05	44.95	43.96	43.70	43.38	44.50	46.46	44.05	46.87	45.75	45.68	45.40
12	9.54	4.77	7.12	9.59	8.97	11.04	7.41	7.09	9.72	13.13	11.89	12.13	9.48	11.17
13	2.07	1.23	0.94	1.51	2.11	2.18	4.72	2.94	3.62	2.10	2.78	2.47	3.32	1.81
14	2.58	1.43	2.04	2.95	2.47	2.04	3.06	4.90	3.11	1.98	2.88	1.40	3.75	4.98
15	3.17	1.89	3.03	2.36	4.07	2.78	5.40	4.20	6.30	3.53	6.53	2.06	3.04	3.64
16	1.28	0.95	1.30	1.65	0.94	1.41	3.11	1.54	3.24	2.29	1.81	0.95	2.55	2.86
17	52.70	34.84	46.85	47.78	47.25	48.81	47.14	47.10	48.10	47.68	48.97	48.02	50.81	49.09
18	6.21	5.06	6.77	6.84	6.89	6.87	6.80	6.97	7.33	6.98	7.31	6.65	7.32	7.08
19	5.52	3.25	4.40	4.30	4.46	4.41	4.63	4.66	4.49	4.45	4.62	4.33	4.74	4.50
20	23.14	18.38	25.50	25.73	23.68	25.15	26.58	26.37	24.47	25.86	26.52	25.21	25.29	24.43
21	4.16	2.33	4.61	4.77	4.98	4.55	4.75	4.86	4.93	4.99	4.91	4.96	4.79	4.84
22	5.18	3.84	6.30	4.45	5.30	5.53	6.07	4.07	5.38	3.81	5.87	3.83	6.35	6.65
23	1.39	0.87	1.68	1.86	1.76	1.73	1.86	1.75	1.75	1.87	1.83	1.74	1.82	1.87
24	21.23	13.14	25.77	26.80	27.57	26.39	28.77	28.20	27.39	26.75	27.88	26.40	27.70	27.07
25	20.31	10.29	13.80	13.67	14.30	13.78	14.71	15.03	14.94	14.34	14.00	13.51	14.65	13.93
26	18.56	15.40	30.41	30.74	31.16	31.38	33.36	32.59	31.44	31.44	33.35	32.02	31.64	33.46
27	3.69	3.39	4.54	4.75	4.75	4.51	4.72	4.88	4.85	4.73	4.57	4.49	4.56	4.86
28	27.27	14.17	18.98	18.66	19.62	19.37	20.18	19.77	19.42	19.88	19.21	20.18	20.57	19.03

Tabla A12. Costo de almacenamiento del insumo k en el periodo t. (Elaboración propia)

CAlm3(k,t)	t-2	t-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16.47	8.76	11.68	11.80	11.83	11.70	12.10	12.12	12.00	12.08	12.14	11.89	12.18	12.11
2	4.44	2.47	3.27	3.34	3.32	3.28	3.44	3.40	3.41	3.41	3.41	3.33	3.45	3.40
3	0.12	0.09	0.11	0.12	0.13	0.10	0.15	0.12	0.10	0.13	0.11	0.15	0.12	0.12
4	29.72	27.77	36.97	37.40	37.48	37.12	38.40	38.46	38.11	38.28	38.42	37.66	38.56	38.31
5	4.44	2.97	3.98	4.01	4.00	4.00	4.10	4.13	4.09	4.09	4.08	4.03	4.12	4.08
6	3.89	2.91	3.89	3.94	3.95	3.90	4.00	4.03	3.98	4.04	4.01	3.96	4.05	4.00
7	1.15	1.08	1.46	1.46	1.45	1.46	1.49	1.46	1.48	1.50	1.50	1.44	1.50	1.48
8	1.32	0.86	1.13	1.14	1.18	1.16	1.18	1.18	1.16	1.19	1.17	1.17	1.16	1.15
9	0.08	0.04	0.08	0.04	0.09	0.05	0.06	0.08	0.05	0.05	0.06	0.09	0.03	0.03
10	2.10	1.86	2.49	2.51	2.52	2.50	2.56	2.59	2.56	2.55	2.60	2.55	2.58	2.59
11	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.05	0.02	0.02	0.05	0.06	0.03	0.06	0.06
12	7.49	4.45	5.94	6.00	5.96	5.94	6.15	6.18	6.08	6.12	6.17	6.04	6.15	6.11
13	11.86	7.36	9.78	9.94	9.92	9.84	10.18	10.18	10.13	10.15	10.19	9.99	10.22	10.16

A13. MODELO EN GAMS

Set t 'número de periodos'

A(t) /'periodos sin primero'/
B(t) /'primer periodo'/
C(t) /'periodos sin últimos'/
D(t) /'último periodo artículos'/
A1(t) /'periodos sin primero'/
B1(t) /'primer periodo' /
C1(t) /'periodos sin último' /
D1(t) /'último periodo'/
A2(t) /'periodos sin primero' /
B2(t) /'primer periodo' /
C2(t) /'periodos sin último' /
D2(t) /'último periodo' / ;

Set i 'artículos' /\$Incluir cantidad de artículos\$/
j 'componentes' /\$Incluir cantidad de componentes\$/
k 'insumos' /\$Incluir cantidad de insumos\$/;

Scalar

FD Factor demanda /\$Variación de parámetros para análisis de sensibilidad\$/

FP Factor Costo de Producción /\$Variación de parámetros para análisis de sensibilidad\$/ FA Factor Costo de almacenamiento /\$Variación de parámetros para análisis de sensibilidad\$/;

Parameters

AINI1(i) /\$Incluir inventario inicial de artículos\$/
AFIN1(i) /\$Incluir inventario final de artículos\$/
AINI2(j) /\$Incluir inventario inicial de componentes\$/
AFIN2(j) /\$Incluir inventario final de componentes\$/
AINI3(k) /\$Incluir inventario inicial de insumos\$/
AFIN3(k) /\$Incluir inventario final de insumos\$/
LeadT1(i) /\$Tiempos de entrega de articulo\$ /
LeadT2(j) /\$Tiempos de entrega de componentes\$ /
LeadT3(k) / \$Tiempos de entrega de insumos \$/ ;

Parameter CPr1(i, t) \$Incluir costos de producción de artículos.

Parameter CPr2(j, t) \$Incluir costos de adquisición de componentes.

Parameter CPr3(k, t) \$Incluir costos de adquisición de insumos.

Parameter CAIm1(i, t) \$Incluir costos de almacenamiento de artículos.

Parameter CAIm2(j, t) \$Incluir costos de almacenamiento de componentes.

Parameter CAIm3(k, t) \$ Incluir costos de almacenamiento de insumos.

Parameter CoefT1(i, j) \$Incluir coeficientes técnicos requeridos de j para la producción de i.

Parameter CoefT2(j, k) \$Incluir coeficientes técnicos requeridos de k para la producción de j.

Parameter Dem1(i, t) \$Incluir la demanda de i.

Variables

ZT, Z1(i), Z2(j), Z3(k), Prod1(i, t), Prod2(j,t),Prod3(k,t), Alm1(i,t), Alm2(j,t), Alm3(k,t),Dem2(j,t),Dem3(k,t),Zt1,Zt2,Zt3;

Positive variables

Prod1(i, t), Prod2(j,t),Prod3(k,t), Alm1(i,t), Alm2(j,t), Alm3(k,t),Zt1,Zt2,Zt3;

Equations

FOBJT, FOBJ1(i), FOBJ2(j), FOBJ3(k), REST1(i, t), REST2(j,t), REST3(k,t), REST12(j,t), REST23(k,t),REST4(i,t), FZt1, FZt2, FZt3;

FOBJ1(i). Z1(i) =E= SUM(t, FP*CPr1(i,t)*Prod1(i,t)+ FA*CAIm1(i,t)*Alm1(i,t)) + FA*CAIm1(i,'112')*AFIN1(i);

FOBJ2(j). Z2(j) =E= SUM(t, FP*CPr2(j,t)*Prod2(j,t)+ FA*CAIm2(j,t)*Alm2(j,t)) + FA*CAIm2(j,'112')*AFIN2(j);

FOBJ3(k). Z3(k) =E= SUM(t, FP*CPr3(k,t)*Prod3(k,t)+ FA*CAIm3(k,t)*Alm3(k,t)) + FA*CAIm3(k,'112')*AFIN3(k);

FZt1 .. Zt1 =E= SUM(i, Z1(i)) ;

FZt2 .. Zt2 =E= SUM(j,Z2(j)) ;

FZt3 .. Zt3 =E= SUM(k,Z3(k)) ;

FOBJT.. ZT =E= SUM(i,Z1(i)) + SUM(j,Z2(j))+ SUM(k,Z3(k));

REST1(i,t).. (Alm1(i,t-1))\$A(t) + AINI1(i)\$B(t) - Alm1(i,t)\$C(t) - AFIN1(i)\$D(t) + Prod1(i,t) =g= FD*Dem1(i,t);

REST12(j,t).. Dem2(j,t)=E= SUM(i,Prod1(i,t+LeadT1(i))*CoefT1(i,j));

REST2(j,t).. Alm2(j,t-1)\$A1(t+PrevT2(j)) + AINI2(j)\$B1(t+PrevT2(j)) - Alm2(j,t)\$C1(t+PrevT2(j)) - AFIN2(j)\$D1(t+PrevT2(j)) +

Prod2(j,t) =E= Dem2(j,t);

REST23(k,t).. Dem3(k,t)=E= SUM(j,Prod2(j,t+LeadT2(j))*CoefT2(j,k));

REST3(k,t).. Alm3(k,t-1)\$A2(t+PrevT3(k)) + AINI3(k)\$B2(t+PrevT3(k))- Alm3(k,t)\$C2(t+PrevT3(k)) - AFIN3(k)\$D2(t+PrevT3(k)) +

Prod3(k,t) =E= Dem3(k,t);

REST4(i,t).. Prod1(i,t) =L= Capacidad(i) ;

Model MRP72 /ALL/;

Solve MRP72 USING LP MINIMIZING ZT;