

**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA SOLICITUD DE MATERIALES
EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTOS DE LA REGIÓN**

**FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ MOLINA
LUNA VANESSA OCAMPO OROZCO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2015**

**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA SOLICITUD DE MATERIALES
EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTOS DE LA REGIÓN**

**FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ MOLINA
LUNA VANESSA OCAMPO OROZCO**

Trabajo de Grado presentado para optar por el título de Ingeniero Industrial

**Asesor: Julián González Velazco
ING. INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2015**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2 JUSTIFICACIÓN	13
3 OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4 MARCO REFERENCIAL	16
4.1 MARCO TEÓRICO	16
4.2 MARCO CONTEXTUAL	25
4.3 MARCO NORMATIVO.....	26
5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	28
6 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLICITUD DE MATERIALES EN LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO	30
7 METODOLOGÍAS EXISTENTES ENMARCADAS EN LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA GESTIÓN DE MATERIALES QUE SE EXPONEN EN LA LITERATURA.....	35
7.1 MODELO HÍBRIDO DE INVENTARIO CON TIEMPO (Izar Landeta & Ynzunza Cortés, 2014)	35
7.2 MODELO DE PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO DE APROVISIONAMIENTO (SERVICE PLANNIG) (Montes Calvo, 2009).....	38
7.3 SISTEMA DE COORDINACIÓN DE INVENTARIO MULTIPRODUCTO, APOYADO EN LA ESTRATEGIA DE ÉPOCAS COMUNES DE RESURTIDO (Morales Pulido, Torres Prado, & Palacio León, 2011).....	41
7.4 MODELO DE VOLUMEN ÓPTIMO DE PEDIDO O DE WILSON (Vizoso, 2011).....	43
7.5 MODELO CONCEPTUAL DEL JIT EN LA COMPRA (Roy & Guin, 1999)	46
7.6 MODELO DE INVENTARIOS MULTIPRODUCTO (Ramírcz Castañeda, Soto, Pérez, & Gómez, 2009).....	49

7.7 ASOCIACIÓN Y NEGOCIACIÓN DE APOYO ÓPTIMO CONJUNTO EN POLÍTICAS DE ORDENAMIENTO / CONFIGURACIÓN PARA JIT (Kelle, Al-khateeb, & Miller, 2003)	52
8 REALIZACIÓN DE UN MODELO QUE INTEGRE LOS FACTORES CLAVE DE LA SOLICITUD DE MATERIALES QUE PERMITA ELIMINAR EL DESPERDICIO	62
8.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y VARIABLES DE DECISIÓN	62
8.2 MODELO MATEMÁTICO	64
9 VALIDACIÓN DEL MEDIANTE UN CASO DE ESTUDIO	66
9.1 MODELO EN AMPL	66
9.2 DATOS EN AMPL	69
9.3 COMANDOS EN AMPL	71
9.4 ANALISIS DE RESULTADOS	72
9.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	76
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diseño de Método de Investigación	29
Tabla 2. Caracterización del Proceso	31
Tabla 3. Modelos y propuestas abordadas por diferentes autores	60
Tabla 4. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)	72
Tabla 5. Proveedor l a recepcionar en el periodo t (Kg)	73
Tabla 6. Necesidades a solicitar a proveedor l en periodo t (Kg)	74
Tabla 7. Balance de inventario de material i en el periodo t (Kg)	74
Tabla 8. Inventario físico del material i en el periodo t (Kg)	75
Tabla 9. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t (Kg)	75
Tabla 10. Inventario final del proveedor l en periodo t (Kg)	75
Tabla 11. Análisis 1. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)	76
Tabla 12. Análisis 1. Proveedor l a recepcionar en el periodo t (Kg)	77
Tabla 13. Análisis 1. Necesidades a solicitar a proveedor l en periodo t (Kg)	77
Tabla 14. Análisis 1. Inventario faltante (escasez) del material i en periodo t (Kg)	78
Tabla 15. Análisis 1. Inventario final del proveedor l en periodo t (Kg)	78
Tabla 16. Análisis 2. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)	79
Tabla 17. Análisis 2. Proveedor l a recepcionar en el periodo t (Kg)	80
Tabla 18. Análisis 2. Necesidades a solicitar a proveedor l en periodo t (Kg)	80
Tabla 19. Análisis 2. Balance de inventario de material i en el periodo t	81
Tabla 20. Análisis 2. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t	81
Tabla 21. Análisis 2. Inventario final del proveedor l en periodo t	81
Tabla 22. Análisis 3. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)	82
Tabla 23. Análisis 3. Proveedor l a recepcionar en el periodo t (Kg)	83
Tabla 24. Análisis 3. Necesidades a solicitar a proveedor l en periodo t (Kg)	83
Tabla 25. Análisis 3. Balance de inventario de material i en el periodo t	84
Tabla 26. Análisis 3. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t	84
Tabla 27. Análisis 3. Inventario final del proveedor l en periodo t	84
Tabla 28. Análisis 4. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)	85
Tabla 29. Análisis 4. Proveedor l a recepcionar en el periodo t (Kg)	86
Tabla 30. Análisis 4. Necesidades a solicitar a proveedor l en periodo t (Kg)	86
Tabla 31. Análisis 4. Balance de inventario de material i en el periodo t	87
Tabla 32. Análisis 4. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t	87
Tabla 33. Análisis 4. Inventario final del proveedor l en periodo t	88
Tabla 34. Consolidación de resultados	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de Procesos	33
Figura 2. Inventario (sin stock de seguridad)	44
Figura 3. Inventario (con stock de seguridad)	44
Figura 4. Modelo Matemático en AMPL	67
Figura 5. Datos del Modelo Matemático en AMPL	69
Figura 6. Comandos del Modelo Matemático en AMPL	71

INTRODUCCIÓN

En una sociedad globalizada, caracterizada por estar inmersa en un ambiente de gran competitividad se encuentra toda una infinidad de empresas de diversas actividades que buscan un mismo propósito u objetivo que consiste en mantener, alcanzar y visualizar ventajas competitivas permanentes. El potencial para ofrecer servicios y/o productos a los clientes que generen un mayor valor respecto al ofrecido por la competencia, lo convierte en una ventaja competitiva para una organización, traducido este valor al cliente en forma de disponibilidad de los servicios y/o productos, calidad y precio (Luna Ruíz, 2002).

Pasada la segunda guerra mundial, las compañías manufactureras japonesas se enfrentaron a una gran escasez de recursos tanto financieros, como humanos y de materiales, impulsando esto al nacimiento de una nueva filosofía denominada Lean Manufacturing. Algunos autores como Tayoda Kiichiro, Shigeo Shingo y Taiichi Ohno crearon esta disciplina orientada a los sistemas, donde su objetivo principal era desechar los procesos innecesarios en el área de producción. Siendo actualmente conocida esta disciplina como Toyota Production System o Lean Manufacturing la cual se logró desarrollar entre los años 1945-1970; por ello durante las últimas décadas muchas herramientas de producción han sido utilizadas para garantizar una mayor eficiencia en los diferentes negocios, entre las herramientas esta la filosofía Lean Manufacturing, la cual busca eliminar el “desperdicio”, definiéndose estos como las actividades que demandan recursos sin generar valor alguno para los clientes.

La filosofía Lean Manufacturing trabaja con pequeños lotes enfocándose en eliminar desperdicios, tanto de materiales como de tiempo, en el momento que se presente un defecto se detiene el proceso lo que se denomina “Jidoka o automoción”; además utiliza el concepto de reposición de materiales “supermercado” y determina dos pilares del sistema de producción que son el Jidoka y el Justo a Tiempo –JIT-, lo que quiere decir que la mejor manera de trabajar sería teniendo cerca el material necesario cuando vaya a ser utilizado. Además se agrupan en equipos de trabajo a quienes se les asigna un conjunto de actividades del proceso y son dirigidos por un líder de equipo, dando libertad a hacer propuestas de cómo mejorar el proceso; esta forma de mejora continua se llama “Kaizen”. Asimismo, se otorga la responsabilidad de detener el proceso desde que surja un problema que ellos no puedan resolver utilizando los “5 Porqués”, los trabajadores estudian las causas de los problemas para encontrar la causa raíz y de este modo evitar que vuelvan a suceder (Tejeda, 2011).

Esta filosofía incluye conceptos como Justo a Tiempo (JIT, por sus siglas en inglés), la cual determina la forma en que se debe gestionar el sistema de producción consistiendo este en la eliminación de aquello que implique desperdicio en el sistema productivo. El objetivo principal es producir un bien y/o servicio en el momento requerido, para que sea vendido o utilizado en la siguiente estación de trabajo; se destaca como elementos principales o claves en el Justo a Tiempo –JIT- el flujo, la calidad, el equilibrio y la sincronización.

El Justo a Tiempo –JIT- elimina los inventarios innecesarios en el proceso como el de productos terminados, permitiendo adaptarse rápidamente a los cambios de la demanda. Si se parte del hecho de que el inventario es considerado la base de muchos problemas en la producción, este se debe reducir al mínimo; buscando disminuir la necesidad de inventario lo suficiente para subyugar las fuentes de incertidumbre y/o crear un sistema más flexible para confrontar los cambios; por ésta razón es considerado una herramienta alternativa de producción (Luna Ruíz, 2002).

Esta filosofía considera 4 elementos importantes que se deben coordinar y mejorar para que todo el sistema trabaje a la perfección los cuales son: el diseño e ingeniería del producto, la cadena de suministro, la demanda y el cliente.

El presente trabajo menciona algunas de las herramientas Lean Manufacturing donde se podrá identificar la herramienta adecuada que ayudará a reducir desperdicios y mejorar la productividad de una empresa productora de alimentos de la región, de tal forma que permita identificar y eliminar todas aquellas actividades que no agregan valor para el cliente y suministrar los materiales que se necesiten, en el momento que se requieran y en las cantidades solicitadas; esto se pretende lograr mediante la identificación de las actividades que no generan ningún valor al proceso, reducir las esperas y el tiempo de preparación; de ésta manera contribuir en mejorar los procesos de solicitud de materiales, con el objetivo de lograr un control adecuado del abastecimiento de materiales en el almacén de la empresa objeto de estudio.

Posteriormente, se desarrolla un modelo matemático que permita un control adecuado del abastecimiento de materiales en el almacén de la empresa objeto de estudio, donde se tienen en cuenta diferentes variables, parámetros y restricciones que asimilen la realidad del problema que se presenta en cuanto a la solicitud de materiales. Para luego, validar este con datos reales de la empresa, con el fin de establecer las cantidades de entrega. Para ello en primer lugar debe definirse la cantidad de pedido con un análisis de costos, incluyendo los costos de penalización por escases. Una vez definida la cantidad de pedido, se manejan las opciones que resulten de todos los valores posibles de la demanda y las cantidades de entrega, llegando al punto donde se encuentre un costo mínimo de inventario.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los sistemas productivos manejan grandes variedades de productos con diferentes niveles de dificultad ya que son muchas las referencias que se pueden llegar a producir. Este hecho hace que en las empresas se presenten día a día muchas dificultades en el flujo y manejo de materiales a la hora de requerir un material u otro. Cuando no se cuenta con herramientas ni métodos estandarizados de producción, se presentan conflictos en el área de trabajo haciendo que el producto tome más tiempo de lo necesario para ser entregado al cliente.

Además los mercados actuales han incrementado la complejidad en las operaciones de una planta industrial donde existe una necesidad de proveer una mayor cantidad de artículos distintos en menor tiempo, esto hace que las estrategias de producción se establezcan con bajos niveles de inventarios y menores tiempos de procesos (Pindick & Rubinfeld, 1998).

En el entorno actual donde la comercialización y distribución de grandes volúmenes de producto obliga a las empresas productoras a ser cada vez más competitivas para atender las exigencias del mercado. Vivir bajo las relaciones de poder impuestas por la distribución no es fácil, solamente los más preparados podrán seguir compitiendo en el mercado; es por ello que en el sector es necesario innovar para ser cada vez más competitivo. (Aguilar, 2015).

Basados en el hecho de que muchos sistemas productivos trabajan con intervalos de tiempo irregulares o variables, ya sea debido a las fluctuaciones en la demanda o cualquier otra causa que se presente en la empresa, hace que la planeación presente dificultad a la hora de solicitar materiales a los diferentes proveedores.

Muchas industrias han adoptado la estrategia de eliminar toda función innecesaria en las operaciones y en manufacturar los productos en el momento preciso y en las cantidades requeridas. La principal fuente de despilfarro es la existencia de stocks en sus diversas formas, lo que arrastra o genera ineficiencias tales como: sobreproducción, procesos inadecuados, movimientos improductivos, productos defectuosos, tiempos muertos, entre otros. (R Fucci, 1999)

En la mayoría de las plantas, normalmente cada proceso implica una considerable cantidad de tiempo que se invierte en el transporte de los artículos desde su solicitud al almacén, hasta el lugar de su transformación; las consecuencias de esto son bien conocidas: una gran cantidad de producto en proceso y plazos de fabricación largos, convirtiéndose esto en desperdicios para la empresas. Por ello para (Maldonado Villalva, 2008) eliminar despilfarros implica eliminar todas las actividades que no añaden valor al producto con lo que se

reducen los costos, se mejora la calidad, se reducen los plazos de fabricación y aumenta el nivel de servicio al cliente.

En diversas áreas de producción de las compañías se acumula material; de hecho, muchas áreas se han convertido en pequeños almacenes, lo cual conlleva a grandes costos de inventario de productos en proceso provocado por una gran variedad de problemas tales como sistemas de gestión de materiales ineficientes, planificación inadecuada de la producción entre otros, por esta razón una consecuencia es la generación de altos volúmenes de inventario (Vila, 2003).

Uno de los problemas principales que presentan las empresas, son los tiempos en que se tarda la salida de los materiales del almacén después de la solicitud, convirtiéndose compleja la cantidad de artículos a administrar y los niveles de materiales con que se cuenta, por ello para (Pérez López, 2009) el sistema debe de ser capaz de calcular las cantidades a fabricar de productos terminados, de los componentes necesarios y de las materias primas a requerir para poder satisfacer la demanda, para que esto ocurra el sistema debe adaptarse a las modificaciones y cambios en las demandas, procurar que todos los centros de producción produzcan en el momento oportuno y en las cantidades precisas, conocer los procesos, tiempos y cantidades requeridas.

El abastecimiento en la industria es muy complejo, especialmente debido a la cantidad de tiempo que toma completar un producto terminado. Esta complejidad hace que la gestión de la misma genere impactos negativos o positivos en el resto de las funciones del negocio y en la utilidad total de la empresa (Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010).

Por esta razón en la industria muchos procesos son altamente complejos para diseñar y construir productos que cumplan con los requerimientos del cliente. Este proceso incluye la cooperación de todas las partes, incluyendo a los clientes, y a los proveedores. El proceso luego necesita una interacción fluida de los proveedores, la gestión de materiales, planeación y programación, y producción; que si no se presenta puede ocasionar la realización de reprocesos y reprogramación de trabajos. (Clark, Howell, & Wilson, 2007).

Las industrias realizan compras de materiales basados en cantidades económicas de pedido (EOQ) (Clark, Howell, & Wilson, 2007), en años recientes, estos han visto un aumento en los costos de los productos por la gestión ineficiente y los problemas de calidad, problema en el que los materiales juegan un papel importante, en especial, lo relacionado con los tiempos de entrega de los mismos, la obsolescencia y la baja calidad (Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010). En la industria marítima, para citar un ejemplo, los materiales y equipos representan más del 50% de los costos totales de entrega de un barco (Fleisher, Kohler, Lamb, & Tupper, 1999).

El proceso de gestión de los materiales constituye un importante porcentaje de la inversión destinada a la logística, pues son considerados como actividades necesarias para evitar que cualquier fluctuación, en alguna fase del proceso altere la regularidad del ritmo de producción, además de neutralizar los desequilibrios que se puedan producir entre abastecimiento y producción. (Casanovas & Cuatrecasas, 2003)

De esta manera para una buena gestión se deben analizar posibles problemas de planeación, tecnología, cultura y procesos de información, que pueden ser causantes de un mal desempeño y un flujo de materiales no apropiado, lo cual dificulta el acceso a nuevos mercados y la supervivencia del negocio, pues esto disminuye su competitividad y a la vez genera el problema que hoy tienen muchas empresas en la desorganización y esto conlleva a generar mayores costos tanto de consumo, como de oportunidad, es por esto que esta área debe estar bien estructurada, pues afecta directamente a otros departamentos de la empresa, como el de producción y comercial, e indirectamente afecta al cliente pues el mal manejo de este, hace que se aumenten los tiempos de entrega y muchas veces que se afecte la calidad de los productos si estos no están bien almacenados. (Hurtado Quintero & Muñoz Giraldo, 2011)

Se pueden mencionar muchas razones por las que las compañías deben adoptar un manejo adecuado de las compras y de todas las actividades contempladas en el proceso de abastecimiento. Primero, éstas representan un porcentaje significativo en los costos totales de las organizaciones, por lo que, ahorrar en las compras incide considerablemente en los resultados financieros de la empresa. Asimismo, una eficiente gestión de abastecimiento y compras, reduce los costos durante la ejecución de los trabajos al minimizar el desperdicio de materiales y el almacenaje inoficioso. Finalmente, una eficiente gestión de abastecimiento contribuye a la entrega a tiempo de las obras y evita los incumplimientos en los planes de trabajo. Por tal motivo, mejorar este aspecto representa un mejoramiento en la competitividad de la empresa. (Arce Manrique, 2009)

Tomando como base lo anterior se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera se puede elaborar un modelo para la solicitud de materiales que contribuya a una buena gestión en la planeación de los materiales en una empresa productora de alimentos de la región?

2 JUSTIFICACIÓN

Todo sistema productivo, para asegurar su funcionamiento, necesita obtener del exterior una serie de insumos y materiales a partir de los cuales se realizarán los procesos de transformación. La función de abastecimiento es la encargada de suministrar estos recursos y adquiere una importancia fundamental en el desempeño de una organización, condicionando los costos productivos y la capacidad de respuesta al consumidor. Dado que los materiales representan un porcentaje elevado del costo de los artículos finales en casi todo tipo de manufactura, no es de extrañar la relevancia que ha tenido y tiene en la actualidad la gestión de aprovisionamiento. Es éste uno de los motivos por los cuales la administración de la cadena de abastecimiento se ha convertido en un arma competitiva clave para las empresas. La administración del flujo de entrada de materiales tiene además una influencia directa en las actividades; por ejemplo, la falta de una firma ocasionaría los retrasos en la solicitud de pedidos o en la entrega de los proveedores afectando la continuidad del flujo de bienes y servicios, aumentando no sólo los costos por tiempos improductivos, sino también los plazos de entrega a los clientes. Asimismo, si no se cumplen las especificaciones requeridas de cantidades, dimensiones y/o calidad de las compras solicitadas, se incurrirá en mayores costos por devoluciones, reprocesos o desperdicios, repercutiendo negativamente en el precio final del artículo y en nivel de servicio al cliente. De la misma forma, el mantener altos niveles de inventarios implica soportar altos costos de mantenimiento, incurrir en costos de oportunidad y asumir riesgos de roturas, robos u obsolescencia. (Monterroso, 2002)

Una necesidad de las organizaciones es eliminar los factores generadores de improproductividades, altos costos, largos ciclos, costosas y largas esperas, desaprovechamiento de recursos, pérdida de clientes y defectos de calidad, todo lo cual origina la pérdida de participación en el mercado, con caída en la rentabilidad, y en los niveles de satisfacción de los consumidores. Una de las acciones que tienen las empresas gira en torno a la detección, prevención y eliminación sistemática de los diversos tipos de desperdicio y despilfarro que asolan a las organizaciones. (Lefcovich, 2004)

Los materiales son importantes para el desarrollo productivo de las organizaciones; hoy en día éste factor se está incluyendo entre los programas de acción para las mejoras de las actividades en las compañías. Autores como (Sandoval R & Mongua G, 2009), afirman que los materiales son un marco de referencia y de planificación que permite reducir la incertidumbre en un futuro desconocido. Dentro de este proceso se manejan los inventarios, los cuales se consideran como un mal necesario que debe reducirse al mínimo, cuando en realidad representan un aspecto vital de todo el sistema de flujos, al permitir la ejecución de las actividades del sistema en forma relativamente independiente.

Dentro de la organización se debe tener un sistema que relacione todas las áreas con enfoque en cumplir las especificaciones de los productos, (insumos, materia prima, mano de obra), aprovechando al máximo la capacidad instalada y el recurso humano; buscando el mejoramiento continuo en todos los recursos, enfocándose principalmente en el sostenimiento durante el mismo y que a pesar de cambios de personal, de áreas o de infraestructura el sistema pueda perdurar. (Santos R, 2015)

Por lo tanto, toda empresa que desee competir en el complejo mundo industrial o de cualquier índole, debe contar con un buen sistema ágil y rápido en el manejo de materiales, que le permita llevar un control eficaz de sus materiales en almacén garantizando una producción continua y evitando retrasos en el cumplimiento de su labor con una logística que le permita planificar, implementar y controlar el flujo y almacenamiento de los mismos e información desde un origen a un punto de consumo.

De acuerdo con esto se debe optimizar el sistema de producción, es decir, se trata de entregar materias primas y componentes a la línea de fabricación de forma que lleguen a tiempo a medida que son requeridos. (Maldonado Villalva, 2008) afirma que un mayor enfoque en la sencillez, es tomando como base en el hecho de que es muy probable que los enfoques sencillos conlleven a una gestión más eficaz. Un enfoque sencillo considerando el flujo de material es eliminar las rutas complejas y buscar líneas de flujo más directas, si es posible unidireccionales.

En la actualidad, las compañías buscan eliminar los desperdicios mediante la disminución de exceso de capacidad o inventario, y la eliminación de las actividades que no generan valor; en este sentido, autores como (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) definen que los objetivos son producir servicios y productos según la necesidad del mercado y mejorar las operaciones en términos de valor agregado.

(Gaither & Frazier, 2000) proponen que la idea fundamental es muy sencilla, pues consiste en reducir de manera importante los inventarios de productos en proceso en todo el recorrido de la cadena productiva; de esta manera los productos fluyen sin retraso o con muy pocas interrupciones en el sistema.

Este proyecto de investigación pretende buscar la manera de aplicar un método que contribuya a mejorar el proceso de solicitud de materiales eliminando desperdicios y disminuyendo las consecuencias generadas por una gestión inadecuada en la solicitud de materiales para la empresa productora de alimentos de la región.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Formular un modelo para la solicitud de materiales que contribuya con una adecuada gestión de la planificación una empresa productora de alimentos de la región.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Hacer una caracterización del proceso de solicitud de materiales en la empresa objeto de estudio.
- ❖ Revisar los métodos existentes enmarcados en las actividades propias de la Gestión de Materiales que se exponen en la literatura.
- ❖ Realizar un modelo que integre los factores claves de la solicitud de materiales que una apropiada gestión de los mismos.
- ❖ Validar el modelo de la solicitud de materiales mediante un caso de estudio.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

Muchas empresas no tienen un sistema de planeación y programación eficiente, lo cual crea un problema de retraso en la entrega de pedidos porque no se realiza la planeación tomando en cuenta las dificultades de los insumos disponibles, ni el tiempo de pedidos que estos requieren. (Cabrera Martinez & Vargas Ocampo, 2011)

Por lo tanto en este punto se comprenden diferentes estudios concernientes en las actividades propias de la Gestión de Materiales que se exponen en la literatura, haciendo un recuento de los conceptos abordados por los autores desde distintas perspectivas.

Si bien la aplicación de diferentes herramientas y conceptos pueden tener un importante impacto positivo en las empresas, estas deben ser ajustadas para tener en cuenta todas las diferencias que existan y aún más importante, el esfuerzo debe ser integrado en un marco de gestión de procesos para asegurar que los proyectos apunten a los objetivos claves de mejora de la compañía. (Bertels, 2015)

Lean Manufacturing está compuesta por un conjunto de técnicas o herramientas que se encuentran relacionadas entre sí, donde existe una secuencia lógica que se debe seguir para la implementación de cada técnica.

Autores como (Vollman, Berry, Whybark, & Jacobs, 2005) se enfocan en la simplicidad.; la intención de este es diseñar celdas de manufactura, productos y sistemas tales que los productos tengan un flujo continuo; eliminando, en su mayor parte, los problemas y disturbios de calidad; la ejecución rutinaria se vuelve precisamente eso, rutina. Los sistemas sencillos pueden manejarse por el personal de la fábrica sin registros detallados y sin la necesidad de apoyo de personal de mandos superiores.

La producción nivelada es una técnica que adapta la producción a la demanda fluctuante del cliente; la demanda debe cumplirse con la entrega requerida al cliente, pero la demanda es fluctuante, mientras las fábricas prefieren que ésta esté nivelada o estable. Un fabricante necesita alinear la demanda con la producción. La herramienta principal para la producción nivelada es el cambio frecuente de lotes pequeños de muchos modelos, en períodos cortos de tiempo con cambios rápidos en una línea dada. (Cardona Betancurth, 2013).

En este caso, los procesos precedentes, que le suministran material, necesitarán mantener inventarios de seguridad o personal y capacidad extra que compensen dichas irregularidades. Para (Domínguez Machuca & García Gonzalez, 1995), el Justo a Tiempo –JIT- intenta eliminar todo tipo de despilfarro en los procesos de fabricación (trabajando con niveles de inventario mínimo y personal); requiere de una gran estabilidad en los flujos de producción, así los distintos componentes y materiales circularán de forma continua y estable a lo largo de todo el proceso. Además, al hacer esto debe considerar cuándo deben iniciar los procesos para cada artículo con el fin de entregar la cantidad completa en la fecha comprometida.

El Heijunka y el Kanban, son herramientas que suponen el paradigma de la producción; surgidas de manera específica en la industria suponen el máximo grado de compromiso con la filosofía Justo a Tiempo -JIT- y son herramientas que necesitan de entornos específicos para su aplicación, tanto en lo relativo a los productos, como en los procesos y disponibilidad de medios. El Kanban se ha constituido en la principal herramienta para asegurar una alta calidad y la producción de la cantidad justa en el momento adecuado utilizando una idea sencilla basada en un sistema de tirar de la producción (pull) mediante un flujo sincronizado, continuo y en lotes pequeños, mediante la utilización de tarjetas. Por otro lado, el Heijunka es la técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo, normalmente un día o turno de trabajo. La gestión práctica del Heijunka requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos y, a su vez, exige una estricta atención a los principios de estandarización y estabilización. Los pedidos de los clientes son relativamente constantes si se consideran en promedio dentro de un período suficientemente grande de tiempo, pero son impredecibles si se analizan con un rango de tiempo pequeño y fuera de un programa pactado. En el primer caso, las variaciones de la producción se deben al propio proceso (planificación, tamaño de los lotes, incidentes, oportunidades de negocio, etc.). En el segundo caso, es la aplicación extrema del tamaño unitario del lote lo que lleva a las empresas a intentar el ajuste instantáneo de la demanda, soportando todas las variaciones de los pedidos. A través de una producción continua nivelada, suavizada y en pequeños lotes, se logra producir con el mínimo nivel de despilfarro posible. (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013)

Como clave dentro del concepto de mejora continua se basa en la lucha persistente contra el desperdicio donde el pilar fundamental para ganar esta batalla es el trabajo en equipo bajo lo que se ha venido en denominar espíritu Kaizen, quien es el verdadero impulsor del éxito del sistema Lean Manufacturing. Esta herramienta es el cambio en la actitud de las personas, es la actitud hacia la mejora, la utilización de las capacidades de todo el personal, la que hace avanzar el sistema hasta llevarlo al éxito. Lógicamente esta herramienta lleva aparejada una manera de dirigir las empresas que implica una cultura de cambio constante

para evolucionar hacia mejores prácticas, que es a lo que se refiere la denominación de “mejora continua”. La mejora continua y el Kaizen, son conceptos maduros. Su significado puede parecer muy sencillo y, la mayoría de las veces, lógico y de sentido común, pero la realidad muestra que en el entorno empresarial su aplicación es complicada sino hay un cambio de pensamiento y organización radical que permanezca a lo largo del tiempo. (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013)

(Leyva Bonilla, 2010), determina que existen organizaciones que confunden o relacionan los sistemas Justo a Tiempo -JIT- con un programa de disminución de inventarios o con el objetivo de llegar a niveles de cero inventario; para este autor es algo mucho más complejo y afecta las operaciones de varios departamentos en las compañías, por otra parte dice, que la disminución de inventarios es uno de los objetivos principales del sistema y claramente es uno de sus resultados, además de que esta filosofía también implica mejorar la calidad de los diferentes procesos en las compañías. El autor se enfoca en los procesos, ya que la meta es la disminución de los tiempos muertos, el incremento de la rotación de inventarios, disminución de los costos de mantenimiento de inventario, utilización de mano de obra más capacitada y mejorar la calidad para así llegar a una ventaja competitiva. Con base en lo anterior, se concluye que el Justo a Tiempo -JIT- sirve para proyectar una imagen favorable de las compañías y generar confianza de parte de los clientes. Teniendo en cuenta que este no sólo sirve para reducir existencias sino que aumenta la calidad y el servicio al cliente, de igual manera concluye que aumentar la habilidad de las organizaciones para competir con otros y permanecer en la carrera de ser competitivo, aumenta la competitividad de las empresas al generar procesos óptimos.

Dentro de las herramientas de Lean Manufacturing se encuentra, el Mapa de la Cadena de Valor (Value Stream Maps): Estos mapas son esencialmente representaciones de alto nivel del flujo del producto (y la información) contiene íconos y gráficos, desde que se realiza la orden, pasando por los proveedores, hasta que el material llega a la empresa para ser transformado y finalmente se despacha el producto terminado a los clientes. El objetivo principal es el de resaltar oportunidades de mejoramiento, mostrando los puntos en los que se desperdicia tiempo a través de la existencia de inventarios y demoras innecesarias; se hace una distinción de los tiempos que agregan valor y los que no lo hacen, encontrando que la proporción de tiempo de valor agregada suele ser mínima. Es en estos tiempos que no agregan valor (desperdicios) que Lean Manufacturing concentra sus esfuerzos de mejoramiento. (Bueneventura Murillo & Ríos Ríos, 2014).

En este mismo orden de ideas, (Espejo Ruiz, 2010), propone que los sistemas productivos buscan cumplir con unos objetivos a corto plazo, como disminución de la ineficiencia y el tiempo improductivo de los sistemas de fabricación, de tal forma que mejore continuamente dichos procesos y la calidad del producto o

servicio; ya que este se enfoca en una estrategia de flujo de línea para lograr una producción en el momento requerido y a bajo costo, comprendiendo como objetivo un procesamiento continuo, sin interrupciones de la producción. Por lo tanto para el autor conseguir este objetivo corresponde a la minimización del tiempo total desde la requisición de material hasta la facturación del producto, enmarcando, que para poder implantar las herramientas Lean Manufacturing para la mejora a la producción, es indispensable definir el concepto de productividad para luego puntualizar las herramientas de mejora que se va a implementar mediante una breve descripción y su método de aplicación e impacto en las compañías. Finalmente se concluye que en la actualidad, el panorama competitivo ha evolucionado de tal forma que cada vez resulta más difícil mantenerse de una forma satisfactoria en el mercado. Más aún, aquellas industrias cuya actividad fundamental se concentra en procesos de transformación. En este sentido, para lograr un sistema de producción eficiente se perfilan las herramientas Lean Manufacturing como pieza fundamental del sistema de valor, que permite garantizar no sólo la supervivencia, sino la excelencia empresarial de las compañías.

A continuación se presentan conceptos de algunas de las herramientas o técnicas de la filosofía Lean Manufacturing, para la eliminación de desperdicios en los diferentes sistemas productivos.

Kaizen: *“Más que solamente mejoramiento, es mejoramiento continuo”*; esta herramienta es la acumulación gradual de muchos pequeños mejoramientos hechos por todos los miembros de la empresa. Kaizen es una disciplina que se obtiene a través de la aplicación del verdadero “empowerment” (empoderamiento). Las ideas de todos los empleados son consideradas, evaluadas por un proceso visible y conocido, en donde la retroalimentación para el empleado es pronta y específica; si la idea se implementa quien la sugirió participa en su implementación (mientras ello sea relevante), lo que hace que los empleados no solamente proponen ideas sino que responden por su implementación y resultados. Esto acentúa el sentido de pertenencia del empleado hacia la compañía y su responsabilidad con la misma. Finalmente la disciplina del mejoramiento permite un ambiente propicio para la implementación de cambios que favorezcan a la compañía y a los trabajadores. Kaizen es uno de los fundamentos de cualquier programa de evolución y avance continuado en el desarrollo empresarial, sin importar con qué nombre se le conozca.

5´s: De la misma forma en que Kaizen aporta la disciplina del mejoramiento continuo, las 5´s es el fundamento de la cultura Lean Manufacturing. 5´s viene de cinco palabras japonesas que han sido utilizadas para mostrar una evolución desde el orden y la limpieza del sitio de trabajo hasta la disciplina personal:

- **Seiri (Utilización):** se refiere a tener en el lugar de trabajo únicamente lo que se necesita, deshacerse de desperdicios, objetos sobrantes, obsoletos

y todos aquellos objetos que no deban permanecer en el lugar de trabajo para uso corriente. Las personas sienten aversión a desprenderse de objetos que podrían tener uso en un futuro desconocido, pero cuando se hace un análisis juicioso se encuentra que muchos objetos no tienen lugar en el espacio de trabajo.

- **Seiton (Orden):** el famoso lema *“un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”*. Los objetos que efectivamente se van a usar deben tener una ubicación que corresponda con la frecuencia de su uso y que ayuden a mantener el lugar de trabajo ordenado y despejado, además de hacer evidente la falta o posición incorrecta de cualquier elemento de trabajo. Incluye además la marcación y etiquetado de los objetos de trabajo y sus ubicaciones correctas.
- **Seiso (Limpieza):** incluye la limpieza del lugar de trabajo, los equipos y superficies que se emplean. Se deben destinar unos minutos al comienzo y final de cada turno para que cada persona limpie y organice su espacio de trabajo. Además, si una persona limpia su espacio de trabajo todos los días, podrá detectar rápidamente cuando aparezcan manchas de lubricante o combustible, lo que permitirá programar las acciones de mantenimiento necesarias antes de que el equipo sufra una avería *“limpieza es detección”*.
- **Seiketsu (Estandarización):** la cuarta “ese” se refiere a la estandarización y mantenimiento de las tres primeras. Las empresas deben crear formatos estandarizados para los procedimientos de utilización, orden y limpieza, y aplicarlos. Se debe crear un esquema de capacitación, seguimiento y auditoría permanentes para que los logros alcanzados en las primeras “eses” no se pierdan. El trabajo de las 5’s se debe convertirse en parte normal del trabajo diario y por tanto deben dedicársele recursos y tiempo, además de que debe ser parte de la rutina diaria y de los indicadores de desempeño de todas las áreas de trabajo de la empresa.
- **Shitsuke (Autodisciplina):** la última “ese” tiene que ver con la interiorización de las cuatro anteriores, cuando el trabajo de 5’s se convierte parte automática de cada persona, e inclusive empiezan a transferir a su vida personal aspectos de 5’s. Es cuando la utilización, el orden, la limpieza y la disciplina se integran en la forma de pensar y actuar de las personas de manera natural.

Jidoka: *“Es la automatización con sentido humano”*; este es uno de los dos pilares de la casa de Lean Manufacturing junto con Justo a Tiempo -JIT-, que consiste en cambios en el diseño del proceso y del producto, junto con la utilización de sensores y actuadores para prevenir errores tanto humanos como de máquina en el proceso. Jidoka es una herramienta fundamental para garantizar la calidad del producto y del proceso, para combatir los errores en los materiales se debe

trabajar en certificación de proveedores. Los errores de máquina los previene Jidoka, y los errores humanos un subconjunto de Jidoka llamado Poka-Yoke, que consiste en configurar las operaciones, equipos y productos de tal manera que sea difícil cometer un error. Es decir, el proceso se convierte en uno a prueba de errores. Jidoka y Poka-Yoke reúnen prácticas de diseño de producto y de proceso y el uso de dispositivos mecánicos semi-automáticos que prevengan los fallos y errores.

Justo a Tiempo -JIT-: es esencialmente la implementación del sistema Pull, en el cual solamente se produce cuando el proceso siguiente solicita unidades del anterior. Si se mantiene una cierta cantidad de inventario de producto terminado, se puede pensar que el cliente se presenta y toma una de esas unidades. En ese momento, esa unidad tiene asociada una tarjeta Kanban), que se envía al proceso anterior y señala la necesidad de volver a completar el inventario de producto terminado. La última etapa del proceso toma una unidad que ya pasó por el proceso precedente, la procesa y completa el vacío en el inventario final. Entonces, la penúltima estación recibe la señal de que hay un espacio en su inventario, y debe tomar una unidad del proceso anterior para resolver este problema, y así sucesivamente. Si no hay demanda ni intercambio de Kanban's no se activan los recursos productivos, reduciendo varias de las clases de desperdicio que se espera eliminar con Lean Manufacturing. Utilizando Kanban's para el control de producción es posible que la línea o celda produzca exactamente lo necesario en el momento justo, sin recurrir a una lista de trabajos programada centralmente. Cada centro de trabajo entiende qué debe hacer cuando recibe las señales a través de los kanbans. (Rivera Cadavid, 2015)

La filosofía Lean Manufacturing, básicamente se basa en el hecho que dentro del proceso de fabricación de las piezas sólo sean producidas en el momento que haya una demanda por parte de los clientes o la siguiente estación de trabajo; por lo tanto, este método consiste en fabricar y entregar los ítems o servicios justo en el momento que son requeridos con el objetivo de que los materiales se encuentren activos dentro del proceso. (Crespo & García, 1996) proponen en su artículo una comparación sencilla sobre el funcionamiento del Justo a Tiempo -JIT- y otros como cantidad económica de pedido (EOQ, Economic Order Quantity) o el método de la cantidad de pedido periódica (POQ, Periodic Order Quantity), sistema de planificación de las necesidades de fabricación (MRP, Manufacturing Resource Planning), Tecnología de la Producción Optimizada (OPT, Optimized Production Technology), basado en procedimientos de carga finita que se concentra en un subconjunto de centros de trabajo (cuellos de botella) o los principios que subyacen a la filosofía (TOC, Theory of Constraints). Basado en la forma de ejecutar las órdenes de pedido de materiales; así atendiendo a esta se puede hacer una categorización de los pedidos. De acuerdo a todo esto los autores concluyen que cada sistema de planificación y control presenta características especiales; puesto que abordan desde distinta óptica las

actividades que comprende el proceso de planificación, programación y control de la fabricación; y emplea métodos diferentes para llevarlos a cabo.

(Roy & Guin, 1999) proponen un modelo conceptual del Justo a Tiempo -JIT- en la compra, donde en términos generales significa ordenar frecuentemente y hacer entregas frecuentes de materiales en menores lotes, y con proveedores de calidad certificada, hasta el punto de su consumo en el momento, en la cantidad y calidad adecuada. Escogen el departamento de compra para aplicar el modelo Justo a Tiempo -JIT- porque es la primera línea de defensa de una planta en cuanto a calidad y suministro oportuno de artículos. La compra Justo a Tiempo -JIT- no es sobre la reducción de los inventarios, de hecho, la reducción de inventario es quizás el resultado más visible. Los autores afirman que dado los patrones de consumo de la mayoría de los elementos discretos de la planta no son estables, no se puede poner en práctica el modo Justo a Tiempo -JIT- de la compra en todos los elementos discretos. Desde el punto de vista Justo a Tiempo -JIT- todos los elementos discretos y los proveedores que suministran estos pueden definir como, artículos Justo a Tiempo -JIT-, son los que tienen demandas estables y repetitivas, con alto consumo y valor de alta criticidad. Para el estudio son los ítems de la clase A con movimiento rápido, y elementos vitales, pertenecen al tipo de proveedores Justo a Tiempo -JIT-, y la definición de proveedor Justo a Tiempo -JIT- es aquel con calidad certificada, con un historial probado de fiabilidad y puntualidad en el suministro de artículos y que está dispuesto a participar y cooperar en el modo Justo a Tiempo -JIT- de la oferta, y cuenta con la formación adecuada y la comprensión de la filosofía Justo a Tiempo -JIT-. Los vendedores que no cumplan esta definición se llaman los vendedores no Justo a Tiempo -JIT-. Analizado todo esto los autores concluyen que la identificación y clasificación los materiales y proveedores mejora en eficiencia bajo la red Justo a Tiempo -JIT- y se sugiere un modelo de consolidación de carga para recoger los artículos de los vendedores.

(Bernal Rodríguez, 2007), en su trabajo enfatiza que la filosofía Justo a Tiempo -JIT- indica que cuando aparecen problemas se debe enfrentar a ellos y resolverlos. Este autor elabora una estrategia competitiva a nivel de negocio donde supone o define aquella o aquellas variables en que se quiere ser superior a la competencia y genera que los clientes compren los productos de una compañía y no los de otra, llegando a concluir que el nivel de las existencias puede reducirse gradualmente hasta descubrir otro problema; este problema también se resolvería, y así sucesivamente. De ésta forma, se concluye que el enfoque Justo a Tiempo -JIT- ante una máquina o un proceso que constituye un cuello de botella, ayuda a reducir el tiempo de preparación para conseguir una mayor capacidad, buscar máquinas o procesos alternativos, comprar capacidad adicional o incluso subcontratar el trabajo en exceso.

En otros estudios, autores como (Gomez García, 2009), consideran las herramientas de la filosofía Justo a Tiempo -JIT- para las industrias puntualizando

que existen al menos tres formas de enfocar el Justo a Tiempo -JIT- en las mismas; la primera de ellas se podría denominar stock cero o reducción continua de los stocks, dado que en la prestación pura de servicios la producción de los mismos coincide con el consumo, generando la no existencia de stocks; el segundo enfoque se centra en la eliminación del desperdicio, dado que en los servicios proporcionados el cliente tiende a valorar tanto el producto final, como el proceso por el que recibe el servicio, en la definición de desperdicio en servicios el autor enfatiza que hay que tener presente los conceptos de valor y de costo de cada una de las actividades. En esta visión, desperdicio es donde no se genera valor para el cliente o donde se incurre en costo para la empresa; el tercer enfoque de Justo a Tiempo -JIT- es la reducción de tiempos, normalmente esta etapa siempre consiste en una descripción y subsiguiente análisis de la secuencia de actividades de prestación del servicio y los correspondientes ciclos de actividad de cada entidad que interviene en el proceso. En este estudio el tiempo es una variable clave dado que el tiempo aparece como necesidad del cliente respecto a la disponibilidad del servicio a cualquier hora, sin tener que esperar. Comprendido este aspecto el autor concluye que una de las maneras de conseguir valor es la información para incrementar el nivel de servicio al cliente o para reducir los costos de gestión para la empresa, facilitando la labor de los servidores o desplazando parte de su labor a los propios clientes, generando alta productividad; esto significa potenciar la generación de valor, localizando aquellos elementos que pueden aumentar el valor para el cliente con disminución o con poco incremento de los costos. Además las empresas deben informarse en el momento preciso, es decir, utilizar la información para crear la nueva generación de crecimiento de valor para el cliente.

(Castro Salazar & Guamanquispe Porras, 2009) en su trabajo abordan el Justo a Tiempo -JIT- como el principio donde las materias primas y los productos llegan justo a tiempo, para la fabricación o para el servicio al cliente, por tal razón concluyen que los proveedores que suministran por lo general no apoyan el Justo a Tiempo -JIT-, para esto, ellos deben suministrar materiales en pequeñas cantidades en períodos cortos lo cual implica aceptar la existencia de dos factores en los problemas con los suministros, uno de ellos es el cliente y el otro son los proveedores. De tal manera que el departamento de compras debe realizar un seguimiento minucioso y exacto de los pedidos, pero los encargados de realizar las compras de material suelen pedir siempre las mismas cantidades, evitando problemas como es el de revisar los stocks, en este caso el proveedor deberá contar con la cantidad suficiente que sea requerida por el cliente, además otro problema común resulta cuando no se tiene un contacto directo con el proveedor, por lo tanto, es fácil que el departamento de compras se aleje de sus pautas teóricas de funcionamiento, pudiendo llegar al caos del sistema que se trate de implementar; entonces para implantar el Justo a Tiempo -JIT-, el primer pilar que se debe asegurar es que el departamento de compras funcione correctamente, lo cual significa que no se deba contratar más personal, sino que se tomen las decisiones con una mayor precisión, ya que a partir de ese momento, el número

de pedidos que se realizan es mucho mayor y sobre todo, con una frecuencia y exactitud mucho más alta y el proveedor deberá conocer exactamente lo que se requiere, ya que no deberá existir error en las materias primas, lo cual ocasionaría la pérdida de la producción diaria. Comprendido esto llegan a la conclusión que la filosofía Justo a Tiempo -JIT- puede llegar a solucionar este problema, si se adopta su filosofía y se trata de convencer a los proveedores de que ellos también lo adopten, el conjunto se comportará sincronizadamente en la que todos los actores tengan una función, la cual si es llevada a cabo correctamente, propiciará que funcionen el resto. El proveedor sabrá exactamente cuáles van a ser los pedidos que se le van a solicitar con la anterioridad suficiente como para poder cumplir con sus objetivos, además, si a esto se le agrega que los pedidos serán en lotes pequeños y frecuentes, se reducirá los costos en inventario, de esta manera pasará a tener una relación muy estrecha con el cliente y éste los considerará como parte de la empresa.

Por otro lado (Dias García, 2009) aplica su trabajo en una empresa donde está presenta problemas por falta de planeación, organización y control de la producción, generando esto un alto consumo de materiales, aumento del tiempo ocioso al no suministrar oportunamente la materia prima, lo cual hace que se incumplan los tiempos de entrega ocasionando esto insatisfacción por parte del cliente, por tanto en el trabajo lo que busca es desarrollar un esquema para la planeación de la producción teniendo como base los lineamientos de la filosofía Justo a Tiempo -JIT- que les permita un desarrollo programado y controlado de los procesos; teniendo en cuenta que el Justo a Tiempo -JIT- es una filosofía, ya que no únicamente afecta al proceso productivo, sino también el personal, la forma de trabajo y los proveedores. De esta manera llega a que el Justo a Tiempo -JIT- por lo general se aplica a líneas de flujo, pero los ambientes de trabajo en la producción por pedidos también pueden generar beneficios de este sistema; aunque la producción de trabajos por pedido se caracteriza por el bajo volumen y una alta variedad, el Justo a Tiempo -JIT- se puede utilizar si la demanda se estabiliza de modo que permite la fabricación respectiva. La estabilización de la demanda suele ser más fácil de lograr cuando esta proviene de una etapa de producción anterior y no del cliente final, es decir, que los clientes internos pueden facilitar sus requerimientos internos más que un distribuidor o comprador individual.

Entre otras investigaciones autores como (Padilla, 2010), en su artículo propone que con el fin de evitar problemas tales como desequilibrio de existencias y exceso de equipos y operarios, se han creado sistemas flexibles que puedan adaptarse a las modificaciones debidas a problemas y fluctuaciones de demanda. Con el Justo a Tiempo -JIT- todos los procesos producen las piezas necesarias en el tiempo necesario y se deben tener disponibles únicamente las existencias mínimas necesarias para mantener unidos los procesos. Disponiendo el Justo a Tiempo -JIT- como una forma de aprovechar plenamente las capacidades de los operarios y del sistema en general. De esta forma se llega a la conclusión que

para un sistema de control de producción el Justo a Tiempo -JIT- abarca todas las operaciones relacionadas, no solo inventarios, sino también tiempos de reacción más cortos, mejora de atención, servicio al cliente, calidad y costos. Utilizando este sistema, disminuye los desperdicios y se incrementa la productividad.

Por último, autores como (Weng, Wei , & Fujimura, 2012) abordan que en los procesos de producción, la finalización del Justo a Tiempo -JIT- en los trabajos ayuda a reducir tanto el inventario y la entrega tardía de los productos terminados. Por lo que la investigación tiene como objetivo lograr la finalización del trabajo de manera oportuna y eficiente. El Justo a Tiempo -JIT- se enfocó principalmente en problemas de programación estática, en la que todos los puestos de trabajo están disponibles en el momento cero o el tiempo disponible de cada puesto de trabajo que se conoce de antemano. En contraste con esto, los problemas de programación dinámicos implican la llegada continua de nuevos puestos de trabajo, estos no son muy investigados y las reglas de secuenciación siguen siendo las más frecuentes utilizadas para estos problemas. Sin embargo, las reglas de secuenciación no son de alto rendimiento para el objetivo de Justo a Tiempo -JIT-. Este estudio propone varias estrategias de enrutamiento que pueden ayudar a las reglas de secuenciación comprendiendo la utilización de Justo a Tiempo -JIT- para trabajos que llegan de forma dinámica a las líneas de flujo híbridas. Por último concluyen que las estrategias de enrutamiento se basan en la simulación por computador la cual hace el pronóstico en tiempo real de los tiempos de finalización de los trabajos terminados. Las ventajas incluyen tiempo de cálculo a corto tiempo, respuesta rápida y eficiente frente a las perturbaciones. Las simulaciones por ordenador muestran que el rendimiento de las reglas de secuenciación combinados con las estrategias de enrutamiento y Justo a Tiempo -JIT- propuestos, es significativamente mayor que la de las reglas de secuenciación únicas y las reglas de secuenciación en combinación con los métodos de enrutamiento.

4.2 MARCO CONTEXTUAL

La empresa productora de alimentos caso de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Zarzal en el norte del departamento del Valle del Cauca, al suroccidente Colombiano; la economía de la región está basada en el cultivo extensivo de la caña de azúcar, es de importancia resaltar el desarrollo de pequeñas empresas en los sectores de producción de alimentos y salud. La Población se caracteriza por su gran empuje comercial, ya que existen en el municipio gran cantidad de almacenes de ventas de productos de primera necesidad y tiene una plaza de mercado, la cual sirve de abastecimiento para varios municipios vecinos. Para efectos del caso de estudio, se tendrá en cuenta la problemática que se presenta en la empresa en cuanto a la solicitud de

materiales buscando eliminar los desperdicios de manera que se contribuya a mejorar el proceso.

4.3 MARCO NORMATIVO

- **DECRETO 3075 DE 1997 DEL MINISTERIO DE SALUD**

ARTICULO 1o. ÁMBITO DE APLICACIÓN. La salud es un bien de interés público. En consecuencia, las disposiciones contenidas en el presente Decreto son de orden público, regulan todas las actividades que puedan generar factores de riesgo por el consumo de alimentos, y se aplicaran:

- a. A todas las fábricas y establecimientos donde se procesan los alimentos; los equipos y utensilios y el personal manipulador de alimentos.
- b. A todas las actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos en el territorio nacional.
- c. A los alimentos y materias primas para alimentos que se fabriquen, envasen, expendan, exporten o importen, para el consumo humano.
- d. A las actividades de vigilancia y control que ejerzan las autoridades sanitarias sobre la fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución, importación, exportación y comercialización de alimentos, sobre los alimentos y materias primas para alimentos.

- **RESOLUCIÓN 2649 DE 1998 MINISTERIO DE SALUD**

Que el Ministerio de Salud mediante la Resolución 18055 de 1985, prohibió la utilización de Sistema Promocional en los productos alimenticios, consistente en la inclusión de objetos extraños en contacto con el alimento.

Que Colombia como país miembro de la Organización Mundial del Comercio, OMC, debe acoger las medidas sanitarias que rigen esta organización y por tanto cumplir con los compromisos adquiridos, entre otros el de eliminar obstáculos técnicos al comercio; razón por la cual se hace necesario reglamentar y actualizar el Régimen Sanitario, de acuerdo con los avances tecnológicos de la industria alimentaria y el desarrollo e innovación de productos alimenticios a nivel mundial.

Que el Decreto 1292 de 1994, le asigna al Ministerio de Salud la función de formular las políticas y la de expedir las normas sobre el control de los factores de riesgo del consumo, para su aplicación por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos Invima y las entidades territoriales de salud.

○ **RESOLUCIÓN NÚMERO 2652 DE 2004 MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL**

Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano.

RESUELVE:

Artículo 1º. Objeto. La presente resolución tiene por objeto establecer el reglamento técnico a través del cual se señalan los requisitos que deben cumplir los rótulos o etiquetas de los envases o empaques de alimentos para consumo humano envasados, así como los de las materias primas para alimentos, con el fin de proporcionar al consumidor una información sobre el producto, suficiente, clara y comprensible que no induzca a engaño o confusión y que le permita efectuar una elección informada.

Artículo 2º. Campo de aplicación. Las disposiciones de la presente resolución se aplican a todos los alimentos para consumo humano envasados y/o empacados, para hostelería y materias primas de alimentos, nacionales e importados que se comercialicen en el territorio nacional, así como a sus rótulos o etiquetas de las materias primas.

5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Este capítulo expone las actividades que buscan cumplir con cada uno de los objetivos específicos propuestos del proyecto que plantean la propuesta de un modelo para la solicitud de materiales en una empresa productora de alimentos de la región.

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico que implica hacer una caracterización del proceso de solicitud de materiales en la empresa objeto de estudio, se realizará la descripción del proceso y de la caracterización de éste, que concierne a la solicitud de materiales en donde se describa el problema que se presenta en la empresa productora de alimentos de la región.

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico el cual propone revisar las metodologías existentes enmarcadas en las actividades propias de la Gestión de Materiales que se exponen en la literatura; se realizará una revisión que permita identificar diferentes metodologías que contenga las características claves identificadas en el objetivo anterior, para esto se ejecutará una revisión bibliográfica en las bases de datos de la universidad, trabajos de grado, tesis y libros que aborden el tema de la solicitud de materiales, haciendo un análisis comparativo que facilite la definición del modelo, teniendo en cuenta además las ventajas y desventajas de cada una de las metodologías abordadas.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo que consiste en la realización de un modelo que integre los factores clave de la solicitud de materiales que permita una adecuada de los mismos, se diseñará el modelo que contenga los elementos identificados que permitan definir los parámetros, restricciones, variables, y función de desempeño del modelo; también determinar el método de solución del mismo y obtener los resultados en un tiempo computacional adecuado.

Para finalizar y dar cumplimiento al último objetivo específico se tomarán los datos necesarios para la aplicación del modelo a una empresa productora de alimentos de la región, con el fin de dar solución al modelo propuesto y realizar un análisis de los resultados obtenidos; finalmente se llevará a cabo un análisis de sensibilidad donde se plantearán diversos escenarios del modelo frente a la variación de parámetros de interés relacionados con los factores relevantes identificados y evaluar su impacto en el comportamiento de las variables de decisión y la función objetivo. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Diseño de Método de Investigación

Objetivo	Metodología	Herramienta
Hacer una caracterización del proceso de solicitud de materiales en la empresa objeto de estudio.	Elaborar la descripción del proceso y de la caracterización de este en cuanto a la solicitud de materiales en donde se describa el problema que se presenta en la empresa productora de alimentos de la región.	Flujograma de Procesos.
Revisar los métodos existentes enmarcadas en las actividades propias de la Gestión de Materiales que se exponen en la literatura	Se ejecutará una revisión bibliográfica en las bases de datos de la universidad, trabajos de grado, tesis y libros que aborden el tema de la solicitud de materiales, haciendo un análisis comparativo que facilite la definición del modelo, teniendo en cuenta además las ventajas y desventajas de cada una de las metodologías abordadas.	Comparación de modelos de diferentes autores.
Realizar un modelo que integre los factores clave de la solicitud de materiales que permita una adecuada gestión de los mismos.	Elaborar el modelo que contenga los elementos identificados que permitan definir los parámetros, restricciones, variables, y función de desempeño del modelo; también determinar el método de solución del mismo y obtener los resultados en un tiempo computacional adecuado.	Estructurar el modelo de acuerdo a los parámetros establecidos que busque dar solución al problema.
Validar el modelo de la solicitud de materiales mediante un caso de estudio	Tomar datos necesarios para la aplicación del modelo en la empresa, con el fin de dar solución al modelo propuesto y realizar un análisis de los resultados obtenidos; finalmente se llevará a cabo un análisis de sensibilidad donde se plantearán diversos escenarios del modelo frente a la variación de parámetros de interés relacionados con los factores relevantes identificados y evaluar su impacto en el comportamiento de las variables de decisión y la función objetivo.	Análisis de sensibilidad para validar los resultados del modelo bajo diferentes escenarios.

Fuente: Elaboración propia.

6 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLICITUD DE MATERIALES EN LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO

En el desarrollo del presente capítulo, se realiza una breve descripción que corresponde a la orientación de la empresa objeto de estudio, para identificar la caracterización del proceso que concierne a la solicitud de materiales, con el fin de describir detalladamente la problemática encontrada, utilizando herramientas propias de ingeniería.

En esta etapa y a partir de lo relacionado con definiciones y términos de la gestión de materiales, se despliega en la Tabla 2 la descripción de los procesos que maneja la empresa objeto de estudio en donde se refleja la problemática que se identifica en la compañía, desplegando en la figura 1 el proceso de solicitud de materiales, de forma más detallada las actividades realizadas, siendo de especial importancia la descripción correspondiente a la solicitud de materiales.

Dentro del proceso que maneja la empresa productora de alimentos de la región se plasma el procedimiento para la solicitud de materiales dentro de la planeación de la producción, el objetivo de este es definir fechas y cantidades de productos a fabricar teniendo en cuenta la creación y actualización de los estándares productivos de planta, asignando los recursos necesarios de manera efectiva a fin de cumplir con el plan de ventas, los pedidos de exportaciones para mercados de oportunidad/desarrollo y controlando los niveles de inventario de acuerdo a las políticas establecidas.

El alcance del proceso inicia con las necesidades primarias planificadas generadas por los centros de demanda, los pedidos de exportaciones y culmina con la generación del programa diario de producción (liberación de órdenes de proceso).

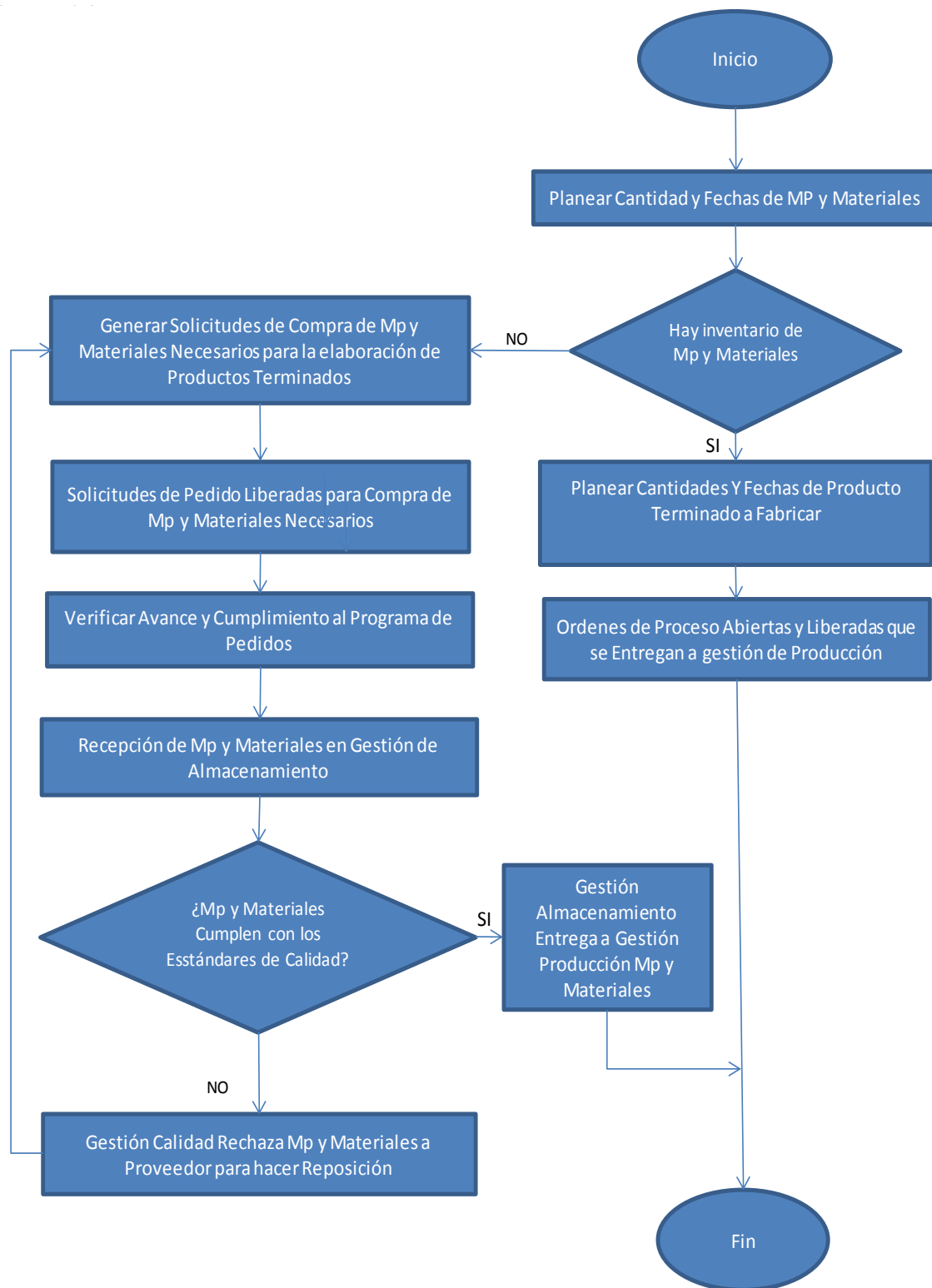
Tabla 2. Caracterización del Proceso

Proveedor	Entradas	Actividades	Salidas	Cliente
		<u>PLANEAR</u>		
Unidades de negocio y de apoyo	*Plan Estratégico	*Planear los objetivos y metas para cumplir con el plan estratégico de la compañía	*Ordenes de proceso abiertas y liberadas	Gestión de Producción
Planeación de ventas	*Necesidades Primarias Planificadas	*Planear cantidades y fechas de los productos terminados a fabricar	*Solicitudes de pedidos liberadas para compra de materiales y de productos representados	Gestión de Abastecimiento
		*Planear cantidades y fechas de las materias primas para la producción y/o ensayos de productos		Gestión de Mantenimiento
Gestión de Compras	*Prioridades de Producción	*Planear y cumplir políticas de inventarios de materias primas	*Solicitud de pedidos de materiales intercompañía	
				Gestión de Calidad
Planeación de la Producción	*Plan Móvil	*Planear equipos y personal necesario para fabricar los productos requeridos		
		<u>HACER</u>		
Planeación de los Materiales	*Estimados de venta de productos a nivel producto /centro	*Generar solicitudes de compra de materias primas necesarias para la elaboración del producto y materiales para ensayos de producto		Gestión de Almacenamiento
		*Cumplir con los objetivos y metas trazadas		
Planeación de la Producción	*Pronósticos de ventas de productos a nivel producto/país	*Generar ordenes de procesos de productos mediante la ejecución del plan maestro de producción [MPS]	*Programación semanal de equipos y personal	
	*Pedidos de ventas de exportaciones para mercados oportunidad/desarrollo	*Generar la distribución de cargas por líneas de producción	*Equipos de personal y materiales disponibles para ensayos	Desarrollo e Innovación de Productos

		*Generar la distribución de equipos	*Cumplimiento al plan estratégico y/o oportunidades de mejoramiento identificadas	Gestión de Contratación, Administración de Personal y Desarrollo Organizacional
	*Programación de ensayos de producto	*Generar las necesidades de personal		
		<u>VERIFICAR</u>		
		*Verificar las cantidades y fechas de las ordenes de procesos propuestas por el sistema		Unidades de Negocio y Apoyo
		*Verificar la disponibilidad de los inventarios de los materiales		
		*Verificar cantidades y fechas de las órdenes de compra para materias primas propuestas por el sistema		
Planeación de los Materiales	*Estándares productivos	*Verificar el avance y cumplimiento al plan de producción	*Necesidades de personal	Procesos Manuales
		*Verificar el cumplimiento al programa de pedidos exportación		
		<u>ACTUAR</u>		
		*Ajustar las ordenes de proceso de acuerdo a su avance y cumplimiento y a cambios en el plan de ventas	*Cumplimiento y monitoreo a los requisitos exigidos por los sistemas de gestión que le aplican al proceso	Ingeniería
		*Ajustar el plan de materiales debido a cambios en el plan de producción	*Definición de estándares productivos	
		*Ajustar cargas por líneas de producción	*Descripción de cargos y métodos de trabajo	
		*Ajustar necesidades de personal		
		*Ajustar la programación de equipos		

Fuente: Elaboración Propia

Figura 1. Flujograma de Procesos



Fuente: Elaboración Propia

De forma más detallada se describe la figura 1, el proceso de solicitud de materiales en la empresa objeto de estudio donde inicia con la planeación de la cantidad y fechas de materias primas y materiales para dar cumplimiento al plan de producción (aquí se refleja la problemática que se está dando en la empresa actualmente), en donde se debe verificar si hay inventario de estos, de haber inventario suficiente para suplir la necesidad del plan, se planean las cantidades y fechas de producto terminado a fabricar, seguido de las órdenes de proceso abiertas y liberadas que se entregan a gestión de producción. En caso contrario, que no se cuente con el inventario adecuado se genera una solicitud de compra de materia prima y materiales necesarios para la elaboración de productos terminados, luego se hacen las solicitudes de pedido liberadas para compra de materia prima y materiales necesarios; realizando continuamente el seguimiento del avance y cumplimiento al programa de pedidos para luego realizar la recepción de materia prima y materiales en gestión de almacenamiento, en este punto se hace la verificación del cumplimiento a los estándares de calidad en la materia prima y materiales exigido por la empresa, cuando estos cumplen los estándares de calidad establecidos en la empresa, se liberan al área de gestión de almacenamiento para que pueda hacer uso de estos entregándolos a gestión de producción y así terminando allí el proceso.

Cuando no se cumple con el estándar de calidad, gestión de calidad rechaza las materias primas y materiales a los proveedores, con el objetivo de realizar el proceso de reposición, generando nuevamente la solicitud de compra de materias primas y materiales necesarios para la elaboración de los productos terminados continuando con el proceso.

En la empresa objeto de estudio uno de los problemas identificados al momento de la solicitud de los materiales se refleja retraso en la disponibilidad de materias primas y materiales, para planear las cantidades de producto terminado a fabricar, debido a que en la planeación efectiva se afecta por los cambios bruscos de la demanda de producto terminado, ocasionando que no haya reacción oportuna para hacer la solicitud en el momento adecuado y así garantizar el abastecimiento de materiales; además esto ha causado que no tenga un resultado eficaz, generando incumplimientos en los requisitos de los clientes y retrasos en la estandarización de procesos siendo esto reflejo de una inadecuada gestión de materiales. Por lo tanto, se propone una estrategia que garantice un aprovisionamiento adecuado y oportuno sin alterar los costos de inventarios sosteniéndose así a lo largo del tiempo, cumpliendo con los requerimientos de la organización.

7 METODOLOGÍAS EXISTENTES ENMARCADAS EN LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA GESTIÓN DE MATERIALES QUE SE EXPONEN EN LA LITERATURA

Dentro de la realización del modelo que integre los factores clave de la solicitud de materiales que permita eliminar el desperdicio en cuanto a la solicitud de los materiales, se encuentra que el proceso de compras, también llamado abastecimiento, son el proceso mediante el cual las compañías adquieren las materias primas (commodities), componentes, productos, servicios u otros recursos de los proveedores para ejecutar sus operaciones. Al diseñar una estrategia de aprovisionamiento, es importante que la compañía tenga claro los factores que más influyen en el desempeño y en el mejoramiento que se desea alcanzar en esas áreas, por tal motivo el aprovisionamiento es todo un conjunto de procesos empresariales requeridos para comprar bienes y servicios. Para cualquier función de la cadena de suministro, la decisión más significativa es si subcontratar la función o realizarla de manera interna. De allí que exista una revisión literaria que describe los diferentes aspectos de los sistemas para el abastecimiento en las empresas, algunos de esos estudios son empíricos, otros usan simulación y otros usan modelos cuantitativos. (CHOPRA & MEINDL, 2008)

A continuación se presentan modelos correspondientes a la gestión de materiales.

7.1 MODELO HÍBRIDO DE INVENTARIO CON TIEMPO (Izar Landeta & Ynzunza Cortés, 2014)

El método Híbrido es una combinación de los modelos de la cantidad económica de pedido (EOQ) y el punto de reorden, incluyendo precios discontinuos del artículo, por los descuentos que ofrece el proveedor en caso de adquirir grandes volúmenes. Este aplica para el caso de un solo artículo, con demanda independiente, aleatoria, discreta y no estacional y con tiempo de entrega aleatorio y conocido. La técnica considera un tiempo de entrega aleatorio y consta de los siguientes pasos:

1. Determinar mediante la fórmula de Wilson para el modelo EOQ (ecuación 1), una cantidad a pedir que sea válida (i.e., que se haya calculado considerando el rango de precio por volumen ofrecido por el proveedor).

$$Q = \sqrt{\frac{2C_p D}{C_a M}} \quad (1)$$

Dónde:

Q = Cantidad de pedido, artículos/pedido.
 C_p = Costo de colocar cada pedido, \$/pedido.
 D = Demanda anual del producto, artículos/año.
 C_a = Costo de compra de cada artículo, \$/artículo.
 M = Fracción anual de conservación del inventario, fracción/año.

Si la Q anterior queda ubicada en el precio mínimo del artículo, es considerada como la cantidad de pedido; en caso contrario, habrá que hacer un comparativo de costos con las Q posibles, que serán la calculada en el paso anterior y las que impliquen ahorros por volumen de acuerdo a los precios ofrecidos por el proveedor. Con esto se establece Q en el valor que minimice los costos.

2. Calcular el punto de reorden (PR) con la ecuación (2)

$$PR = \frac{DL}{365} + B \quad (2)$$

Dónde:

PR = Punto de reorden, unidades.
 L = Tiempo de entrega del proveedor, días.
 B = Existencias de seguridad, unidades.

De los valores posibles de PR , se elige el que resulte con el menor costo al sumar el mantenimiento de las existencias de seguridad y los faltantes.

Para el valor elegido de PR en el paso anterior, se estima su costo de inventario con las siguientes partidas:

(a) Costo anual de colocar pedidos, C_{ped} , que se obtiene con la ecuación (3):

$$C_{ped} = C_p \frac{D}{Q} \quad (3)$$

(b) El costo anual de mantener los artículos en inventario C_{mant} , que se calcula con la ecuación (4):

$$C_{mant} = C_a M \left(B + \frac{Q}{2} \right) \quad (4)$$

(c) El costo anual de agotamientos, C_{agt} , que se estima con la ecuación (5), tomando el costo de cada faltante como el monto que se deja de ganar por contar con demanda y no tener el artículo en existencia, al que se agrega una fracción adicional a , que mide el efecto negativo de la publicidad boca a boca, para la cual algunos autores sugieren utilizar un valor entre 0.5 y 1.

$$C_{agt} = C_f \left(\frac{D}{Q} \right) Nf \quad (5)$$

Dónde:

C_f = Costo de cada faltante, \$/unidad.

Nf = Número promedio de faltantes, unidades/pedido, el cual se obtiene con la ecuación (7).

Por su parte, el costo de cada faltante se calcula con la ecuación (6):

$$C_f = (1 + \alpha)(Pr - Ca) \quad (6)$$

Siendo Pr el precio al que se vende el artículo al público.

$$Nf = \sum_{i=1}^n f_i p_i \quad (7)$$

Dónde:

f_i = Número de faltantes de la opción i , unidades.

p_i = Probabilidad de la opción i , fracción.

n = Número de opciones de demanda que pueden tener faltantes.

(d) El costo de adquisición de los artículos, C_{adq} , que aunque no es propiamente un costo del inventario, al haber diferentes precios por parte del proveedor-según el volumen que se compre, se considera en la ecuación del costo total. Dicho costo es el producto del precio de compra del artículo por el volumen anual de compra (ecuación 8):

$$C_{adq} = DCa \quad (8)$$

La suma de las 4 partidas (pedidos, mantenimiento, agotamientos y adquisición) conforma el costo del inventario.

Los datos requeridos y supuestos del método son:

- El costo de colocar nuevos pedidos, que es constante.
- La demanda de artículos, la cual es probabilística y conocida.
- La fracción de costo anual por mantener artículos en el inventario, que es una fracción del costo del artículo.
- La estructura de precios que ofrece el proveedor para diferentes volúmenes de compra.

- El tiempo de entrega de cada pedido por parte del proveedor, el cual es probabilístico y conocido.
- El precio de venta del artículo, con el cual se estima el costo de cada faltante.

7.2 MODELO DE PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO DE APROVISIONAMIENTO (SERVICE PLANNING) (Montes Calvo, 2009)

Por Planificación del Servicio se entiende la capacidad de decidir a priori cuál debe ser el Nivel de Servicio objetivo para cada SKU (Stock Keeping Unit). Esta decisión se debe tomar después de analizar las repercusiones en costo y en cuota de mercado que tienen las diferentes alternativas existentes.

La curva Stock-to-Service (STS)

De manera teórica la relación entre el stock y el servicio está influenciada por las siguientes variables:

1. La variabilidad de la demanda.

Uno de los factores a contemplar es la incertidumbre que tiene la demanda y, por tanto, el stock de seguridad que hace falta para, en función del Nivel de Servicio que se quiere dar al mercado, oponerse a dicha variabilidad.

2. La frecuencia de la demanda.

La frecuencia de la demanda (el número de líneas de pedido por unidad de tiempo) es otro factor importante en la determinación del stock en función del objetivo de servicio.

3. La incertidumbre del aprovisionamiento.

Existe una incertidumbre en el proceso de aprovisionamiento: de un almacén de segundo nivel respecto al de primer nivel, de uno de primer nivel respecto a la fábrica o al proveedor externo, etc., esta incertidumbre es adicional a la de la demanda. El retraso en el aprovisionamiento es debido a dos tipos de fenómenos diferentes:

Por una parte, existe un retraso fijo, determinista, que es el plazo de entrega comprometido entre un almacén y su sistema de aprovisionamiento.

Por otra parte, existe un retraso aleatorio, adicional al determinista, que es el resultado de la observación de lo que ocurre en la realidad y cuyo valor se distribuye según una ley de distribución normal.

4. Tamaño de lote de aprovisionamiento.

En la mayoría de los procesos de aprovisionamiento de los diferentes eslabones de la cadena logística, la cantidad a suministrar está condicionada por cuestiones técnicas o económicas: existe un tamaño de lote mínimo de fabricación, o una cantidad mínima a pedir, etc.

5. Frecuencia de reaprovisionamiento.

De manera similar al tamaño de lote de aprovisionamiento, pueden existir restricciones que afecten a la frecuencia de reaprovisionamiento.

Nótese que la cantidad a pedir debe tener en cuenta tanto la frecuencia de reaprovisionamiento como el tamaño de lote mínimo de entrega, pues pueden existir casos en los que se deba pedir para satisfacer una de las dos restricciones.

No existe ningún modelo matemático que desarrolle de manera detallada la influencia de los factores anteriores en el cálculo entre el stock y el nivel de servicio, no obstante a continuación se observa una aproximación válida para ciertos comportamientos de la demanda.

La curva STS es la que relaciona el nivel medio de inmovilizado con el nivel de servicio de un artículo en un almacén (Sku). Por lo tanto, lo primero que se hace es encontrar la función que exprese el stock medio.

Este supone que se cuenta con una demanda que se distribuya de forma normal y con una frecuencia “elevada”.

El stock medio viene dado por la ecuación (9):

$$S.Medio = \frac{Cantidad\ a\ pedir}{2} + SS \quad (9)$$

Donde la cantidad a pedir es un parámetro fijado externamente, suele ser el lote mínimo de aprovisionamiento.

Y el Stock de Seguridad ecuación (10) es:

$$S.S = Z * S_{td} * \sqrt{PE} \quad (10)$$

Z: es la variable normal tipificada que depende del nivel de servicio, en las tablas de distribución normal se ven los valores de z para el nivel de servicio que se desean dar (probabilidad en la tablas).

S_{td} : es la desviación estándar de la demanda.

PE: es el plazo de entrega.

Importancia del modelo STS

Conocer la relación precisa que existe entre el Nivel de Servicio y el Nivel de Stock asociado (modelo STS) tiene una importancia capital para gestionar proactivamente la cadena de suministro. Sus ventajas son múltiples, tanto de carácter estratégico como táctico y operativo:

Permite conocer de manera precisa el costo que tiene valores diferentes de una de las variables del marketing mix (el Nivel de Servicio). Es una información imprescindible para equilibrar los intereses contrapuestos de los responsables Financiero y de Marketing.

Permite traducir en parámetros operativos las decisiones estratégicas sobre el Nivel de Servicio objetivo. En efecto, una vez decidido cuál es el objetivo, nos dice los parámetros de control del stock (stock de seguridad, stock máx./mín., etc.).

Permite analizar las repercusiones que ciertas variables industriales tienen sobre el stock. Por ejemplo, permite conocer cuál es el efecto sobre el stock de una reducción del lead-time de fabricación, de manera que la inversión necesaria para conseguirlo se pueda o no justificar, entre otros beneficios, con una reducción del inmovilizado.

Razonamiento equivalente se puede hacer con el tamaño de lote de fabricación

Permite conocer el costo en inmovilizado que tiene la nuestra empresa en el incumplimiento de los plazos de entrega de nuestros proveedores y, por tanto, tener argumentos cuantitativos en la negociación con ellos.

Políticas de control del stock y Planificación del Servicio

Se resumen a continuación las políticas de control de stocks más usuales:

Cantidad de stock fija en unidades: con esta política, el punto de pedido es una cantidad fija en unidades.

Cantidad de stock fija en cobertura: con esta política, el punto de pedido es una cantidad fija en días de venta.

Nivel de Servicio fijo por referencia: Esta política, que es más desarrollada que las anteriores, permite fijar para cada sku un Nivel de Servicio objetivo

Política Optimal: Es la más evolucionada y la que permite mayores reducciones de stock. Esta política consiste en lo siguiente:

La población de referencias de un almacén se divide en clases ABC atendiendo al Nivel de Servicio.

Se fija un Nivel de Servicio objetivo para cada clase, dejando libertad para que cada referencia tenga un Nivel de Servicio diferente, siempre y cuando globalmente se consiga el objetivo fijado para la clase.

Se calcula el Nivel de Servicio individual de manera que el inmovilizado total de la clase mínimo.

7.3 SISTEMA DE COORDINACIÓN DE INVENTARIO MULTIPRODUCTO, APOYADO EN LA ESTRATEGIA DE ÉPOCAS COMUNES DE RESURTIDO (Morales Pulido, Torres Prado, & Palacio León, 2011)

El uso de la cantidad económica de producción (EOQ) de cada producto en el grupo implica que el equipo estará disponible cuando es necesario. A menos que el equipo esté muy subutilizado, puede haber problemas de programación y dificultades para cumplir con los requisitos de la cantidad económica de producción de un solo ítem. Por lo tanto, el problema de planificación de productos múltiples podría resolverse mediante la determinación del número anual de ciclos (m) que minimiza el costo total de toda la familia de ítems. La lógica de múltiples ítems es similar a la de un solo ítem.

El inventario máximo de un determinado ítem i es $(p_i - r_i) t_{pi}$, y el inventario promedio es la mitad de esta cantidad. Con m, como el número de ciclos (ciclos de producción) por año $Q_i = p_i t_{pi} = R_i / m$. Si hay n ítems, el inventario promedio de un determinado ítem i es como se indica en la siguiente ecuación (11):

$$\frac{(p_i - r_i) t_{pi}}{2} = \frac{(p_i - r_i) R_i}{2 m p_i} \quad (11)$$

Si el abastecimiento no es permitido, el costo total anual es dado por la siguiente igualdad (ecuación 12):

Costo total anual = Costo de la producción + Costo de pedir + costo de conservar

$$TC(m) = \sum_{i=1}^n P_i R_i + m \sum_{i=1}^n C_i + \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{P_i} \quad (12)$$

Tc= Costo Total

n = Número total del orden conjunta de ítems

Ri = Demanda anual para el ítem i en unidades.

Pi = Costo de producción por unidad del ítem i.

pi = Tasa de producción del ítem i.

ri = Tasa de demanda del ítem i.

Ci = Costo de pedir el ítem i por corrida de producción.

Hi = Costo de conservar el ítem i por unidades/año.

Cuando n=1, el sistema reduce la ecuación para un solo producto EPQ con $m=R/Q$. Para obtener el número mínimo de corridas por año, se toma la primera derivada del costo total anual con respecto al número de corridas de producción e igualamos a cero (ecuación 13):

$$\frac{dTC(m)}{dm} = \sum_{i=1}^n C_i - \frac{1}{2m^2} \sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i} = 0 \quad (13)$$

Resolviendo la ecuación para m, el óptimo número de corridas por año es (ecuación 14):

$$m^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i}}{2 \sum_{i=1}^n C_i}} \quad (14)$$

El tamaño de la corrida de producción para un producto i es determinado por la siguiente ecuación (15):

$$Q_i = \frac{R_i}{m^*} \quad (15)$$

Reemplazando m en la fórmula del costo total por m*, se obtiene la siguiente ecuación (16) del mínimo costo total:

$$TC(m^*) = \sum_{i=1}^n P_i R_i + \frac{1}{m^*} \sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i} = \sum_{i=1}^n P_i R_i + 2m^* \sum_{i=1}^n C_i \quad (16)$$

El número óptimo de corridas por año (m^*) ignora las condiciones de capacidad. Éste asume que hay suficiente capacidad disponible para enfrentar la demanda. El modelo es apropiado sólo si el número de días laborales por año es igual o excede el tiempo anual de la demanda ecuación (17):

$$N \geq \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{p_i} \quad (17)$$

Cuando el número anual de días requeridos (tiempo de la demanda) excede el número anual de días laborales (capacidad), entonces la capacidad de producción no es suficiente para enfrentar la demanda de todos los productos. Por lo tanto, debe contemplarse un método alternativo como tiempo extra, subcontratar mano de obra, etc.).

El modelo de múltiples ítems también asume que el tiempo de preparación es insignificante o hay suficiente tiempo disponible en cada corrida (ciclo) para acomodar la producción. El tiempo de la corrida de cada ciclo debe ser igual o exceder el tiempo de la corrida combinada para cada ítem ecuación (18):

$$\frac{N}{m^*} \geq \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{p_i} \quad (18)$$

7.4 MODELO DE VOLUMEN ÓPTIMO DE PEDIDO O DE WILSON (Vizoso, 2011)

Existen muchos modelos matemáticos para la gestión de stock, siendo el más popular el MODELO DE WILSON. Los supuestos de este modelo son:

Incógnita del problema: volumen de pedido que optimice el sistema de gestión, donde la demanda o ventas del producto son constantes, uniformes y conocidas. Dicho de otro modo, cada día sale del almacén la misma cantidad.

El tiempo transcurrido desde la solicitud del pedido hasta su recepción (plazo de entrega) es constante.

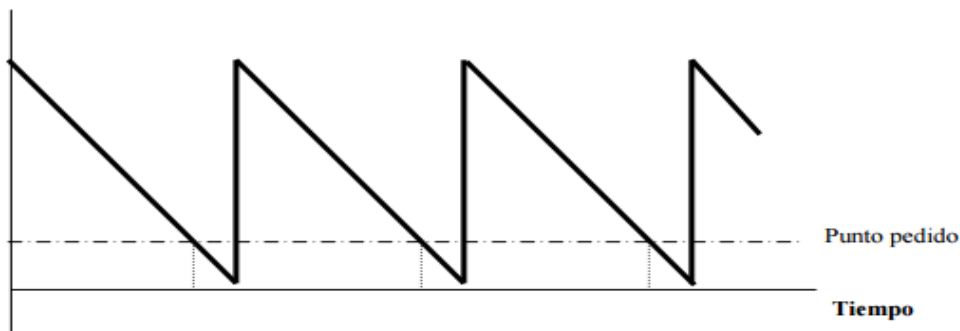
El precio de cada unidad de producto es constante e independiente del nivel de inventario y del tamaño del pedido.

El costo de mantenimiento o almacenamiento depende del nivel medio de inventario. Las entradas en el almacén se realizan por lotes o pedidos de tamaño

constante y el costo de realización de cada pedido es también constante e independiente de su tamaño.

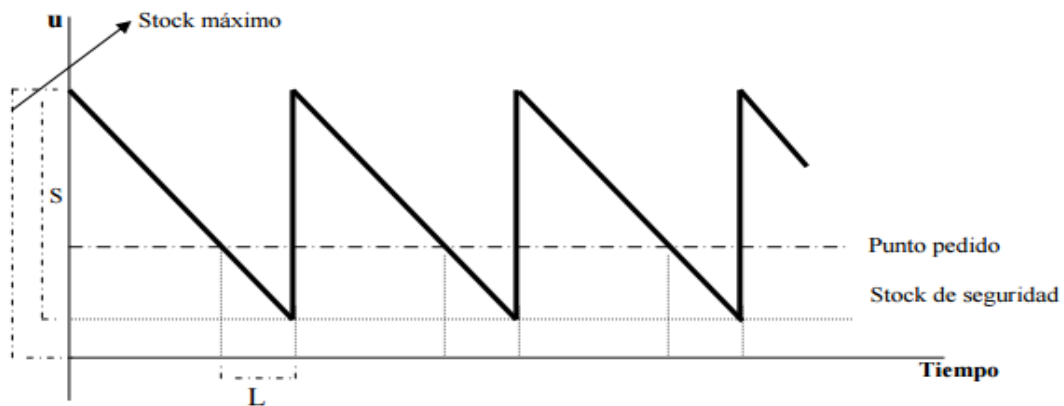
No se permiten rupturas de stocks, sino que ha de satisfacer toda la demanda. Cuando se cumplen estos supuestos, la evolución temporal del inventario, en unidades físicas, se ajusta a una forma de "dientes de sierra".

Figura 2. Inventario (sin stock de seguridad)



Fuente: Gestión de Inventarios (Stocks) – Vizoso José - 2011

Figura 3. Inventario (con stock de seguridad)



Fuente: Gestión de Inventarios (Stocks) – Vizoso José - 2011

En ambas graficas:

S = Tamaño del lote o pedido (incógnita del problema).

L = Plazo de entrega o aprovisionamiento

PP = Número de unidades que hay en el almacén en el momento de realizar el pedido (punto de pedido), además del stock de seguridad.

El tamaño del pedido S, influye en la frecuencia con la que se tendrá que realizar los pedidos y el nivel del inventario. Cuanto menor sea el tamaño, mayor será la frecuencia y menor el nivel medio del almacén. Si el tamaño es grande, también lo será el nivel medio del almacén y el costo de mantenimiento, siendo el costo de realización de los pedidos pequeño, ya que, son pocos los mismos.

"El MODELO WILSON permite determinar el tamaño del pedido para el cual es MÍNIMO ES COSTO TOTAL".

El nivel medio de los inventarios (ambas figuras) será ecuación (19):

$$Stock\ medio = S_s + \frac{1}{2} S \quad (19)$$

Siendo g el costo de tener una unidad almacenada durante un año, el costo anual de mantenimiento (C_m) será ecuación (20):

$$C_m = g \times \left(S_s + \frac{1}{2} S \right) \quad (20)$$

Si consideramos Q como la demanda anual en unidades físicas, al año se realizarán Q/S pedidos. Si el costo constante de realización de pedidos es k, el costo total anual de reaprovisionamiento (C_p) será ecuación (21):

$$C_p = k * \frac{Q}{S} \quad (21)$$

El costo total (CT) será ecuación (22):

$$CT = C_p + C_m = k * \frac{Q}{S} + g * \left(S_s + \frac{1}{2} S \right) \quad (22)$$

El costo total, el de aprovisionamiento o renovación y el de mantenimiento, son función del tamaño del pedido.

Para determinar el valor de éste que haga mínimo el costo total, derivamos la última expresión (ecuación (23)) e igualamos a cero ecuación (15):

$$\frac{dCT}{dS} = -k \frac{Q}{S^2} + \frac{g}{2} = 0 \quad (23)$$

El tamaño óptimo del pedido es ecuación (24):

$$S = \sqrt{\frac{2kQ}{g}} \quad (24)$$

Además interesa conocer:

- Número de pedidos en el periodo.
- Tiempo entre pedidos.
- Demanda diaria.
- Punto de pedido.

7.5 MODELO CONCEPTUAL DEL JIT EN LA COMPRA (Roy & Guin, 1999)

Dado que los patrones de consumo de la mayoría de los elementos discretos de una planta no son estables, no se puede implementar el modo JIT de la oferta en todos los elementos discretos. Desde el punto de vista JIT todos los elementos discretos y los proveedores que suministran estos se pueden definir como se ve a continuación.

Clasificación de materiales JIT

JIT-artículos: consisten en artículos con las demandas estables y repetitivas, que tienen muy alto el consumo y el valor de alta criticidad. Para el caso de estudio, la clase A, movimiento rápido, y los elementos vitales pertenecen al tipo JIT de materiales.

Las partidas no JIT: son aquellos que no cumplen la definición anterior JIT

Con estos criterios se clasifican todos los ítems en JIT (F, A, AF, AV, y tipos AVF) y categorías no JIT (NO-JIT ítems, JIT + No-JIT)

Clasificación proveedor JIT

Según la investigación la definición "Un proveedor JIT es uno que está certificado en calidad, tiene un historial probado de fiabilidad y puntualidad en el suministro de artículos, está dispuesto a participar y cooperar en el modo JIT de la oferta, y cuenta con la formación adecuada y la comprensión de la filosofía JIT". Los vendedores que no cumplan esta definición se llaman los vendedores no JIT.

¿Cómo recoger y transportar los artículos JIT al comprador económicamente?

Una vez que se han identificado los artículos JIT y proveedores JIT, el siguiente paso lógico es trabajar en la logística para recoger y transportar estos artículos de los vendedores al comprador. En el entorno JIT, se requiere que los proveedores suministren los artículos en lotes más pequeños con una frecuencia mayor. A

veces, los elementos podrían tener que ser suministrado en menos de carga de camión (LTL). Esto provoca un aumento en el costo de transporte y así motiva a los vendedores de retener el envío hasta que se convierte en una carga de camión completo (FTL). Estos problemas pueden, sin embargo, ser minimizados mediante el uso del concepto de política de consolidación de carga (FCP). Consolidación de la carga entrante implica agrupación de envíos de diferentes proveedores para formar un solo gran cargamento en el centro de consolidación (CC) antes de enviarlos a su destino final (s).

El objetivo de la FCP es:

(a) convertir el LTL de los envíos en FTL.

(b) para reducir el costo de transporte debido a las entregas frecuentes en el suministro JIT. Esto será beneficioso tanto para los vendedores y el comprador Los vendedores ahorran en el costo del transporte, mientras que el comprador se ahorra en almacenamiento y múltiples costos de manejo.

A continuación se propone un algoritmo para la consolidación de carga que se pueden utilizar en cualquier industria.

Algoritmo para la consolidación.

La consolidación de carga puede hacerse sobre la base de los siguientes factores:

(i) el espacio que necesitan los diferentes componentes y subconjuntos (si el espacio ocupado por los diferentes componentes es menor, entonces gran número de componentes de un mayor número de proveedores se pueden consolidar en el mismo viaje, pero si el espacio necesario es más, entonces incluso una sola o unas pocas componentes puede ser suficiente para todo el camión).

(ii) la cercanía o la proximidad de los proveedores.

(iii) calendario de entrega y la necesidad de los componentes en el comprador es su lugar.

(iv) la capacidad del vehículo.

Parámetros:

D_i la demanda del i-enésimo ítem por año.

W_i peso por unidad del i-enésimo ítem (kg).

q_i cantidad por día para ser recogidos de i-enésimo ítem.

C_k Capacidad del camión tipo k utilizados para entregar los ítems a la planta.

n_k No de camiones de tipo k necesarios para la entrega del artículo.

S_i el espacio ocupado por el i-enésimo ítem en el camión.

S_k espacio disponible en el camión de tipo k para un i-enésimo ítem.

C_t costo de transporte con FCM.

C_T Costo de transporte sin FCM.

C_i costo del inventario llevando FCM.

C_l Costo de manejo de inventarios sin FCM (Cabe señalar que $C_i = C_l$ para todos los ítems.

C_{in} costo de manejo de inventarios para n días de consolidación, ya sea con FCM o sin $[W_{n-1} + W_{n-2} + W_{n-3} + \dots + W_1]$, donde $C_h =$ Costo de inventario / ton / día = 100 rupias / ton / día.

$TC_1 (C_t + C_i) =$ Costo total involucrado en el transporte y la entrega de los ítems con FCM.

$TC_2 (C_T + C_i) =$ Costo total involucrado en el transporte y la entrega de artículos sin FCM.

Proponen un algoritmo para efectuar el FCP. Este consiste en resolver este problema:

(a) Calcular q_i , $q_i W_i$ y $\sum q_i W_i$ para todos los items i JIT ($i=1, 2, 2, \dots, n$).

(b) Seleccione un camión tipo K con la capacidad de carga de C_k .

(c) Calcular $\sum \frac{q_i W_i}{C_k}$ para encontrar el número de camiones de tipo k (n_k) necesarios para entregar la carga.

(d) Si n_k es inferior a 0,75, entonces el viaje no es factible. Pero, si n_k es igual o mayor que 0,75 o su múltiplo, entonces el viaje es factible.

(e) Para una carga dada a entregar, seleccione de los camiones factibles la que tiene el menor costo de la entrega.

(f) Carga el camión bajo el concepto (LIFO) para facilitar la descarga en varios destinos en la planta.

Restricciones para el algoritmo:

$$\sum q_i W_i \leq n_k c_k \quad (\text{Transporte de carga restricción de capacidad}).$$

$$\sum s_i \leq n_k S_k \quad (\text{Limitación de espacio}).$$

7.6 MODELO DE INVENTARIOS MULTIPRODUCTO (Ramírcz Castañeda, Soto, Pérez, & Gómez, 2009)

Este modelo tiene como objetivos específicos la minimización de inversión en inventario, sujeto a un nivel de servicio y una frecuencia mensual de pedido promedio, definidos por el usuario. Una de las ventajas del modelo, es que no requiere la especificación por parte de la empresa, del costo por agotamiento o escasez. El modelo cuenta con dos casos:

Producto individual para propósitos de modelaje se asume que la demanda tiene una distribución Poisson con media unidades por mes y tiempo de reposición constante. Siendo c el costo unitario de cada ítem, λ_i la demanda por ítem esperada durante el tiempo de reposición, Q la cantidad de inventario óptimo a pedir y r el nivel de reposición (es decir el punto donde se debe ordenar Q), entonces la formulación para el caso de un solo producto es la siguiente:

Minimizar = Inversión en inventario

Sujeto a:

Frecuencia promedio de ordenes F

Nivel de servicio promedio S

F y S son valores que en principio no son fáciles de escoger, debido a que alteran notablemente los resultados. Por lo tanto, al desarrollar el modelo es importante hacer un análisis de sensibilidad con los mismos para encontrar un punto óptimo para la empresa.

El modelo maneja los siguientes notaciones:

N = número de ítems

c = Costo unitario por ítem i ecuación (25)

$$C = \sum_{i=1}^{\lambda_i} c_i \quad (25)$$

λ_i = Expectativa de la demanda por ítem i por año. Ecuación (26)

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (26)$$

l_i = Tiempo de reposición del ítem i (se asume constante)

$\Theta_i = \lambda_i l_i$ (11) Expectativo de la demanda durante el tiempo de reposición.

Q_i = Cantidad a ordenar para el ítem i

r_i = Punto de reorden para el ítem i

ν y μ = Lagrangianos

$r_i = -1$ punto de re orden en el momento en que se acabe el stock

El modelo se desarrolla bajo dos conceptos el heurístico tipo 1 y el Heurístico híbrido como se muestra a continuación:

Heurístico tipo 1

$$\text{Minimizar } \frac{1}{C} \sum_{i=1}^N c_i \left(r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} \right) \quad (27)$$

Sujeto a:

$$Q_i = \max \left\{ \sqrt{\frac{2\nu\lambda_i C}{c_i N}}, 1 \right\} \quad (28)$$

$$r_i = \begin{cases} \theta_i + \sqrt{-2\pi\theta_i} \frac{c_i}{\lambda_i} \frac{\Lambda}{\mu C} \leq 1 \\ -1 \end{cases} \quad (29)$$

Heurístico híbrido

Ahora, estimando un heurístico tipo híbrido tenemos:

$$\text{Minimice } \frac{1}{C} \sum_{i=1}^N c_i \left(r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} \right) \quad (30)$$

Sujeto a:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{Q_i} \leq F \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} G_i(r_i) \geq S \quad (32)$$

$$r_i \geq \mathbf{r}_i$$

$$Q_i \geq 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$r_i, \quad Q_i; \quad \text{enteros}$$

Los multiplicadores de Lagrangiana para el modelo son:

$$L = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^N c_i \left(r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} \right) + V \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{Q_i} - F \right) - \mu \left(\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} G_i(r_i) - S \right) \quad (33)$$

Derivando L con respecto a Q_i se tiene: ecuación (34)

$$\frac{\partial L}{\partial Q_i} = \frac{c_i}{2C} - \frac{V\lambda_i}{NQ_i^2} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (34)$$

$$Q_i = \sqrt{\frac{2V\lambda_i C}{c_i N}} \quad (35)$$

Derivando L con respecto a r_i se tiene: ecuación (36)

$$\frac{\partial L}{\partial r_i} = \frac{c_i}{C} - \frac{\mu\lambda_i}{\Lambda Q_i} \left(1 - \Phi \left(\frac{r_i - \theta_i}{\sqrt{\theta_i}} \right) \right) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (36)$$

$$r_i = \theta_i + \Phi^{-1} \left(1 - \frac{\Lambda Q_i c_i}{C \mu \lambda_i} \right) \sqrt{\theta_i} \quad (37)$$

$$r_i = \begin{cases} \theta + \Phi^{-1} \left(1 - \frac{\Lambda Q_i c_i}{C \mu \lambda_i} \right) \sqrt{\theta} & \text{si } \Lambda Q_i c_i \geq C \mu \lambda \\ r_i & \text{si } \Lambda Q_i c_i < C \mu \lambda \end{cases} \quad (38)$$

En la solución óptima se busca redondear r_i y Q_i , para el cumplimiento de las restricciones a números no enteros. Para encontrar la solución óptima (ecuación (28)), a través de ensayos, se ajusta el valor de v , de tal forma que se alcance una frecuencia de pedido promedio máxima, que no viole la ecuación (31). Igualmente para encontrar la solución óptima de r_i (38), se ajusta el valor de μ , de tal forma que se alcance el nivel de servicio promedio mínimo, que no viole la condición (32).

7.7 ASOCIACIÓN Y NEGOCIACIÓN DE APOYO ÓPTIMO CONJUNTO EN POLÍTICAS DE ORDENAMIENTO / CONFIGURACIÓN PARA JIT (Kelle, Al-khateeb, & Miller, 2003)

Este modelo añade un costo de envío al costo total relevante, considerando múltiples entregas de una orden, pero sólo tienen en cuenta los costos del comprador y no la contribución entre el comprador y el proveedor que debería hacerse un hincapié en la compra de Justo a Tiempo –JIT-. Se desarrolla un modelo para encontrar un conjunto y pedir una cantidad para el comprador y el vendedor con el fin de facilitar la cooperación.

Se describen las ventajas cuantitativas y posibles pérdidas por suministro Justo a Tiempo –JIT-, desde la perspectiva del comprador y los proveedores. Se muestra la cantidad de pérdida que resulta para el proveedor de la aceptación de la política de envío óptimo del comprador, en comparación con el costo de política óptima / envío. De la misma manera, se cuantifica el aumento de los costos para el comprador si la política de embarque óptima del proveedor se hace cumplir.

Para la política óptima conjunta, se resume la dependencia de los ahorros de costos totales del sistema en diferentes parámetros; en qué caso una gran ahorro que se espera para el comprador y / o para la proveedor si los dos socios aceptan el conjunto de la política de envío óptimo, y cuando el ahorro es menor. Se analiza en qué circunstancias el ahorro garantiza un orden más complejo / y en qué caso una política simple de configuración y esté más cerca del óptimo.

Este resume las implicaciones de mejora y ampliando el modelo cuantitativo en optimización de la cadena de suministro en la negociación para directivos de empresas en Justo a Tiempo –JIT- asociación comprador-proveedor.

Para efectos de comparación, se utilizan los siguientes parámetros:

D Demanda

A_B Costo de pedido del comprador

C_B Precio de venta

r_B Tasa de costo

Z_B Costo fijo de recibir un envío

L_B Tasa de perder flexibilidad para el comprador

Parámetros de producción y de costos del proveedor están:

p Tasa de producción

A_s Costo de configuración fija del proveedor

C_s Costo de producción

r_s Inventario anual de proveedor llevado a la tasa de costo

Z_s Costo fijo de proveedor en relación con cada envío al comprador.

También se puede decir:

Q_B Cantidad del contrato (orden del comprador)

n Número de envíos en un contrato (orden)

Q_s Tamaño del lote del proveedor

Flexible:

q Tamaño medio de envío ($q = Q_B/n$)

m Número de envíos por tamaño de lote ($m = Q_s/q$)

Política óptima para el comprador y su efecto en el precio del proveedor

El comprador en el suministro Justo a Tiempo –JIT- requiere pequeños envíos frecuentes. Se cree que el pedido del comprador (cantidad contrato), se entrega en n envíos de tamaño $q \frac{1}{4} Q_B = n$; los modelos cuantitativos anteriores consideran tres factores de costos relevantes para el comprador, el costo de ordenamiento, el costo de inventario sosteniendo y el costo de recibir cada envío que contiene todos los gastos generales fijos que son independientes del tamaño del envío. (Ecuación 39)

$$TRC_B(q, n) = A_B D / (n, q) + r_B C_B q / 2 + Z_B D / q \quad (39)$$

Bajo esta consideración de costo, mayor será la cantidad de contrato y cuanto mayor sea el número de los envíos n ; el más pequeño es el comprador anual costo total de relevante. El tamaño óptimo de envío, $q \frac{1}{4} Q_B = n$; disminuye lentamente con el aumento de Q_B y n : La mejora de costos es marginalmente decreciente con el aumento de Q_B y las desventajas de una cantidad muy grande son el costo de mejora.

Las desventajas de un gran contrato no se cuantifican en los modelos anteriores, sin embargo, la pérdida de flexibilidad, y las preocupaciones de cambios en los productos y los compromisos largos pueden resultar en un alto riesgo de que pueda pesar más que el ahorro anual en ordenar costo. Para cuantificar el riesgo, introducimos un nuevo parámetro de costos que representará a la preocupación gerencial de tener una cantidad de orden muy grande. Donde, la parte del contrato no entrega al comprador, ya que es un compromiso que debe cumplirse en el futuro la compra de la cantidad contratada restante. Este resultado de pérdida del compromiso es una flexibilidad necesaria para cambiar de proveedor o producto.

Aunque, es una pequeña desventaja en comparación con otros costos, aún así, es importante. Donde un nuevo parámetro de costo, denotado por L_B es un cuarto factor de costo: la tasa de costo de perder la flexibilidad por importe unitario en dólares se contrajo, pero aún no ha recibido. El costo relevante total del comprador para ordenar la cantidad de inventario, la recepción de los envíos, y perder flexibilidad (como consecuencia de no entregado, pero el contrato está comprometido) se puede expresar en la ecuación (40) como:

$$TRC_B(q, n) = A_B \frac{D}{(n, q)} + r_B C_B \frac{q}{2} + Z_B \frac{D}{q} + L_B C_B \frac{(n, q)}{2} \quad (40)$$

O en forma definitiva se muestra en la ecuación (41),

$$TRC_B(q, n) = \frac{X_B(n)}{q} + q y_B(n) \quad (41)$$

Con la ecuación (42)

$$X_B(n) = D \left(\frac{A_B}{n} + Z_B \right) \quad \text{y} \quad Y_B(n) = \frac{r_B C_B + L_B C_B n}{2} \quad (42)$$

Para un n dado, se expresa el valor óptimo del tamaño de envío para el comprador, mediante la adopción de la derivada de la función de costo (ecuación 3) con respecto a q ; y se establece igual a 0. Se da la siguiente ecuación (43):

$$q^*_B(n) = \sqrt{\frac{X_B(n)}{Y_B(n)}} \quad (43)$$

Sustituyendo $q^*_B(n)$ en la ecuación de costo (3) proporciona el costo total del conjunto mínimo como una función de n en la ecuación (44):

$$TRC_B(n) = 2 \sqrt{X_B(n) Y_B(n)} \quad (44)$$

Donde el requisito del número entero de n ; se encuentra el n óptimo tomando de la derivada de la función $X_B(n)$ y $y_B(n)$ con respecto a n ; y el ajuste es igual a 0. Se obtiene la siguiente ecuación (45):

$$n^* = \sqrt{\frac{A_B r_B}{Z_B L_B}} \quad (45)$$

La n óptima es el número entero más cercano a n^* y el óptimo de q_B para el comprador se expresa en la ecuación (43) usando los valores en la ecuación (42) con el n óptimo sustituido. El contrato óptimo (orden) cantidad para el comprador es $Q_B = nq_B$

Si el comprador es fuerte y su fuerza óptima de tamaño de envío y la frecuencia del proveedor, el proveedor puede elegir su tamaño de lote económico como número entero múltiplo de la cantidad del envío, $Q_s = mqb$: El mejor valor de m para el proveedor es expresado en la siguiente sección.

JIT política óptima para el proveedor y su efectuar en el precio del comprador

El costo total relevante del proveedor para la configuración, celebración de inventario y los envíos se puede expresar como consecuencia en la ecuación (46):

$$TRC_s(q, m) = As \frac{D}{mq} + r_s + C_s \frac{mq}{2} \left[1 - \frac{d}{p} - \frac{1}{m} + \frac{2d}{mp} + Z_s \frac{D}{q} \right] \quad (46)$$

O en forma abreviada en la ecuación (47),

$$TRC_s(q, m) = \frac{X_s(m)}{q} + y_s(m)q \quad (47)$$

Con la ecuación (48):

$$X_s(m) = D \left(\frac{A_s}{m} + Z_a \right) \quad \text{y} \quad X_s(m) = r_s C_s \frac{m}{2} \left[1 - \frac{d}{p} - \frac{1}{m} + \frac{2d}{mp} \right] \quad (48)$$

Para una m dada, se puede expresar el proveedor de valor óptimo de q_s como en la ecuación (49):

$$q^*_s(m) = \sqrt{X_s(m) / y_s(m)} \quad (49)$$

Para la m óptima; hay dos casos, dependiendo la tasa de producción y de la tasa de demanda

- a) En el caso de $p < 2d$; el m óptimo es el número entero más cercano se expresa en la ecuación (50):

$$m' = \sqrt{\frac{A_s(2d - p)}{Z_s(p - d)}} \quad (50)$$

y el tamaño óptimo de envío para el proveedor, q_s , se expresa en la ecuación (49) utilizando los valores de la ecuación (48) sustituyendo el m óptimo: La configuración de la cantidad óptima para el proveedor es $Q_s = mqs$.

- b) En el caso de $2d < p$ el óptimo es $m = 1$. Para este caso, el traslado óptimo (y el tamaño del lote) para el proveedor es la ecuación (51):

$$q^*_s = \sqrt{\frac{2D(A_s + Z_s)}{r_s C_s d/p}} \quad (51)$$

Si el comprador es fuerte y su fuerza es óptima el tamaño y la frecuencia del proveedor, el proveedor puede elegir su tamaño de lote económico como número entero múltiplo de la cantidad del envío, $Q_s = mqb$; con el número entero m más cercano a la ecuación (52):

$$m' = \frac{1}{q_B} \sqrt{\frac{2A_s D}{r_s C_s (1 - d/p)}} \quad (52)$$

Minimizar el costo total relevante del proveedor, para encontrar la política óptima del proveedor en el caso estudio y tener una entrega para una configuración ($m=1$) como se puede anticipar. Esta propiedad, sin embargo, es cierta sólo si el tipo de demanda es menor que la mitad de la tasa de producción (por $2d < p$). La política óptima para el proveedor es tener un gran tamaño del lote y el tamaño de envío.

Si la cantidad del envío se fija por el proveedor como $q = q_s$; la mejor cantidad de la orden del comprador es $Q_B = nqs$, con el número entero más cercano de n , ecuación (53):

$$n^* = \frac{1}{qs} \sqrt{\frac{2A_B D}{L_B C_B}} \quad (53)$$

El objetivo final de la cadena de suministro es disminuir el costo total del sistema, para el proveedor y el comprador, en forma conjunta.

El orden / política conjunta configuración óptima

El comprador y el proveedor deben estar de acuerdo con el tamaño del cargamento óptimo, donde el comprador elige la cantidad de la orden $Q_B = nq_j$, y el proveedor elige el tamaño del lote $Q_s = mq_j$, donde m y n son números enteros. El costo total del sistema, que es el costo total correspondiente conjunto de las dos partes se expresa en la ecuación (54):

$$JTRC(q, m, n) = \frac{x_j(m, n)}{q} + y_j(m, n)q \quad (54)$$

Con la ecuación (55):

$$x_j(m, n) = x_s(m) + x_B(n) \text{ y } y_j(m, n) = y_s(m) + y_B(n) \quad (55)$$

Utilizando los proveedores y compradores con valores x, y expresado en las ecuaciones (42,48). El envío de la cantidad óptima minimizando el coste total ecuación (54) se puede expresar como una función de m y n en la ecuación (56):

$$q_j(m, n) = \sqrt{x_j(m, n) / y_j(m, n)} \quad (56)$$

y el costo total óptimo como una función de m y n es la ecuación (57):

$$JTRC_j(m, n) = 2 \sqrt{x_j(m, n) y_j(m, n)} \quad (57)$$

Relacionando el número entero requerido de m y n; tomando las derivadas parciales de la función $x_j(m, n) y_j(m, n)$; con respecto a m y n; y estableciendo tanto igual a 0, se puede derivar las siguientes dos ecuaciones para el m óptima y n valores: (ecuación 58)

$$n * (m) = \sqrt{\frac{U_1 + U_6 m}{U_3 + U_5 / m}} \text{ y } m * (n) = \sqrt{\frac{U_2 + U_5 n}{U_4 + U_6 / n}} \quad (58)$$

Con la ecuación (58) se deriva:

$$U_1 = DA_B \left[\frac{r_B C_B}{2} + \frac{r_s C_s}{2} \left(\frac{2d - p}{p} \right) \right]$$

$$U_2 = DA_s \left[\frac{r_B C_B}{2} + \frac{r_s C_s}{2} \left(\frac{2d - p}{p} \right) \right]$$

$$U_3 = \left[\frac{L_B C_B D (Z_B + Z_s)}{2} \right]$$

$$U_4 = \left[\frac{r_s C_s}{2p} \left(\frac{p-d}{p} \right) (D(Z_B + Z_S)) \right]$$

$$U_5 = \frac{L_B C_B D A_S}{2}$$

$$U_6 = \frac{r_s C_s D A_B (p-d)}{2p}$$

El uso de las ecuaciones (58), se puede evidenciar los valores enteros óptimos de n y m por iteración. Esta Así, las tres variables de decisión, q , n y m son conjuntamente optimizadas. La política óptima minimizará el costo total relevante para el sistema conjunto de proveedor y el comprador.

Si se analiza el ahorro en comparación con dos políticas del Justo a Tiempo -JIT-, donde la dependencia del ahorro total son los costos del sistema en los diferentes parámetros y en qué casos un gran ahorro es esperado para el comprador y / o para el proveedor, si los dos socios aceptan el envío óptimo con política que manejan, y cuando el ahorro es menor. Al analizar en qué circunstancias el ahorro garantizan un orden más complejo / instalación y en qué casos la política de costos es una política más simple y más cerca de óptima.

- a) Una política simple para el proveedor es hacer una nueva configuración y producir un tamaño de lote igual al tamaño de embarque cuando un envío se debe. Este es el caso especial de $m = 1$ con la notación anterior, lo que significa que para cada envío se realiza una nueva configuración. La n óptima es el más cercano número entero de la ecuación (59):

$$n^* = \sqrt{\frac{2 A_{BrS} C_{sd}}{C_B (r_B + L_B) (A_S + Z_B + Z_S) p}} \quad (59)$$

el tamaño óptimo envío es: (ecuación 60)

$$q^*_J(n) = \sqrt{\frac{X_J(n)}{Y_J(n)'}} \quad (60)$$

Donde: (ecuación 61 y 62)

$$X_J(n) = \frac{D}{n} A_B + D(A_S + Z_B + Z_S) \quad (61)$$

$$Y_J(n) = \frac{C_B (r_B + L_B) n}{2} + \frac{r_s C_s d}{2p} \quad (62)$$

La cantidad de la orden $Q_B=nq^*_J$, el tamaño del lote $Q_S=q^*_J$, y el costo total conjunta del comprador y proveedor es: (ecuación 63)

$$JTRC(n) = 2\sqrt{(X_J(n)Y_J(n))} \quad (63)$$

- b) Otra política simple de establecer es el tamaño del lote igual a la cantidad de la orden. Este es el caso especial de $m=n$; con la notación anterior, significa que la cantidad es igual a la cantidad de la orden. En este caso el conjunto óptimo de n se puede calcular simplemente tomando el número entero más cercano a: (ecuación 64)

$$n^* = \sqrt{U/V} \quad (64)$$

Donde (ecuación 65)

$$U = DA_B \left[\frac{r_B C_B}{2} + \frac{r_S C_S}{2} \left(\frac{2d-p}{p} \right) \right] + DA_S \left[\frac{r_B C_B}{2} + \frac{r_S C_S}{2} \left(\frac{2d-p}{p} \right) \right] \quad (65)$$

Y (ecuación 66)

$$V = \left[\frac{L_B C_B D (Z_B + Z_S)}{2} \right] + \left[\frac{r_S C_S}{2p} \left(\frac{p-d}{p} \right) (D(Z_B + Z_S)) \right] \quad (66)$$

El tamaño óptimo de envío se expresa en la ecuación (67)

$$q^*_J(n) = \sqrt{\frac{X_J(n)}{Y_J(n)}} \quad (67)$$

Donde (ecuación 68)

$$X_J(n) = \frac{D}{n} A_B + \frac{D}{n} A_S + DZ_B + DZ_S \quad (68)$$

Y (ecuación 69)

$$Y_J(n) = \frac{r_B C_B + L_B C_B n}{2} + \frac{r_S C_S}{2} \left(n - \frac{nd}{p} - 1 + \frac{2d}{p} \right) \quad (69)$$

La cantidad de la orden y el tamaño del lote $Q_B=Q_S=nq^*_J$, y el costo total del comprador y el proveedor es: (ecuación 70)

$$JTRC(n) = 2\sqrt{(X_J(n)Y_J(n))} \quad (70)$$

El comprador y el proveedor pueden utilizar el modelo desarrollado como una herramienta cuantitativa en negociación del contrato.

El modelo puede ser utilizado para estimar la cantidad mínima de compensación necesaria y la cantidad máxima económica.

Analizando los modelos propuestos anteriormente, se dice que todo modelo de inventario crea innumerables interrogantes para una organización, para este caso de estudio, hay uno importante y es saber qué cantidad y cuando se realizan los pedidos de materia prima y materiales. Para responder a esta inquietud hay que estudiar y analizar una serie de variables, como son: la demanda, el stock y el precio, entre otras. Entendiendo lo anterior, una empresa cualquiera, dentro del sector económico, se hace más eficiente y rentable si sabe cuánto y cuándo pedir.

En la siguiente tabla se presenta la revisión de los modelos y la metodología a usar por diferentes autores, para abordar diversos problemas de solicitud de materiales considerando los factores que se ajustan al problema del presente caso de estudio, en el cual intervienen varios proveedores y líneas de productos. Para definir la metodología adecuada, se realizó una comparación de los diferentes modelos y propuestas utilizadas. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Modelos y propuestas abordadas por diferentes autores

AUTORES	MODELO	PROPUESTA
Izar Landeta & Ynzunza Cortés, 2014	Modelo híbrido de inventario con tiempo	Aplica para el caso de un solo artículo, con demanda independiente, aleatoria, discreta y no estacional y con tiempo de entrega aleatorio y conocido. La técnica considera un tiempo de entrega aleatorio.
Montes Calvo, 2009	Modelo de planificación del servicio de aprovisionamiento (service plannig)	Relaciona el nivel medio de inmovilizado con el nivel de servicio de un artículo en un almacén (SKU). Permite conocer de manera precisa el costo que tiene valores diferentes de una de las variables del marketing mix (el Nivel de Servicio); traduce en parámetros operativos las decisiones estratégicas sobre el Nivel de Servicio objetivo; Analiza las repercusiones que ciertas variables industriales tienen sobre el stock; Conoce el costo en inmovilizado que tiene la nuestra empresa en el incumplimiento de los plazos de entrega de nuestros proveedores.
Morales Pulido, Torres Prado, & Palacio León,	Sistema de coordinación de inventario Multiproducto, apoyado en la estrategia de épocas comunes de	Proponen que para el problema de planificación de productos múltiples podría resolverse mediante la determinación del número anual de ciclos (m) que minimiza el costo total de toda la

2011	resurtido	familia de ítems.
Vizoso, 2011	Modelo de volumen óptimo de pedido o de wilson	Optimizar el sistema de gestión en la solicitud de materiales, donde la demanda o ventas del producto son constantes, uniformes y conocidas., determinando el tamaño del pedido para el cual es mínimo el costo total.
(Roy & Guin, 1999	Modelo conceptual del jit en la compra	Dados los patrones de consumo de los elementos discretos de una planta, se les da una clasificación modo JIT. Tanto elementos discretos y los proveedores que suministran estos. Dando así una clasificación de JIT y no JIT, de tal manera que se establezcan unas prioridades para correr el modelo de acuerdo a las capacidades de los proveedores y los tiempos de entrega de los elementos que estos proveen
Ramírez Castañeda, Soto, Pérez, & Gómez, 2009	Modelo de inventarios Multiproducto	Minimizar la inversión en inventario, sujeto a un nivel de servicio y una frecuencia mensual de pedido promedio, definidos por el usuario.
(Kelle, Al-khateeb, & Miller, 2003	Asociación y Negociación de Apoyo Óptimo Conjunto en Políticas de Ordenamiento / Configuración Para JIT	Minimizar el costo total relevante del proveedor, para encontrar la política óptima del proveedor.

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta los factores claves considerados en el sistema actual de solicitud de materiales, se observó que las metodologías utilizadas por los autores, son las que más se ajustan a la problemática abordada, debido a que los factores relevantes en sus investigaciones se asemejan más a los considerados en este trabajo, por lo tanto estas metodologías serán relevantes para la formulación de la hibridación del modelo óptimo para este caso de estudio.

La optimización está en la selección de la mejor alternativa, para ello la operación de los modelos consiste en recolectar datos, analizarlos, desarrollar el modelo que genere la solución más eficiente, y redactar las recomendaciones que lleven a una acción de mejora.

8 REALIZACIÓN DE UN MODELO QUE INTEGRE LOS FACTORES CLAVE DE LA SOLICITUD DE MATERIALES QUE PERMITA ELIMINAR EL DESPERDICIO

Para desarrollar el modelo donde se integren los factores clave de la gestión de materiales para así poder realizar una adecuada planificación en la empresa objeto de estudio, se consideran las previsiones de demanda de materiales de envoltura y empaque como dato de entrada, así como los inventarios iniciales, y de los productos terminados, los costos variables y las tasas de producción y rendimiento de los materiales. El modelo propuesto considera un horizonte de planificación de doce meses y las soluciones deben ser revisadas mensualmente.

El modelo de solicitud de materiales propuesto involucra todas las variables de decisión para la planificación de materiales, teniendo los siguientes supuestos que se describen a continuación:

- Volumen de pedido por material en cada mes del horizonte de planificación.
- Volumen de pedido por proveedor en cada mes del horizonte de planificación.
- Necesidades de materiales a solicitar a cada proveedor, en cada mes del horizonte de planificación.
- Niveles de inventario inicial de producto por material en cada mes del horizonte de planificación.
- Niveles de inventario inicial de materiales por producto en cada mes del horizonte de planificación.
- Todos los productos comparten las materias primas y materiales.
- Todos los materiales son suministrados por los tres proveedores.

8.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y VARIABLES DE DECISIÓN

En esta sección se definen los parámetros y las variables de decisión del modelo generalizado de planificación de solicitud de materiales, considerando N materiales, J productos, L proveedores y T períodos en el horizonte de planificación.

Se utilizan los siguientes índices (y sus variaciones) para identificar materiales, productos, proveedores y períodos:

i material; $i = 1, \dots, N$

j producto; $j = 1, \dots, J$

l proveedor; $l = 1, \dots, L$

t periodo (mes); $t = 1, \dots, T$

Parámetros

c_{ij} costo del material i para producto j en \$/Kg.

h_i costo de inventario de material i [\$/tKg/mes].

e_i costo (penalización) de escasez de material i [\$/Kg/mes].

b_l costo de pedido a proveedor l [\$/Kg/mes].

d_{it} demanda de material i durante el mes t .

p_{ij} tasa de consumo de material i en producto j [Kg].

cap_{jt} tiempo disponible para planificar producto j en el período t [horas].

r constante de rendimiento de los materiales.

s_{lt} suministro máximo por proveedor l en periodo t [Kg].

k_{i0} inventario inicial del material i [Kg].

k_{iT} inventario final de material i al final del horizonte de planificación [Kg].

m_{l0} inventario inicial del proveedor l [Kg].

m_{il} vale 1 si material i lo provee el proveedor l , 0 en caso contrario.

T horizonte de planificación [mes].

Variables de Decisión

x_{ijt} pedido de material i para producto j en período t [Kg].

y_{lt} proveedor l a recepcionar en el periodo t [Kg].

z_{lt} necesidades de solicitar a proveedor l en el periodo t [Kg].

k_{it} balance de inventario del material i en el periodo t [Kg].

k_{it}^+ inventario físico del material i en el periodo t [Kg].

k_{it}^- inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t [Kg].

m_{lt} inventario final del proveedor l en periodo t [Kg].

8.2 MODELO MATEMÁTICO

El objetivo del modelo es minimizar al costo de la planificación de materiales en el horizonte de planificación (1), expresado como el costo de material, costo de inventario de material, costo de penalización y costo de mantener pedido a proveedor.

Función Objetivo:

$$C_p = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J c_{ij} * x_{ijt} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N h_i * k_{it}^+ + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N e_i * k_{it}^- + \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L b_l * m_{lt} \quad (1)$$

Restricciones:

El conjunto de restricciones está representado por las restricciones (2) a la (9) describiéndose de la siguiente manera.

La restricción (2) representa el balance de inventario de materiales; donde se tiene dos escenarios, el primero para $t=1$ y el segundo para $t>1$ (2)

$$k_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J x_{ijt} - d_{it} = k_{it} \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T$$

La restricción (3) planificación de inventario físico y escasez (3)

$$k_{it} = k_{it}^+ - k_{it}^- \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T$$

La restricción (4) requerimiento de inventario de materiales al término del horizonte de planificación, de acuerdo a los requisitos de la política de inventarios de la empresa equivale a la mitad de la demanda del periodo t.

$$k_{iT} = \frac{d_{iT}}{2} \quad i = 1, \dots, N; \quad (4)$$

La restricción (5), plantea la capacidad del proveedor para cada material donde no puede superar las horas disponibles de planificación.

$$\sum_{i=1}^N x_{ijt} * \frac{1}{p_{ij}} \leq cap_{jt} \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (5)$$

El balance de los inventarios en el proveedor para cada material i se expresa a través de la restricción (6)

$$m_{l,t-1} + y_{lt} - z_{lt} = m_{lt} \quad l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, T \quad (6)$$

La restricción (7) se establece los límites de capacidad del proveedor

$$y_{lt} \leq s_{lt} \quad l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, T \quad (7)$$

La restricción (8) muestra la necesidad de solicitar al proveedor los materiales requeridos para un período de tiempo.

$$z_{lt} = r * \sum_{i=1}^N m_{il} \sum_{j=1}^J x_{ijt} \quad l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, T \quad (8)$$

La restricción (9) inventario final de materiales donde el proveedor, se expresa como inventario esperado del proveedor igual al promedio de las necesidades a solicitar al proveedor l en periodo t.

$$m_{lT} = \sum_{t=1}^T z_{lt} / T \quad l = 1, \dots, L \quad (9)$$

Y por último se tiene la restricción de la no negatividad

$$x_{ijt}, k_{it}^+, k_{it}^-, y_{lt}, z_{lt}, m_{lt} \geq 0, \quad k_{it} \in \mathcal{R},$$

9 VALIDACIÓN DEL MEDIANTE UN CASO DE ESTUDIO

9.1 MODELO EN AMPL

Según el modelo planteado en el capítulo anterior se decidió llevar a cabo la formulación del problema en el de programación lenguaje AMPL[®] (A Mathematical Programming Language), utilizando el servidor NEOS[®].

AMPL[®] es un lenguaje de modelación para programación matemática de fácil uso, debido a su capacidad de formular en notación algebraica problemas de optimización ya sean de programación lineal y no lineal, empleando variables enteras o continuas, haciendo más sencillo la comunicación entre la programación y el ordenador. Para desarrollar los modelos, este lenguaje puede utilizar algún paquete de optimización o solver, tales como, CPLEX[®], MINOS[®], u OSL[®] (Fourer , Gay, & Kernighan, 2010). Este lenguaje fue desarrollado en los laboratorios BELL, el cual permite usar una notación común y conceptos familiares para formular modelos de optimización y examinar las soluciones, mientras el equipo maneja la comunicación con un solucionador apropiado. Tiene bondades de flexibilidad y conveniencia que lo hace ideal para creación rápida de prototipos y el desarrollo del modelo, mientras que su velocidad y opciones de control lo convierten en una opción esencialmente eficaz para las actividades de producción repetida.

Un programa escrito en AMPL[®] se estructura de la siguiente forma:

- Sentencias relacionadas con los conjuntos de datos, los parámetros y las variables de decisión.
- La función objetivo y el conjunto de restricciones.
- Los datos del problema.
- Las características clave del lenguaje AMPL:
- El amplio apoyo para los conjuntos y los operadores establecidos. Modelos en AMPL pueden usar conjuntos de pares, triples, y más tuplas; colecciones de conjuntos indexados sobre conjuntos; conjuntos de objetos no ordenados, ordenados y circulares y conjuntos de números.
- Sintaxis aritmética general y natural, lógica y expresiones condicionales, convenciones familiares para ejecutar procesos con sumatorias y otras operaciones iterativas.

- Características de programación no lineal tales como, los valores iniciales del primal y el dual, funciones definidas por el usuario, diferenciación automática rápida, y la eliminación automática variables "definidas".
- Convenientes notaciones de control que incluyen declaraciones de nodos y arcos para los problemas de red, una sintaxis especial para las funciones lineales discontinuas y especificación por columnas de coeficientes lineales.

El proceso de planteamiento y solución de un modelo matemático desarrollado en lenguaje AMPL se presenta en tres archivos (Bloc de notas) en lenguaje AMPL, teniendo en cuenta que el tercer archivo solo denota la forma como debe organizarse las soluciones, el archivo del modelo, de datos y el de comandos, se remiten a un generador de modelos, que procesa los archivos convirtiéndolos en un programa maestro para luego ser resueltos mediante el software de optimización CPLEX, que remite los resultados al generador de modelos para que sean entregados al usuario.

NEOS server, es una plataforma de uso libre que ofrece el generador de modelos. Esta plataforma posee variados solvers que se utilizan de acuerdo con especificaciones del modelo, los solvers implementados por el NEOS[®] utilizan para la solución de problemas el lenguaje AMPL y trabajan sobre los paquetes de optimización CPLEX[®] y MINOS[®], utilizando métodos como el branch and bound (B&B). Además resuelven problemas de optimización de programación lineal y no lineal, al igual que programación lineal entera mixta. Para este problema específico se utilizan solvers que resuelven programación lineal entera mixta, como lo es, MINTO[®].

El paso a seguir es la escritura del archivo del modelo en AMPL[®]

Después de formular el modelo matemático de la situación real y escribirlo en forma simbólica matemática, se tradujo el modelo archivo de acuerdo con la sintaxis específica del generador de modelos utilizado. En este caso se empleó el generador AMPL (*A Modeling Language for Mathematical Programming*, página web www.ampl.com), éste es un generador muy amigable y con un poderoso manejo de conjuntos, lo cual es muy importante para modelar y resolver problemas reales.

Figura 4. Modelo Matemático en AMPL
MODELO AMPL PLANIFICACION DE MATERIALES

#CONJUNTOS PRINCIPALES

```
set MATERIAL;      # Conjunto de materiales indexado por i
set PRODUCTO;      # Conjunto de productos indexado por j
set PROVEEDOR;     # Conjunto de proveedorea indexado por l
set PERIODO;        # Conjunto de períodos indexado por t
```

Fuente: Elaboración propia.

(Continuación: Figura 4. Modelo Matemático en AMPL

PARÁMETROS

```
param c{i in MATERIAL, j in PRODUCTO}>=0;      # Costo de material i para producto j [$ /kg].
param h{i in MATERIAL}>=0;                      # Costo de inventario de material i [$ /kg/mes].
param e{i in MATERIAL}>=0;                      # Costo (penalización) de escasez de material i [$ /kg/mes].
param b{l in PROVEEDOR}>=0;                    # Costo de pedido a proveedor l [$ /kg/mes].
param d{i in MATERIAL, t in PERIODO}>=0;        # Demanda de material i durante el mes t.
param p{i in MATERIAL, j in PRODUCTO}>=0;      # Tasa de consumo de material i en producto j [kg].
param cap{j in PRODUCTO, t in PERIODO}>=0;      # Tiempo disponible para planificar producto j en período t [horas].
param r>=0;                                     # Constante de rendimiento de los materiales.
param s{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}>=0;      # Suministro máximo por el proveedor l en periodo t [kg].
param f{i in MATERIAL}>=0;                     # Inventario inicial del material i [kg].
param g{i in MATERIAL}>=0;                     # Inventario final de material i al final del horizonte de planificación [kg].
param m{l in PROVEEDOR}>=0;                     # Inventario inicial del proveedor l [kg].
param n{i in MATERIAL, l in PROVEEDOR}>=0;     # Vale 1 si el material i lo provee el proveedor l, 0 en caso contrario.
param T>=0;                                     # Horizonte de planificación [mes].
```

```
param g{i in MATERIAL}>=0;                     # Inventario final de material i al final del horizonte de planificación [kg].
param m{l in PROVEEDOR}>=0;                     # Inventario inicial del proveedor l [kg].
param n{i in MATERIAL, l in PROVEEDOR}>=0;     # Vale 1 si el material i lo provee el proveedor l, 0 en caso contrario.
param T>=0;                                     # Horizonte de planificación [mes].
```

VARIABLES DE DECISIÓN

```
var X{i in MATERIAL, j in PRODUCTO, t in PERIODO}>=0; # Pedido de material i para producto j en período t [kg].
var Y{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}>=0;              # Proveedor l a recepcionar en el periodo t [kg].
var Z{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}>=0;              # Necesidades de solicitar a proveedor l en el periodo t [kg].
var F{i in MATERIAL, t in PERIODO}>=0;              # Balance de inventario del material i en el periodo t [kg].
var K{i in MATERIAL, t in PERIODO}>=0;              # Inventario físico del material i en el periodo t [kg].
var M{i in MATERIAL, t in PERIODO}>=0;              # Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t [kg].
var Q{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}>=0;              # Inventario final del proveedor l en periodo t [kg].
```

FUNCIÓN OBJETIVO

minimize costo_planificacion_materiales: # (\$/año)

```
sum{t in PERIODO, i in MATERIAL, j in PRODUCTO}(c[i,j]*X[i,j,t])+
sum{t in PERIODO, i in MATERIAL}(h[i]*K[i,t])+
sum{t in PERIODO, i in MATERIAL}(e[i]*M[i,t])+
sum{t in PERIODO, l in PROVEEDOR}(b[l]*Q[l,t]);
```

RESTRICCIONES

```
subject to balance_invmat{i in MATERIAL, t in PERIODO: t=1}:f[i]+sum{j in PRODUCTO}(X[i,j,t])-d[i,t]=F[i,t]; # Balance inventario de materiales
subject to plaesc_invfis{i in MATERIAL, t in PERIODO: t>1}:F[i,t-1]=K[i,t]-M[i,t]; # Planificación de inv físico y escasez
subject to reqinv_pterhor{i in MATERIAL, t in PERIODO: t=3}: F[i,t] = (d[i,t])/2; # Requerimiento de inv de materiales i al
termino del horizonte de planificación t
subject to cap_prov{j in PRODUCTO, t in PERIODO}:sum{i in MATERIAL}(X[i,j,t]*(1/p[i,j]))<=(cap[j,t]); # Restricción del proveedor, capacidad del
proveedor l para cada material i
subject to balance_prov{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}:m[l]+Y[l,t]-Z[l,t]=Q[l,t]; # Balance de inv en el proveedor para cada
material i
subject to lim_prov{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}:Y[l,t]<=s[l,t]; # Límite de capacidad de proveedor l
subject to nece_prov{l in PROVEEDOR, t in PERIODO}:Z[l,t]=r*(sum{i in MATERIAL, j in PRODUCTO}(n[i,l]*X[i,j,t])); # Necesidades de materiales requeridos
subject to invfinprov_utimp{l in PROVEEDOR}:Q[l,3]=sum{t in PERIODO}(Z[l,t]/T); # Inv final de materiales
```

Fuente: Elaboración Propia.

9.2 DATOS EN AMPL

Una vez formulado el modelo, se procede a construir el archivo de datos en el cual primero se definen los conjuntos en su orden, dando el nombre de cada uno de los elementos de cada conjunto. De igual manera se dan los valores de cada parámetro, de acuerdo con los nombres de los elementos que se hayan definido para cada conjunto.

A continuación se muestra en la figura 5, el archivo de datos en programación AMPL

Figura 5. Datos del Modelo Matemático en AMPL

```
# MODELO AMPL PLANIFICACION DE MATERIALES

#CONJUNTOS PRINCIPALES

set MATERIAL:= 1      2      3      4      5      6      7      8;
set PRODUCTO:= 1      2      3      4;
set PROVEEDOR:= 1      2      3;
set PERIODO:= 1      2      3      4      5      6      7      8      9      10      11      12;

# PARÁMETROS

# Costo de material i para producto j  [$/kg]

param c:
      1      2      3      4:=
1      3420    0      0      0
2      3510    0      0      0
3      0      2790    0      0
4      0      3970    0      0
5      0      0      3250    0
6      0      0      2796    0
7      0      0      0      2695
8      0      0      0      2523;

# Costo de inventario de material i [$/kg/mes]

param h:=
1      3508
2      3910
3      3738
4      3689
5      3980
6      3758
7      3794
8      3593;

# Costo (penalización) de escasez de material i [$/kg/mes]

param e:=
1      3050
2      3400
3      3250
4      3156
5      3316
6      3248
7      3012
8      2959;

# Costo de pedido a proveedor 1 [$/kg/mes]

param b:=
1      15000
2      13000
3      10150;
```

Fuente: Elaboración Propia.

(Continuación: Figura 5. Datos del Modelo Matemático en AMPL)

Demanda de material i durante el mes t

param d:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12:=
1	1435	1433	1575	1536	1555	1428	1430	1517	1367	1483	1534	1533
2	1098	1187	1076	1213	1190	1103	1218	1095	1107	1212	1201	1098
3	920	928	911	885	891	933	927	877	921	929	887	943
4	2332	2833	2178	2105	2424	2765	2616	2186	2562	2927	2323	2434
5	1982	1589	1556	1079	1186	1283	1525	1675	1734	1889	1469	1808
6	1488	1308	1210	1358	1247	1697	1402	1698	1894	1566	1354	1703
7	1809	1234	1401	1234	1391	1159	1675	1632	1243	1958	1572	1616
8	1172	1965	1197	1547	1587	1494	1362	1335	1712	1398	1715	1027;

Tasa de consumo de material i en producto j [kg]

param p:

	1	2	3	4:=
1	1.5	0.00001	0.00001	0.00001
2	1.33	0.00001	0.00001	0.00001
3	0.00001	1.29	0.00001	0.00001
4	0.00001	1.34	0.00001	0.00001
5	0.00001	0.00001	1.12	0.00001
6	0.00001	0.00001	1.18	0.00001
7	0.00001	0.00001	0.00001	1.19
8	0.00001	0.00001	0.00001	1.24;

Tiempo disponible para planificar producto j en período t [horas]

param cap:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12:=
1	1197	1189	1187	1192	1192	1193	1198	1186	1192	1191	1191	1194
2	1172	1178	1173	1167	1165	1166	1169	1168	1168	1174	1169	1169
3	1182	1180	1198	1200	1171	1176	1190	1200	1193	1189	1185	1195
4	1187	1173	1182	1165	1171	1169	1200	1186	1174	1169	1176	1169;

Constante de rendimiento de los materiales

param r:= 0.98;

Suministro máximo por el proveedor 1 en periodo t [kg]

param s:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12:=
1	1194	1202	1191	1199	1194	1201	1189	1200	1188	1207	1205	1207
2	1219	1214	1214	1215	1218	1222	1222	1218	1222	1218	1218	1223
3	1152	1151	1146	1151	1148	1150	1146	1148	1147	1150	1147	1149;

Inventario inicial del material i [kg]

param f:=

1	815
2	760
3	680
4	805
5	693
6	810
7	798
8	732;

Fuente: Elaboración Propia.

(Continuación: Figura 5. Datos del Modelo Matemático en AMPL)

```
# Inventario final de material i al final del horizonte de planificación [kg]

param g:=
1      771
2      826
3      691
4      809
5      797
6      794
7      814
8      721;

# Inventario inicial del proveedor 1 [kg]

param m:=
1      560
2      715
3      658;

# Vale 1 si el material i lo provee el proveedor 1, 0 en caso contrario

param n:
      1      2      3:=
1      1      0      0
2      1      0      1
3      0      0      1
4      0      0      1
5      1      0      1
6      0      1      0
7      1      0      1
8      0      1      0;

# Horizonte de planificación [mes]

param T:= 12;
```

Fuente: Elaboración Propia.

9.3 COMANDOS EN AMPL

El archivo de comandos en AMPL se utiliza para informar al sistema la forma como desea que se presenten los resultados y cuáles de éstos se quieren tener en la salida.

Figura 6. Comandos del Modelo Matemático en AMPL

```
# COMANDOS EN AMPL CORRESPONDIENTES AL MODELO PLANIFICACIÓN DE MATERIALES

# COMANDOS DE INICIALIZACIÓN DE CONDICIONES:

option show_stats 1;
option solution_precision 0;
option omit_zero_rows 1;
option omit_zero_cols 1;
option display_precision 6;
option display_round 1;
option display_width 50;
```

Fuente: Elaboración Propia.

(Continuación: Figura 6. Comandos del Modelo Matemático en AMPL)

```
# COMANDO DE SOLUCIÓN:
solve;

# COMANDOS DE IMPRESIÓN DE RESULTADOS:
printf "\n\n*****\n";
printf "RESULTADOS DEL MODELO PLANIFICACIÓN DE MATERIALES\n";
printf "*****\n\n";

printf "\nCOSTO PLANIFICACION = \t%9.1f", costo_planificacion;

printf "\n\nPEDIDO DE MATERIAL I PARA PRODUCTO J EN PERIODO T =\n\n";
display X;

printf "\nPROVEEDOR L A RECEPCIONAR EN EL PERIODO T =\n\n";
display Y;

printf "\nNECESIDADES DE SOLICITAR A PROVEEDOR L EN EL PERIODO T =\n\n";
display Z;

printf "\nBALANCE DE INVENTARIO DEL MATERIAL I EN EL PERIODO T =\n\n";
display F;

printf "\nINVENTARIO FISICO DEL MATERIAL I EN EL PERIODO T =\n\n";
display K;

printf "\nINVENTARIO FALTANTE (ESCASEZ) DEL MATERIAL I EN EL PERIODO T =\n\n";
display M;

printf "\nINVENTARIO FINAL DEL PROVEEDOR L EN PERIODO T =\n\n";
display Q;
```

Fuente: Elaboración Propia.

9.4 ANALISIS DE RESULTADOS

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos después de correr el modelo en la plataforma de NEOS SERVER, posteriormente se realiza el respectivo análisis; donde el modelo arroja 772 variables y 219 restricciones, para poder llegar a este resultado se realizaron diferentes ensayos los cuales fueron aproximadamente 12 pruebas.

Tabla 4. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)

Costo de Planificación = \$ 36'602.929,6																	
Pedido de Material i para Producto j en Período t																	
Período [mes]	Materiales																
	M1				M2				M3				M4				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

(Continuación: Tabla 4. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg))

Período [mes]	M5				M6				M7				M8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	1.289	-	-	-	678	-	-	-	500,8	-	-	440	-	-	-
2	-	-	-	671,4	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	671,4	26,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el costo de planificación de los materiales tiene un costo de \$36'602.929,6 durante el periodo de planificación (12 meses).

En la tabla 4 se observa que solo se debe planificar material 5, 6, 7 y 8 (identificados en la tabla como M1, M2, ..., M8) para el producto 1, 2, 3 y 4 en los periodos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8,9, 10, 11 y 12; mientras que los demás materiales y productos no se planifican.

En donde, el material 5, solo se planifica para el producto 2 en el mes 1 la cantidad de 1289 kg y el producto 4 en el mes 2 y 12 de 671,4 kg respectivamente en cada período, los demás productos no se planifican. En el material 6, se planifica el producto 1 en el mes 2 a 12, donde las cantidades son de 2 a 11 de 729,6 kg respectivamente y en el mes 12 de 26,2 kg; del producto 2 se planea en el mes 2678 kg.

En el material 7, se planifica del producto 1 en el mes 6,7,8 y 10 con cantidades de 671,4 kg respectivamente; el producto 2 se planifica en el mes 1 en 500,8 kg, en el mes 3 y 9 con 671,8 kg respectivamente. En el producto 3, solo se planea en el mes 4 y 5 con 671,4 kg respectivamente. Por último, el material 8 solo tiene planeación para el producto 1 en el mes 1 de 440 kg.

Tabla 5. Proveedor I a recepcionar en el periodo t (Kg)

Proveedor I a recepcionar en el Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.194	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	134,5
2	380,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5, se ven las cantidades a recepcionar de cada material por cada uno de los proveedores, en donde se recepcionan de los tres proveedores durante los periodos 1 y 12, las cantidades a recepcionar son: para el proveedor 1: 1194 kg, 98 kg (desde el mes 2 al 11) y 134,5 kg para el mes 12; para el proveedor 2: 380,6 kg y los demás meses no se recepcionan materiales; proveedor 3: 1096 kg y 36,5 kg para el mes 1 y 12 respectivamente, esto debido a que si no se planifican

pedidos durante el resto de año, no habrá recepción de materiales en los demás periodos.

Tabla 6. Necesidades a solicitar a proveedor l en periodo t (Kg)

Necesidades a Solicitar a Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.754	658	658	658	658	658	658	658	658	658	658	-
2	1.095,6	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	25,7
3	1.754	658	658	658	658	658	658	658	658	658	658	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, se ven las necesidades a solicitar al proveedor 1,2 y 3 para el periodo1, en cantidades de 1754 kg, 1095,6 kg y 1754 kg respectivamente para cada proveedor, en el periodo 2: las necesidades son 658 kg, 715 kg y 658 kg para cada proveedor (este valor es contante en los periodos 3 al 11) y por último en el mes 12 solo se solicita al proveedor 2 la cantidad de 25,7 kg.

Tabla 7. Balance de inventario de material i en el periodo t (Kg)

Balance de Inventario de Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	766,0
2	338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	549
3	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	472
4	1.527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.217
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	904
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	851
7	510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	808
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	514

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se observa el balance de inventario en los materiales 1,2,3,4,5,6,7 y 8, en los periodos 1 y 12, donde el periodo 1 se tendrían unas necesidades negativas la cuales representan una escasez de material, continuando desde el mes 2 hasta el 11 un balance de cero, debido a que en estos meses no hay planificación; por último, en el periodo 12 muestra valores positivos para cada material, lo cual dice que se cerraría inventario en el último periodo con materiales por encima del consumo del último mes.

Tabla 8. Inventario físico del material i en el periodo t (Kg)

Inventarrio Físico del Material I enel Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, muestra los inventarios físicos de los materiales para el horizonte de planificación (12 meses), donde se concluye que lo que se planifica para el mes 1, se consume en su totalidad, y el resto de meses al no haber planificación durante este tiempo, no existirá un inventario físico.

Tabla 9. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t (Kg)

Inventario Faltante (Escasez) del Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	620,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	338,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	1.527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	510,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, se observa la escasez de material en el periodo 2, debido a que en el balance de inventario se veían valores negativos en el mes 1, el cual se refleja en el mes 2 como escasez de material.

Tabla 10. Inventario final del proveedor I en periodo t (Kg)

Inventario Final del Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	694,5
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	689,3
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	694,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10, se observa el inventario final de los proveedores en el mes 12, de 694,5 kg, 689,3 kg y 694,5 kg respectivamente.

9.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad mide cuanto pueden llegar a afectar a los resultados de un modelo variaciones relativamente pequeñas en los valores de los parámetros. La sensibilidad a un parámetro dependerá de los valores adoptados por los demás parámetros, con lo que puede ser más complejo hacer un análisis de sensibilidad. Otra consideración es que si el modelo es muy sensible a un parámetro pero este varía muy poco, dicha sensibilidad no va a ser relevante.

Para el análisis de sensibilidad del modelo, se crean cuatro escenarios diferentes para ver la variación en los parámetros y así obtener el más óptimo.

○ Primer escenario

Se modifican los datos del parámetro de capacidad de planificación, donde el primer semestre es igual y el segundo semestre disminuye en un 30% la capacidad. Luego se modifica el parámetro de suministro en donde se realiza una disminución de un 40% en el primer semestre. A continuación se muestran las tablas que arroja el NEOS SERVER con las modificaciones:

Tabla 11. Análisis 1. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)

Costo de Planificación = \$ 37'158.253,2																
Pedido de Material i para Producto j en Periodo t																
Período [mes]	Materiales															
	M1				M2				M3				M4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Período [mes]	M5				M6				M7				M8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	1.241,8	-	-	-	678	-	-	-	-	-	-	440	-	-	-
2	-	-	-	671,4	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	671,4	26,2	-	-	-	-	-	7,7	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la tabla 11, que las modificaciones realizadas en el primer análisis aumenta el costo de planificación de material en (1,5%) \$555.323,6 obteniendo así un costo de \$37'158.253,2; en donde se sigue planificando para los materiales 5, 6, 7 y 8, donde aumenta la cantidad de planificación del material 5 (M5) en un 3,7% para el producto 2 en el mes 1 en 1241,8 kg; en el material 6 (M6) no se observan cambios en las cantidades, siguen siendo las mismas que se observaron en la tabla 4; para el material 7 (M7) hay una disminución en el producto 2 ya que dice que no se debe planear en el mes 1 y en el mes 12 se debe planificar el producto 2 en 7,7 kg. Para el material 8 (M8) no se observa modificación en cuanto a la planificación de este material y sus productos.

Tabla 12. Análisis 1. Proveedor I a recepcionar en el periodo t (Kg)

Proveedor L a recepcionar en el Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	657	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	97,9
2	380,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	559	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, se observan cambios en el mes 1 para los proveedores 1 y 3 en 657 kg y 559 kg en comparación con la tabla 5 disminuyen los valores en 44,9% para el proveedor 1 y 48,9% para el proveedor 3, permaneciendo constante el valor del proveedor 2 en este periodo y para los meses 2 a 11; y en el mes 12 solo cambia para el proveedor 1 en 97,9 kg disminuyendo en 27,2% y para el proveedor 3 es cero, por tanto no se planifica.

Tabla 13. Análisis 1. Necesidades a solicitar a proveedor I en periodo t (Kg)

Necesidades a Solicitar a Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.217	658	658	658	658	658	658	658	658	658	658	7,6
2	1.095,6	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	25,7
3	1.217	658	658	658	658	658	658	658	658	658	658	7,6

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13, se observa cambios en el mes 1 para el proveedor 1 y 3 de 1217 kg respectivamente disminuyendo en un 30,6% en comparación con la tabla 6; para los periodos 2 a 11 permanecen constantes los valores con la tabla principal del análisis de resultados, y para el último periodo se observa que aumentan las cantidades para los proveedores 1 y 3 en 7,6 kg respectivamente ya que en la tabla 6 estos valores eran cero.

Tabla 14. Análisis 1. Inventario faltante (escasez) del material i en periodo t (Kg)

Inventario Faltante (Escasez) del Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	620,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	338,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	1.527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	47,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	1.011,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 muestra que el mes 2 representa la escasez de material, donde se observan cambios en el material 5 y 7 de 47,2 kg y 1011 kg; donde aumenta el valor del material 5 ya que en la tabla 9 su valor era cero y para el material 7 aumenta en un 98,2% donde su valor era de 510 kg.

Tabla 15. Análisis 1. Inventario final del proveedor I en periodo t (Kg)

Inventario Final del Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	650,4
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	689,3
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	650,4

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 15 muestra el inventario final de los proveedores para el periodo 12, donde las cantidades de los proveedores son de 650,4 kg, 689 kg y 650,4 kg respectivamente, en el cual se observa una disminución de 6,3% para el proveedor 1 y 3, y para el proveedor 2 su valor es constante.

○ Segundo escenario

En el segundo escenario se hacen cambios de la siguiente manera:

Param s: aumento en el suministro en un 25% en el 1er trimestre y 4to trimestre.

Param g: se disminuye en un 40% el inventario final de material i al final del horizonte de planificación.

Param m: aumento del 30% en inventario inicial del proveedor.

A continuación se muestran los resultados obtenidos después de la corrida del modelo en NEOS SERVER a partir de los cambios efectuados.

Tabla 16. Análisis 2. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)

Costo de Planificación = \$ 42'641.142,9																
Pedido de Material i para Producto j en Periodo t																
Periodo [mes]	Materiales															
	M1				M2				M3				M4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Periodo [mes]	M5				M6				M7				M8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	1.289	-	-	-	678	-	-	-	976,3	-	-	440	-	-	-
2	-	-	-	872,4	949,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	949,0	-	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	949,0	-	-	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	949,0	-	-	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	949,0	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	949,0	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	949,0	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	949,0	-	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	949,0	-	-	-	872,4	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	872	949,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	60,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 16 se ve que el costo de planificación pasa de \$ 36'602.929,6 a \$ 42'641.142,9 significando esto un aumento del costo de \$ 6'038.213,3 (14,16%).

Con respecto a la planificación de materiales se dan cambios en el material M6 para el producto 1 en los periodos 2 a 12 donde se pasa de una planificación de 729,6 kg durante los periodos 2 a 11 a 949 kg significando esto un aumento en la planificación de 219,4 kg (23,11%) y en el periodo 12 paso de 26.2 kg a 60 kg siendo este un aumento de 33,8 kg (56,33%) con respecto a la planificación inicial; en el material M7 se dan cambios en la planificación en los periodos 6, 7, 8 y 10 pasando estos de 671,4 Kg respectivamente para cada periodo a 872,4 kg, representando esto un aumento de 201 kg (23,04%) en la planificación para el producto 1. éste mismo material M7 cambia la planificación para los productos 2 de 976,3 kg, 872,4 kg y 872,4 kg en los periodos 1, 3 y 9 respectivamente y 3 pasando en este la planificación de 671,4 kg a 872,4 kg en los periodos 4 y 5 significando esto un aumento de 201 kg (23,04%) de acuerdo a la planificación

inicial; por último el material M5 cambia la planificación de 671,4 kg a 872,4 en el período 2 y 12 respectivamente para el producto 4.

Tabla 17. Análisis 2. Proveedor I a recepcionar en el periodo t (Kg)

Proveedor L a recepcionar en el Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.492	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	169,5
2	165,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.365	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 17 muestra los cambios en la cantidad de kg a recepcionar de cada proveedor en los períodos de planificación (12 meses), siendo estos para el proveedor 1 en el mes 1 de 1.194 kg a 1.492 kg siendo esto un aumento de 298 kg (20%) de la cantidad inicial a recepcionar y en los meses 2 a 11 pasa de 98 kg a 127 kg aumentando de 29 kg (22,8%) y en el mes 12 pasa de 134,5 kg a 169,5 kg; para el proveedor 2 muestra 165,6 kg a recepcionar en el mes 1 siendo esto 215 kg (56,49%) menos al inicialmente planteado de 380,6 kg; para el proveedor 3 hay un aumento de 269 kg a recepcionar en el período 1 y en el mes 12 un aumento de 6 kg.

Tabla 18. Análisis 2. Necesidades a solicitar a proveedor I en periodo t (Kg)

Necesidades a Solicitar a Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.220	855	855	855	855	855	855	855	855	855	855	-
2	1.095,6	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	58,8
3	2.220	855	855	855	855	855	855	855	855	855	855	-

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 18 muestra las cantidades necesarias a solicitar a los proveedores durante el período de planificación de 12 meses, sufriendo cambios para cada proveedor así:

Proveedor uno pasa de 1.754 kg en el primer mes a 2.220 kg siendo un aumento de 466 kg (21%) y en los meses 2 a 11 pasa de 658 kg a 855 kg significando aumento de 23.04%; para el proveedor 2 se reflejan cambios en los meses 2 a 12 siendo de 715 kg en los meses 2 a 11 paso a 930 kg, un aumento de 215 kg (23.1%) y en el mes 12 un aumento de 33.1 kg; para el proveedor 3 también sufre un aumento de 466 kg (21%) pasando de 1.754 kg a 2.220 kg y en los meses 2 a 11 pasa de 658 kg a 855 kg.

Tabla 19. Análisis 2. Balance de inventario de material i en el periodo t

Balance de Inventario de Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	766,0
2	338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	549
3	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	471,5
4	1.527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.217
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	904
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	851
7	34,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	808
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	513,5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 19 donde se presencia el balance de inventario de materiales se puede observar un cambio en el material 7 siendo este inicialmente de (-510 kg) a (-34,7 kg), se puede ver que disminuye en un 93,2%.

Tabla 20. Análisis 2. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t

Inventario Faltante (Escasez) del Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	620,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	338,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	1.527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	34,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se puede ver que hubo cambio en el inventario faltante para el material 7 en el período 2 de planificación pasando de 510 kg a 34,7 kg siendo estos el reflejo del valor negativo del balance de inventarios de materiales que se ve en la tabla 19.

Tabla 21. Análisis 2. Inventario final del proveedor I en periodo t

Inventario Final del Proveedor I en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	897,5
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	871,2
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	897,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21 se observa los inventarios finales de proveedor en el período t, donde para el proveedor 1 tiene cambio de 694,5 kg a 897,5 kg reflejando un aumento de 203 kg (22,6%); para el proveedor 2 pasa de 689,3 kg a 871,2 kg aumentando en 20,9% y el proveedor 3 pasa de 694,5 kg a 897,5 kg.

○ **Tercer escenario**

Para este escenario se modifican los datos del parámetro de la demanda del material, aumentando en un 35% el primer trimestre y disminuyendo el cuarto trimestre en un 40%.

Luego se cambia el parámetro de capacidad de planificación aumentando un 45% en el primer semestre y en el segundo semestre en 30%. A continuación se muestran las tablas que arroja el NEOS SERVER con las modificaciones:

Tabla 22. Análisis 3. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)

Costo de Planificación = \$ 48'220.737,4																
Pedido de Material i para Producto j en Período t																
Período [mes]	Materiales															
	M1				M2				M3				M4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Período [mes]	M5				M6				M7				M8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	1.789,8	-	-	-	1.199	-	-	-	-	-	-	774,5	-	-	-
2	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	729,6	-	-	-	671,4	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	671,4	729,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la tabla 22, que las modificaciones realizadas en el análisis aumenta el costo de planificación de material en (31,7%) \$11'617.807,8 obteniendo así un costo de \$48'220.737,4; en donde se sigue planificando para los materiales 5, 6, 7 y 8, donde aumenta la cantidad de planificación del material 5 (M5) en un 38,8% para el producto 2 en el mes 1 en 1789,8 kg y para el producto 4 ya no se planifica en el mes 2 como lo mostraba la tabla principal del

análisis que era un valor de 671,4 kg; en el material 6 (M6) se observan cambios en las cantidades del producto 2 en el mes 1 aumenta en un 76,8% la cantidad de 1199 kg donde la tabla 4 mostraba un valor de 678 kg; para el material 7 (M7) hay una disminución en el producto 2 ya que dice que no se debe planear en el mes 1 ya que la cantidad es cero y el valor principal era 500,8 kg y en el material 3 no se planea en el mes 4 y 5 ya que arroja valores en cero. Para el material 8 (M8) se observa un aumento de 76% en el producto 1 en el mes 1 de 774,5 kg.

Tabla 23. Análisis 3. Proveedor I a recepcionar en el periodo t (Kg)

Proveedor L a recepcionar en el Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.194	97,9	97,9	97,9	97,9	97,9	98	98	98	98	98	134,5
2	1.219,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42
3	1.096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23, se observan cambios en el mes 1 para el proveedor 2 aumentando en 1219 kg, en comparación con la tabla 5 donde su valor era de 380,6 kg y para los proveedores 1 y 3 sus valores son constantes; para el periodo de 2 a 6 su valor disminuye en 0,1% donde paso de ser 98 kg a 97,9 kg para este periodo y para el periodo 7 a 11 sus valores permanecen constantes; en el último mes para el proveedor 2 aumenta de cero a 42 kg.

Tabla 24. Análisis 3. Necesidades a solicitar a proveedor I en periodo t (Kg)

Necesidades a Solicitar a Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.754	657,9	657,9	657,9	657,9	657,9	658	658	658	658	658	-
2	1.934,0	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	-
3	1.754	658	658	658	658	658	658	658	658	658	658	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 24, se observan cambios en el mes 1 para el proveedor 2 de 1934 kg aumentando en un 76,5% en comparación con la tabla 6 donde su valor era 1095,6 kg; para los periodos 2 a 11 permanecen constantes los valores con la tabla principal del análisis de resultados, y para el último periodo se observa que disminuye la cantidad para el proveedor 2 en 0 kg ya que en la tabla 6 este valor era 25,7 kg.

Tabla 25. Análisis 3. Balance de inventario de material i en el periodo t

Balance de Inventario de Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.122	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	459,5
2	722	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	329,0
3	561	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	282,5
4	2.343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	730,0
5	- 193,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	542,0
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	510,5
7	1.644	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	484,5
8	- 75,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	308,0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 25, se observa el balance de inventario en los materiales 1,2,3,4,5,6,7 y 8, en los periodos 1 y 12, donde el periodo 1 se tienen necesidades negativas las cuales representan una escasez de material, continuando desde el mes 2 hasta el 11 un balance de cero, debido a que en estos meses no hay planificación; por último, en el periodo 12 muestra valores positivos para cada material, lo cual muestra que se cerraría inventario en el último periodo con materiales por encima del consumo del último mes y en comparación con la tabla de análisis de resultados los valores tienden a disminuir.

Tabla 26. Análisis 3. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t

Inventario Faltante (Escasez) del Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	1.122,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	722,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	561,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	2.343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	193,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	1.644,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	75,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 26 muestra que el mes 2 representa la escasez de material, donde se observan cambios en el material 2,3,4,5,7 y 8 de 1122 kg, 722 kg, 561 kg, 2343 kg, 193 kg, 1644 kg y 75kg respectivamente, aumentando sus valores en comparación con la tabla 9.

Tabla 27. Análisis 3. Inventario final del proveedor l en periodo t

Inventario Final del Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	694,5
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	757,0
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	694,5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 27 muestra el inventario final de los proveedores para el periodo 12, donde las cantidades son de 694,5 kg permaneciendo este constante para el proveedor 1, 757 kg aumentando en 9,8% su valor para el proveedor 2 y 694,5 kg permaneciendo constante para el proveedor 3.

○ **Cuarto escenario**

En el cuarto escenario se hacen cambios de la siguiente manera:

Param m: aumento en el inventario inicial de proveedor en un 48%.

Param d: aumento en la demanda de los materiales 1, 2, 3 y 4 en un 45% en el horizonte de planificación.

Param f: aumento del 35% en el materiales 1, 2, 3 y 4 en los inventarios iniciales.

Param cap: aumento en la capacidad de planificación en un 55% de los productos 1 y 2

A continuación se muestran los resultados obtenidos después de la corrida del modelo en NEOS SERVER a partir de los cambios efectuados.

Tabla 28. Análisis 4. Pedido de material i para producto j en periodo t (Kg)

Costo de Planificación = \$ 51'604.579,1																
Pedido de Material i para Producto j en Periodo t																
Período [mes]	Materiales															
	M1				M2				M3				M4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Período [mes]	M5				M6				M7				M8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	1.289	-	-	-	678	-	-	-	775,3	-	-	440	-	-	-
2	-	-	-	993,8	1.079,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	993,8	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	1.079,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	993,8	80,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 28 se ve que el costo de planificación pasa de \$ 36'602.929,6 a \$ 51'604.579,1 significando esto un aumento del costo de \$ 15'001.649,5 (29,01%).

Con respecto a la planificación de materiales se dan cambios en el material M6 para el producto 1 en los períodos 2 a 12 donde se pasa de una planificación de 729,6 kg durante los periodos 2 a 11 a 1.079,6 kg significando esto un aumento en la planificación de 350 kg (32,4%) y en el período 12 paso de 26.2 kg a 80,1 kg siendo este un aumento de 53,9 kg (67,1%) con respecto a la planificación inicial; en el material M7 se dan cambios en la planificación en los períodos 6, 7, 8 y 10 pasando estos de 671,4 Kg respectivamente para cada período a 993,8 kg, representando esto un aumento de 322,4 kg (32,4%) en la planificación para el producto 1. éste mismo material M7 cambia la planificación para los productos 2 de 775,3 kg, 993,8 kg y 993,8 kg en los períodos 1, 3 y 9 respectivamente y producto 3 pasando en este la planificación de 671,4 kg a 993,8 kg en los períodos 4 y 5 significando esto un aumento de 322,4 kg (32,4%) de acuerdo a la planificación inicial; por último el material M5 cambia la planificación de 671,4 kg a 993,8 en el período 2 y 12 respectivamente para el producto 4.

Tabla 29. Análisis 4. Proveedor I a recepcionar en el periodo t (Kg)

Proveedor L a recepcionar en el Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.194	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	151,2
2	37,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,3

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 29 muestra los cambios en la cantidad de kg a recepcionar de cada proveedor en los períodos de planificación (12 meses), siendo estos para el proveedor 1 en los meses 2 a 11 de 98 kg a 145 kg aumentando 47 kg (32.4%) y en el mes 12 pasa de 134,5 kg a 151,2 kg; para el proveedor 2 muestra 37,6 kg a recepcionar en el mes 1 siendo esto 343 kg (90.1%) menos al inicialmente planteado de 380,6 kg; para el proveedor 3 hay una disminución de 705 kg a recepcionar en el período 1 y en el mes 12 un aumento de 6,3 kg.

Tabla 30. Análisis 4.Necesidades a solicitar a proveedor I en periodo t (Kg)

Necesidades a Solicitar a Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.023	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	-
2	1.095,6	1.058	1.058	1.058	1.058	1.058	1.058	1.058	1.058	1.058	1.058	78,5
3	2.023	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	-

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 30 muestra las cantidades necesarias a solicitar a los proveedores durante el período de planificación de 12 meses, sufriendo cambios para cada proveedor así:

Proveedor 1 pasa de 1.754 kg en el primer mes a 2.223 kg siendo un aumento de 469 kg (21,1%) y en los meses 2 a 11 pasa de 658 kg a 974 kg significando aumento de 32,4%; para el proveedor 2 se reflejan cambios en los meses 2 a 12 siendo de 715 kg en los meses 2 a 11 paso a 1058 kg, un aumento de 343 kg (32,4%) y en el mes 12 un aumento de 52,8 kg; para el proveedor 3 también sufre un aumento de 469 kg (21,1%) pasando de 1.754 kg a 2.223 kg y en los meses 2 a 11 pasa de 658 kg a 974 kg.

Tabla 31. Análisis 4. Balance de inventario de material i en el periodo t

Balance de Inventario de Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.111,5
2	566	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	796
3	416	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	683
4	2.294	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.765
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	904
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	851
7	235,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	808
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	513,5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 31 donde se presencia el balance de inventario de materiales se puede observar un cambio en el material 7 siendo este inicialmente de (-510 kg) a (-235,7 kg), se puede ver que disminuye en un 53,78%.

Tabla 32. Análisis 4. Inventario faltante (escasez) del material i en el periodo t

Inventario Faltante (Escasez) del Material I en el Período T												
Material	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	981,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	566,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	416,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	2.294	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	235,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32 se puede ver que hubo cambio en el inventario faltante para el material 7 en el período 2 de planificación pasando de 510 kg a 235,7 kg siendo estos el reflejo del valor negativo del balance de inventarios de materiales que se ve en la tabla 31.

Tabla 33. Análisis 4. Inventario final del proveedor I en periodo t

Inventario Final del Proveedor L en Período T												
Proveedor	Período [mes]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	980,2
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	979,5
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	980,3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 33 se observa los inventarios finales de proveedor en el período t, donde para el proveedor 1 tiene cambio de 694,5 kg a 980,2 kg reflejando un aumento de 285,7 kg (29,1%) y el proveedor 3 pasa de 694,5 kg a 980,3 kg.

De acuerdo al análisis previo y a los resultados y antecedentes del modelo matemático se realizó el análisis de sensibilidad el cual consistió en aumentar diferentes parámetros y periodos, comparando estos resultados obtenidos con el modelo original.

Tabla 34. Consolidación de resultados

Costo de Planificación	Valor	Diferencia	Variación
Resultado Modelo	\$ 36.602.929,6		
Análisis 1	\$ 37.158.253,2	\$ 555.323,6	1,5%
Análisis 2	\$ 42.641.142,9	\$ 6.038.213,3	16,2%
Análisis 3	\$ 48.220.737,4	\$ 11.617.807,8	27,2%
Análisis 4	\$ 51.604.579,1	\$ 15.001.649,5	31,1%

Fuente: Elaboración propia.

Los datos arrojados por el modelo muestran que el costo de planificación de materiales en la empresa objeto de estudio, da como resultado una función objetivo menor, por tanto los análisis correspondientes a este incrementan en 1,5%, 16,2%, 27,2% y 31,1%, donde el valor del análisis 2, representa un buen escenario ya que la variación es baja y el objetivo del modelo es que se minimice los costos de planificación.

Al realizar una adecuada gestión de materiales contribuye al mejoramiento del proceso logístico clave en la cadena de suministros. Donde se tratan aspectos y procesos críticos como la adquisición de los materiales; pasando por temas de calidad, inspección y recepción, hasta el almacenaje del material. Donde el suministro va poder determinar la cantidad más apropiada de producto terminado a producir por referencia, la cantidad adecuada de pedido de materiales, aplicando herramientas de planeación.

La planeación y programación de la gestión de materiales permite tener un control más exacto sobre las variables que inciden en el proceso, y facilita la determinación de los desperdicios que afectan el sistema.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la búsqueda de estrategias que permitan mantener, alcanzar y visualizar ventajas competitivas permanentes, se quiere encontrar un modelo matemático que aplicado se convierta en una herramienta que ayude a agilizar en la toma de decisiones de la organización y para la gestión adecuada de los materiales.

Se diseñó un modelo matemático de programación lineal, teniendo en cuenta las condiciones de operación actual de la empresa objeto de estudio. Por medio de este, se buscó hacer una caracterización del proceso de solicitud de materiales, identificando cada uno de sus procesos para así delimitar el problema que se encontraba en cuanto a la solicitud de materiales; logrando el hallazgo de diferentes métodos encaminados en las actividades propias de la gestión de materiales, para dar solución al inconveniente presentado.

Con respecto a la validación del modelo se determinó que el modelo cumple con las restricciones de balance inventario, planificación de inventarios físico y de escasez, requerimiento de inventario de materiales, capacidad del proveedor, límite de capacidad del proveedor, necesidad del material e inventario final de materiales; convirtiéndose así en una herramienta útil para la toma de decisiones en cuanto a la gestión de materiales en la organización.

Tras concluir el desarrollo de este proyecto, una vez identificadas las ineficiencias del proceso y las posibilidades que ofrecen los sistemas de información disponibles, podríamos definir una serie de mejoras adicionales con una serie de desarrollos basados en los resultados este proyecto:

- Extender el proceso a todos los materiales que se aprovisionan: aunque este proyecto se ha diseñado para un conjunto pequeño de materiales, podría extenderse a todos los materiales que se aprovisionan, en especial a las materias primas que son gestionadas por el departamento de compras y suministros, y representan un volumen importante. También podría adaptarse a los repuestos de las máquinas de producción.
- Pedidos automáticos: una vez consolidado el proyecto, y se constaten que las propuestas de aprovisionamiento son siempre fiables, se puede hacer que las propuestas se conviertan automáticamente en pedidos confirmados a proveedores, de forma que el aprovisionador sólo tenga que controlar el proceso.
- Necesidades a medio plazo para proveedores: también se podría montar un sistema de información, a través del cual ciertos proveedores pueden consultar nuestra previsión de necesidades futuras y éste pueda planificar mejor sus fabricaciones, obteniendo ventajas el proveedor y la empresa.

- Se recomienda hacer un análisis profundo del comportamiento histórico de la demanda que permita tener pronósticos más acertados a la realidad que vive el mercado. La implementación de herramientas de análisis de la demanda, y de técnicas como promedio móvil simple, suavización exponencial doble y triple ayudarán a la compañía a realizar pronósticos de acuerdo a la venta, de esta manera podrán realizar sus presupuestos y requerimientos de materiales. Con los cuales podrá satisfacer la demanda logrando niveles óptimos de eficiencia.

Para terminar, a continuación se presentan unas conclusiones personales sobre el aprendizaje que nos deja el desarrollo del presente trabajo:

- En primer lugar, nos ha servido para aprender sobre el funcionamiento de una empresa grande, con varios departamentos y muchas personas; las funciones de cada departamento y sus inter-relaciones formales e informales. En muchas ocasiones es más difícil establecer un flujo de información necesario cuando no hay nada ni procedimentado, ni formalizado, sobre todo cuando las cosas se han hecho de una determinada forma durante un tiempo y una persona de otro departamento intenta averiguar por qué se hace así o cómo se puede mejorar.
- También nos ha servido para aprender sobre la empresa en particular: su historia, estructura, mercados, marcas, instalaciones, procedimientos de trabajo, cosas que hace bien y cosas que hace mal; ya que siempre hay cosas que se pueden mejorar en mayor o menor medida, y que lo más importante es admitir los errores para poder corregirlos.
- Por último, nos aportó un gran conocimiento sobre las funciones de la Cadena de Suministro, particularmente en lo relacionado al aprovisionamiento de los materiales necesarios en un proceso productivo. Aunque muchos conceptos resultaban familiares después de estudiarlos en alguna asignatura de la carrera, es cuando se ponen en práctica cuando realmente se aprenden; y en este aspecto se puede considerar que hemos mejorado ampliamente los conocimientos sobre la materia.

BIBLIOGRAFÍA

- Cardona Betancurth, J. J. (2013). *MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING EN EMPRESAS EDITORIALES*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. *medio ambiente industria y energía*, 27-31.
- Izar Landeta, J. M., & Ynzunza Cortés, C. B. (2014). Método Híbrido de Inventario con Tiempo de Entrega Aleatorio. *Conciencia Tecnológica*, 12-16.
- Ramírcz Castañeda, L. N., Soto, D., Pérez, M., & Gómez, W. (2009). Aplicación de un modelo de inventarios multiproducto para las PYMES en Bogotá. *Ingenio Libre*, 74-81.
- SANTOS R, C. A. (2015). *SOSTENIMIENTO: LA CLAVE EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL PARA EL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS LEAN EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS*. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Tejeda, A. S. (2011). MEJORAS DE LEAN MANUFACTURING EN LOS SISTEMAS. *CIENCIA Y SOCIEDAD*, 276-310.
- Aguilar, A. (2015). Lean Manufacturing. La excelencia operativa en la industria alimentaria, la clave para competir. *ENGINYERS AGRONOMS DE CATALUNYA*.
- Bernal Rodríguez, D. F. (2007). *Filosofía Justo a Tiempo (JIT), como Base para la Disminución de Costos Estratégicos*. Medellín: Universidad Eafit.
- Bertels, T. (28 de 11 de 2015). *LeanSigmaSolutions. Convertimos sus Costos en Utilidades*. Obtenido de <http://leansigasolutions.com/news.html>
- Bueneventura Murillo, L. M., & Ríos Ríos, D. M. (2014). *DISEÑO DE GUÍA PARA IMPLEMENTAR LAS HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING JUNTO CON HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS*. SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD ICESI.
- Cabrera Martinez, D. F., & Vargas Ocampo, D. (2011). *MEJORAR EL SISTEMA PRODUCTIVO DE UNA FABRICA DE CONFECCIONES EN LA CIUDAD*

DE CALI APLICANDO HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING.
SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD ICESI.

- Castro Salazar, C. J., & Guamanquispe Porras, E. M. (2009). *Reorganización de Procesos de Producción en Línea de Remate Suelda de General Motors del Ecuador-Omnibus BB*. Río Bamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- CHOPRA, S., & MEINDL, P. (2008). *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, planeación y operación*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Clark, D. L., Howell, D. M., & Wilson, C. E. (2007). *Improving Shipbuilding Practices Project: Efficiency Through Rework Reduction*. Naval Postgraduate School.
- Crespo, T., & García, J. (1996). Sistemas de Planificación y Control de la Fabricación: Análisis Corporativo. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 101-124.
- Dias García, S. A. (2009). *Diseño e Implementación de estrategias para la Programación, Control y Evaluación de la Producción en Aluminios J. Peña*. Florida Blanca: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Domínguez Machuca, J. A., & García Gonzalez, S. &. (1995). *Dirección de Operaciones. Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y Servicios*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Espejo Ruiz, L. (2010). *Aplicación de Herramientas y Técnicas de Mejora de la Productividad en una Planta de Fabricación de Artículos de Escritura*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Fleisher, M., Kohler, R., Lamb, T., & Tupper, N. (1999). *Shipbuilding Supply Chain Integration Project*. Michigan: Environmental Research Institute of Michigan.
- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). *Administración de Producción y Operaciones*. Paraninfo/Thomson Learning.
- Gomez García, E. A. (2009). *Aplicación de los Conceptos Just in Time en la Gestión de Servicios*. Escuela de Organización Industrial.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones. Procesos y Cadena de Valor*. México: Pearson Educación.

- Lefcovich, M. (13 de 04 de 2004). *Escuela Universitaria de Chile*. Obtenido de http://www.escuelauniversitaria.cl/apuntes/1077_Mudas%20en%20la%20Gestion%20de%20Operacion.pdf
- Leyva Bonilla, A. Z. (2010). *Just in Time Aplicado a la Calidad en la Producción en México*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Luna Ruíz, C. (2002). *Sistemas Justo a Tiempo: Administrando la Diferencia*. Reynosa Tamaulipas: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Maldonado Villalva, G. (2008). *Herramientas y Técnicas Lean Manufacturing en Sistemas de Producción y Calidad*. Mineral de la Reforma Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Monterroso, E. (2002). *La Gestión de Abastecimiento. (Inbound Logistic)*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Luján.
- Montes Calvo, J. (2009). *Rediseño del Proceso de Aprovisionamiento de una Empresa de Alimentación*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Morales Pulido, L. A., Torres Prado, G. L., & Palacio León, O. (2011). *Sistema de Coordinación de Inventario Multiproducto, Apoyado en la Estrategia de Épocas Comunes de Resurtido, Caso Aplicado a una Empresa de Confección al Norte de Bogotá*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Padilla, L. (2010). Lean Manufacturing. Manufactura Esbelta/Ágil. *Revista Ingeniería Primero*, 64-69.
- Pérez López, S. (2009). *Just in Time Aplicado a la Calidad del Servicio*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Pindick, R., & Rubinfeld, D. (1998). *Microeconomía*. México: Prentice Hall.
- R Fucci, T. A. (1999). *Enfoque Actual de las Técnicas y Sistemas de Producción*. Universidad Nacional de Luján.
- Rivera Cadavid, L. (2015). JUSTIFICACIÓN CONCEPTUAL DE UN MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING. *Heurística*, 91-106.
- Roy, R. N., & Guin, K. K. (1999). A proposed model of JIT purchasing in an integrated steel plant. *international journal of production economics*, 179-187.

- Roy, R., & Guin, K. (1999). A Proposed Model of JIT Purchasing in an Integrated Steel Plant. *International Journal of Production Economics*, 179-187.
- Sandoval R, H. E., & Mongua G, P. J. (2009). *Propuesta de un Modelo de Iventario para la Mejora del Ciclo Logístico para una Distribuidora de Confites Ubicada en la Ciudad de Barcelona , Estado Anzoátegui*. Puerto la Cruz: Universidad de Oriente.
- Santos R, C. A. (2015). *SOSTENIMIENTO: LA CLAVE EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL PARA EL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS LEAN EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS*. BOGOTA D.C.: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Sarder, B., Ali, A., Ferreira, F., & Rahman, M. (2010). *Managing Material Flow at the US Shipbuilding Industry* . Dhaka: International Conferencia of Industrial Engineering and Operation Management.
- Undurraga, M. R. (1999). *Calidad, Productividad y Competitividad en la Construcción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vila, J. (2003). Six Sigma y Teoria de las Limitaciones: Una Comparativa. *Revista Partida Doble*, 90-101.
- Vizoso, J. (22 de 09 de 2011). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de datateca.unad.edu.co/contenidos/106000/LECCIONES/LECCION2/gestion_de_inventarios.pdf
- Vollman, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Jacobs, F. R. (2005). *Planeación y Control de la Producción. Administración de la Cadena de Suministros*. McGraw-Hill.
- Weng, W., Wei , X., & Fujimura, S. (2012). Dynamic Routing Strategies for JIT Producción in Hybrid Flow Shops. *Journal Computers & Operations Research* , 3316-3324.