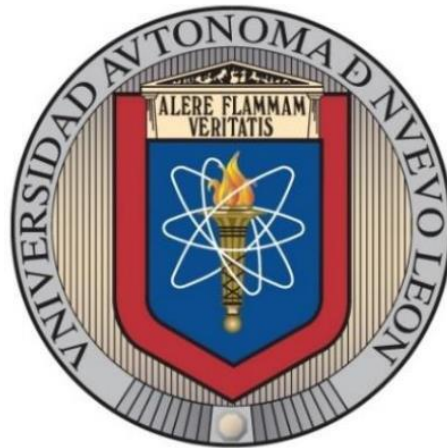


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**PLANEACIÓN DE LOS MATERIALES DE UNA
CADENA DE SUMINISTRO IMPULSADA POR LA
DEMANDA**

**POR
NAYELI JANETH HERNÁNDEZ MARÍN**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

DICIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**PLANEACIÓN DE LOS MATERIALES DE UNA
CADENA DE SUMINISTRO IMPULSADA POR LA
DEMANDA**

**POR
NAYELI JANETH HERNÁNDEZ MARÍN**

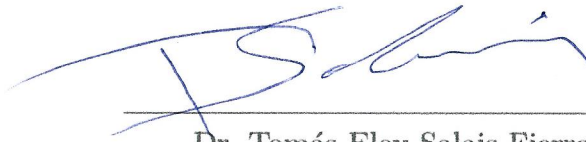
**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

DICIEMBRE, 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Planeación de los materiales de una cadena de suministro impulsada por la demanda», realizada por el alumno Nayeli Janeth Hernández Marín, con número de matrícula 1937561, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

Asesor



Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

Revisor



MLCS. Blanca Idalia Pérez Pérez

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



FIME

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, diciembre 2019

A mi compañero de vida, René, por ser la luz y fuerza en mis días de oscuridad.

*A mis padres Rosy y Santos, y a mi hermano Jony, por ser los pilares
fundamentales en mi vida.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XIII
Resumen	xv
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	3
1.1.1. Caso sector metalmeccánico	5
1.2. Objetivo	7
1.3. Hipótesis	7
1.4. Justificación	7
1.5. Metodología	9
1.6. Estructura de la tesis	10
2. Antecedentes	12
2.1. Cadena de suministro impulsada por la demanda	13
2.1.1. Implicaciones de una DDSC	15
2.1.2. Gestión de la demanda	16

2.1.3. Gestión del suministro	18
2.2. Problemas en la cadena de suministro	19
2.2.1. Incertidumbre	19
2.2.2. Riesgo	21
2.2.3. Variabilidad del sistema	22
2.2.4. Efecto látigo	27
2.3. Gestión del inventario	28
2.4. Modelos de gestión de inventarios	32
2.4.1. MRP	33
2.4.2. Metodología Lean	36
2.4.3. Sistemas de control de inventarios	40
2.5. Modelo Demand Driven MRP	41
2.5.1. Casos de implementación de DDMRP	46
2.6. Conclusiones	50
3. Metodología	52
3.1. Diagnóstico inicial	53
3.1.1. Recolección de información básica	53
3.1.2. Selección de referencias objetivo	55
3.2. Implementación de DDMRP	55
3.2.1. Posicionamiento estratégico de inventario	55

3.2.2.	Dimensión de los <i>buffers</i> estratégicos	60
3.2.3.	Reabastecimiento de los <i>buffers</i>	68
3.2.4.	Ejecución visible y colaborativa	69
3.3.	Evaluación y análisis	70
4.	Análisis de resultados	71
4.1.	Caso de estudio	71
4.1.1.	Descripción del proceso de la CS	72
4.1.2.	Descripción de las áreas de producción	74
4.1.3.	Caracterización del proceso de planeación	77
4.2.	Diagnóstico inicial	78
4.2.1.	Recolección de información básica	78
4.2.2.	Selección de referencias objetivo	82
4.3.	Modelo DDMRP	83
4.3.1.	Posicionamiento estratégico de los <i>buffers</i>	83
4.3.2.	Dimensión de los <i>buffers</i> estratégicos	92
4.3.3.	Reabastecimiento de los <i>buffers</i>	100
4.3.4.	Ejecución visible y colaborativa	104
4.3.5.	Evaluación y análisis	106
4.3.6.	Conclusión de implementación y resultados	108
5.	Conclusiones	111

5.1. Contribuciones	115
5.2. Trabajo futuro	116
A. Dimensión de los <i>buffers</i>	119
B. Generación de orden	124

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Curva de distribución bimodal de inventarios tradicional	5
2.1. Esquema general de una CS	14
2.2. Variabilidad en la CS	23
2.3. Tipos de <i>buffer</i>	26
2.4. Nivel del <i>buffer</i> que evita la propagación del efecto látigo	29
2.5. Inventario a lo largo de la CS	30
2.6. Fundamento metodológico de DDMRP	42
2.7. Código de los <i>buffers</i> en DDMRP	45
3.1. Desarrollo de metodología.	52
3.2. Procesamiento y obtención de datos.	54
3.3. Ejemplo de estructura de materiales.	58
3.4. Zonas del <i>buffer</i>	65
4.1. Procesos de la cadena de suministro de la compañía.	72
4.2. Diagrama de flujo del proceso de producción.	76

4.3. Proceso de planeación de producción.	79
4.4. Cumplimiento de la demanda 2018.	80
4.5. Cumplimiento de la demanda vs inventario 2018	81
4.6. Variabilidad de la demanda de las referencias	84
4.7. Lista de materiales	88
4.8. Matriz BOM Ref. 2369	90
4.9. Lista de materiales con LT desacoplado	91
4.10. Comparación de periodos para ADU	95
4.11. Orden 1	104
4.12. Orden 2	105
4.13. Orden 3	106
4.14. Comportamiento anual del <i>buffer</i>	107
4.15. Inventario sistema actual vs. DDMRP	108
4.16. Rotación de activos con DDMRP	109
4.17. Rotación de activos con sistema actual	109

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Tipos de inventarios en diferentes actividades	31
2.2. Principales problemas en MRP según los autores	35
2.3. Diferencias entre sistemas de gestión de inventarios	46
2.4. Respuesta ante la variabilidad de sistemas de control con DDMRP.	47
3.1. Cálculo de la variabilidad de la demanda.	57
3.2. Cálculo de variabilidad del suministro.	57
3.3. Tipos de <i>Lead Time</i>	59
3.4. Ejemplo de una matriz BOM.	59
3.5. Rangos de <i>Lead Time</i> para artículos comprados recomendados en DDMRP.	62
3.6. Rangos de <i>Lead Time</i> para artículos fabricados recomendados en DDMRP.	62
3.7. Combinaciones de atributos para definir perfil.	63
3.8. Cálculo de la zona del buffer	65
4.1. Operaciones generales de la compañía.	75

4.2. Selección de referencias objetivo	82
4.3. Coeficiente de variabilidad- Ref. 2369	85
4.4. Variabilidad del suministro Ref. 2369.	86
4.5. <i>Lead Time</i> Ref. 2369.	87
4.6. Tipo de artículo	93
4.7. Factor de variabilidad de la demanda	93
4.8. Factor de variabilidad de la demanda	94
4.9. Combinación de atributos	94
4.10. MOQ y <i>Lead Time</i>	96
4.11. Parámetros de las referencias y materias primas	97
4.12. Cálculo de las zonas del <i>buffer</i> - Ref. 2369	98
4.13. Memoria intermedia durante un periodo de 12 meses - Ref. 2369 . . .	101
4.14. Flujo neto durante 16 semanas - Ref. 2369	103
A.1. Memoria intermedia durante un periodo de 12 meses - Ref. 5693 . . .	119
A.2. Memoria intermedia durante un periodo de 12 meses - Ref. 5643 . . .	122
B.1. Flujo neto durante 16 semanas- Ref. 5693	124
B.2. Flujo neto durante 16 semanas- Ref. 5643	125

AGRADECIMIENTOS

A mi compañero de vida René, por creer en mi capacidad e impulsarme a seguir adelante. No fue fácil pero estuviste siempre presente, ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Gracias por tu paciencia, fortaleza y amor infinitos.

A mis padres Rosy y Santos, por haberme forjado como la persona que soy y por motivarme a alcanzar mis anhelos; todos mis esfuerzos y logros han sido también suyos. Gracias sobre todo por su amor.

A mi hermano Jony, por ser una de las razones por la cual me vi en este punto, porque quiero ser su mejor ejemplo y mostrarle que todo es posible si luchamos por ello. Gracias por estar ahí.

A mis amigos y familia en Veracruz, porque en la distancia siempre estuvieron presentes. Gracias por su ánimo constante.

A mis compañeros y amigos de México, Cuba, Colombia y todos aquellos que estuvieron presentes durante este tiempo; por compartir conocimientos, experiencias, alegrías y frustraciones. Gracias a todos.

A mis profesores y profesoras, no solo de este posgrado sino de toda la vida por contribuir a mi conocimiento de manera importante para alcanzar este logro.

A mi asesor, el Dr. Tomás Salais por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de este proyecto.

A los integrantes de mi comité de tesis por enriquecer mi trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por el apoyo recibido y haber hecho posible la realización de este posgrado.

¡Infinitas gracias!

RESUMEN

Nayeli Janeth Hernández Marín.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: PLANEACIÓN DE LOS MATERIALES DE UNA CADENA DE SUMINISTRO IMPULSADA POR LA DEMANDA.

Número de páginas: 137.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: La presente investigación contiene una propuesta de planeación de materiales que está en función del consumo real. Se busca generar órdenes de suministro haciendo uso de la demanda real a través del posicionamiento estratégico del inventario y las dimensiones adecuadas para los tamaños de los *buffers* que den protección superior a los procesos de una cadena de suministro y flexibilidad de reacción ante cambios en la dinámica del mercado. Dicha planeación se realiza implementando los elementos dados por el modelo Demand Driven MRP, que busca amortiguar los efectos causados por el comportamiento volátil y variable del mercado y dar mayor flexibilidad de reacción ante cambios en la dinámica del mercado.

La metodología del estudio esta dividida en tres partes principales. La primera

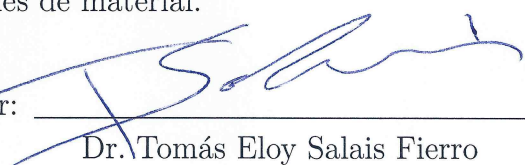
se compone de la caracterización del caso de estudio. La segunda de la implementación del modelo DDMRP. La tercera se evalúan y validan los resultados obtenidos.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Esta investigación brinda una aportación en la gestión de la cadena de suministro, principalmente en la planeación logística de reaprovisionamiento de materiales ya que propone la implementación de la metodología Demand Driven MRP como una vía alterna a los métodos y sistemas tradicionales de planeación de inventarios. Basado en la información del consumo inmediato de los clientes en tiempo real dejando de lado la planeación con base en datos históricos.

La evidencia experimental obtenida apoya la hipótesis de que DDMRP es una técnica de reposición de la cadena de suministro que reconoce el flujo de materiales e información como elementos esenciales para mitigar la variabilidad a partir del establecimiento de puntos de desacople en los que se ubican niveles de inventario dinámicos adecuados (*buffers*). Esto hace posible que los inventarios puedan ajustarse y responder a los cambios en la demanda, a través de alertas que advierten la condición del *buffer* dando la facultad al personal involucrado de tomar decisiones adecuadas y oportunas. El modelo permitió generar órdenes de abastecimiento y realizar un seguimiento de sus comportamiento con el propósito de corregir las desviaciones entre lo planeado y lo ejecutado.

DDMRP mejoró el nivel de servicio de una empresa caso de estudio gracias a la consideración de la demanda calificada, incrementó la rotación de inventario y disminuyó el nivel de inventario almacenado. Todo esto gracias a la dimensión de los *buffers* que considera el Lead Time y el consumo promedio diario de los componentes que normalmente el equipo de planeación no considera para el cálculo de las necesidades de material.

Firma del asesor:



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, las cadenas de suministro se han visto afectadas por el comportamiento cambiante del mercado, el gusto volátil de los clientes, los cortos ciclos de vida de los productos, la customización y la misma competencia dentro y entre industrias que no facilitan la comercialización bajo condiciones iguales. Es respuesta a esto, los gerentes de la cadena de suministro (CS) se han centrado en simplificar y eficientar la planeación de los recursos, la fabricación y la distribución de sus productos con el objetivo de obtener una mayor productividad. Por lo que, las organizaciones han encontrado una protección a través del abastecimiento de una gran diversidad de recursos: económicos, humanos y materiales.

En esa búsqueda constante de mejora, la planeación y control de los inventarios se convierte en un tema central para responder rápida y oportunamente a los cambios de la demanda y evitar problemas financieros en las organizaciones. De manera que, el desafío fundamental radica en encontrar el equilibrio entre las existencias y las necesidades reales de inventario que, normalmente, influye directamente en los proveedores y clientes (Hertzel *et al.*, 2008), y que llega a considerarse un riesgo cuando se incurre en excesos o faltantes, principalmente en las industrias manufactureras.

Dentro de las decisiones de inventario es importante tener con mayor frecuencia respuestas efectivas a cuestiones estratégicas y operativas críticas, por ejemplo,

conocer la cantidad de inventario adecuada para cada producto en la mezcla de productos con el fin de reducir el costo del inventario (Gebennini *et al.*, 2009). En virtud de ello, la planeación convencional de los materiales debe ser capaz de adaptarse a los cambios y operar en función de la demanda real para no verse afectada por los imprevistos. De modo que, las cadenas de suministro deben emigrar de una estrategia de pronosticar a una estrategia basada en la reposición de inventarios en función del consumo real.

En el campo logístico, este problema se relaciona con conocer exactamente dónde posicionar inventario, cómo dimensionarlo y, lo más importante, cuándo y en qué cantidad comprarlo para aprovisionar los materiales e insumos necesarios que cubran la demanda de los procesos productivos y el mercado sin incurrir en la existencia de excesos y faltantes (Frischia *et al.*, 2009; Singh y Verma, 2018).

Durante mucho tiempo esto ha intentado resolverse con técnicas cualitativas y cuantitativas de la investigación de operaciones y sistemas computacionales integrados que diseñan la planeación de los recursos empresariales. Sin embargo, muchos de estos carecen de respuesta ante los retos que propone el nuevo mercado global que presenta exceso de oferta, además de que los resultados obtenidos pueden variar significativamente de acuerdo al tipo de producto y al entorno en el que se desarrolla la organización.

En este sentido, Demand Driven MRP (DDMRP, por sus siglas en inglés) se propone como una innovadora metodología que introduce una serie de pasos para la planeación y gestión de inventarios y materiales, que toma las mejores prácticas de MRP, Manufactura Lean, Teoría de Restricciones junto con algunas otras innovaciones específicas (Miclo *et al.*, 2016). DDMRP es un modelo generador de órdenes de suministro que planea y ejecuta operaciones haciendo uso de la demanda real; combina puntos estratégicos de *buffers* de inventario con el fin de crear un sistema ágil y predecible; promueve y protege el flujo de información y materiales, y comprime tiempos de entrega a partir del ritmo dado por la demanda actual en un nivel

empresarial (Ptak y Smith, 2016).

Sin embargo, la literatura indica que existe una oportunidad de analizar DDMRP en el entorno manufacturero. Por lo que se han implementado los elementos dados por DDMRP a fin de determinar si su desarrollo incorpora una mejora significativa en la planeación y control de los materiales requeridos en un entorno con variabilidad alta en la demanda.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Determinar qué sucederá en el futuro para la toma decisiones adecuadas en la planeación de los materiales es un problema frecuente en las organizaciones debido a la gran cantidad de recursos, materiales, operaciones, procesos y actores involucrados a lo largo de toda la CS. Cada uno de ellos introduce factores de incertidumbre, riesgo y variabilidad convirtiendo la operación de la cadena en una tarea compleja, que exige herramientas eficaces y robustas pero simples de entender y fáciles de implementar.

Una de las particularidades de la demanda actual es el ascenso de la incertidumbre registrada en los últimos años del mercado. Los clientes demandan *Lead Times* más cortos, mayor variabilidad y personalización de los productos. Esta progresión ha crecido hasta alcanzar altos niveles de inestabilidad en las operaciones de las empresas (Trapero *et al.*, 2019).

Este gran problema implica una dificultad adicional para los departamentos financieros que exigen reducción de inventarios para mantener poco material almacenado sin incurrir en incumplimientos de los compromisos comerciales adquiridos. Sin embargo, la planeación de sus materiales continúa realizándose a través de sistemas convencionales que no se adaptan al panorama actual, obteniendo a su vez resultados poco favorables.

Por otra parte, se intenta determinar lo que sucederá en el futuro utilizando

pronósticos para predecir la cantidad de productos requeridos en la producción. Sin embargo, su exactitud es cada vez menor y sus márgenes de error son mayores, justamente debido al alto grado de complejidad del comportamiento de la demanda. De modo que, los resultados esperados por los planeadores no se alcanzan provocando riesgos y padecimientos estratégicos, financieros y personales en la compañía (Silver *et al.*, 2016).

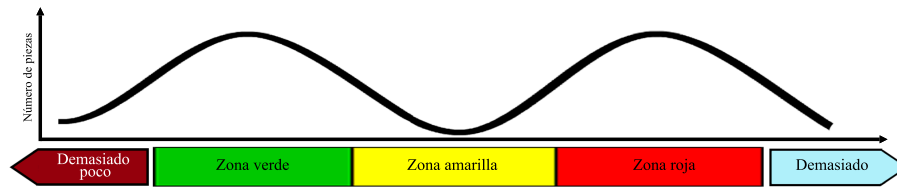
De acuerdo con Singh y Verma (2018), uno de los principales problemas de los sistemas de inventarios utilizados en las empresas manufactureras está relacionado con tres tipos de decisiones importantes, que impactan considerablemente en los niveles y costos de inventario a mantener:

- Decisiones de variedad: qué se va ordenar
- Decisiones de cantidad: cuánto se ordenará
- Decisiones de tiempo: cuándo se va ordenar
- Decisiones de ubicación: dónde se va a colocar

Esto implica pasar demasiado tiempo en la planeación y programación de los lotes necesarios de inventario, así como en las previsiones de venta, que muchas veces resulta en grandes cantidades de inventario de unas referencias, mientras que otras faltan. Esta situación se plasma en la figura 1.1 con una distribución bimodal de stock, dónde la zona roja es «demasiado poco» representando la escasez y la zona azul es «demasiado» refiriéndose a un exceso de inventario (Ptak y Smith, 2016).

Esto a su vez genera señales para el aprovisionamiento que, conforme avanzan, amplían de manera exponencial las variaciones en los niveles de inventario de productos terminados, en proceso y de materias primas, generando significativos excesos en algunos momentos y agotados en algunos otros. Por tanto, para administrar adecuadamente el inventario los planeadores de las cadenas de suministro necesitan conocer el nivel de inventario adecuado que se requiere conservar en las instalaciones

Figura 1.1: Curva de distribución bimodal de inventarios tradicional



Fuente: Ptak y Smith (2016).

y determinar su ubicación para maximizar la satisfacción de la demanda, mantener costos razonables y ser competitivos en el mercado.

Esto hace menester, una metodología de planeación y ejecución que produzca resultados contundentes y elimine los efectos indeseables de las prácticas comúnmente empleadas.

1.1.1 CASO SECTOR METALMECÁNICO

Generalmente, el grado de desarrollo de un país se asocia con el crecimiento del sector manufacturero al ser la base de la cadena productiva de la industria de la transformación. Dentro de este sector, la industria metalmeccánica se caracteriza por la transformación y obtención de piezas metálicas durables esenciales para la creación de productos de uso cotidiano, siendo el proveedor de una gran variedad de partes y herramientas a otros sectores de la industria.

El sector metalmeccánico cuenta con alrededor de sesenta años en el sector industrial. Contribuye de forma sistemática al crecimiento económico de la frontera del país y comparado con otros sectores, es el que mayor relevancia tiene gracias a su contribución en cantidad de negocios, nivel de empleo y aporte al producto interno bruto (14% en el sector manufacturero nacional) (INEGI, 2017).

De acuerdo a la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación, la industria metalmeccánica nacional está integrada por 23 mil 120 empresas, de las

cuales 20 mil 100 son micro, mismas que intentan abrirse paso en el mercado interno y externo del país (CANACINTRA, 2015). Dentro de este gran grupo existen 376 empresas a nivel nacional dedicadas a la fabricación de productos metálicos forjados y troquelados, 776 más que fabrican recubrimientos y terminados metálicos y 9,668 dedicadas a la fabricación de piezas metálicas (DENUE, 2018).

En México, la demanda de estos herramientas es millonaria, y año con año se tienen proyecciones de crecimiento impulsadas, principalmente, por sectores como el automotriz, aeroespacial y energético. Sin embargo, a pesar de que su pronóstico de crecimiento continúa siendo favorable, sus grandes volúmenes de operación la convierten en un sistema verdaderamente complejo.

En la actualidad, el mercado se caracteriza por manifestar un claro desajuste entre la oferta y la demanda. Por un lado, las empresas manufactureras, especialmente el sector metalmecánico, buscan aprovisionarse de materiales a causa de la falta de inventarios y por otro lado las malas prácticas operacionales dan como resultado altos niveles de inventario que no tienen salida en el mercado (sobre-inventario). Por lo general, cuando se intenta resolver alguno de estos dos escenarios, aumentando o reduciendo el inventario, se termina en el escenario opuesto. Asimismo la incertidumbre, conduce a este tipo de empresas a planear sus requerimientos de materiales a través de previsiones y pronósticos basados en comportamientos ocurridos en el pasado a través de métodos de cálculo que apenas cumplen con el 50 % de los casos (Shang *et al.*, 2008; Ptak y Smith, 2016).

Frente a esta condición, la industria metalmecánica necesita ser flexible, ágil y de reacción rápida, además de ser capaz de proveer el máximo nivel de disponibilidad de productos e insumos a lo largo de toda su CS con el mínimo nivel de inventario y el mínimo de tiempo de respuesta al mercado para alcanzar el máximo nivel de servicio al cliente, cumpliendo con entregas completas y a tiempo simultáneamente.

Sí bien la planeación a través de pronósticos puede ser elemental para alcanzar este tipo de objetivos, en un ambiente con alta variabilidad en la demanda y altos

niveles de incertidumbre, este tipo de empresa no podrá alcanzarlo en su totalidad si permanece desempeñándose bajo previsiones y no a través de señales procedentes del consumo real.

1.2 OBJETIVO

Mejorar la gestión de inventarios a través del posicionamiento estratégico del inventario y dimensiones adecuadas de *buffers* que den mayor flexibilidad de reacción ante cambios en la dinámica del mercado.

1.3 HIPÓTESIS

A través del posicionamiento estratégico del inventario y determinación de las dimensiones adecuadas de *buffers* los procesos tendrán mayor flexibilidad de reacción ante cambios en la dinámica del mercado y con ello se mejorará la gestión de inventarios.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La gestión del inventario es una actividad esencial en el sector empresarial (Silver *et al.*, 1998) y es considerada como una actividad indispensable para cumplir satisfactoriamente con los requerimientos del cliente. Permite que la función de producción sea eficiente al mismo tiempo que disminuye los gastos operativos e incrementa el rendimiento de la empresa (Lee y Wu, 2006). Además, funciona como un amortiguador ante las fluctuaciones del mercado que desalinean la demanda pronosticada con la demanda real. Por lo que, no mantener las cantidades adecuadas podría resultar en altos inventarios, horas extraordinarias y envíos adicionales (Ihme,

2015).

Siendo que el inventario, en cualquier parte de la cadena, facilita a la empresa un respaldo en aquellas áreas dónde la adquisición o la producción requieren satisfacer ciertas demandas, no mantener suficientes inventarios podría resultar en costos de escasez, pérdida de ventas e incluso pérdida de clientes (Awheda *et al.*, 2016). Además de que el inventario se usa en la mayor parte de las actividades de manufactura, servicio, distribución y venta, y puede resaltar la rentabilidad y la competitividad (Sipper y Bulfin, 1999).

El nivel del inventario en un 51 % incluye materiales comprados, productos en proceso de fabricación y productos terminados, y su gestión a nivel global en la CS mejora radicalmente el eventual servicio brindado a los clientes. Algunas de las razones más importantes para controlar y gestionar el inventario, hoy en día, son las fluctuaciones en el mercado y la demanda de los clientes. Por tanto, la relevancia de este estudio se ve reflejada en gran medida en el inventario, el cual representa cerca del 50 % de los activos financieros de una empresa compuestos, principalmente, por materiales, productos en proceso de fabricación y productos terminados.

Por esta razón, un control adecuado del nivel de inventario es cada vez más relevante puesto que afecta directamente las solicitudes de los clientes y los procesos internos de cualquier empresa y su adecuada gestión a nivel global mejora radicalmente los procesos internos y el servicio al cliente de cualquier empresa (Beheshti, 2010).

Desde otro punto de vista, el inventario en un 91 % se estima crucial en comparación con los procesos de producción. Esto en virtud de que el inventario asegura la disponibilidad de reservas cuando existen incrementos en la demanda o pérdidas. Así pues, el inventario se convierte en un factor importante para asegurar un equilibrio favorable entre el exceso o reducción de los materiales (Awheda *et al.*, 2016).

Motivo por el cual la planeación de los materiales se convierte en una manera efectiva para mitigar los efectos de la variabilidad y volatilidad en las operaciones

de producción generados por el comportamiento cambiante del mercado actual, es por ello que contar con un sistema que apoye esta planeación permitirá una mejora importante en la gestión de los inventarios.

1.5 METODOLOGÍA

La siguiente estructura de trabajo muestra cómo se llevará a cabo la metodología del proyecto de tesis:

1. Diagnóstico inicial: se define la situación actual de la empresa en el tema de planeación de los requerimientos de inventario para contar con una visión general de las actividades realizadas y las áreas involucradas con dicha función. Esto con el fin de entender el flujo del proceso e identificar las características principales que tienen lugar en posibles incumplimientos e irregularidades en la planeación de abastecimiento de inventarios.
2. Modelo DDMRP: se define el plan de abastecimiento de inventarios a partir de los cinco componentes dados por el modelo DDMRP. Se identifica el posicionamiento de los inventarios, se establecen los perfiles y niveles de los *buffers*, se generan las órdenes adecuadas de abastecimiento y se realiza el seguimiento de su comportamiento para corregir posibles desviaciones entre lo planeado y lo ejecutado.
3. Validación y evaluación: se validan y evalúan los resultados obtenidos del modelo apoyados de una proyección para definir su impacto financiero, así como el nivel y la rotación de inventarios. Esto para definir si la planeación de los materiales impulsada por la demanda es una oportunidad de mejora para la empresa.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Este documento está estructurado en los siguientes capítulos.

1. Introducción y objetivos del proyecto

Se describe de manera breve el proyecto a desarrollar, el planteamiento del problema, el objetivo y su justificación.

2. Revisión de literatura

Se introducen brevemente los conceptos generales asociados a la CS, la gestión de inventarios, la incertidumbre, logros y desventajas de los sistemas de gestión de materiales, haciendo especial mención a la odelo Demand Driven MRP. Asimismo, se describe la justificación del uso de este modelo a través de trabajos ejecutados y relacionados para la mejora en la planeación de los materiales de las empresas actuales que han permitido lograr objetivos similares al planteado en este trabajo.

3. Metodología

Se establece en tres etapas. Se inicia con un diagnóstico y definición del problema de la empresa caso de estudio. Después de define el plan de abastecimiento de inventarios a partir de los elementos dados por el modelo DDMRP. Finalmente, se validan y se evalúan los resultados obtenidos del modelo DDMRP frente al utilizado por la empresa apoyado de una proyección.

4. Resultados

Se validan y evalúan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los elementos dados por el modelo DDMRP frente a los resultados del sistema utilizado por el caso de estudio seleccionado. Esto permitirá definir si DDMRP es una oportunidad de mejora en la planeación de los materiales.

5. Conclusiones

Se presentan las conclusiones de la investigación haciendo énfasis en las recomendaciones realizadas y alusión a lo que será definido como trabajo a futuro.

De acuerdo a esta estructura a continuación, será abordado el capítulo de antecedentes.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Toda empresa que ejecuta sus actividades en el ámbito del suministro de materias primas, producción y distribución de bienes materiales o servicios industriales considera la toma de decisiones como un componente importante que puede impactar positiva o negativamente los flujos de la CS en los diferentes niveles organizacionales. Dichas decisiones necesitan ser analizadas y puestas en práctica desde el nivel estratégico al operativo en torno al problema u oportunidad que se requiera atender.

Adoptar la planeación como un apoyo para la toma de decisiones facilita a las empresas comprender el comportamiento futuro del mercado e identificar las alternativas de actividades venideras y seleccionar las mejores. De acuerdo con Ponce (1992), la planeación consiste en *“fijar el curso concreto de acción que ha de seguirse, estableciendo los principios que habrán de orientarlo, la secuencia de operaciones para realizarlo y la determinación de tiempos y números necesarios para su realización”*. Esto equivale a proyectar y delinear las técnicas y procedimientos sobre lo que habrá de alcanzarse en el futuro.

Lo más importantes es tener en cuenta que los planes en una compañía cambian de acuerdo a las oportunidades que se presentan para adaptarse a los cambios del mercado, mejorar su competitividad y productividad. Debido a la variabilidad del futuro, la eficacia de un plan puede verse restringida por el horizonte de planeación

predefinido. Por tanto, la toma de decisiones debe apoyarse en el comportamiento actual del mercado y de la CS, lo que representa una serie de retos a enfrentar para encargados de la planeación y toma de decisiones de una empresa.

En este capítulo se enmarca el problema de la planeación y gestión de inventarios de las organizaciones frente a la incertidumbre y la búsqueda de una solución para la toma de decisiones en el abastecimiento de materiales en una CS alineada con la demanda real, tanto a nivel de planeación como de ejecución.

Se mencionan aspectos generales de la gestión de inventarios y las causantes de incertidumbre en la cadena, así como el impacto que tienen las acciones de control en su comportamiento. Se hace una comparación con los sistemas más utilizados para la planeación de los materiales, su impacto, limitaciones y beneficios en la CS. Finalmente, se elige DDMRP como una metodología que mitiga los efectos de la variabilidad y volatilidad a través de la gestión de la planeación y control de los materiales de la CS.

2.1 CADENA DE SUMINISTRO IMPULSADA POR LA DEMANDA

El término Cadena de suministro ha logrado afianzarse e integrarse en el léxico de los negocios. Su importancia ha trascendido en el entorno empresarial actual al punto de considerar que la competencia en el mundo moderno ya no es entre empresas sino entre cadenas de suministro.

Esto ha conducido a las organizaciones a mirar más allá de sus operaciones internas e iniciar un intercambio integrado de recursos, materiales e información con sus clientes y proveedores a través de procedimientos, métodos y herramientas innovadoras que favorezcan conjuntamente a todos los involucrados de la CS, a la vez que logran la satisfacción de los clientes.

Una definición provista por el Consejo de Profesionales de Gestión de la Cadena de Suministro, CSCMP (2013), indica que la gestión de la CS integra en esencia dos aspectos principales: (1) la planeación y gestión de todas las actividades relacionadas con el aprovisionamiento, adquisición, conversión y todas las actividades de gestión logística y (2) la gestión de la oferta y la demanda dentro y entre empresas.

Típicamente, una CS se caracteriza por el flujo de mercancía e información de lo que se planifica y se requiere de los proveedores, a través de las plantas, a través de los canales de distribución, hasta los clientes (Ptak y Smith, 2016) tal y como se muestra en la figura 2.1.

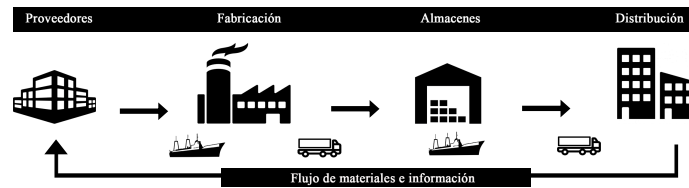


Figura 2.1: Esquema general de una CS

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de la CS consiste, esencialmente, en la gestión del flujo de materiales y del flujo de información. Para que el flujo sea relevante, tanto la información como los materiales deben sincronizar los activos de una empresa con lo que realmente quiere el mercado. Sin embargo, cuando existen retrasos en estos flujos, el plazo de entrega se convierte en un factor determinante de la ampliación de la demanda (Forrester, 1997). Por lo que contar con información precisa permite que los productos y servicios adecuados se encuentren en el momento preciso, en el lugar indicado y en las condiciones exigidas por el consumidor (Plossl y Orlicky, 1994). Esto además facilita la mejora de la eficiencia operativa, la rentabilidad y la posición competitiva de una empresa y sus socios (Min y Zhou, 2002).

Sin embargo, los planes de una empresa cambian constantemente según las oportunidades. Así pues, los planes deben adaptarse a los cambios del mercado con el de mejorar la competitividad y productividad de la organización. Un principio

opuesto a la CS tradicional, es el de la CS impulsada por la demanda (DDSC, por sus siglas en inglés), donde la producción y el flujo de materiales aseguran que las piezas, los productos y las máquinas actúen y respondan en tiempo real a la demanda del mercado Friscia *et al.* (2009).

Un informe brindado por AMRp (Cecere *et al.*, 2005) informa que las empresas que trabajan bajo el comportamiento real de la demanda tienen un 15% menos de inventario, un 17% más de desempeño perfecto de pedido y un 35% más corto de tiempo de ciclo efectivo, además tienen un 10% más de ingresos y un mejor margen de ganancia entre un 5 y 7% que sus competidores. Estos resultados muestran la importancia de evolucionar hacia una implementación de componentes y tácticas enfocadas a responder a la demanda en tiempo real.

2.1.1 IMPLICACIONES DE UNA DDSC

La DDSC tiene diversas implicaciones dentro de las que destacan:

- Posicionar ubicaciones de inventario independientes o *buffers* dentro de una CS que desacople las actividades para evitar la transmisión de la variabilidad del proceso original.
- Mantener reservas de inventario con el tamaño correcto conforme a la demanda promedio. Se considera la variabilidad durante el tiempo de entrega.
- Reponer el inventario del buffer siguiendo su propia secuencia en línea con el consumo de la demanda para que la CS tenga la capacidad de responder de manera autónoma a dicha demanda sin verse afectada por los cambios causados por los cálculos imprecisos de los pronósticos (Consultants, 2018).

Una DDSC es capaz de pasar de una estrategia de pronosticar a una estrategia bajo pedido antes de la producción, distribución y comercialización (Ayers y Malmberg, 2002). En este caso, los pedidos funcionan como activadores originados por la

demanda real o pronosticada del cliente permitiendo a la organización adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno (Hull, 2005).

Neale *et al.* (2006), describe tres estrategias basadas en sistemas de manufactura que apoyan a estas decisiones:

- Empuje (push): las decisiones se toman de acuerdo a la demanda pronosticada a largo plazo, lo que implica que es difícil de igualar la oferta y la demanda. Esto supone que los niveles de inventarios son mucho más elevados (Martín-Andino, 2006).
- Extracción (pull): las decisiones de producción y distribución están basadas en la demanda real en lugar del pronóstico, sin embargo, con tiempos de entrega largos no es práctico reaccionar rápida y eficazmente a la demanda. Este tipo de estrategia busca no completar las operaciones finales del producto hasta que no se conozca la cantidad y tipo de demanda.
- Híbrida (push- pull): toma lo de mejor de las dos anteriores. Esta decisión define dónde ubicar los límites de push-pull en la cadena. Neale *et al.* (2006), afirma que la parte de empuje debe ubicarse donde la incertidumbre de la demanda es relativamente pequeña, y la parte de extracción donde la incertidumbre es alta.

2.1.2 GESTIÓN DE LA DEMANDA

En una DDSC la gestión de la demanda es un elemento que equilibra los requisitos de los clientes con las capacidades de la cadena. Se prevé la demanda y se sincroniza con la capacidad de producción, adquisición y distribución. Uno de sus objetivos es reducir la variabilidad y mejorar la flexibilidad operativa a través de políticas que fomenten patrones de demanda fluidos y la ejecución de planes de

contingencia para posibles interrupciones en los planes operativos (Croxtton *et al.*, 2002).

El origen de la demanda resulta de las solicitudes de requerimientos externos en forma de ventas de productos nuevos, piezas o artículos que son utilizados para la fabricación de algún producto y requerimientos internos que provienen de las áreas internas de la empresa. Por tanto, la demanda puede fraccionarse en dos tipos diferentes: la pronosticada que estima la demanda futura y la demanda real que se relaciona con las órdenes de compra hechas (APICS, 2017).

Los cambios en las necesidades de los consumidores provoca variaciones en la demanda, las cuales deben eliminarse a través de políticas que fomenten patrones de demanda fluidos y planes de contingencia para atender posibles interrupciones en los planes operativos.

Por otra parte Croxtton *et al.* (2002), asegura que se pueden combatir los efectos de la demanda con procedimientos de pronóstico más precisos para conocer con exactitud lo que se requiere, lo que se tienen disponible y saber cuál método de pronóstico se debe seleccionar de acuerdo al entorno que la previsión está teniendo lugar. Para ello, este autor propone una matriz que permite definir si una empresa debe ser impulsada por la demanda o por el pronóstico.

Sin embargo, según Ptak y Smith (2016) el pronóstico presenta tres deficiencias principales:

1. Tiene cierto nivel de incertidumbre, lo que implica que la predicción de la demanda futura conlleve un margen de error.
2. Cuanto más distante sean los pronósticos, menos precisos son.
3. Cuanto más detallado o moderado sea el pronóstico, menos precisión tendrá.

La demanda, de acuerdo a Shenoy y Rosas (2018) es una variable incontrolable y las decisiones de la empresa pueden abordarse conforme a sus características.

Existen dos fuentes básicas de la demanda: la dependiente y la independiente. La primera, no tiene relación entre la demanda de varios artículos, por lo que hay que determinar por separado las cantidades necesarias de cada uno. Este tipo de demanda suele ser incierta y se requiere de un almacenamiento de unidades adicionales de inventario. La segunda, la necesidad de un artículo depende de la necesidad de otro.

2.1.3 GESTIÓN DEL SUMINISTRO

La gestión del suministro se refiere a la capacidad de la empresa para abastecer, producir, almacenar, vender y entregar sus productos en el mercado para competir de manera efectiva. Mendes y Link (2011), afirman que la gestión del suministro es fundamental porque busca equilibrar los cambios constantes de los productos y procesos con el cumplimiento de las demandas de entrega y flexibilidad de los clientes.

Para garantizar la disponibilidad del suministro, se utiliza el pronóstico para determinar las cantidades que se requieren. Sin embargo, se ha demostrado que la precisión de la previsión tiene un alto error en el pronóstico debido a la cantidad limitada de datos disponibles para el análisis de productos que se comercializan irregularmente. Además, debido a la complejidad de los procesos operativos, estos se vuelven lentos cuando se ajustan o cambian conforme a las señales de la demanda, afectando la disponibilidad de la materia prima y generando problemas de inventario (Ren *et al.*, 2017).

Durante el proceso de abastecimiento se analizan las fuentes de suministro necesarias para realizar actividades de fabricación o comercialización de productos, así como las técnicas que permiten mantener existencias mínimas de cada material, procurando que todo ello se realice en las mejores condiciones y al menor costo (Serrano, 2009).

Vinson (1972) y (Fang *et al.*, 2013), observaron que el comportamiento del costo del inventario en el abastecimiento se puede explicar haciendo diferentes com-

binaciones de los valores de variación de la demanda, del suministro y del tiempo promedio de entrega para la construcción de un modelo general que trata tanto de la variabilidad de la demanda como la del suministro. Asimismo, se encontró que la relación de la media del tiempo de entrega y la varianza del tiempo de entrega se determina por el coeficiente de variación de la demanda.

La incertidumbre del suministro es un factor fundamental que influye en las decisiones de inventario con plazos de entrega estocásticos (Bashyam, 1996). Para ello, Chen y Gerlach (2013) consideró la optimización conjunta de la variación del tiempo de entrega, el tamaño del lote y el punto de pedido en los modelos de inventario de revisión continua como una opción para tomar las mejores decisiones sobre el inventario.

2.2 PROBLEMAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Para mejorar la satisfacción del cliente y la comprensión del mercado las empresas buscan constantemente lograr el mejor rendimiento de sus cadenas de suministro a través de la demanda precisa, la gestión del inventario (Fisher, 2001) y la capacidad (Wilding, 1998). Sin embargo, factores como el entorno complejo del mercado y la dinámica entre los diferentes actores implican un grado importante de incertidumbre, variabilidad y riesgo en las decisiones de planeación (Bhatnagar y Sohal, 2005).

2.2.1 INCERTIDUMBRE

De acuerdo con der Vorst y Beulens (2002), la incertidumbre en la CS se refiere a *“situaciones en las que el responsable de la toma de decisiones no sabe definitivamente qué decidir por no se tiene definidos los objetivos; carece de información o comprensión sobre la CS y su entorno; está falto de capacidades de procesamiento*

de información; no puede predecir con precisión el tiempo de las posibles acciones de control en el comportamiento de la CS; o carece de acciones efectivas de control.”

La incertidumbre es una condición que se encuentra presente en todos los procesos industriales debido a la dificultad de predecir con exactitud y puede surgir en cualquier momento, ya sea por los cambios de expectativas de los clientes, las acciones de los competidores, la publicidad, la tecnología o las acciones gubernamentales (Sabri y Beamon, 2000).

Trapero *et al.* (2019), menciona que la incertidumbre es una fuente importante de riesgo para la CS que se genera por la demanda futura. Puede producir agotamientos cuando la demanda crece inusualmente o generar costos mayores de mantenimiento por los excesos de inventarios cuando la demanda se encuentra debajo de lo esperado. Higle y Kempf (2011), hace referencia a la producción y a los clientes como los principales generadores de incertidumbre. Esta condición conduce a las empresas a cuestionarse qué es lo ordenarán sus clientes en el futuro, cuántos productos deberán tenerse disponible o sí el proveedor entregará en tiempo y forma los productos solicitados (der Vorst y Beulens, 2002).

Cuando se intenta reducir los efectos de la incertidumbre de la demanda, el problema se procura resolver mediante el estudio de la gestión de inventarios, de la varianza de los pedidos, la varianza del tiempo de entrega y el pedido pendiente (Sodhi *et al.*, 2014). Primero, debe estimarse dicha incertidumbre considerando dos aspectos: la variabilidad de la demanda (Stevenson *et al.*, 2007) y la variabilidad del error del pronóstico de la demanda (Silver *et al.*, 2016). También, de acuerdo al tipo de incertidumbre la empresa puede hacerle frente a sus efectos no deseados en la gestión de inventarios a través de mantener *stocks* de seguridad, plazos de entrega de seguridad, la reprogramación, horas extra o contratación (Fiom, 2012; Koh *et al.*, 2002).

En el contexto de la incertidumbre en la CS, tanto la industria como la academia se han esforzado por desarrollar e implementar nuevas soluciones para mostrar

un resultado positivo en el rendimiento percibido. Tal es el caso de Heckmann *et al.* (2015) y Snyder *et al.* (2016), que han colaborado con soluciones de investigación de operaciones. Algunos otros han propuesto modelos de optimización para el control del inventario sujeto a tiempos de entrega y demandas inciertas (Thorsen y Yao, 2017) o modelos de pronósticos de demanda en productos con múltiples fuentes de incertidumbre (Ren *et al.*, 2017).

Por otra parte, Marschak *et al.* (2015), Begen *et al.* (2016) y Glock *et al.* (2012) confirman que para reducir la incertidumbre se puede recurrir a la recopilación de información proporcionada por la distribución de la demanda, esto para calcular la cantidad óptima de pedido a través de análisis de previsión de mercado. Del mismo modo, la probabilidad estadística puede ayudar a cuantificar la incertidumbre de la demanda y planear las existencias de seguridad del inventario (Bowersox *et al.*, 2007).

Higle y Kempf (2011), hace referencia a la producción y a los clientes como los principales generadores de incertidumbre. Autores como Koh *et al.* (2002), mencionan que de acuerdo al tipo de incertidumbre, la gravedad de su efecto y las preferencias de la empresa se pueden enfrentar a partir de diversos enfoques.

2.2.2 RIESGO

Las empresas experimentan paros o interrupciones en la producción, retrasos en el suministro o demoras en la entrega que las exponen a sufrir riesgos causados por la alta incertidumbre ambiental a la que se enfrentan, provocando un desempeño deficiente para gestionar adecuadamente su CS (Sreedevi y Saranga, 2017). El riesgo de acuerdo con Kumar *et al.* (2010), se define como “*desviaciones potenciales del objetivo general inicial que, en consecuencia, desencadenan en la disminución de las actividades de valor agregado en diferentes niveles*”.

Una CS tiene una amplia posibilidad de sufrir un riesgo debido a su compleji-

dad y volatilidad inherentes. Existen riesgos externos que tienen un mayor impacto que los que surgen internamente de la empresa, esto por el desconocimiento que se tienen del entorno exterior. Por lo que es importante determinar si se corre un riesgo por falla en la calidad o en la información (Braithwaite, 1999). Una de las consecuencias de la falla de información es el efecto látigo, en que los pedidos de los miembros tienden a crecer a medida que asciende a lo largo de la cadena exagerando el verdadero consumo de los clientes finales (Lee, 2002).

En estudios sobre la mitigación del riesgo se argumenta que las empresas que tienen alta incertidumbre están propensas a tener altos riesgos de interrupción de fabricación causados por la falta de coordinación entre la oferta y demanda; el incumplimiento en el abastecimiento de recursos en términos de tiempo, calidad y cantidad; falta de pronósticos precisos de demanda y niveles de inventarios adecuados (Sreedevi y Saranga, 2017; Lockamy y McCormack, 2010).

Por otra parte, Upton (1994) muestra que este problema no es nuevo, y que se ha tenido que enfrentar a lo largo del tiempo haciendo la CS más flexible. Por lo que solo aquellos esfuerzos que se lleven a cabo en conjunto con elementos claves como el suministro físico, las compras, la distribución y la gestión de la demanda facilitará una extensa flexibilidad. Además, que esto conduciría a eliminar los cuellos de botella y mejorar los procesos.

2.2.3 VARIABILIDAD DEL SISTEMA

La competencia global crea la necesidad de que las empresas aprovechen al máximo su desempeño al reducir la variabilidad en su sistema. La CS actual busca contrarrestar dicha variabilidad, sin embargo, la innovación constante en los gustos de los consumidores no facilita la predicción, lo que hace menester un cambio en la planeación de la CS. La variabilidad en un sistema, tal y como se visualiza en la figura 2.2, se puede generar por diversas fuentes:

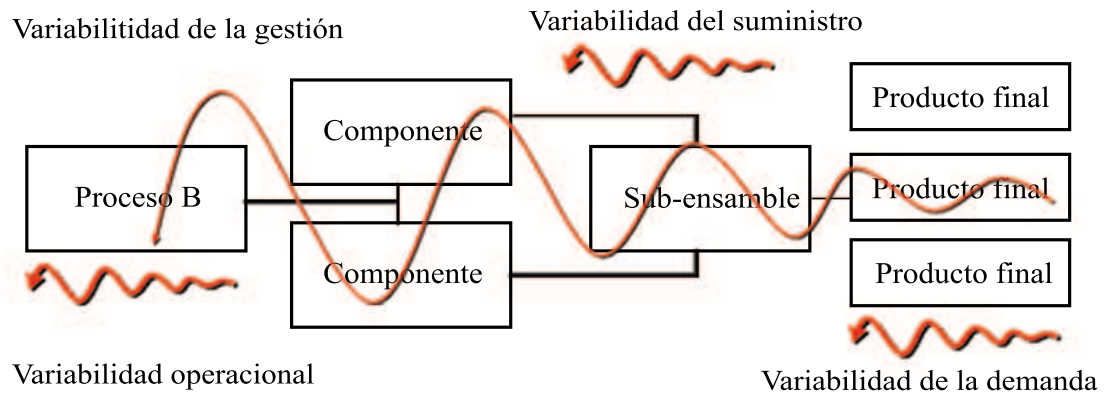


Figura 2.2: Variabilidad en la CS

Fuente: Elaboración propia.

- Variabilidad de la demanda: es la incertidumbre que se tiene de los requerimientos de los clientes.
- Variabilidad del suministro: son los cambios constantes en los pedidos de abastecimiento, principalmente en las fechas.
- Variabilidad operacional: sucede en el proceso productivo y se estima a partir del análisis de los indicadores de gestión.
- Variabilidad de gestión: se refiere a los errores del personal.

La ley de la variabilidad menciona que entre más variabilidad exista en un proceso, menos productivo será este e inevitablemente conducirá a una inversión de inventario excesiva, servicio al cliente deficiente, pérdida de ingresos, entre otros (Lee *et al.*, 1997a; King, 2011). No obstante, aunque la variabilidad puede gestionarse y controlarse sistemáticamente, la variabilidad nunca podrá eliminarse. Las decisiones deberán estar enfocadas en reducir la variación de la demanda y de la oferta (Lee *et al.*, 1997b), los plazos de entrega y la variación del plazo de entrega. Estas alternativas, como la media y la varianza del tiempo de entrega, a menudo están correlacionadas, lo que hace que la decisión de la compensación del inventario sea insuficiente.

2.2.3.1 VARIABILIDAD DE LA DEMANDA

La investigación sobre la variabilidad de la demanda busca principalmente encontrar mecanismos que la reduzcan. Un aspecto importante a considerar, es que la variabilidad de la demanda se amplifica aguas abajo hacia aguas arriba a través de la CS. Esto inevitablemente conduce a una inversión de inventario excesiva, servicio al cliente deficiente, planes de capacidad, producción y transporte equivocados Lee *et al.* (1997a). De acuerdo con Lee *et al.* (1997b), la variabilidad puede moderarse mediante la participación de diversos métodos que proporcionen información de la demanda.

La variabilidad de la demanda es uno de los factores que causan necesidad de inventario en un sistema, por lo que es necesario determinar la cantidad de inventario de acuerdo al índice de variación de la demanda de cada producto. Dicho índice define el grado de variación de las ventas de un producto con relación a su media. Puede calcularse a través del coeficiente de variabilidad (CV), que de acuerdo con Silver *et al.* (1998) se define como la división de la varianza de la demanda por periodo entre la demanda promedio por periodo al cuadrado. De esto se establece que si:

- CV es igual o menor a 25 %, la demanda es determinística y puede calcularse a través del EOQ utilizando la demanda promedio para estimar las cantidades a ordenar.
- CV es igual o mayor que 25 %, la demanda es variable y requiere de técnicas heurísticas o modelos de optimización para definir el nivel de inventarios adecuado.
- CV es igual a 0, la desviación estándar asociada a los datos de la demanda es cero, por lo que la demanda es determinística.

2.2.3.2 VARIABILIDAD DEL SUMINISTRO

La incertidumbre que se tiene de la oferta es un aspecto fundamental que influye en la toma de decisiones del inventario. Algunos estudios se han centrado en modelos de inventario con plazos de entrega estocásticos (Bashyam y Fu, 1998; Bookbinder y Çakanyildirim, 1999) o en métodos para reducir la variabilidad de la oferta como la división de pedidos o proveedores (Hayya *et al.*, 1987). Por otra parte, Fisher *et al.* (2001) consideró un problema de determinación de cantidades de pedidos de reabastecimiento de minoristas para minimizar el costo total de ventas perdidas, pedidos pendientes o inventario obsoleto.

De acuerdo con Ptak y Smith (2016), dicha variabilidad puede controlarse a través del desacople y el uso de buffers. Donde el punto de desacople es una «ubicación en la estructura del producto donde se coloca inventario estratégico que desconecta una entidad de otra provocando un aislamiento entre los eventos ocurridos es una parte del sistema, evitando que otras entidades se vean afectadas» (APICS, 2017). El uso de los puntos de desacople genera un nuevo tiempo de entrega, que consiste en un tiempo de procesamiento y un tiempo de espera (de Kok y Fransoo, 2003). Estos puntos permiten comprimir dicho tiempo de entrega a los rangos requeridos, determinan las fechas de vencimiento realistas cuando sea necesario y establece correctamente los niveles de *buffer* en cada punto de desacople.

Los *buffers* son cantidades de inventario en posiciones estratégicas que brindan disponibilidad confiable a los consumidores del inventario disponible, al mismo tiempo que permiten la agregación de pedidos de demanda que están diseñados para desacoplar la demanda de la oferta. La ubicación de los buffers crea horizontes de planeación y ejecución independientes y evita la variabilidad de la demanda y la oferta debido a que detienen la propagación del efecto látigo en un sistema. DDMRP define tres tipos de *buffers* que se muestran en la siguiente ilustración:

De acuerdo con Ptak y Smith (2016), los *buffers* debe absorber el impacto de la variabilidad de la oferta y la demanda, reducir el efecto látigo; comprimir el tiempo

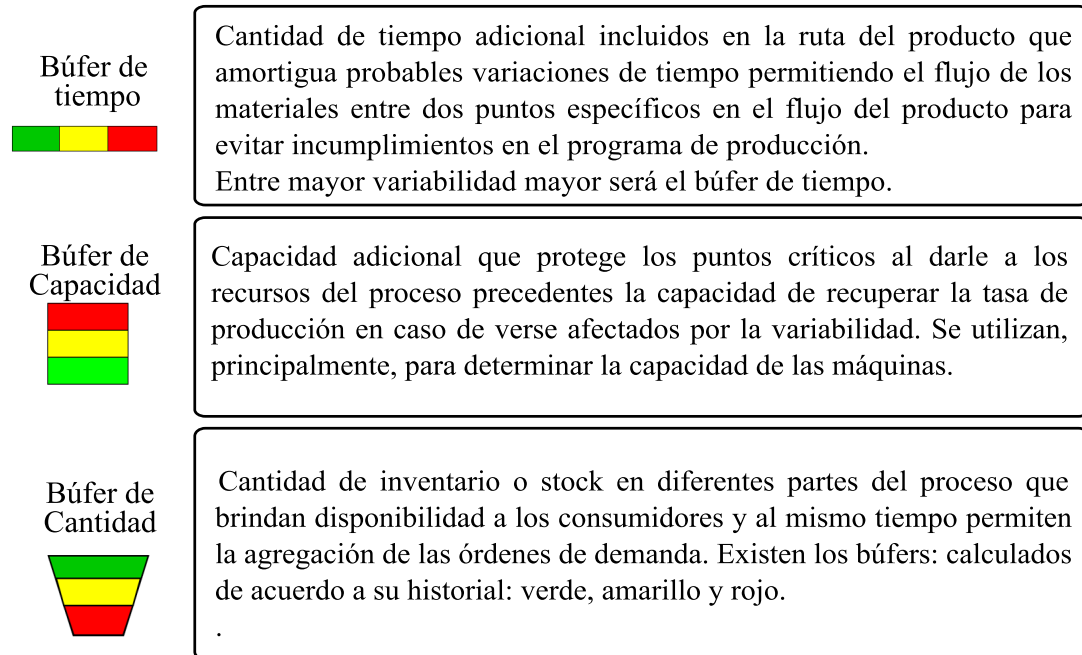


Figura 2.3: Tipos de *buffer*

Fuente: Ptak y Smith (2016); Smith y Smith (2013)

de espera al desacoplar los plazos de entrega del proveedor del lado del consumo del buffer; generar la orden de suministro con la información relevante de la demanda, el suministro y la información disponible; ajustarse a los cambios según la tasa de uso sobre un horizonte definido. (Ptak y Smith, 2016), diferencia de estos *buffers* con los almacenamientos intermedios de WIP es que es independiente del pedido, está disponible bajo demanda para cualquier pedido según sea necesario, ya que WIP está conectado o comprometido con una orden específica.

De acuerdo con (Ptak y Smith, 2016), un *buffer* o una posición de almacenamiento interno debe cumplir con cinco pruebas:

1. Debe desacoplar el tiempo de entrega del lado de la oferta y proporcionar una ruptura de la cadena de tiempo.
2. Debe proporcionar un beneficio para ambos lados del buffer: el lado de la oferta obtiene un requisito agregado de pedido que corresponde a la demanda o al

consumo real mientras que el lado del consumidor obtiene un tiempo de entrega comprimido y alta disponibilidad.

3. Debe ser independiente del pedido: el stock en las memorias intermedias no se asigna a ningún pedido, está disponible bajo demanda para cualquier pedido según sea necesario.
4. Todas las señales de pedido de suministro para una parte almacenada deben generarse a través o desde el buffer: si se elige una parte del buffer estratégico, toda la demanda relevante, disponible y la información de suministro abierto se combina en el buffer para planear esa posición.
5. Debe ajustarse dinámicamente según los cambios en la tasa de uso sobre un horizonte definido.

2.2.4 EFECTO LÁTIGO

El efecto látigo se refiere al “fenómeno donde la variabilidad de la orden aumenta a media que las órdenes se mueven aguas arriba en la cadena de suministro” (Wang y Disney, 2016a) y crea grandes oscilaciones en la producción para los proveedores en el extremo de la cadena. La causa principal de este efecto está relacionada con la distorsión de la información a lo largo de la CS y es capaz de provocar ineficiencias a lo largo de la CS, lo que lleva a una sobreproducción, pedidos excesivos y un aumento de los inventarios (Braz *et al.*, 2018).

Lee *et al.* (1997a) muestra específicamente, que existen cuatro factores principales que ocasionan el efecto látigo: la actualización del pronóstico, las fluctuaciones de los precios, la escasez y el procesamiento por lotes de pedidos. Para reducirse se requieren de pronósticos más precisos, tamaños de lotes más pequeños y mejorar el tiempo de entrega, una CS integrada y colaborativa, transparencia en la información y decisiones centralizadas. Dicha información se puede compartir tanto en sentido

ascendente como descendente. Una integración más avanzada permite a los miembros de la CS colaborar o tomar decisiones de planeación y reposición de inventarios (Wang y Disney, 2016b).

Wang y Disney (2016a) resume de manera general la comprensión de este efecto en cinco puntos principales:

1. El látigo se puede observar a nivel de la industria, la empresa y el producto, en diversos tipos de cadenas de suministro.
2. Su comportamiento puede verse afectado positiva o negativamente de acuerdo a la toma de decisiones racional e irracional.
3. Bajo ciertas circunstancias, el látigo puede reducirse o incluso eliminarse.
4. Contar con pronósticos más precisos, tamaños de lotes más pequeños y un tiempo de entrega más corto ayudan a reducir este efecto.
5. La integración de la CS, la colaboración, la transparencia de la información y las decisiones centralizadas también son beneficiosas.

Una cantidad adecuada de inventario evita cualquier propagación garantizando la recuperación del sistema cuando ocurre alguna falla o error sin provocar pérdidas de producción. Los *buffers* son capaces de proporcionar continuidad entre dos procesos del sistema gracias al almacenamiento temporal de inventario, además evitan la variabilidad del sistema tanto de la oferta como la demanda (Macchi *et al.*, 2012), tal y como se muestra en la figura 2.4.

2.3 GESTIÓN DEL INVENTARIO

La gestión del inventario desempeña un papel importante en la estructura de la CS. Tiene como objetivo planear, organizar y controlar la adquisición y almacenamiento de materias primas, piezas y suministros para garantizar el suministro

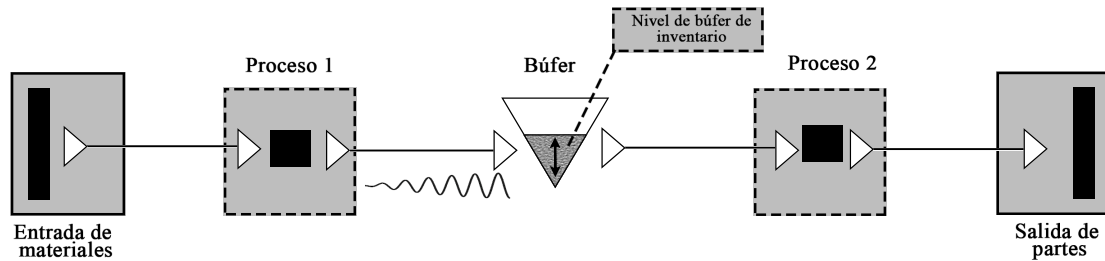


Figura 2.4: Nivel del *buffer* que evita la propagación del efecto látigo

Fuente: Macchi *et al.* (2012)

adecuado en las actividades productivas y comerciales de la organización a un costo mínimo (Awheda *et al.*, 2016).

Dentro de la CS, el proceso de gestión de inventario se ubica específicamente en la logística interna. Este proceso está compuesto por actividades de abastecimiento, fabricación y distribución. En ese orden, cada actividad demanda inventario para funcionar adecuadamente, por lo que se requiere de un manejo eficiente de los recursos financieros para mejorar la rentabilidad y las utilidades.

El reto de la gestión del inventario está en responder qué cantidad de inventario se requiere, cuál debería ser el tamaño del pedido, cuándo debe colocarse una orden de reposición y con qué frecuencia debe realizarse, y finalmente dónde debe ubicarse. Esto con la intención de mantener costos bajos y suficientes productos finales para su comercialización y reponer los productos que se han consumido y ser requieren para la producción (Singh y Verma, 2018).

Igualmente, la gestión de los inventarios debe crear un equilibrio entre los costos que se derivan del inventario y la calidad del servicio. Para ello, se debe tener en consideración un sistema de reposición y el stock de seguridad que anticipen las variaciones previstas de la oferta y la demanda y se reduzca el riesgo de incurrir en faltantes en la demanda de los productos. La gestión del inventario depende de la actividad económica que realiza la empresa, su naturaleza, su estructura organizacional y el tipo de procesos que ejecuta. Y su variación puede controlarse a través de

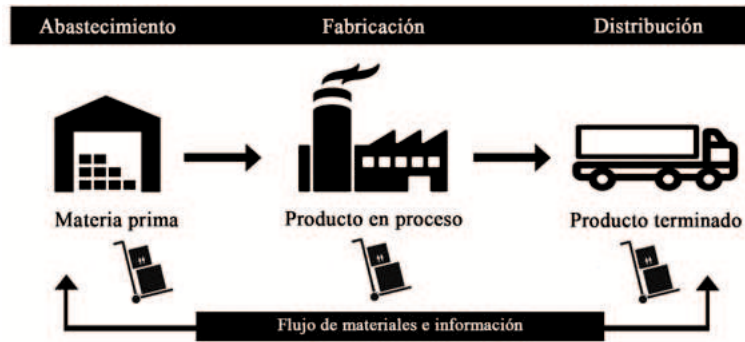


Figura 2.5: Inventario a lo largo de la CS

Fuente: propia

diferentes tamaños de lote y estrategias de puntos de reabastecimiento. Por ejemplo Chen (2011), se centró en el punto de reorden óptimo y el tamaño del lote, Babai *et al.* (2009) creó una política de control de puntos de reorden dinámico basado en pronósticos para disminuir el tiempo de espera y el costo de mantener inventario.

APICS (2017) define el inventario como *“Las existencias o artículos utilizados para respaldar la producción (materias primas y artículos de trabajo en proceso), actividades de apoyo (mantenimiento, reparación y suministros operativos) y servicio al cliente (productos terminados y piezas de respuesta)”*. El inventario vincula la producción y la venta de los productos, y representa una inversión significativa para la compañía. Ya sea que una empresa fabrique productos, preste un servicio o simplemente comercialice requiere de algún tipo de inventario que asegure que los productos finales se encuentren listos para satisfacer la demanda. Por ello debe gestionarse y controlarse minuciosamente por ser el activo corriente de menor liquidez (Singh y Verma, 2018).

Lo inventarios existen por diversos motivos, los cuales se justifican porque evitan eventuales inconvenientes por la falta de material, provee de materiales a los procesos de fabricación y garantiza la prestación del servicio y la experiencia del cliente. Esto significa entonces, que las decisiones que se tomen en relación al inventario deben encaminarse a una adecuada administración y manejo del inventario, de tal manera que sea suficiente para atender la demanda estimada (Lee y Wu, 2006).

En un sistema donde existes artículos o piezas múltiples que representan una gran cantidad de dinero para la empresa, el análisis de Pareto puede apoyar a separar lo importante de lo no importante, permite un análisis para la toma de decisiones entre la inversión y el control lo que permite mantener un costo bajo y un alto nivel de servicio (Sipper y Bulfin, 1999).

De acuerdo con Shenoy y Rosas (2018), el inventario puede clasificarse de acuerdo al tipo de actividad que se dedica la empresa. Dicha clasificación se puede visualizar en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Tipos de inventarios en diferentes actividades

Actividad	Tipo de inventario
Producción	Materias primas
	Trabajo en proceso
Fabricación	Mantenimiento
	Reparación
	Operación
Servicio al cliente	Producto terminado
	Repuestos
Comercialización	Materiales comprados

Fuente: Shenoy y Rosas (2018)

El inventario es un elemento importante en la CS, y su inexactitud compromete fuertemente la inestabilidad de cualquier CS, es especial, cuando se mueve hacia arriba, ocasionando diversos riesgos en el desempeño financiero tales como: pérdida de ventas, retrasos, penalizaciones, reprogramaciones, planeación ineficiente y aumento del uso de transporte interno de la empresa, entre otros (Bowersox *et al.*, 2007; Cannella *et al.*, 2015). Estas inexactitudes además de afectar el desempeño operativo de la cadena afectan a los socios, proveedores y minoristas involucrados (Kwak y Gavirneni, 2015).

Los inventarios en la fabricación de bienes son imperiosos para cubrir las ciertas

necesidades, tal y como lo describe Narasimhan *et al.* (1996). Estas son:

- Mantener la independencia de las operaciones.
- Proteger a la empresa de las fluctuaciones de la demanda.
- Reducir el nerviosismo en los sistemas de producción.
- Dar flexibilidad a los programas de producción para obtener un flujo regular y mantener bajos costos.
- Garantizar la satisfacción del cliente.

2.4 MODELOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS

A lo largo de la CS, cientos de decisiones deben tomarse y coordinarse. Para el apoyo de la planeación de los materiales existen numerosos sistemas que asisten a la gestión eficaz del flujo de materiales, la coordinación de las actividades internas con los proveedores, distribuidores y clientes (Correa y Gianesi, 2000). Estos sistemas son comúnmente conocidos como Sistemas de Planeación y Control de la Producción (SPCP, por sus siglas en inglés).

Las características de estos sistemas de control de inventario están determinadas en función de las medidas de eficiencia para evaluar su desempeño en el tiempo, así como por la estructura de costos, la demanda, el tiempo de entrega y el tiempo de revisión, exceso de la demanda y el deterioro del inventario (Beyer *et al.*, 2010).

Un sistema de control de inventario debe considerar tres decisiones de inventarios básicas, que deben ser aplicables a uno o múltiples artículos:

- Decisiones de variedad: qué ordenar
- Decisiones de cantidad: cuánto ordenar

- Decisiones de tiempo: cuándo ordenar
- Decisiones de ubicación: dónde colocarlo

Todo sistema de gestión de materiales es agrupado de acuerdo a sus características. Dentro de esta agrupación se encuentran los sistemas push y pull. Un sistema pull se enfoca en los requerimientos expresados por la demanda real de los clientes, mientras que en un sistema push la fabricación de un producto está en función de los pronósticos de la demanda final (Hopp y Spearman, 2011). Dichos sistemas no pueden considerarse sistemas aislados, sino que deben estar vinculados a muchas áreas de gestión como adquisiciones, ventas, logística y almacenamiento, por lo que su diseño y su gestión son consideradas como tareas complejas (de Vries, 2007; Bonney, 1994). Sin embargo, estos sistemas no se han transformado al entorno actual donde la planeación del inventario debe tener una perspectiva impulsada por el tiempo y la eliminación del stock de seguridad (Torkul *et al.*, 2016).

A continuación, se clasifican y describen los principales sistemas que apoyan a la planeación y control de la producción y materiales de una empresa.

2.4.1 MRP

Dos de los SPCP más importantes se encuentra el sistema de Planeación de los Requerimientos de Material (MRP, por sus siglas en inglés) y su sucesor, sistema de Planeación de los Recursos de Fabricación (MRP II). Ambos son sistemas de gran tamaño que se han implementado en grandes empresas alrededor del mundo desde los años sesenta (Correa y Gianesi, 2000).

El diccionario de APICS (2017), define al MRP como *“un conjunto de técnicas que utiliza datos de la lista de materiales, datos de inventario y el programa maestro de producción para calcular los requisitos de los materiales”*, desde la materia prima y materiales que se compran, hasta los recursos humanos dentro de los diferente

planes de la empresa.

El principal objetivo que persigue el MRP es garantizar que los recursos se encuentren disponibles para la producción y las ventas, minimizando el inventario a través de la planeación y programación de la producción y actividades de compra en un horizonte determinado (Godinho Filho y Fernandes, 2006).

El MRP permite saber las cantidades y la fecha de las materias primas a partir del plan de maestro generado desde pronósticos, según la lista de materiales y datos del inventario. Sin embargo, no tiene control de los excesos y grandes niveles de inventario. Dentro de los requisitos para que un sistema MRP sea ejecutado se encuentran:

- Definir el plan maestro en términos de la lista de materiales.
- Definir números de artículos únicos para cada pieza.
- Contar con una lista de materiales del producto terminado cuando se ejecute la planeación de la estructura del producto.
- Detallar los registros de inventario disponibles para todos los artículos: inventario a mano, cantidades en orden, tamaños de lotes, inventario de seguridad, *Lead Time* del material, entre otros.

Cuando estos requisitos de tienen completos, es posible ejecutarlo como un sistema informático. Pero, las reglas básicas de MRP funcionan adecuadamente bajo un entorno determinista, es decir, en un ambiente bajo de incertidumbre donde es posible ajustar el stock de seguridad, el tiempo de espera, las reglas de tamaño de lote y el horizonte de planeación (Dolgui y Prodhon, 2007). En la tabla 2.2 se resumen los principales problemas que ha presentado el MRP a lo largo del tiempo.

La técnica de MRP es ampliamente utilizada por la mayoría de las empresas manufactureras (Milne *et al.*, 2015), aunque las aplicaciones de campo señalan

Tabla 2.2: Principales problemas en MRP según los autores

Autor	Descripción del problema
Blackburn <i>et al.</i> (1986)	En el MRP requiere de cambios constantes en los registros de nivel superior o en el programa maestro de producción que causan significativos cambios en el tiempo y cantidad en los planes ya programados: nerviosismo.
Swann (1986)	Trabaja bajo reglas rígidas del tamaño de lote, tiempo de espera, configuración de fecha y stocks de seguridad establecidos previamente por el usuario.
Benton y Shin (1998)	Se basa en el supuesto de que los parámetros de producción reales, como el tamaño de lote o el tiempo de entrega se pueden corregir.
Koh <i>et al.</i> (2002)	Requiere muchos cálculos para atender los cambios en la demanda afectando negativamente los costos.
Vollmann <i>et al.</i> (2005)	El nivel de demanda se desconoce. Esto provoca una desalineación entre la demanda planeada con respecto a la demanda real. El tiempo planeado de entrega difiere del tiempo de entrega real. Esto provoca que el suministro no llegue en el momento adecuado.
Dolgui y Prodhon (2007)	No permite la visibilidad del estado actual del nivel de stock debido a que la demanda de los clientes no se detiene.
Ptak y Smith (2011)	No verifica la disponibilidad de los componentes cuando se libera una orden de trabajo, lo que implica hacer cambios manuales continuamente.
Ihme (2015)	Se basa en el pronóstico y planes de venta que resulta en altos inventarios, horas extraordinarias, gastos de transporte y envíos adicionales.
Ptak y Smith (2016)	Para ser exacto y brinde resultados razonables la demanda debe ser perfectamente precisa; los plazos de entrega fijos y conocidos; los artículos del inventario tienen que entrar y salir de stock y aseguren que ningún pedido se inicie a menos que todos sus componentes se encuentren disponibles.

Fuente: Elaboración propia

algunas debilidades, que incluyen restricciones de capacidad de producción ignoradas y plazos de entregas fijos. Estas debilidades a menudo conducen a cronogramas de producción inviables, que provocan cargas de trabajo fluctuantes con el tiempo, esfuerzo de ajuste significativo y, finalmente, plazos de entrega impredeciblemente largos. (Rossi *et al.*, 2017), presenta la capacidad de un procedimiento orientado a la capacidad para ayudar a los profesionales a planear sus sistemas de producción que supera el requisito de plazos de entrega predeterminados a priori fuera del procedimiento MRP tradicional.

2.4.2 METODOLOGÍA LEAN

Este método es una nueva forma de gestionar los procesos que se desarrollan en una empresa. Tiene como objetivo eliminar las actividades que no aportan valor para obtener a cambio un producto y una experiencia final de gran calidad para los clientes. Al eliminar el desperdicio se reducen las demoras y mejoran la calidad, la seguridad, la eficiencia y la confiabilidad del sistema, al tiempo que se disminuyen los costos (Ohno, 1988).

La Manufactura Lean se origina en el Sistema de producción de Toyota (TPS) y tiene cinco objetivos para mejorar el desempeño de las empresas: menor tiempo de entrega, mejor calidad, menor costo, mejor seguridad y alta moral de los empleados (Liker, 2005). Dentro de los principios de la metodología Lean se encuentran:

1. Valor: el valor se define desde la perspectiva del cliente.
2. Flujo de valor: muestra todas las actividades que añaden o no valor a la empresa, esto permite identificar y eliminar el desperdicio a fin de lograr un flujo.
3. Flujo: busca que exista flujo continuo desde el desarrollo de un producto desde la manufactura hasta el cliente, a través del proceso y la eliminación de desperdicios.

4. Sistema pull: solo se inicia cuando el cliente da la orden.
5. Perfección: elimina constantemente todos los desperdicios para mejorar la eficiencia, tiempo de ciclo, costos y calidad.

2.4.2.1 JIT

Justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés), es un sistema pull que produce, únicamente, la cantidad necesaria de productos solicitados por la siguiente operación o en última instancia por el cliente final a fin de lograr “*la eliminación absoluta de los desechos*” (Ohno, 1988).

JIT funciona como un sistema efectivo para la programación y el control de la planta a nivel de productos finales, en vez de hacerlo a nivel pieza u operaciones y rutas, basándose en la premisa de minimizar el inventario de trabajo en proceso mediante la reducción o eliminación de lotes discretos. Se visualiza como un sistema convencional de punto de pedido, con un tamaño de lote extremadamente pequeño (Browne *et al.*, 1991). Esto significa una reducción en el detalle y procesamiento de transacciones Hernandez Gaona (2005).

En el abastecimiento se argumenta que la gestión de inventario afecta a los proveedores, ya que JIT es un pretexto para trasladar inventario a la siguiente estación de producción convirtiendo a los proveedores en los amortiguadores que separan al fabricante final de la absorción de stock de inventario (Rainnie, 1991). Por ello se dice que JIT no puede expandirse a lo largo de la CS, principalmente a partir de la segunda línea de proveedores.

Respecto a su funcionamiento, JIT sólo puede soportar un 10% de las fluctuaciones de la demanda real (Gupta y Gupta, 1989). Una de sus limitantes es la dispersión de los proveedores y sus diferentes estilos de gestión. Asimismo, requiere que de sistemas de producción y distribución repetitivos y constantes lo que implica que la CS tenga una amplia flexibilidad. Por tanto, para que un sistema de JIT fun-

cione adecuadamente en la CS necesita contar con una amplia flexibilidad técnica en sistema de producción y existir en un entorno de producción repetitivo y estable (Mula *et al.*, 2006).

Asimismo, algunos autores descubrieron que la gestión del inventario JIT puede afectar el desempeño financiero de las empresas. Se encontró que las empresas que implementaron un proceso JIT tenían un ROA más alto y un flujo de efectivo superior en comparación con aquellas que no implementaron JIT Chen *et al.* (2007); Mishra *et al.* (2013). A pesar de ello, uno de los principales inconvenientes es que los materiales se mueven tan rápido a través de la fábrica, que no es necesario dar un seguimiento detallado para saber dónde se encuentran o para conocer su estado. Por lo que, la ausencia de órdenes de fabricación formales incrementa este problema. En esencia supone que siempre existen materias primas o productos terminados disponibles y que no existe inventario en proceso de trabajo al que valga la pena darle un seguimiento (Hernandez Gaona, 2005).

La lista de materiales bajo JIT refleja la falta de una planeación formal para las partes componentes. Lo que significa que nunca tiene la necesidad de mantener estos componentes en el inventario porque se supone que se consumen rápidamente. Así pues, aunque la lista de materiales pueda tener muchos niveles, solo considera un solo nivel. Las partes compradas se jalen del inventario, y sólo los artículos terminados se regresan a él.

Es necesario señalar que las transacciones de inventario para materiales componentes no se hacen a medida que salen de él. Sino que se hacen a través del contraflujo en tanto los artículos terminados entran al inventario. Es decir, los inventarios componentes se disminuyen a medida que se incrementan los artículos terminados, bajo la suposición de que sí un artículo terminado entra al inventario, entonces debe contener los componentes asociados. Esto demanda altos niveles de calidad y los números de consumo de la lista de materiales tienen que ser siempre correctos para que el contraflujo proporcione información correcta.

Por su naturaleza, JIT es una planeación continua, donde la ejecución se da tan rápido que la replaneación es muy difícil de ejecutar. Los tamaños de lote se realizan lote por lote. JIT necesita funcionar adecuadamente para que existan pocas e insignificantes existencias de seguridad, y los tiempos de entrega de seguridad solo se tendrán para proveedores con alta variabilidad. Además, al no utilizar buffers de existencias, significa que no existe margen para el error, por lo que no aunda en los problemas de los buffers (S.G. Deshmukh).

En la ejecución, el JIT es completamente diferente de la planeación MRP ya que no tiene un control formal de la planta de manufactura ni un seguimiento detallado de las órdenes de esa área. El JIT utiliza sistemas pull para el flujo detallado de materiales, lo cual limita a niveles mínimos los inventarios de trabajo en proceso. Este tipo de métodos, solo cuando existe una necesidad de más material en un proceso subsecuente se autoriza la producción de un centro de trabajo. Por lo que, ningún centro de trabajo que se encuentre más adelante se le permite producir material en un sistema push Gupta y Snyder (2009).

En comparación con los sistemas MRP, JIT es un sistema limitado para enfrentar cambios en la mezcla de productos, aumento de volumen, modificaciones en el diseño y etapas completas en el proceso de fabricación. (Lee, 1993), describe un sistema híbrido que incorpora el sistema MRP tradicional y JIT en un solo marco, que proporciona una mejor planeación, programación y control de la producción y que a su vez elimina algunos problemas y desventajas inherentes en ambos sistemas.

2.4.2.2 TOC

La Teoría de restricciones (TOC, por sus siglas en inglés), considera que los procesos deben visualizarse como eslabones que trabajan de manera conjunta en una CS. Este sistema identifica los puntos débiles de la CS conocidos como cuellos de botella que comúnmente impiden alcanzar el nivel más alto de rendimiento.

Gupta *et al.* (2010), en su investigación sugiere un enfoque de cinco pasos para la mejora y gestión de un sistema de operaciones con base en la TOC para identificar el cuello de botella/restricción y tomar medidas pertinentes para romperlo: (1) Identificar la restricción del sistema, (2) decidir cómo explotar la restricción, (3) subordinar todo lo demás a la decisión anterior, (4) elevar la restricción y (5) volver al paso uno cuando se provoque nuevamente una restricción.

Este principio a través de un conjunto de herramientas realiza un análisis profundo de los sistemas de negocio para determinar las restricciones que los limitan con frecuencia. Una restricción puede definirse como “todo aquello que limita el logro de una mayor rentabilidad con respecto al objetivo de un sistema” (Goldratt, 1988).

Şimşit *et al.* (2014), menciona que TOC es un método eficaz, pero necesita ser respaldado con un sistema que mida su desempeño centrado en los subsistemas, más que en los procesos. Lockamy y Spencer (1998), declararon que el sistema de medición de TOC necesita de un sistema adicional para proporcionar información regulada, además de que requiere que las medidas tomadas sean compatibles con los objetivos de la organización.

2.4.3 SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIOS

Determinar la cantidad y la frecuencia del reabastecimiento son decisiones de alto impacto en la empresa. Comúnmente, se utilizan dos sistemas de revisión:

- Revisión continua (Q)
- Revisión periódica (P)

El sistema de revisión continua consiste en controlar el inventario restante cada vez que se realiza el retiro de un artículo. Cuando el nivel de inventario está por debajo de un determinado nivel, se coloca una nueva orden; cuando el nivel está por

encima del nivel establecido, continúa consumiéndose (Ma *et al.*, 2013). Sin embargo, el EOQ solo puede aplicarse en productos que mantienen una demanda constante y es conocida o predecible; el artículo se compra en lotes; los costos de adquisición y de mantenimiento son constantes y conocidos; y el reemplazo del inventario ocurre una vez (Tanel, 2012).

Por el contrario, la política de revisión periódica, es aquella en donde un ítem es revisado en un intervalo de tiempo fijo, y el tamaño del pedido varia con el comportamiento de la demanda. Este tipo de política permite tener un inventario exacto y manejar la cantidad exacta que se debe ordenar un pedido. En particular esta política, induce a mantener inventario máximo en épocas de mínima demanda y viceversa. En el caso de este tipo de sistemas con revisión periódica funcionan adecuadamente están sujetos a una demanda probabilística con tiempo de entrega fijos para cada periodo (Whitin, 1955).

2.5 MODELO DEMAND DRIVEN MRP

Demand Driven MRP (DDMRP, por sus siglas en inglés) es una nueva técnica de planeación y ejecución de inventario y materiales de varios niveles (Ptak y Smith, 2011). Tiene la capacidad de “percibir la demanda cambiante de los clientes y adaptar la planeación y la producción mientras se extrae de los proveedores en tiempo real” (Ptak y Smith, 2016). Toda la base de DDMRP se basa en la conexión entre la creación, la protección y aceleración del flujo de materiales e información relevantes. De manera que, la relevancia de este flujo está determinada por la existencia de una demanda real del cliente. Una demanda que resulta en un pago real en efectivo, que acelera el sistema financiero de la organización.

DDMRP protege y promueve el flujo de información y materiales relevantes mediante el establecimiento de búffers de puntos de desacoplamiento colocados estratégicamente. Puede considerarse como un sistema híbrido que toma las mejores

prácticas y conceptos de diversos métodos convencionales como: Planeación de los Requerimientos de Material, Planeación de las Necesidades de Distribución, Principios Lean, Teoría de Restricciones y Seis Sigma.

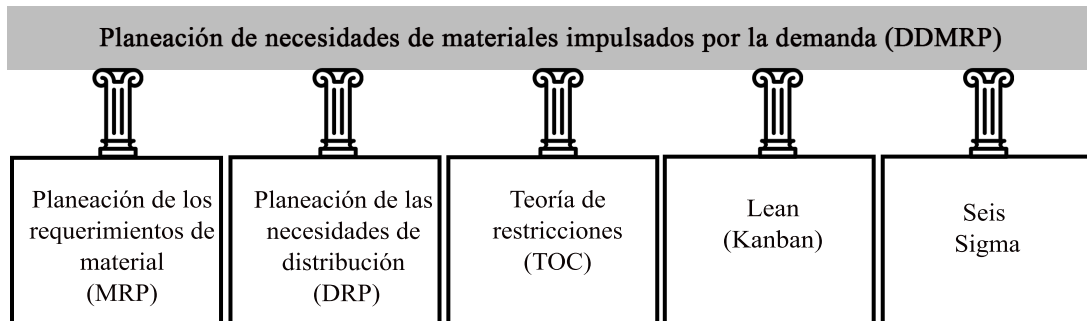


Figura 2.6: Fundamento metodológico de DDMRP

Fuente: Tomada de Ptak y Smith (2016)

De MRP toma la demanda dependiente, la explosión de la lista de materiales del producto y la sincronización de fases; de manufactura Lean toma la filosofía de eliminar o reducir las actividades que no agregan valor en los procesos y toma la lógica del flujo de extracción a través del sistema Kanban; de Seis Sigma define alertas cuando existe variabilidad del proceso; y de la TOC toma las herramientas para superar las restricciones o cuellos de botella y establecer la colocación estratégica del inventario. Las características únicas que diferencian a DDMRP de estos sistemas han sido definidas por algunos autores para obtener una comprensión de la lógica que controla al DDMRP y se puede consultar en (Miclo *et al.*, 2016).

La premisa de este modelo se basa en controlar la propagación de la variabilidad del sistema a fin de evitar el efecto látigo y los efectos de los cambios de tiempo en la planeación, las cantidades y las órdenes de producción.

El modelo DDMRP utiliza la demanda real en combinación con otros puntos estratégicos de desacople y control, almacenamiento, tiempo y capacidad para crear un sistema predecible y ágil que promueva y proteja el flujo de información relevante y materiales dentro del rango operacional táctico (por hora, día y semana). Busca cumplir con los objetivos comerciales y de mercado establecidos por la empresa al

mismo tiempo que minimiza el capital de trabajo y los gastos relacionados con la rapidez.

El modelo DDMRP está definido por cinco componentes principales diseñados para ser introducidos y aplicados conjuntamente, ya que “ignorar cualquiera de estos componentes reducirá el valor de la solución en la mayoría de los entornos” (Ptak y Smith, 2011). Inicia con la lógica de MRP básica y las características de TOC y Lean. Se centra en las partes críticas y estratégicas para proteger el flujo. Dicha protección se realiza a través de *buffers* de capacidad, cantidad y tiempo. Estos *buffers* son capaces de modificarse de acuerdo al comportamiento del mercado o del mismo producto, garantizando que la protección del *buffer* sea constante en el tiempo. Adicionalmente esto ayuda a absorber los efectos de la variabilidad y la demanda, reduciendo la variación del sistema y mejorando la calidad de los programas de planeación resultantes (Miclo *et al.*, 2017).

Otra característica primordial de esta metodología es que no se basa en el pronóstico de ventas, sino que a través del monitoreo de la demanda real permite operar y sincronizar la planeación, programación y ejecución del consumo en toda la cadena con base en ella. Define donde posicionar los inventarios con el objetivo de disminuir el valor del inventario total en toda la cadena, mantener altos niveles de servicio y reducir el tiempo de respuesta al mercado.

DDMRP establece una serie de pasos para la planeación y gestión de inventarios y materiales de acuerdo al comportamiento real de la demanda que facilita una mejor y más rápida toma de decisiones, tanto a nivel de planeación como de ejecución.

1. Posicionar estratégicamente los inventarios: determina dónde debe posicionarse le *buffer* conforme al análisis de los tiempos de tolerancia del cliente y el plazo de entrega al mercado para ser comprimidos y reducir la variabilidad. Para ello Ptak y Smith (2016) establece una serie de factores para su análisis.
2. Definir el tamaño del *buffer*: establece el nivel del *buffer* para generar un

punto de desacople protegido e independiente en toda la cadena. Considera tres factores importantes: tiempo del componente, variabilidad de la demanda y suministro, y tiempo de espera. Los *buffers* están definidos por zonas utilizando los colores verde, amarillo y rojo como códigos visuales de alerta. Se determinan de acuerdo a los parámetros de consumo diario (ADU), tiempo de espera y cantidad mínima de pedido del componente o material.

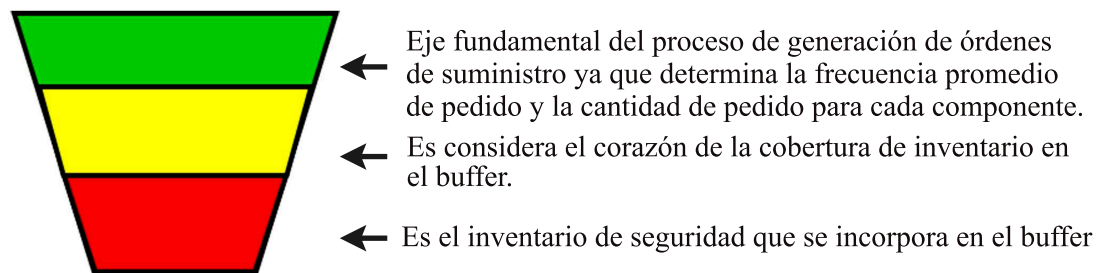
3. Realizar ajustes del *buffer*: define los factores que pueden incidir en los niveles de los *buffers* de tiempo y cantidad para ajustarlos conforme al comportamiento de la demanda en el que se encuentre la empresa.
4. Generar adecuadas órdenes de abastecimiento: se recopila la información del inventario a la mano, inventario en camino y la demanda real para conocer las cantidades a ordenar a través de la ecuación de flujo neto. Esta ecuación da la señal para generar una orden de suministro, tanto de tiempo como de cantidad, para el abastecimiento diario en todas las posiciones desacopladas.
5. Realizar un seguimiento de su comportamiento: consiste en hacer el monitoreo de las órdenes de reposición a proveedores, a la planta o a bodegas de distribución de tal manera que se emitan alertas con suficiente anticipación sobre las órdenes que estén en posible riesgo de no ser producidas o entregadas a tiempo.

Estos cinco componentes apoyan la amortiguación o eliminar el nerviosismo innecesario en los sistemas MRP tradicionales y el efecto látigo resultante en entornos complejos y desafiantes.

Una característica primordial de DDMRP son los *buffer* que se identifican en tres zonas de código de color: verde, amarillo y rojo. Cada zona cumple una función distinta y varía según el perfil del *buffer* al que ha sido asignado. Con el establecimiento de *buffer* se busca llevar al mínimo el inventario de cada proceso y tener lo que realmente es consumido por la demanda real.

El código de los colores ayuda a intuir las prioridades de ejecución del inventario. El verde representa una posición en el inventario que no necesita alguna acción. El color amarillo se utiliza para la cobertura de inventario, mientras que la zona roja se utiliza para fines de seguridad ya que muestra que algún material o pieza requiere atención ya que podría incurrirse en un desabasto. Este enfoque proporciona información real acerca de aquellas piezas que están realmente en riesgo de afectar negativamente a la disponibilidad prevista de inventario.

Figura 2.7: Código de los *buffers* en DDMRP



Fuente: Adaptado de Ptak y Smith (2016).

El MRP impulsado por la demanda ordena piezas que están siendo gestionadas bajo el enfoque de planeación de necesidades basadas en la demanda y la cantidad de planificadores necesarios para poder tomar buenas decisiones más rápidamente. Esto significa, que las empresas estarán en mejores condiciones para aprovechar su trabajo y el capital humano, así como las importantes inversiones que han hecho en tecnología de la información.

Para finalizar, este apartado la tabla 2.3, hace una comparación entre DDMRP y los sistemas de gestión empleados utilizados en la actualidad.

Una comparación en la respuesta de la variabilidad entre DDMRP y dos de los métodos más comunes utilizados en la planeación de los materiales fue hecha por

Tabla 2.3: Diferencias entre sistemas de gestión de inventarios

Aspectos	DDMRP	MRP	Lean
Zonas de <i>buffer</i>	Sí	Rara vez	No
Ajustes dinámicos de <i>buffers</i>	Sí	Algunos	Algunos
Ajustes planeados de <i>buffer</i>	Sí	Sólo sí las posiciones se basan en los pronósticos y no en la demanda.	No
Prioridad basada en el estado del <i>buffer</i>	Sí	No	No
Explosión de lista de materiales desacoplada	Sí	Sí	No
Inclusión de picos calificados	Sí	Rara vez	No
Visibilidad del estado del <i>buffer</i>	Sí	Algunos	Algunos
Simple y visible	Sí	Rara vez	Sí

Fuente: Tomada de (Tech, 2019)

Miclo *et al.* (2016) y se muestra en la tabla 2.4.

2.5.1 CASOS DE IMPLEMENTACIÓN DE DDMRP

Por último se mencionan algunos de los casos estudios y casos de éxito en la implementación de la metodología DDMRP para gestión de la cadena logística.

En el año 2012, se implementó un proyecto para un modelo Adquisiciones Demand Driven (DDA) para la compra de libros electrónicos en una biblioteca de Estados Unidos. Los resultados muestran la evaluación del modelo DDA en comparación con un modelo de aprobación de libros impresos en términos de presupuesto, costos, temas, etc. Y encontró que es un modelo apto en la gestión de inventarios y hábitos de compra ya que permitía conocer que libros electrónicos se compraban en función de su uso real. Al implementar DDA se podría realizar una reposición

Tabla 2.4: Respuesta ante la variabilidad de sistemas de control con DDMRP.

Respuesta a la variabilidad	Criterio	JIT	MRP	DDMRP	Promesas del DDMRP
Estratégica	Estrategia de flujo	Flujo de atracción	Flujo de empuje (pronósticos)	Híbrido	Ayuda a absorber la amplitud y la amplificación de la variabilidad (el efecto látigo).
	Estrategia administrativa	Producción y ejecución de producción descentralizada.	Producción y ejecución centralizada de la producción.	Híbrido: generación de producción centralizada. Ejecución descentralizada	
	Desacoplamiento de variabilidad	Todos los artículos	Todos los artículos	Artículos estratégicos amortiguados con la aplicación de explosión desacoplada.	
Táctica	Carga de trabajo y análisis de capacidad	Kanban tarjeta de tamaño y estrategia de nivelación	Todos los niveles de BOM	Control	Mejora la administración del WIP
Operacional	Manejo de picos	No aplica	Solo aquellos pronosticados en MRP	Picos tomados en cuenta en un horizonte definido	Adapta a la extrema variabilidad en la demanda de picos. Garantizar los objetivos con mecanismos de seguridad y ajustes en tiempo real.
	Absorción de picos normales	Flexibilidad a corto plazo (cantidad a producir y sobrecapacidad)	Inventario de seguridad	Stock, tiempo y buffers. Puntos de control Zona roja (base y seguridad)	
	Gestión de prioridades	Basado en la programación (anticipación)	Basado en la programación (anticipación)	Basado en el estado del buffer (en tiempo real)	

Fuente: Tomada de (Miclo *et al.*, 2016)

de inventario de acuerdo a la venta real, lo que evitaba comprar artículos que no se demandaban (Downey *et al.*, 2014).

En otro contexto, Ihme (2015) evalúa DDMRP con el fin de mejorar el rendimiento de una empresa de tintas de impresión. La empresa enfrenta deficiencias en la fecha de vencimiento, niveles de stock que no corresponden a los requerimientos reales de los clientes y una inestabilidad del sistema en general. Muestra que la integración de MRP y TOC dentro de DDMRP se mejoró la disponibilidad del stock; se tuvo una reducción del 45 % de las alertas por falta o exceso de inventarios y se logró una reducción del 95 % en el desabastecimiento durante el período aplicado. Sin embargo, se menciona que debido a la cantidad limitada de literatura disponible sobre DDMRP, no ha sido posible una comparación de los resultados con otros hallazgos.

Basándose en los principios de DDMRP Jiang y Rim (2016); Rim *et al.* (2014), abordan el problema de posicionamiento de inventario estratégico para la lista de materiales simple que solo incluye una sola parte principal inmediata y la lista de materiales general en las que algunas de las partes de la lista de materiales tiene más de un padre inmediato, respectivamente, con el propósito de identificar el conjunto óptimo de estaciones para colocar el inventario en proceso de trabajo (WIP) en la red de la estación.

Miclo *et al.* (2016) desarrolló un estudio que compara el DDMRP con el MRP II clásico utilizando una simulación de eventos discretos. Se combinaron fuentes internas y externas de variabilidad, lo cual pudo comprobar que el DDMRP a diferencia del MRP II, permite alcanzar el mismo nivel de entrega a tiempo, pero con menos capital de trabajo y menos nerviosismo. Sin embargo, se percató que DDMRP es sensible a una demanda enorme cuando existe una gran variedad de productos y fuentes de variabilidad importantes. Se sugiere comparar DDMRP con sistemas Lean.

Por otro lado Ptak y Smith (2016), en su libro Demand Driven Requirements

Planning muestra la primera implementación de DDMRP en una empresa latinoamericana. Se establece el posicionamiento estratégico de inventarios y la determinación de las dimensiones de lo *buffer* que mitigan la variabilidad de la disponibilidad de la materia prima. Con ello se logra un aumento del 60 % de las ventas, una disminución del 4 % en los costos por inventarios y una reducción de la demanda incumplida por faltantes a un 2 %.

Shofa y Widyarto (2017), en su estudio compara el comportamiento del MRP con DDMRP en términos de nivel de inventario. A partir de esto concluye que DDMRP comprime el tiempo de espera de 52 días a 3 días (94 % de reducción) y logra un disminuir el nivel de inventario. De esta manera se concluye que DDMRP funciona como un control de producción e inventario más eficaz que el MRP.

Shofa *et al.* (2018), menciona que DDMRP es un nuevo enfoque para el sistema de planificación de la producción que trata con la incertidumbre de la demanda. Para comprobarlo, se realiza una comparación entre el comportamiento y resultados brindados por un MRP contra DDMRP en el control del inventario de producción. En este caso se aplica para una pieza que se compra en un largo plazo y su demanda es incierta. A través de una simulación de eventos discretos con un largo tiempo de ejecución y con escenarios de demanda inciertos se compara el nivel de inventario obtenido de DDMRP con MRP. Como resultado, se obtiene que DDMRP es más efectivo que MRP ya que disminuye el nivel promedio de inventario a la vez que reduce el tiempo de entrega de 52 a 3 días.

Otro antecedente de aplicación real de la metodología DDMRP se dio en España para una empresa líder en el mercado de cerrajería con proveedores chinos. DDMRP logró reducir la incertidumbre; flujo de información de materiales aumentó y con ello se logró mejorar la visibilidad de la CS. La empresa fue capaz de ajustar su inventario a la demanda real sin incurrir en altos niveles de inventario de seguridad, manteniendo un alto nivel de servicio (Kortabarria *et al.*, 2018).

2.6 CONCLUSIONES

En este capítulo se muestra el desafío de una CS tradicional que espera tener un comportamiento estable que le facilite los procesos de planeación de sus materiales, sin embargo, bajo las condiciones de estabilidad y rigidez se han modificado a un entorno variable e inestable. Por lo que es importante, tener un amplio conocimiento de factores como la variabilidad, la incertidumbre y el riesgo a fin de facilitar el flujo de información entre todos los actores involucrados en la cadena.

En este sentido, la gestión del inventario puede ayudar a mitigar estos factores a través de la definición de los materiales adecuados y la ubicación estratégica de estos en los procesos de la CS. Para ello, diversos modelos de control de inventario han intentado dar solución a problemas de abastecimiento de materiales. Sin embargo, se ha detectado que estos modelos son complejos de aplicar en las organizaciones que tienen poco tiempo para planear sus requerimientos de materiales, con altos niveles de variabilidad e incertidumbre.

Al ser un modelo reciente que toma lo mejor de Lean, TOC y MRP, se selecciona el DDMRP como una metodología para la planeación de los materiales que ofrece muchas ventajas sobre los métodos convencionales.

- Ayuda a absorber la amplitud y la amplificación de la variabilidad (el efecto látigo).
- Mejora la administración del inventario.
- Se adapta a la variabilidad de los picos de la demanda
- Garantiza el cumplimiento de los objetivos con mecanismos de seguridad de existencias y ajustes en tiempo real.
- No trabaja bajo pronósticos, sino sobre la demanda real.

Teniendo claro lo anterior, en el siguiente capítulo se refleja la aplicación del modelo DDMRP conforme a la literatura revisada a partir de la propuesta de una metodología de esta tesis.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Este capítulo explica la metodología de investigación con la que se aborda el problema de planeación de los requerimientos de inventarios en una CS de la empresa caso de estudio. El valor de esta investigación es evaluar el comportamiento de la metodología DDMRP en comparación con el sistema actual de la empresa a través de datos reales proporcionados por la misma. Esta metodología comprende tres etapas:

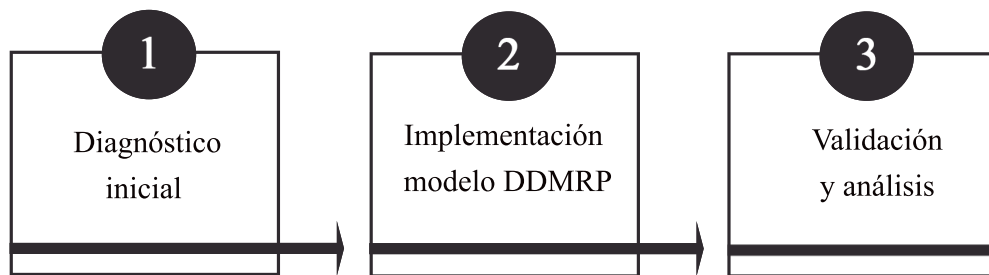


Figura 3.1: Desarrollo de metodología.

Fuente: Elaboración propia.

1. Diagnóstico inicial y definición del problema: esta fase define la situación actual de la empresa, concretamente la planeación de los requerimientos de inventario. Esto se realiza a partir de la recolección de información de las operaciones y procesos de la empresa para contar con una visión general de las actividades de adquisición y planeación.

2. Implementación del modelo DDMRP: define el plan de abastecimiento de inventarios.
3. Validación y evaluación: valida y evalúa los resultados obtenidos del modelo DDMRP con respecto a la planeación actual del caso de estudio.

3.1 DIAGNÓSTICO INICIAL

La primera fase de la metodología consta de una investigación detallada de la situación actual del caso de estudio referente a la planeación y control de los materiales mediante un análisis cualitativo y cuantitativo para obtener una interpretación visual y amplia de la misma. Para el análisis del estado de las prácticas que se ejecutan en el diario actuar de la función de planeación y control de materiales se estudia cómo se llevan a cabo las operaciones dentro de las áreas involucradas con dicha función. Este diagnóstico da paso a identificar las características principales que tienen lugar a posibles incumplimientos e irregularidades en la planeación de abastecimiento de inventario.

A continuación, se muestran las actividades a realizar durante esta fase.

3.1.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Parte fundamental de esta fase es la recopilación de la información que genere una interpretación del estado del arte en cuanto a la función de planeación de producción y modelo de planeación de materiales actual de la empresa.

Se realizan visitas exploratorias a las instalaciones de la planta caso de estudio. La exploración consta de una recolección de datos por medio del análisis de las bases de datos y registros de la compañía. Se determinan el consumo promedio diario por

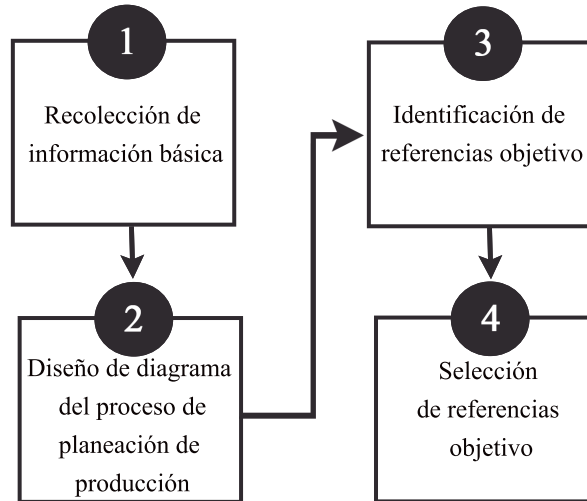


Figura 3.2: Procesamiento y obtención de datos.

Fuente: Elaboración propia.

artículo, *Lead Time*, variabilidad de consumos y lotes mínimos tanto para productos manufacturados como comprados que se utilizarán en apartados subsecuentes.

De igual manera, se entrevistan a usuarios internos involucrados directa o indirectamente con la planeación y control de los materiales. Esto para conocer y profundizar en la aplicación de las prácticas de la compañía en la planeación, producción y almacenamiento de las referencias y materia prima. Por cuestiones de confidencialidad se reitera que la información recabada no será compartida, pero será utilizada para el análisis de esta investigación.

Con la información recolectada se actualiza el diagrama de flujo que describe el funcionamiento de los procesos internos de la empresa relacionados con la planeación del inventario.

3.1.2 SELECCIÓN DE REFERENCIAS OBJETIVO

En este apartado, se eligen las referencias más críticas para realizar la experimentación y análisis del comportamiento con el modelo DDMRP. Entiéndase como referencias a los productos terminados de la compañía.

Se considera el total de las referencias de una línea de producción. De acuerdo a la demanda e incumplimiento de éstas se determina cuáles son las más demandadas y las más incumplidas durante un periodo determinado. Para su selección se realiza un Diagrama de Pareto, el cual asigna un orden de prioridades de las referencias a analizar.

3.2 IMPLEMENTACIÓN DE DDMRP

El modelo DDMRP muestra una secuencia de pasos que apoyan la planeación de materiales. Este modelo posiciona los inventarios a lo largo de la cadena de suministro, establece los perfiles y niveles de inventarios dinámicos que responden a los cambios de la demanda, se generan órdenes adecuadas de abastecimiento y realiza un seguimiento de su comportamiento con el propósito de corregir las desviaciones entre lo planeado y lo ejecutado. A continuación, se describe paso a paso de la metodología a seguir.

3.2.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO DE INVENTARIO

Este paso se refiere a posicionar estratégicamente el inventario en aquellos lugares donde es más efectivo hacer frente a la variabilidad de la demanda y dar continuidad al suministro. Estos lugares se definen como puntos de desacople.

Para identificar los puntos de desacople dentro de la organización se definen

seis factores siguientes propuestos por Ptak y Smith (2016):

1. Tiempo de tolerancia del cliente. Se define la cantidad de tiempo que el cliente típico está dispuesto a esperar para obtener las referencias antes de buscar una fuente alternativa con otro proveedor. De acuerdo con Ray y Jewkes (2004), este tiempo se analiza considerando si la empresa compite por tener clientes sensibles al tiempo de entrega o sensibles al precio. Además, se debe considerar que cualquier modificación a este tiempo puede resultar en un aumento en las órdenes de pedidos o en el precio de las órdenes (Ptak y Smith, 2016).
2. Horizonte de visibilidad de las órdenes de venta. Se establece el tiempo en el que normalmente se pueden visualizar las órdenes de la demanda real en el proceso de planeación. Cuanto mayor visibilidad se tenga de los pedidos de venta mejor será la capacidad del entorno para ver posibles picos y obtener información relevante de la señal de la demanda. Este horizonte de visibilidad debe coincidir o superar el tiempo de tolerancia del cliente para aceptarse.
3. Variabilidad de la demanda. Se analiza el comportamiento de la demanda de las referencias a lo largo del tiempo. Para ello, se considera la información de la demanda de las referencias y se grafica para obtener una pauta visual que ayuda a definir su nivel de variabilidad. Posteriormente, se define el potencial de oscilaciones y picos que pueden afectar la capacidad y el suministro de la compañía. Este resultado se obtiene del cálculo del nivel de variabilidad a través del uso del coeficiente de variabilidad de cada referencia y sobre el resultado se elige el mayor. Después el resultado mayor se clasifica como el 100 % en factor de variabilidad y se calculan los porcentajes de la variabilidad de las demás referencias. Con los resultados obtenidos se definen los niveles de variabilidad que se interpretan de acuerdo a la tabla 3.1.
4. Variabilidad del suministro. En este apartado se precisa el potencial y la severidad de las interrupciones en las fuentes de suministro o proveedores específicos. Esta se calcula examinando la varianza existente entre las fechas promesa del

Tabla 3.1: Cálculo de la variabilidad de la demanda.

Tipo de variabilidad	Descripción
Demanda alta	Productos y piezas que están sujetos a picos frecuentes dentro del tiempo de tolerancia del cliente.
Demanda media	Productos y piezas que están sujetos a picos ocasionales dentro del tiempo de tolerancia del cliente.
Demanda baja	Productos y partes que tienen poca o ninguna actividad de picos. La demanda es estable dentro del tiempo de tolerancia del cliente.

Fuente: Tomada de Ptak y Smith (2016)

proveedor frente a las fechas de recepción reales. Al igual que la variabilidad de la demanda se utiliza el método Peterson- Silver para definir su grado de variación en el cumplimiento en relación con su media. Con los resultados obtenidos los niveles de variabilidad se identifican como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Cálculo de variabilidad del suministro.

Tipo de variabilidad	Descripción
Suministro alto	Interrupciones frecuentes en el suministro por parte de los proveedores.
Suministro medio	Interrupciones ocasionales en el suministro por parte de los proveedores.
Suministro bajo	Suministro confiable.

Fuente: Tomada de Ptak y Smith (2016)

5. Apalancamiento y flexibilidad del inventario. Este factor determina los puntos de desacoplamiento. Se consideran los caminos más críticos de la lista de materiales, es decir, aquellos caminos de más larga duración dentro de ésta. En la lista de materiales se representa el producto final con cada uno de los subconjuntos o elementos que lo componen, debe incluir el tiempo de entrega

de compra en días para cada número de pieza. En la figura 3.3 se muestra un ejemplo.

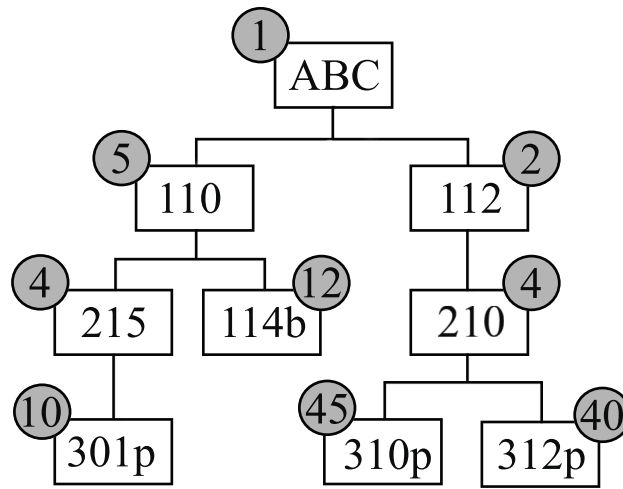


Figura 3.3: Ejemplo de estructura de materiales.

Fuente: Adaptado de Ptak y Smith (2016)

Para ello se define el tiempo acumulado mayor de cada referencia dentro de la estructura de materiales. Este tiempo se establecerá sumando los diferentes tipos de *Lead Times* relevantes mostrados en la tabla 3.3.

Posteriormente, se hace uso de la matriz BOM, se puede visualizar un ejemplo en la figura 3.4. La matriz BOM proporciona una imagen mucho más amplia de las conexiones entre todos los padres y componentes en un entorno. Se organiza en un cuadro en el que los componentes se colocan en las columnas y los padres en las filas. Dentro de la matriz se coloca la cantidad de veces que la conexión aparece en todas las listas de materiales de las referencias dentro de la familia de productos. El objetivo de esta matriz es visualizar el lugar donde existe una mayor cantidad de conexiones para ubicar los *buffers* de cantidad en los diagramas de explosión de materiales.

Finalmente, se procede al cálculo de *Lead Time Desacoplado* (LTD). Este se calcula sumando todos los *Lead Times* de fabricación, pedido y compra de cada una de las rutas de la estructura. La ruta con mayor tiempo será la nueva ruta crítica con LTD.

Tabla 3.3: Tipos de *Lead Time*.

Tipo de <i>Lead Times</i>	Descripción
Fabricación	Tiempo total requerido para fabricar un artículo, excluyendo el tiempo de espera de los proveedores.
Pedido	Se obtiene revisando el tiempo de entrega para cada ruta en la lista de materiales. Se elige el mayor como el mejor tiempo de ejecución acumulativo.
Compra	Tiempo de entrega total requerido para obtener un artículo comprado. Este tiempo incluye la preparación del pedido, el tiempo de entrega estipulado por el proveedor, el tiempo de transporte, la recepción, la inspección y el tiempo de entrega de la materia prima.

Fuente: Ptak y Smith (2016)

Tabla 3.4: Ejemplo de una matriz BOM.

	Padres							
	ABC	DEF	GHI	110	112	114	210	215
Componentes	110	1						
	112	1	1					
	114			1				
	210		1		1			
	215					1		
	301p						1	
	310p							1
	312p							1

Fuente: Ptak y Smith (2016)

6. Protección de las operaciones críticas. Este factor establece las áreas que deben protegerse por tener un gran impacto en el flujo o velocidad total de una planta, recurso o área en particular. Para identificar estas áreas se detalla el proceso de fabricación de cada una de las referencias incluyendo las operaciones y su secuencia de ejecución. Posteriormente, se identifican aquellas áreas con capacidad limitada o donde la calidad puede verse comprometida por interrupciones por falta de material y se reconocen como un punto de control.

Los seis factores anteriores apoyan la protección y promoción del flujo de información relevante e impulsa el rendimiento de la inversión. Deben aplicarse en todas las listas de materiales donde se lleva a cabo la operación las cuales definirán las mejores posiciones de desacoplamiento para las piezas o productos comprados, fabricados o terminados.

3.2.2 DIMENSIÓN DE LOS *buffers* ESTRATÉGICOS

Una vez definidas las posiciones estratégicamente establecidas se procede a dimensionar los niveles de estos almacenamientos intermedios que deben adaptarse a los cambios actuales o planeados de la demanda, el suministro y la variabilidad con el fin de evitar que su cálculo caduque ante las condiciones cambiantes en el corto plazo.

Por tanto, el siguiente paso consiste en dimensionar el nivel adecuado de los almacenamientos intermedios conocidos en este modelo como *buffers*. Estos permiten que los procesos se desacoplen para evitar que cualquier comportamiento del inventario interfiera en la operación y se genere el efecto látigo.

La dimensión de los *buffers* es la suma de tres zonas (verde, amarilla y roja), tal y como lo establece Ptak y Smith (2016). En este caso una zona se considera una estratificación o capa en el *buffer* que sirve para propósitos específicos. El cálculo de

cada zona es único y se realiza teniendo en cuenta los perfiles de los *buffers* y los atributos de cada parte.

1. Perfil del *buffer*.

Las variedades de productos finales generados están compuestas de materiales o piezas que pueden mostrar un comportamiento diferente o similar. Ante esto, se establece un perfil de *buffer* que reúne las piezas en familias o grupos con características similares. Para ello se define el agrupamiento de los componentes que tienen características similares y que por tanto tiene sentido diseñar un conjunto de reglas y procedimientos aplicables a todos los componentes de un perfil de *buffer* determinado con base en los siguientes factores específicos:

- Tipo de artículo: se define si la referencia o materia prima se fabrica, compra o distribuye.
- Variabilidad de la demanda: se refiere a la frecuencia de llegada de los picos de demanda dentro del LT. En este caso se consideran los datos obtenidos anteriormente.
- Variabilidad del suministro: será la frecuencia de entrega de los proveedores dentro del *Lead Time* calculada anteriormente.
- Tiempo de entrega o *Lead Time*: se agrupará cada tipo de artículo de acuerdo a su *Lead Time*. Esta agrupación se divide en tres categorías principales corto, medio y alto. La designación del *Lead Time* se define con relación al entorno y el tipo específico de la empresa. Algunos de los rangos de *Lead Time* recomendados por Ptak y Smith (2016) son los que se muestran en la 3.6. Se puede observar que cuanto mayor sea el tiempo de entrega de la pieza, menor será el factor de tiempo de entrega. Un factor de tiempo de ejecución más pequeño produce un cálculo de zona verde más pequeño. Debido a que la zona verde determina el tamaño y la frecuencia promedio de los pedidos, un factor de tiempo de ejecución más pequeño conducirá a pedidos más pequeños y más frecuentes.

Tabla 3.5: Rangos de *Lead Time* para artículos comprados recomendados en DDMRP.

<i>Lead Time</i> (días)	Categoría
0 a 10	Bajo
11 a 25	Medio
26+	Alto

Fuente: Ptak y Smith (2016)

Tabla 3.6: Rangos de *Lead Time* para artículos fabricados recomendados en DDMRP.

Lead Time (días)	Lead Time (días)
0 a 4	Bajo
5 a 9	Medio
10+	Alto

Fuente: Tomada de Ptak y Smith (2016)

Cuando se han definido estos rangos, se determinan los factores del *Lead Time* y variabilidad. Finalmente, se agrupan como se muestra en la tabla 3.7

2. Atributos de partes individuales en los *buffers*.

Los atributos de las partes individuales son propiedades o valores numéricos que son específicos de la parte en sí. En DDMRP existen tres atributos para determinar los elementos comprados, intermedios y fabricados.

- Consumo promedio diario (ADU).

En primer lugar, se define el Consumo Diario Promedio calculado para cada parte específica. Los valores de ADU se establecen tomando el total semanal y dividiendo por los días laborales de la empresa. Es importante mencionar que cambios significativos en el ADU de la pieza a menudo producirá impactos significativos en las zonas de los *buffers* calculados. Para ello se consideran tres aspectos importantes:

- a) Consideración de la duración del periodo.

Tabla 3.7: Combinaciones de atributos para definir perfil.

		Fabricado = F	Comprado= C		
Categorías de variabilidad	Bajo= B	FB1	CB1	Corto= 1	Categoría de Lead Time
		FB2	CB2	Medio= 2	
		FB3	CB3	Alto= 3	
	Medio= M	FM1	CM1	Corto= 1	
		FM2	CM2	Medio= 2	
		FM3	CM3	Alto= 3	
	Alto =A	FA1	CA1	Corto= 1	
		FA2	CA2	Medio= 2	
		FA3	CA3	Alto= 3	

Fuente: Elaboración propia

El personal de planeación, compras y distribución calculan el período durante el cual se aplicará la ecuación. Ya sea que se planee con un horizonte corto, teniendo en cuenta que la ADU podría afectar los *buffers* significativamente y podría ocasionar un efecto látigo, o con horizonte más largo que permitiría una mayor estabilidad. Para el cálculo futuro se puede utilizar información del historial del consumo o del sistema de información logística utilizado por la empresa e incluso comprobarlo directamente de los movimientos del inventario. Para el consumo futuro se consideran los requerimientos existentes, incluyendo la demanda dependiente e independiente.

b) Consideración de la frecuencia de actualización.

Las actualizaciones de la parte de ADU deben realizarse frecuentemente. Idealmente, las actualizaciones deben ser diarias o semanales. Ya que bajo DDMRP cuanto más frecuentes son las actualizaciones de información relevante más estable es el entorno DDMRP y se evita el efecto látigo.

c) Consideraciones pasadas, adelantadas o combinadas.

Se calcula el ADU considerando la demanda histórica ya que ésta permite visualizar el comportamiento de la demanda en el tiempo y ser representativa.

- Cálculo del *Lead Time* de los componentes.

Para el cálculo de las zonas del *buffer* se debe considerar un tiempo de espera único del componente. Para cualquier producto fabricado, ese *Lead Time* debe ser el *Lead Time Desacoplado* del producto terminado. Para las piezas compradas se utiliza el tiempo de transporte desde el centro de abastecimiento. Este *Lead Time* ya ha sido calculado anteriormente.

- Cantidad mínima de pedido de la pieza (MOQ).

Una de las restricciones a considerar es la cantidad mínima de pedido que la mayoría de los proveedores establecen. Por lo que el MOQ que se toma es el definido por la empresa y su proveedor. Este dato es relevante ya que es clave para definir el tamaño del *buffer*.

3. Cálculo del nivel del buffer de cantidad

Los *buffers* están compuestos por tres zonas codificadas por colores: verde, amarillo y rojo. Cada zona tiene un propósito específico y varía en tamaño y proporción según la combinación del perfil del *buffer* y los atributos de las partes individuales que se analizaron anteriormente. Aquí es importante tener en cuenta que el *buffer* no se divide simplemente en tercios iguales.

La tabla 3.8 muestra un resumen de la combinación de los factores mencionados anteriormente. Describe la fórmula para crear cada punto de separación de los puntos de desacoplamiento estratégico. Esta etapa es crucial para comprender como los *buffers* en el modelo DDMRP generan resultados positivos. Los *buffers* están compuestos por tres zonas identificadas con tres colores: verde, amarillo y rojo. Estas zonas determinarán tanto la planeación como la priorización de ejecución. Su tamaño se calcula de acuerdo a tres parámetros: ADU, *Lead Time* y MOQ del componente o material.

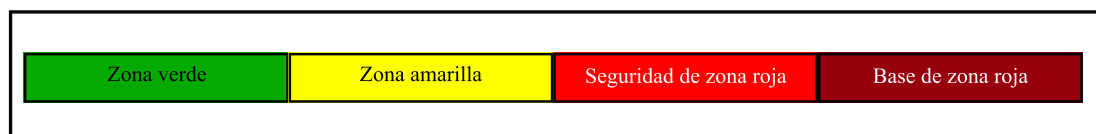
Tabla 3.8: Cálculo de la zona del buffer

Cálculo de zona de buffer		
Consumo promedio diario (ADU)	Zona verde	LDT x ADU x Ciclo de orden
Perfil del buffer		MOQ
Cantidad mínima de pedido (MOQ)		Ciclo de orden deseado
Ciclo de orden deseado	Zona amarilla	LDT x ADU
<i>Lead Time</i> Desacoplado (LTD)	Zona roja	DLT x ADU x Factor de <i>Lead Time</i>

Fuente: Ptak y Smith (2016)

Cada zona dentro del *buffer* (verde, amarillo o rojo) está dimensionado por una expresión del ADU durante un porcentaje de *Lead Time* (expresado en días). La zona verde también puede ser expresada como el MOQ, cuando la orden mínima es significativa. La zona amarilla, se establece en 100 % de uso en el *Lead Time*. La zona roja tiene dos subzonas: base de la zona roja y seguridad de la zona roja. Estas subzonas se ven afectadas por diferentes entradas de perfil del *buffer*.

El nivel del *buffer* es igual a la suma de la base de la zona roja, la seguridad de la zona roja, la zona amarilla y la zona verde. Esto se representa esquemáticamente en la figura 3.4.

Figura 3.4: Zonas del *buffer*.

Fuente: Elaboración propia.

- Cálculo de la zona verde

La zona verde es el eje principal para generar las órdenes de suministro. Determina la frecuencia promedio y la cantidad de pedido para cada componente o material. Puede calcularse de tres maneras, la que genere el mayor número definirá el tamaño de esta zona.

- a) Cálculo de la zona verde considerando el factor de *Lead Time*

$$\text{Zona verde} = \text{LDT} \times \text{ADU} \times \text{Factor de } \textit{Lead Time}$$

- b) Ciclo de orden mínimo deseado, es decir, el número esperado de días entre las órdenes.

$$\text{Zona verde} = \text{ADU} \times \text{Ciclo de orden mínimo}$$

- c) Cantidad mínima de pedido (MOQ)

Se comparan los resultados obtenidos de las fórmulas anteriores y se toma la mayor. Cuando la referencia o artículo tenga una cantidad mínima de pedido, esa cantidad se tomará como relevante para determinar la zona verde. Esto quiere decir, que la zona verde nunca debe estar por debajo del MOQ. En caso de que el MOQ sea mayor que la zona verde entonces esa cantidad será significativa.

- Cálculo de la zona amarilla

Esta zona es el centro de la cobertura de inventarios en el *buffer*. Esta zona se calcula siempre de la siguiente manera:

$$\text{Zona amarilla} = \text{ADU} \times \text{DLT}$$

La relación entre la zona verde y la amarilla establece cuantas órdenes de abastecimiento abiertas se pueden esperar en cualquier momento.

- Cálculo de la zona roja

Esta zona requiere de tres ecuaciones para su cálculo:

- a) Base roja. Esta se define multiplicando el factor de *Lead Time* por el ADU. El factor de *Lead Time* corresponde a los mismos intervalos utilizados para el cálculo de la zona verde. Esta se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Base roja} = \text{Factor de } \textit{Lead Time} \times \text{ADU} \times \text{LTD}$$

- b) Seguridad roja. Se calcula como un porcentaje de la base roja que se determina por el factor de variabilidad (altp, medio o bajo).

$$\text{Seguridad roja} = \text{Base roja} \times \text{Factor de variabilidad}$$

- c) Zona roja total. Se obtiene de la suma de la zona de seguridad y base roja, ya que el nivel de seguridad está relacionado con el *Lead Time* y la variabilidad a través de factores visibles e independientes.

$$\text{Zona roja total} = \text{Base roja} + \text{Seguridad roja}$$

La suma de la zona roja más la zona amarilla y la zona verde determinan el tamaño del búfer.

4. Cálculo del *buffer* completo

Una vez calculadas las zonas de los *buffers*, éstas se suman para obtener los niveles específicos de cada zona que funcionan como un punto de referencia para establecer el tamaño de las órdenes de pedido que se realizarán posteriormente para asegurar un nivel óptimo de inventarios.

- a) El nivel superior verde (NSV) es el tamaño total del *buffer* y se obtiene sumando las tres zonas:

$$\text{Zona verde} + \text{zona amarilla} + \text{zona roja} = \text{NSV}$$

- b) El nivel superior amarillo (NSA) determina el momento en que debe realizarse un pedido para asegurar que siempre se cuente con la cantidad de materiales necesarios.

$$\text{Zona amarilla} + \text{zona roja} = \text{NSA}$$

- c) El nivel superior rojo (NSR) es el que genera las alertas y da señales cuando se generen faltantes por no atenderse los niveles de inventarios anteriores.

$$\text{Zona roja} = \text{NSR}$$

3.2.3 REABASTECIMIENTO DE LOS *buffers*

Esta etapa es la parte operacional del modelo DDMRP, ya que basándose en la demanda real e información en el corto plazo se generan las órdenes necesarias para los *buffers* a fin de mantener el sistema funcionando adecuadamente. Se requiere conocer las órdenes de pedido de los clientes para generar la entrada de la demanda en una ecuación de planeación diaria para cada posición protegida llamada *ecuación de stock disponible*.

Se inicia con la consideración de lo que realmente es información relevante desde una perspectiva de demanda y con el uso de órdenes de venta calificadas significando que todos los componentes de la ecuación de generación de suministro son conocidos para ser combinados con el posicionamiento del punto de desacople y los *buffers*.

La ecuación de generación de suministro se conoce como *ecuación de flujo neto*. Se debe realizar diariamente en todas las posiciones desacopladas. Dicha ecuación se integra de los siguientes componentes:

$$\text{Flujo neto} = \text{inventario disponible} + \text{inventario ordenado (en tránsito)} - \text{demanda calificada de orden de venta}$$

Donde:

- **Inventario disponible (On-Hand):** define el inventario que se tiene físicamente disponible y que puede ser utilizado inmediatamente.
- **Inventario bajo pedido (On-Order):** define la cantidad de inventario que se ha ordenado, pero no recibido y se encuentra en tránsito sin importar el tiempo que demore en llegar al almacén o que pueda ser utilizado.
- **Demanda calificada de orden de venta:** es la suma de las órdenes de ventas vencidas, por vencer en el corto plazo y los picos calificados (demanda futura relevante).

El resultado obtenido de esta ecuación es la posición de flujo neto dentro de cada *buffer*. Esta posición determina cuando se hará una orden de suministro contra la posición almacenada. Si la posición está por debajo de la zona amarilla se ordenan las cantidades necesarias para alcanzar el nivel superior verde.

Posteriormente se calcula la posición promedio de inventario disponible para continuar con el cálculo del rango promedio en la mano que permite hacer predicciones sobre el comportamiento del *buffer*, mantener un equilibrio de los aspectos negativos de tener demasiado y tener muy poco, así como medir el rendimiento de la respuesta de una pieza en particular en un periodo de tiempo pasado. Finalmente, se deberá calcular la cantidad promedio disponible.

Esta parte de la metodología terminará cuando la recomendación haya sido aprobada y se convierta en una orden de suministro abierta, es decir, se tenga una orden de fabricación o de transferencia.

3.2.4 EJECUCIÓN VISIBLE Y COLABORATIVA

Este paso gestiona el seguimiento de las órdenes lanzadas en el paso anterior para asegurar el suministro dentro de los plazos previstos y evitar el desabastecimiento debido a retrasos inesperados. Para ello deberán definirse dos alertas básicas necesarias:

1. Las alertas del estado del búfer, que muestren el estado actual y proyectado de las posiciones de los puntos de desacoplamiento en todo el modelo DDMRP. Estas alertas supervisarán las partes almacenadas.
2. Las alertas de sincronización, se diseñarán para resaltar problemas con respecto a las dependencias que tienen que ver con los requisitos de demanda conocidos y la disponibilidad de suministro proyectada. Estas alertas supervisan principalmente partes no almacenadas.

3.3 EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

La metodología DDMRP se implementa utilizando los componentes analizados en las secciones anteriores. Para su implementación se considera una empresa real como caso de estudio. Se toman datos históricos para comparar la implementación de DDMRP con el sistema actual utilizado por la empresa.

Con base a la información proporcionada de la empresa se realiza una comparación a través de una proyección de su implementación utilizando información de un año atrás. Esto basado en la premisa de qué hubiera pasado en el 2018 si se hubiera utilizado una planeación bajo los supuestos parámetros de la metodología DDMRP. Microsoft Excel será la herramienta a utilizar para los cálculos y la proyección. Los resultados arrojados se comparan con los resultados reales de ese año.

Después de realizar la implementación del modelo DDMRP se analizan los niveles de inventarios y su impacto monetario, servicio al cliente, rotación de inventarios de ambas simulaciones. Con base en ello se determinará si esta metodología es una oportunidad de mejora para la empresa.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 CASO DE ESTUDIO

Este capítulo presenta una empresa de San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, dedicada a la producción de innovadores equipos para el cuidado de la salud y prevención de infecciones, además de ofrecer soluciones de procedimientos para proveedores de cuidado de la salud en todo el mundo, incluidos los consumibles, el mantenimiento de equipos y los servicios de instalación y equipos de capital, la cual se utilizará como caso de estudio para llevar a cabo la metodología anteriormente propuesta.

Su fabricación se especializa en el diseño y elaboración de piezas para esterilizadores y productos de equipo médico. En la actualidad esta empresa atiende un mercado nacional. Una gran variedad de sus productos y refacciones son usadas para diferentes ensambles y subensambles de equipos médicos. Para su fabricación los materiales pasan a través de diversos procesos. Cada uno de estos procesos se llevan a cabo a partir de las normas de aceptación establecidas por la empresa, y se implementan de acuerdo al uso que se les da a las piezas y el material en procesos posteriores para su fabricación.

4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA CS

Una visión general de toda la cadena de suministro de la compañía se detalla a continuación y se muestra en la figura 4.1

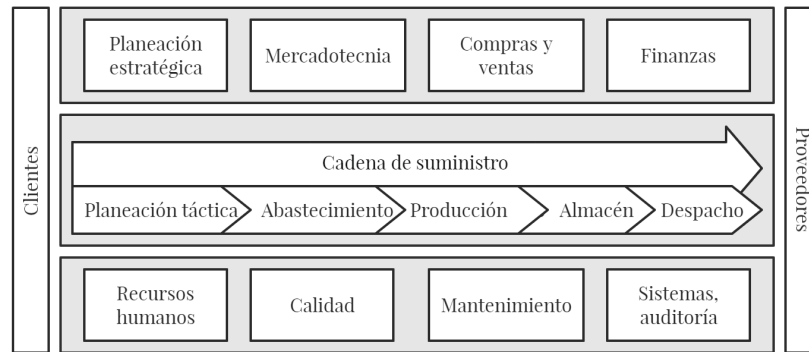


Figura 4.1: Procesos de la cadena de suministro de la compañía.

Fuente: Elaboración propia.

- Procesos estratégicos

- Planeación estratégica: planea el volumen de las ventas a largo plazo conforme a los datos de la demanda de los clientes internacionales y nacionales. Esta planeación se elabora en conjunto con las áreas de ventas y marketing.
- Compras y ventas: proponen y definen los planes de compras y las acciones a seguir para incrementar las ventas. Ventas define las ventas anuales y mensuales conforme a la demanda proyectada. Compras adquiere la materia prima con la calidad idónea para los procesos en los que va a ser empleada basándose en el plan maestro de producción.
- Mercadotecnia: busca mejorar el posicionamiento de los productos en los puntos de venta e incrementar la cobertura de los clientes e impulsar la venta de productos nuevos.
- Finanzas: define el presupuesto anual y el costo de la empresa. Define los planes comerciales.

- Procesos operativos
 - Planeación táctica: planea la demanda a corto plazo para 2 semanas de proyección. Calcula el pronóstico de la demanda a través del uso de un software basándose en el input de los planes de compras, ventas y mercadotecnia para finalmente hacer entrega de ese plan al área de abastecimiento.
 - Abastecimiento: centraliza el seguimiento de los inventarios y define las cantidades que deben asignarse a cada área.
 - Producción: es el área más importante, pues implica toda la serie de operaciones necesarias para modificar la materia prima y convertirla en producto terminado. Este proceso implica alrededor de 23 operaciones.
 - Almacenamiento: recibe la mercancía, la descarga y almacena en diferentes tipos de estanterías. Corroborar que corresponda con la información de las solicitudes de pedidos. Posteriormente, la mercancía se distribuye a las áreas de producción. También almacenar los productos intermedios y los productos terminados.
 - Despacho: embala y prepara los pedidos que serán enviados a los clientes.
- Procesos de soporte
 - Gestión de recursos humanos: contribuye en la administración del personal que integra a la empresa y da soporte para cubrir las operaciones y se logren los objetivos.
 - Gestión de la calidad: se asegura de garantizar la calidad en todos los procesos. Cerciora que se cumplan los estándares de calidad, cuando esto no sucede traza un plan de actuación pro del cumplimiento de los objetivos trazados.
 - Gestión de mantenimiento: se encarga de planear y llevar a cabo los mantenimientos para garantizar la continuidad operativa, evitando retrasos en el proceso por averías de máquinas y equipos.

4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN

La planta cuenta con múltiples áreas de producción agrupadas por similitud de procesos y maquinaria, entre las que se encuentran:

- Área de corte
- Área de metalmecánica
- Área de partes y piezas
- Área de tratamiento de superficies
- Área de pre ensamble
- Área de ensamble

Por otra parte, existen áreas que apoyan logísticamente a las actividades productivas y que son diferentes a las áreas administrativas. Dentro de las que destacan:

- Área de almacén de materia prima
- Área de almacén de productos en proceso
- Área de almacén de productos semielaborados
- Área de almacén de productos terminados

El área de metalmecánica tiene alrededor de 75 semielaborados que van desde procesos sencillos como remache a procesos complejos como la elaboración de motores y equipos esterilizadores. El procesamiento de las referencias utilizadas para los equipos esterilizadores comprende alrededor de 23 operaciones generales, que varían de acuerdo al tipo de producto que se fabrique. En la tabla 4.1 se muestran dichas operaciones.

Tabla 4.1: Operaciones generales de la compañía.

Operaciones generales
Recepción de materia prima & Tratamiento térmico
Control de calidad & Ensamblado
Almacenaje de materias primas & Control de calidad
Dispensado & Almacenaje de producto en proceso
Cortado & Troquelado
Taladrado & Codificado
Torno convencional & Etiquetado
Fresadora & Embalado
Torno de control numérico & Estibado
Perforado & Rectificación interna
Roscado & Almacén de producto terminado

Fuente:Elaboración propia

De manera general, en la figura 4.2 se muestra el diagrama de flujo que sigue el proceso de producción de la línea A. Inicia con la programación de la línea y se genera la orden de fabricación. Después se recibe la materia prima, la cual tiene tiempos diferentes de llegada, ya que el *Lead Time* varía según el proveedor. Las materias primas pasan por un control de calidad y se almacenan. Si las materias primas requieren del proceso de cortado pasan directamente a este proceso sino pasan al taladrado. Después de este proceso se someten a un segundo control de calidad. Si cumplen las especificaciones establecidas continúan por el proceso de fresado, sino regresan al dispensado. Posteriormente, pasan por el área de tornos, perforado y roscado para trasladarse a los procesos de tratamiento térmico y ensamblado. Una vez más pasan por un control de calidad; si cumple con las especificaciones pasa a un almacén de productos en proceso, sino regresa al tratamiento térmico. En seguida pasan a los procesos de troquelado, codificado y ensamblado. Si es un producto para exportación se etiqueta sino continua con el embalado. Finalmente, se estiba, se hace una rectificación interna y se mueve al almacén de producto terminado.

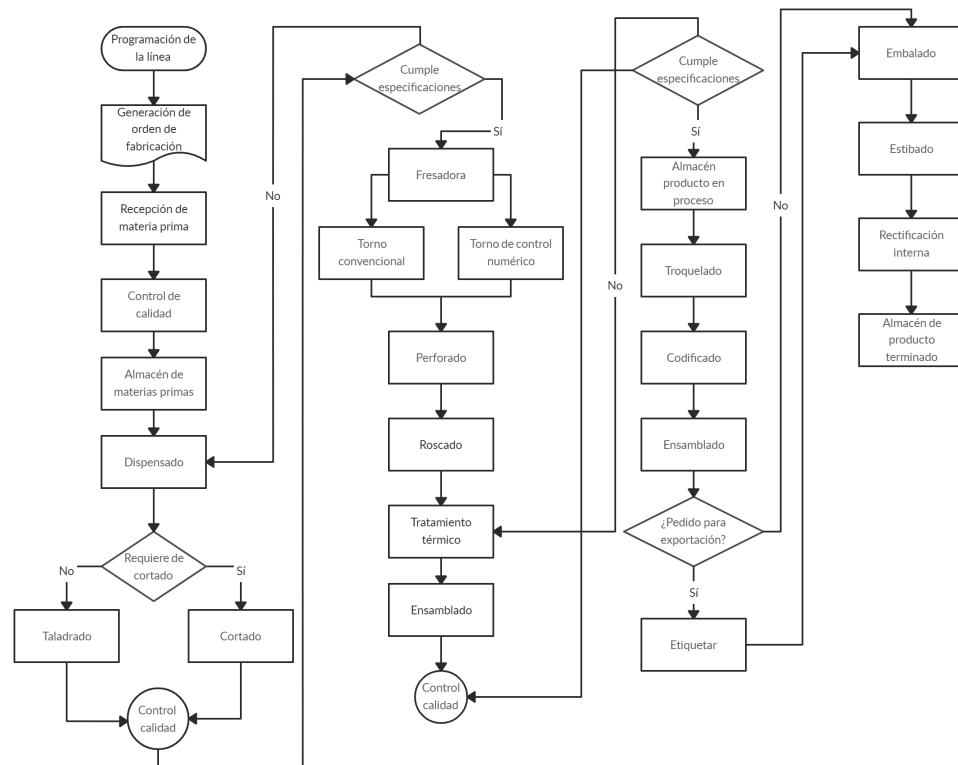


Figura 4.2: Diagrama de flujo del proceso de producción.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PLANEACIÓN

La base de la planeación y control de la producción, así como la toma de decisiones que se toman en la compañía se apoya en el presupuesto anual de ventas, que luego se traduce al plan maestro de producción. Actualmente, la empresa cuenta con dos métodos de planeación para su producción.

1. Presupuesto anual

Inicia a principios del mes de octubre para definir el presupuesto que utilizará hasta finales del mes de noviembre del año siguiente. Aquí se prevén los proyectos que contienen las ventas que se esperan obtener, los costos de fabricación y posibles promociones. El presupuesto de ventas es determinado sobre la base de los pronósticos que se obtienen por el análisis del comportamiento del mercado a partir de los contratos con los clientes y los objetivos dados por el área de ventas.

2. Presupuesto de la demanda real

Existen dos tipos de productos, los productos estándar y los nuevos o especializados que trabajan bajo un sistema de manufactura *make to stock* y *make to order*, respectivamente. A menudo los productos estándar tienen un comportamiento estable cada año y su presupuesto es calculado con una multiplicación de las cantidades mensuales por la diferencia de los ingresos del año pasado con el actual sobre una base mensual. Para el caso de los productos nuevos o especializados el presupuesto se establece dividiendo las cifras de ingresos mensuales sobre el precio medio. Normalmente, estos productos se producen en cantidades menores en comparación con los tamaños de los lotes de los productos estándar.

El sistema de producción se produce sólo después de haber recibido un pedido de un determinado producto. El proceso inicia cuando la empresa ofrece un producto al mercado. Una vez recibido el pedido se definen la cantidad de

materia prima y mano de obra necesarias para producir y se detalla el plan de secuencia cronológica de los procesos en los que se va a trabajar, el tipo de herramienta a utilizar y los productos a fabricar.

4.2 DIAGNÓSTICO INICIAL

Se procedió a obtener los datos con los que se llevará a cabo la metodología:

- Planeación de la producción
- Comportamiento de la demanda
- Comportamiento del inventario
- Referencias objetivo
- *Lead Time*
- Diagrama de flujo de planeación de inventario

4.2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

4.2.1.1 PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN

La figura 4.3, presenta de manera breve el flujo del proceso de planeación de una operación diaria que ayuda a definir los materiales que se requieren para la producción. De manera general, se describen las actividades en este proceso.

1. Generar proyección de la demanda: el área de planeación táctica planea la demanda semanal a partir de la generación del pronóstico, apoyándose de input

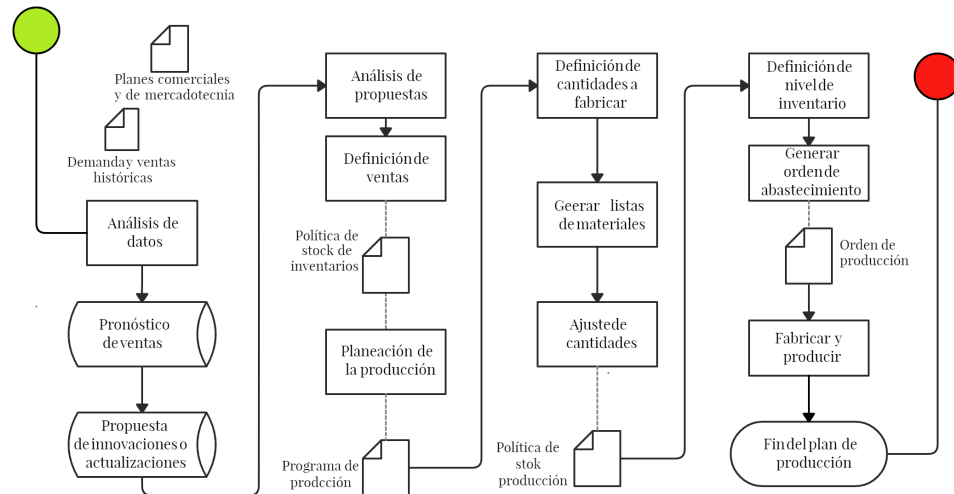


Figura 4.3: Proceso de planeación de producción.

Fuente: Elaboración propia.

del histórico de las ventas y los planes de compras y mercadotecnia. Posteriormente, el sistema es alimentado con los datos de la demanda proyectada.

2. Generar propuestas de innovaciones o actualizaciones: debido a que los equipos médicos se encuentran en constantes actualizaciones, se requiere que las referencias producidas se adapten, modifiquen o se fabriquen nuevas piezas. Dichas propuestas se analizan y en caso de ser necesario algún cambio se consideran para continuar con el siguiente paso.
3. Planear la producción: se definen las ventas y de acuerdo a las políticas de stock de inventarios se define el plan de producción y se genera el programa maestro de producción. Esto permite definir la cantidad de a fabricar, se genera la lista de materiales que especifica las cantidades de piezas o componentes de cada producto necesarios para la fabricación de los productos. Se realiza un ajuste de las cantidades de producción de acuerdo a los resultados y se comparte con distribución.
4. Planear los inventarios: de acuerdo a los datos arrojados por el sistema se define el nivel de inventario que se requiere, esto se realiza sumando las demandas y

restando el stock disponible y con ello se obtiene el requerimiento de producción de cada área. Se genera la orden de abastecimiento.

5. Fabricar y producir: conforme a la orden de producción se fabrican los productos.

4.2.1.2 COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA

De acuerdo a los datos proporcionados por la empresa, durante el año 2018 la tendencia de la demanda incumplida fluctuó entre un 19% con respecto al programa de producción. Esto se muestra en la figura 4.4.

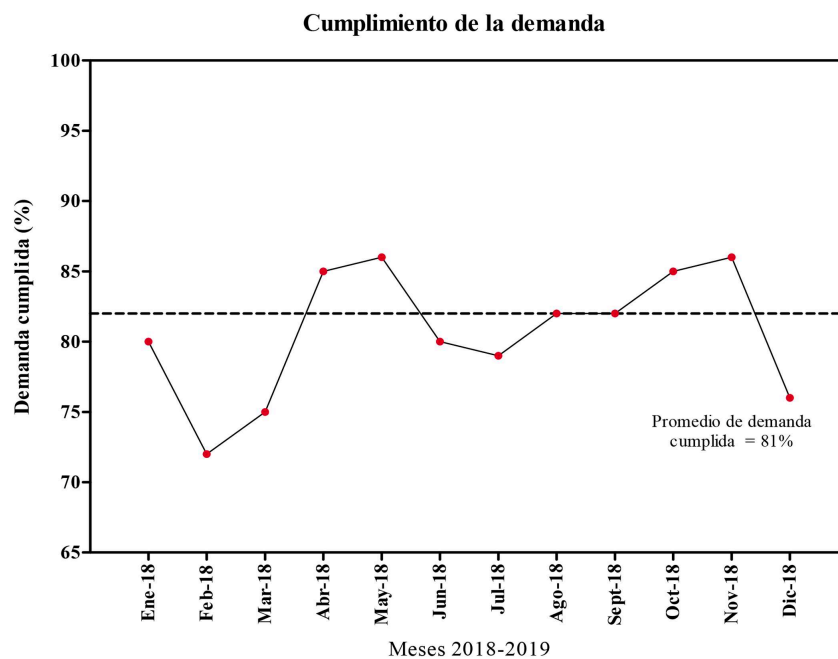


Figura 4.4: Cumplimiento de la demanda 2018.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.3 COMPORTAMIENTO DEL INVENTARIO

Para definir el comportamiento de lo que la compañía almacena actualmente se contrastó el valor monetario del inventario con el valor del cumplimiento de los pedidos. De esto se obtuvo que el almacén durante este periodo ha mantenido una gran cantidad de inventario almacenado. Esto se puede visualizar en la figura 4.5, que permite deducir que la compañía está almacenando muchos productos que no fueron demandados y pocos de los que realmente se requieren para satisfacer la demanda.

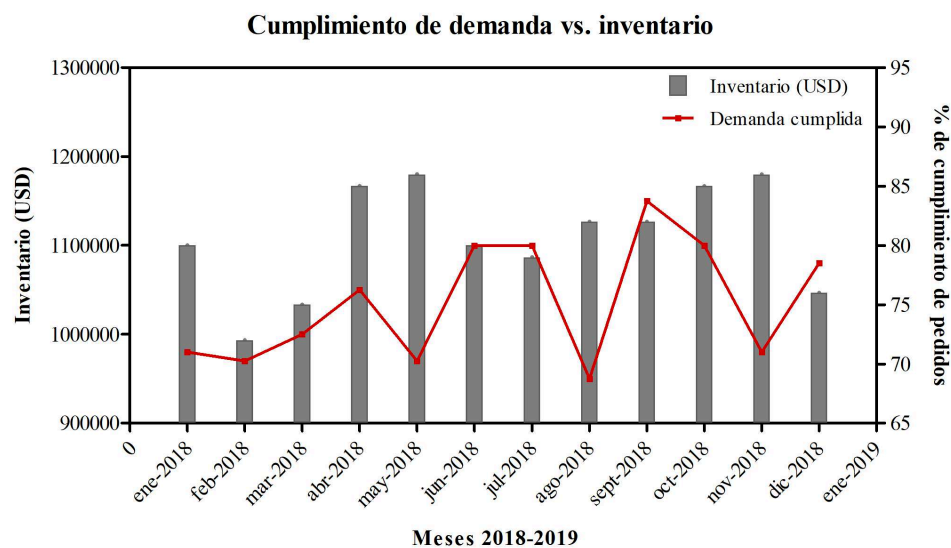


Figura 4.5: Cumplimiento de la demanda vs inventario 2018

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los principales inconvenientes de este comportamiento es que la producción se detiene cuando existe falta de materia prima y se compensa con horas extraordinarias de trabajo o turnos adicionales y regularmente, el personal no cuenta con información actualizada sobre la carga de producción y del inventario disponible. Una medida común para combatir estos efectos es realizar pedidos con cantidades más altas de las planeadas, ocasionando problemas con el espacio en el almacén.

4.2.2 SELECCIÓN DE REFERENCIAS OBJETIVO

Para la implementación del DDMRP se consideró la línea de producción de mayor volumen en ventas que fabrica alrededor de 39 referencias diferentes. Se toma como dato inicial las ventas y consumos en el período comprendido entre enero y diciembre 2018. Luego se efectuó un análisis de las referencias con base a la facturación y se seleccionaron los productos con categoría A que representan el 79.02 % de las ventas, tal y como se visualiza en la tabla 4.2. Con lo cual se segmentó el análisis a 11 referencias: 3 que se fabrican en las instalaciones de la empresa en análisis y 8 que se comercializan en las mismas condiciones en las que son compradas, es decir, no sufren ninguna modificación o adecuación.

Tabla 4.2: Selección de referencias objetivo .

No.	Referencia	Demanda	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
1	2369	\$ 494,408,291.00	20.41 %	20.41 %
2	5693	\$ 360,312,202.00	14.87 %	35.28 %
3	5643	\$ 337,151,260.00	13.92 %	49.20 %
4	6536	\$ 211,344,614.00	8.72 %	57.92 %
5	7898	\$ 201,899,762.00	8.33 %	66.25 %
6	9851	\$ 71,779,057.00	2.96 %	69.22 %
7	4758	\$ 71,701,792.00	2.96 %	72.18 %
8	8796	\$ 43,356,520.00	1.79 %	73.97 %
9	4871	\$ 42,389,736.00	1.75 %	75.72 %
10	4879	\$ 40,523,620.00	1.67 %	77.39 %
11	3532	\$ 39,582,528.00	1.63 %	79.02 %

Fuente:Elaboración propia

4.3 MODELO DDMRP

4.3.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO DE LOS *buffers*

De acuerdo a la metodología propuesta por Ptak y Smith (2016), se debe tomar en consideración seis factores para posicionar estratégicamente el inventario y se resumen a continuación.

1. Tiempo de tolerancia del cliente

Para la empresa caso de estudio, los clientes prefieren precios bajos en lugar de tiempo de entrega cortos, lo que conduce a la empresa a garantizar su entrega con un tiempo de entrega relativamente largo. Se ha observado que debido a que sus productos tienen un alto nivel de especialización, los clientes en sus primeras compras toleran tiempo de tránsito largos, sin embargo, para compras recurrentes desean que los despachos se realicen entre 6 y 8 días.

2. Horizonte de pedidos de venta

El tiempo en el que normalmente la empresa se percata de las órdenes de venta es de 10 días para las referencias tomadas en consideración. De acuerdo con Ptak y Smith (2016), la visibilidad de la orden de venta debe coincidir o superar el tiempo de tolerancia del cliente, por lo que se acepta este lapso de tiempo.

3. Variabilidad de la demanda

El modelo DDMRP requiere de la definición del tipo de variabilidad de la demanda que tienen las referencias. Para ello, en la figura 4.6 se analiza el comportamiento de la demanda en un periodo de 12 meses para las tres referencias seleccionadas.

Con estos datos se concluye que el comportamiento de la demanda tiene variabilidad alta. Para comprobar este análisis se utilizó el método de Peterson-

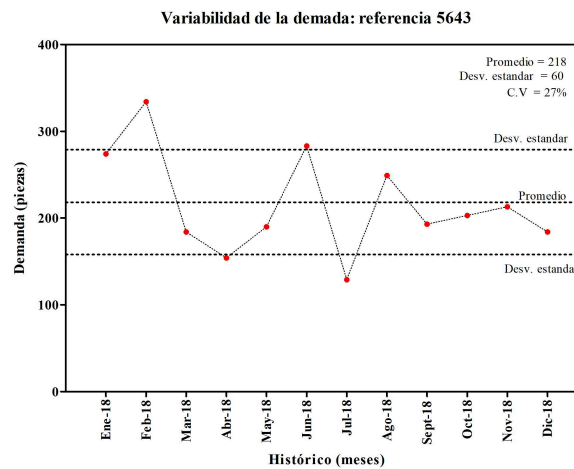
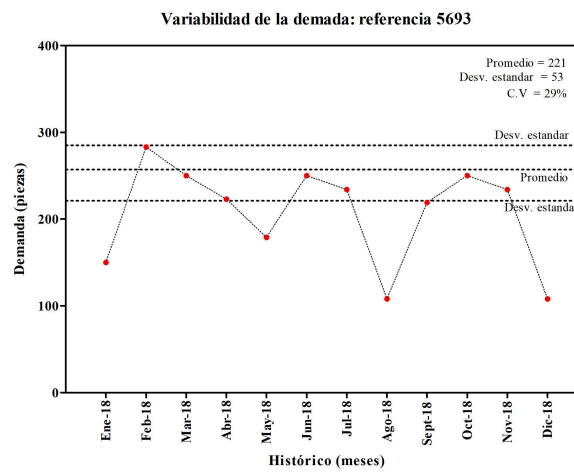
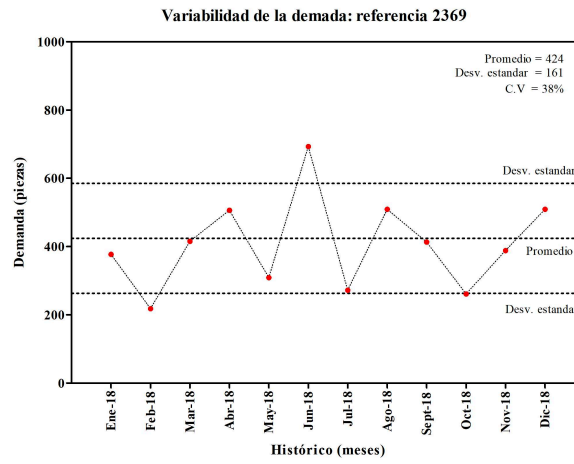


Figura 4.6: Variabilidad de la demanda de las referencias

Silver. Este método fue aplicado ya que es una medida útil para demostrar la variabilidad de la demanda en el cual si los valores obtenidos después de su aplicación son mayores o iguales a 0.25 se tiene alta variabilidad. Mientras que si se encuentra por debajo del 0.25 la variabilidad es baja o la demanda es estable.

En la tabla 4.3 se evidencia el cálculo de la variabilidad de la demanda de cada una de las referencias. El coeficiente de variabilidad representa una diferencia entre su promedio de consumo y la desviación, lo que indica que las referencias en cuestión no son estables históricamente y sus picos o declives de consumos son altos y afectan el flujo normal de la operación, por lo cual se debe contar con un inventario adicional para mitigar estas desviaciones y tener un mejor nivel de servicio.

Tabla 4.3: Coeficiente de variabilidad- Ref. 2369

Ref.	Promedio de consumo	Desviación estándar	Coeficiente de variabilidad
2369	424	161	38 %
5693	221	69	29 %
5643	218	60	28 %

Fuente:Elaboración propia

4. Variabilidad del suministro

En este apartado se mide el potencial o severidad de las interrupciones de los proveedores que suministran la materia prima utilizada para la fabricación de las referencias.

Para su cálculo, se examina la varianza de las fechas promesa del proveedor frente a las fechas de recepción reales de la materia prima. Con este resultado medido en días se determina el coeficiente de variabilidad. Los resultados se exponen en la tabla 4.4:

Debido a que el histórico de compras no ha evidenciado que exista incumpli-

Tabla 4.4: Variabilidad del suministro Ref. 2369.

Referencia 2369	
Materia prima	Variabilidad
5362	0.21
02356-7	0.25
15206	0.22
54582	0.21
23584	0.19
89781	0.17
63625	0.18
00653	0.22
00536	0.22
23131	0.17

Fuente:Elaboración propia

miento de las órdenes por parte del proveedor y además de que el coeficiente de variabilidad estuvo por debajo del 0.25, se puede decir que la variabilidad del suministro es baja.

Lead Time

Para la generación de la orden de compra es importante considerar el *Lead Time* de cada referencia y sus respectivas materias primas. La tabla 4.5, muestra la explosión de materiales de la referencia 2369 con su respectivo *Lead Time* en días.

Adicionalmente, esta información permitió definir aquellas materias primas que son compartidas entre las referencias. En el caso de las 3 referencias todas comparten más de cinco materias primas requeridas para la fabricación del subensamble de la línea A.

Como se puede observar el máximo *Lead Time* es de 43 días. Este *lead time* se puede considerar crítico ya que, de tener faltantes en esa materia prima

Tabla 4.5: *Lead Time* Ref. 2369.

Referencia 2369	
Materia prima	<i>Lead Time</i>
05362	8
02356-7	10
15206	43
54582	10
23584	4
89781	3
63625	5
00653	6
00536	18
23131	3

Fuente:Elaboración propia

significa incumplir al menos una semana en la demanda de 2 referencias. Adicionalmente, la empresa hace la planeación de su producción cada 30 días. Es decir, el horizonte de planeación actual, es menor que el *lead time* crítico, lo que significa que no se está cubriendo los días restantes en caso de que existan faltantes. Sin embargo, el *lead time* está definido por cada proveedor. Por consiguiente, no puede ser modificado por la compañía.

5. Apalancamiento y flexibilidad del inventario

Se determinaron los lugares en la estructura de lista de materiales los puntos de desacople. De la lista de materiales de la referencia se consideraron los caminos con más larga duración. La figura 4.7 se muestra la lista de materiales de cada una de las referencias. Los números en los círculos representan el LT de compra en días para cada número de pieza que compone a la referencia. Por ejemplo, para 2369, el LT de fabricación es de 7 días, mientras que el LT acumulado es de 51 días (plazo de entrega de compra de 15206 es de 43 días +

plazo de fabricación de PFP-1 es de 0.1 días+ 7 días del producto final 2369) representado por la línea roja.

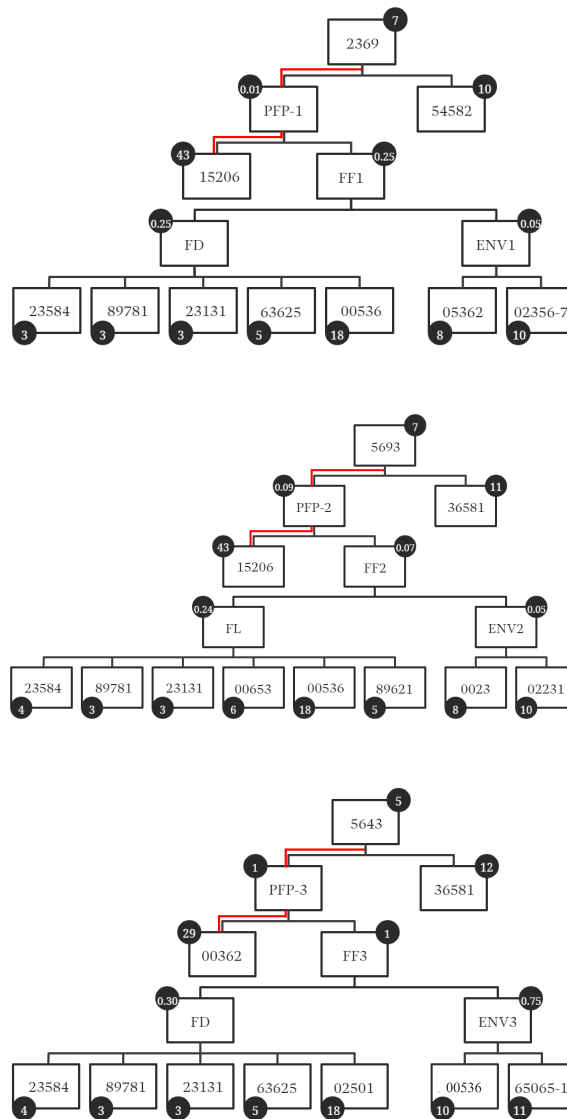


Figura 4.7: Lista de materiales

Estos datos se complementaron con información adicional dada por la matriz de explosión de materiales que muestra las conexiones entre los componentes y los padres. La figura 4.8 es la lista de materiales para de la matriz para el entorno de las 3 referencias muestra que los componentes 15206, 36581, 00536, 23131, 23584, 63625, 89781 se encuentran en la lista de materiales de todos

los padres. Por tanto, el desacoplamiento en cualquiera de estos puntos tendrá valor para todos los padres.

Conforme a los puntos de desacople identificados en la matriz BOM se ubica un nuevo *lead time*. Este se obtuvo después de haber ubicado los *buffers* en las materias primas y los productos finales que pueden verse afectados por la variabilidad de la demanda y el suministro. En las siguientes figuras se muestra la nueva estructura de la lista de materiales para cada una de las referencias con sus respectivos *buffers*. Por ejemplo, en la referencia 2369 se muestra una nueva ruta con un nuevo *lead time* que se definió como un *lead time* desacoplado (LTD). Esta nueva ruta surge porque se establece un *buffer* en la materia prima 15206, el cual inmediatamente comprime el tiempo de espera del padre 2369. Esto significa que el nivel del *buffer* de cada padre se verá afectado positivamente, ya que de acuerdo a la metodología DDMRP en cuanto mayor sea la reducción del tiempo de entrega, mayor será la compresión del inventario de reserva. Ver figura 4.9.

Al establecer *buffers* en algunas de las materias primas, suceden dos aspectos importantes:

1. El tiempo de entrega de la referencia se reduce a solo el tiempo de procesamiento de los componentes y el producto terminado.
2. Se asegura que la materia prima que se comparte para los tres padres o productos finales siempre esté disponible.

Por ejemplo, para la referencia 2369 se consigue comprimir el tiempo de entrega de 51 días a 18 días. Para obtener este tiempo, se sumaron los tiempos en cada ruta de la estructura de la lista de materiales a partir de cada *buffer* y se eligió la ruta con mayor tiempo. En las figuras se muestra con una línea roja para cada referencia.

El cálculo del LTD queda de la siguiente manera:

PADRES DE LOS ARTICULOS															
COMPONENTES Y COMPUESTOS		2369	5693	5643	PFP-1	PFP-2	PFP-3	FF1	FF2	FD	FL	ENV1	ENV2	ENV3	
	PFP-1	1													
	PFP-2		1												
	PFP-3			1											
	FF1				1										
	FF2					1									
	FF3						1								
	FD							1							
	FL								1						
	ENV1							1							
	ENV2								1						
	ENV3			1											
	COMPUESTOS	15206				1	1								
20031															
36581			1	1											
54582		1													
00023													1		
00362						1									
00536										2	1				1
00653											1				
02231													1		
02356-7												1			
02501										1					
05362												1			
09030															
20036															
23131										3	1				
23584										3	1				
36000															
52423-1															
58630															
63625										3					
65065-1															1
69658															
89621												1			
89781									3	1					

Figura 4.8: Matriz BOM Ref. 2369

Fuente: Elaboración propia.

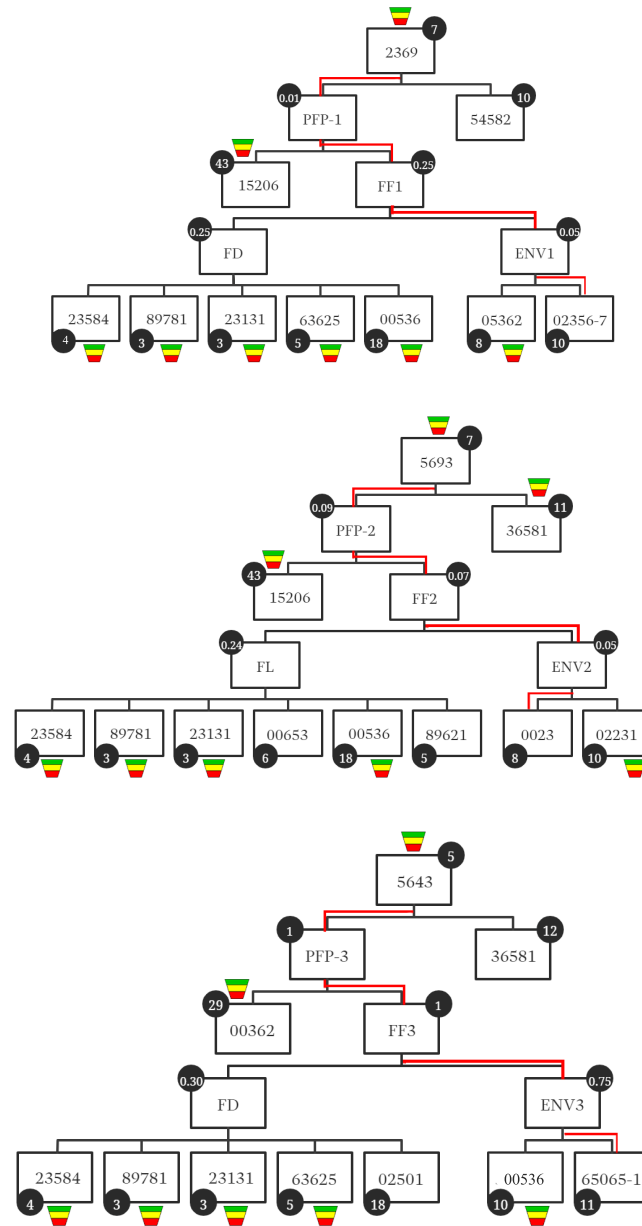


Figura 4.9: Lista de materiales con LT desacoplado

LTD ref. 2369: $10 + 0.05 + 0.25 + 0.01 + 7 = 18$ días LTD ref. 5693: $8 + 0.05 + 0.07 + 0.09 + 7 = 16$ días LTD ref. 5643: $11 + 0.75 + 1 + 1 + 5 = 19$ días

4.3.2 DIMENSIÓN DE LOS *buffers* ESTRATÉGICOS

Aquí se define el perfil del *buffer* agrupando aquellos componentes que tienen características similares y para los cuales se aplicarán las mismas reglas o procedimiento de planeación.

4.3.2.1 PERFIL DEL BUFFER

La conexión familiar para definir los perfiles del perfil se realizó con base a los tres parámetros básicos dados por el modelo DDMRP.

- Tipo de artículo: Los artículos se clasificaron en fabricados (F) y comprados (C). Ver tabla 4.6.
- Factor de variabilidad de la demanda (FV). Según la variabilidad de las referencias y materias primas se determinaron los rangos de variabilidad según el tipo de artículo. En este aspecto se contemplaron los rangos dados por el modelo DDMRP. Ver tabla 4.7.
- Factor de LT. Se agruparon los artículos de acuerdo al Factor de *Lead Time* recomendado por Ptak y Smith, (2016). La agrupación se muestra en la tabla 4.8.

Con esta información fue posible definir los códigos basados en la combinación de atributos de la tabla 3.7 y que se visualizan en la tabla 4.9.

Tabla 4.6: Tipo de artículo

Artículo	Clasificación
2369	F
5693	F
5643	F
15206	C
36581	C
00536	C
23131	C
23584	C
63625	C
89781	C

Fuente:Elaboración propia

Tabla 4.7: Factor de variabilidad de la demanda

Artículos F	Variabilidad demanda	Factor de variabilidad
2369	Alta	50 %

Artículos C	Variabilidad demanda	Factor de variabilidad
15206	Baja	25 %
36581	Baja	25 %
00536	Baja	25 %
23131	Baja	25 %
23584	Baja	25 %
63625	Baja	25 %
89781	Baja	25 %
89781	Baja	25 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Factor de variabilidad de la demanda

Artículo	Clasificación	<i>Lead Time</i> (días)	Factor <i>Lead Time</i>	Categoría
2369	F	7	50 %	Medio
15206	C	43	80 %	Alto
36581	C	12	50 %	Medio
00536	C	18	50 %	Medio
23131	C	3	30 %	Bajo
23584	C	4	30 %	Bajo
63625	C	5	30 %	Bajo
89781	C	3	30 %	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9: Combinación de atributos

Artículo	Perfil
2369	FM2
5693	FM2
5643	FM2
15206	CB3
36581	CB2
00536	CB2
23131	CB1
23584	CB1
53625	CB1
89781	CB1

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 CONSUMO PROMEDIO DIARIO

1. Consideración de la duración del periodo

Se consideró el periodo 8 semanas para la aplicación de la ecuación del ADU. Para justificar este periodo se compararon tres longitudes: 30semanas, 8 semanas y 1 semana. Todos los periodos son pasados. Esto demuestra que en un periodo de 1 semana se producen cambios drásticos en la demanda y la empresa no podría reaccionar a las fluctuaciones masivas en los *buffers*. En cambio, con periodos de 30 semanas se tendría poca fluctuación en el ADU calculada. Para la referencia 2369, el ADU se mueve desde un mínimo de 42 a un máximo de 143 cuando se usa un periodo de 8 semanas, permitiendo que el *buffer* se flexione de manera razonable hacia arriba y hacia abajo. Ver figura 4.10.

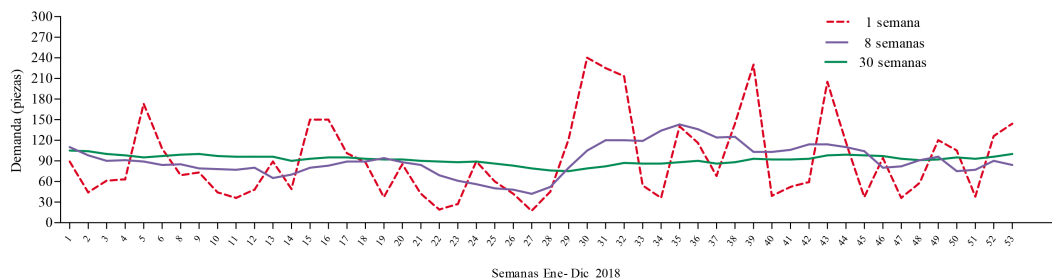


Figura 4.10: Comparación de periodos para ADU

Fuente: Elaboración propia.

2. Consideraciones de las frecuencias de actualización

Se deben tener medidas para actualizar el ADU de la pieza con frecuencia. Esto significó realizar actualizaciones diarias o semanales, pero no más. Esto permitirá que el registro de la parte se actualice automáticamente a medida que se realiza el cálculo del ADU y que entorno de pieza sea más estable (Ptak y Smith, 2016).

3. Cantidad mínima de pedido y *Lead Time* desacoplado

Para el cálculo de los *buffers* es necesario conocer el LTD de cada uno de los

artículos y el MOQ. Con base en la información histórica de la compañía y la información remitida por los proveedores se elabora la tabla 4.10 en la que se detalla lo mencionado para cada uno de los artículos.

Para definir el MOQ se consideraron las cantidades mínimas de pedido establecidas por los proveedores de las materias primas ya que estas restringen el cálculo de los niveles óptimos de inventarios o por la cantidad de empaque y no cambia a lo largo del tiempo. Para los productos producidos se toma el LTD que se obtiene de la lista de materiales.

Tabla 4.10: MOQ y *Lead Time*

Productos	Lead Time	MOQ
2369	7	25
15206	43	500
00536	18	25
23131	3	50
23584	4	25
63625	5	100
89781	3	25

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3 CÁLCULO DE LAS ZONAS DEL *buffer* DE CANTIDAD

Como se mencionó en el capítulo 3 las zonas de los *buffers* están compuestas por: zona roja, zona amarilla y zona verde. En la tabla 4.11, se muestran los parámetros que ya se han obtenido en los pasos anteriores y que se requieren para el cálculo de las zonas de las referencias. En este caso solo se muestran los datos para primera semana de planeación. Las semanas restantes se pueden visualizar en el apéndice.

Una vez clasificados y calculados los perfiles de las referencias se calculan los tamaños de las zonas de los *buffers*. La tabla 4.12 muestra los tamaños de las zonas

Tabla 4.11: Parámetros de las referencias y materias primas

Referencia	2369	5693	5643	15206	00536	23131	23584	63625	89781
ADU	19	11	8	75	56	129	36	34	36
Producto	F	F	F	C	C	C	C	C	C
FV	50 %	25 %	50 %	25 %	50 %	25 %	25 %	25 %	25 %
Factor LT	50 %	50 %	50 %	80 %	50 %	30 %	30 %	30 %	30 %
LTD	7	7	5	43	18	3	4	5	3
MOQ	25	15	10	500	25	50	25	100	25

Fuente: Elaboración propia

de los *buffers* de una semana de planeación junto con una comparación cuando no se tenía el LTD. Se puede apreciar que con el *Lead Time* desacoplado el nivel del *buffer* disminuye drásticamente.

- Cálculo de la zona verde

Para el cálculo de la zona verde, se tomó el valor más alto obtenido entre el cálculo de:

- Factor de *Lead Time*: $7 \times 19 \times 0.50 = 67$ piezas

- Cantidad mínima de pedido: 25 piezas

El valor mayor corresponde al obtenido por la cantidad del factor de *Lead Time* el cual es 990 piezas, por lo tanto, este determina el tamaño de la zona verde.

- Cálculo zona amarilla

- $19 \times 7 = 133$ piezas

- Cálculo base roja

- $0.50 \times 7 \times 19 = 67$ piezas

- Cálculo seguridad roja

- $67 \times 0.50 = 34$ piezas

Tabla 4.12: Cálculo de las zonas del *buffer*- Ref. 2369

Parámetro	Valor	Zona		
Consumo promedio diario (ADU)	19	Verde	67	
Factor de <i>Lead Time</i>	0.50		<i>Lead Time</i> Factor	67
Factor de variabilidad	0.50		MOQ	25
MOQ	25	Amarillo	133	
Ciclo de orden de demanda	6	Base Roja	67	
<i>Lead Time</i> desacoplado	7	Seguridad roja	34	

Parámetro	Valor	Zona		
Consumo promedio diario (ADU)	50	Verde	720	
Factor de <i>Lead Time</i>	0.50		Lead Time Factor	494
Factor de variabilidad	0.50		MOQ	25
MOQ	25	Amarillo	988	
Ciclo de orden de demanda	6	Base Roja	494	
<i>Lead Time</i> desacoplado	52	Seguridad roja	247	

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo zona roja total

$$- 67 + 34 = 101 \text{ piezas}$$

Posteriormente, se procedió con la aplicación de las fórmulas para calcular las zonas durante el año de estudio. Aquí el ADU y el *Lead Time* tienden a tener un impacto porque están involucrados en las tres dimensiones de la zona. El MOQ solo interviene en la determinación de la zona verde. Por lo que el ADU debe recalcularse y actualizarse cada semana.

4.3.2.4 CÁLCULO DE LOS NIVELES DEL *buffer*

- Nivel superior del verde

$$- 301 + 234 + 101 = 636 \text{ piezas}$$

- Nivel superior del amarillo

$$- 234 + 101 = 335 \text{ piezas}$$

- Nivel superior rojo

$$- 101 \text{ piezas}$$

Los niveles de los topes de cada zona están representados por hasta que cantidad deben llegar cada *buffer*. Por lo que para el mes de enero en el caso de la referencia 2369 la zona roja llega hasta 636 piezas, la zona amarilla hasta 335 piezas y la zona verde hasta 101 piezas. Esto determina el tamaño máximo del *buffer*.

La tabla A.2 muestra las entradas de la memoria intermedia de la referencia 2369 durante un periodo de 12 meses, teniendo en cuenta que cada entrada es estática excepto el ADU. A medida que el ADU cambia durante ese periodo, el *buffer* se ajusta en consecuencia. La información de las otras referencias puede consultarse en el apéndice A.

En un sistema DDMRP, el ADU siempre cambiará ya que se recalcula con frecuencia, en este caso cada semana. Sin embargo, podemos observar que, en algunos periodos de tiempo, se pudo observar que los atributos estáticos cambiaron. Por ejemplo, el LTD de la referencia 2369 presentó un cambio a partir del mes de octubre. Primero, el LDT se comprimió de 7 a 6 días. Esta pieza sufrió ese cambio se debió a la integración de una máquina adicional que mejoró el proceso y por tanto redujo el trabajo en curso.

Este LT más corto movía la referencia desde un factor de *Lead Time* medio de 0.5 a un factor de *Lead time* de 0.8. Esto tuvo un impacto directo en el *buffer*, las zonas verde y amarilla se redujeron debido a la compresión del *Lead time* y la zona roja se incrementó debido a que se vio afectada por el factor de variabilidad.

4.3.3 REABASTECIMIENTO DE LOS *buffers*

De acuerdo a la demanda real e información a corto plazo se procede a generar las órdenes de reabastecimiento para mantener el *buffer* aplicando la ecuación del flujo neto. Estas órdenes se generan cada vez que la ecuación del flujo neto se encuentre por debajo de la zona verde, es decir, en la zona amarilla y se debe pedir hasta el máximo de la zona verde. Para la generación de esta reposición se considera lo determinado en el perfil del *buffer* y la presentación de cada producto.

Manteniendo la ejecución de la referencia 2369, y considerando que la demanda calificada es igual a las ventas realizadas en mes de enero del 2018, se obtienen los resultados que se pueden visualizar en la tabla B.2. Los resultados de las referencias faltantes pueden consultarse en el apéndice B.

Tabla 4.13: Memoria intermedia durante un periodo de 12 meses - Ref. 2369

Sem.	ADU	LTD	FLT	FV	Verde	Amarillo	Rojo
1	19	7	0.5	0.5	67	133	101
2	17	7	0.5	0.5	60	119	90
3	15	7	0.5	0.5	53	105	80
4	15	7	0.5	0.5	53	105	80
5	14	7	0.5	0.5	49	98	74
6	13	7	0.5	0.5	46	91	69
7	14	7	0.5	0.5	49	98	74
8	13	7	0.5	0.5	46	91	69
9	12	7	0.5	0.5	42	84	63
10	12	7	0.5	0.5	42	84	63
11	13	7	0.5	0.5	46	91	69
12	11	7	0.5	0.5	39	77	59
13	12	7	0.5	0.5	42	84	63
14	13	7	0.5	0.5	46	91	69
15	13	7	0.5	0.5	46	91	69
16	14	7	0.5	0.5	49	98	74
17	14	7	0.5	0.5	49	98	74
18	15	7	0.5	0.5	53	105	80
19	14	7	0.5	0.5	49	98	74
20	14	7	0.5	0.5	49	98	74
21	12	7	0.5	0.5	42	84	63
22	11	7	0.5	0.5	39	77	59
23	10	6	0.5	0.5	30	60	45
24	9	6	0.5	0.5	27	54	41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13 continúa de la página anterior

Sem	ADU Semanal	DLT	Factor LT	Factor variabilidad	Verde	Amarillo	Rojo
25	10	6	0.5	0.5	30	60	45
26	10	6	0.5	0.5	30	60	45
27	11	6	0.5	0.5	33	66	50
28	13	6	0.5	0.5	39	78	59
29	15	6	0.5	0.5	45	90	68
30	16	6	0.5	0.5	48	96	72
31	15	6	0.5	0.5	45	90	68
32	15	6	0.5	0.5	45	90	68
33	17	6	0.5	0.5	51	102	77
34	18	6	0.5	0.5	54	108	81
35	17	6	0.5	0.5	51	102	77
36	17	6	0.5	0.5	51	102	77
37	17	6	0.5	0.5	51	102	77
38	16	6	0.5	0.5	48	96	72
39	16	6	0.5	0.5	48	96	72
40	16	6	0.5	0.5	48	96	72
41	16	6	0.5	0.5	48	96	72
42	16	6	0.5	0.5	48	96	72
43	16	6	0.5	0.5	48	96	72
44	15	6	0.5	0.5	45	90	68
45	13	6	0.5	0.5	39	78	59
46	14	6	0.5	0.5	42	84	63
47	15	6	0.5	0.5	45	90	68
48	17	6	0.5	0.5	51	102	77
49	15	6	0.5	0.5	45	90	68
50	15	6	0.5	0.5	45	90	68
51	17	6	0.5	0.5	51	102	77
52	16	6	0.5	0.5	48	96	72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14: Flujo neto durante 16 semanas - Ref. 2369

2369	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Inventario disponible	1420	1376	2815	2753	2704	2721	2652	2579	2535	2498	284	245	286	190	194	219
Inventario bajo pedido	0	1500	0	125	125	0	0	0	0	0	50	100	25	125	125	100
Inventario recibidos	0	0	1500	0	125	125	0	0	0	0	25	50	100	25	125	125
Demanda calificada	217	234	236	281	197	219	223	194	187	198	210	180	242	222	189	176
Flujo neto	1203	2642	2579	2596	2633	2502	2429	2385	2348	2301	124	165	69	94	130	143
Inventario físico final	1376	1315	4253	2579	2721	2777	2579	2535	2498	2451	220	236	265	94	219	256
Generar orden	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cantidad sugerida	1497	-48	121	104	-526	-665	-539	-818	-781	-842	82	10	120	112	76	78
Cantidad sugerida	1500	-25	125	125	-525	-650	-525	-800	-775	-825	100	25	125	125	100	100

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 EJECUCIÓN VISIBLE Y COLABORATIVA

A continuación, se muestra como sería comportamiento del *buffer* para la referencia 2369 conforme varía su demanda a lo largo de las semanas. Se muestra el ejemplo de 3 semanas en una interfaz propuesta por Ptak y Smith (2016).

- Orden 1

Es importante recordar que el MOQ es de 25 piezas, por lo que cada nueva reposición debe ser mínimo de 25 y/o múltiplo de este. Para la primera semana de enero se tiene un inventario inicial de 300, este número de obtuvo del inventario final del año 2017. Hay una demanda de 44 piezas y un poco calificado en la semana 4 de 120 piezas por lo que se obtiene una demanda calificada de 164. No se tiene órdenes en tránsito por recibir. La posición del flujo neto es de 186, indicada por la línea negra en la zona superior amarilla. Esta posición de flujo neto produce una prioridad de planeación amarilla de 62% (186 flujo neto/ 301 zona superior verde). Se recomienda una orden de suministro de 125 piezas (301 NSV – 186 flujo neto). La fecha de la solicitud para la orden es de 7 días a partir de hoy. Finalmente, el inventario en la semana 1 será de 256 piezas (disponible en almacén menos 44 que se demandan hoy).

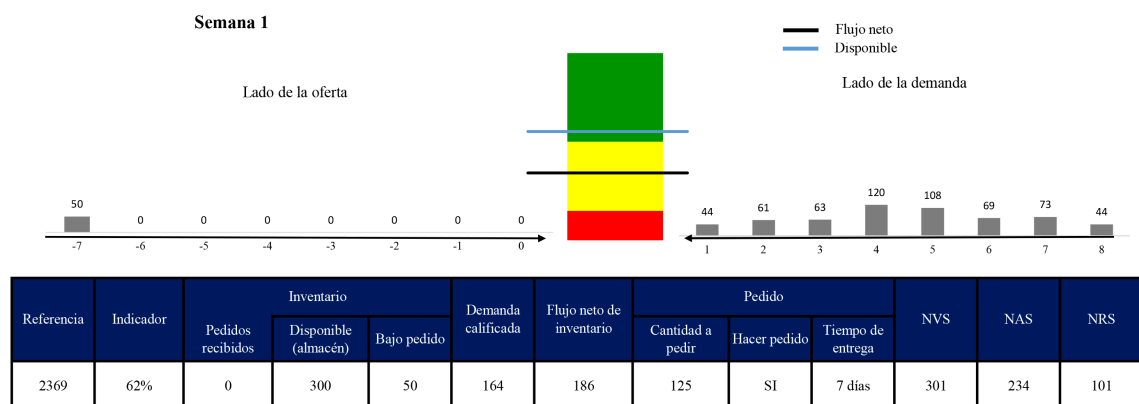


Figura 4.11: Orden 1

Fuente: Elaboración propia.

- Orden 2

La semana 2 está representada por la figura 4.12. La cantidad inicial en el almacén es de 306. Se observa que se tiene un pedido en tránsito de 125. La demanda se ha desplazado hacia la izquierda y la visibilidad de la demanda oscila entre la semana 2 y 9. Se cumple una demanda de 61 unidades. La posición del flujo neto está en 250 (cantidad inicial en almacén de 306 + pedidos en orden 125 – demanda calificada 181). Como el flujo neto se encuentra en el nivel superior amarillo por lo que se sugiere generar orden de pedido nuevo por 25 piezas. El inventario final al término de la semana es de 295.

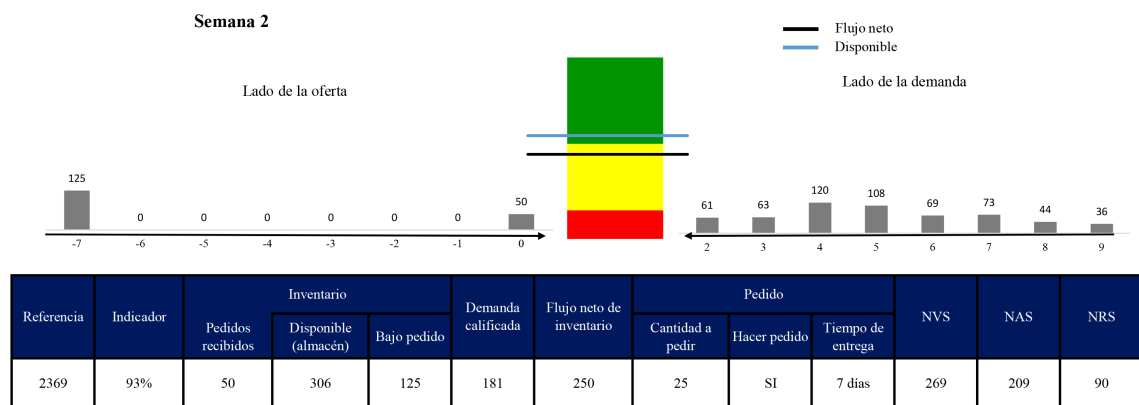


Figura 4.12: Orden 2

Fuente: Elaboración propia.

- Orden 3

La figura 4.13 muestra el comportamiento en la semana 3. El almacén inicia con un inventario de 1865. Se recibe una orden de 550 pieza. La demanda calificada considera la demanda del día de hoy 63 más el pico calificado de la semana 4 de 173 piezas. No hay recomendación de orden de suministro ya que la posición de flujo neto está en la parte superior verde (1418). El inventario final en el almacén de esta semana será de 1565 (1865 disponible – 63 de la demanda del día+ 550 pedido recibido).

Esta fórmula se repite para las semanas de los meses restantes del año 2018. De esta manera se puede visualizar en la figura 4.14 el estado del DDMRP para la referencia 2369.

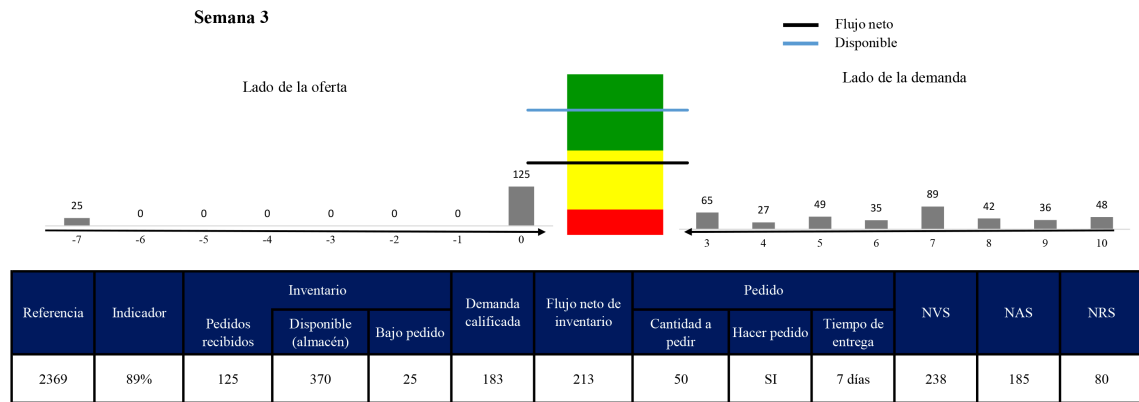


Figura 4.13: Orden 3

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la proyección de un año de la referencia 2369 se observa que el nivel del inventario disponible casi siempre se encontró que cada vez que el flujo neto llega al tope de la zona amarilla se genera una nueva orden de compra, con lo cual se lograría tener siempre producto disponible para los clientes. El inventario se mueve dentro de los límites del *buffer* sin nunca llegar al nivel rojo para así, asegurar la venta histórica pero no entrar en excesos de inventario. El ejemplo ilustra un inventario de entre 465 y 126 piezas, con consumos diarios, en las 52 semanas registradas el material nunca superó su máximo de inventario y aseguró la venta. Esto puede visualizarse en la figura 4.14 para las tres referencias.

4.3.5 EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

A continuación, se muestra una comparación de los resultados obtenidos si la empresa hubiese implementado el modelo de gestión Demand driven MRP en el año 2018.

Luego de realizar la implementación del modelo se obtuvo un correcto dimensionamiento del inventario almacenado, logrando una reducción en el período de comparación entre un 13% y 15%. Al dimensionar de forma correcta el inventario se logra un mayor flujo de efectivo. Como se puede observar en la gráfica 4.15 se

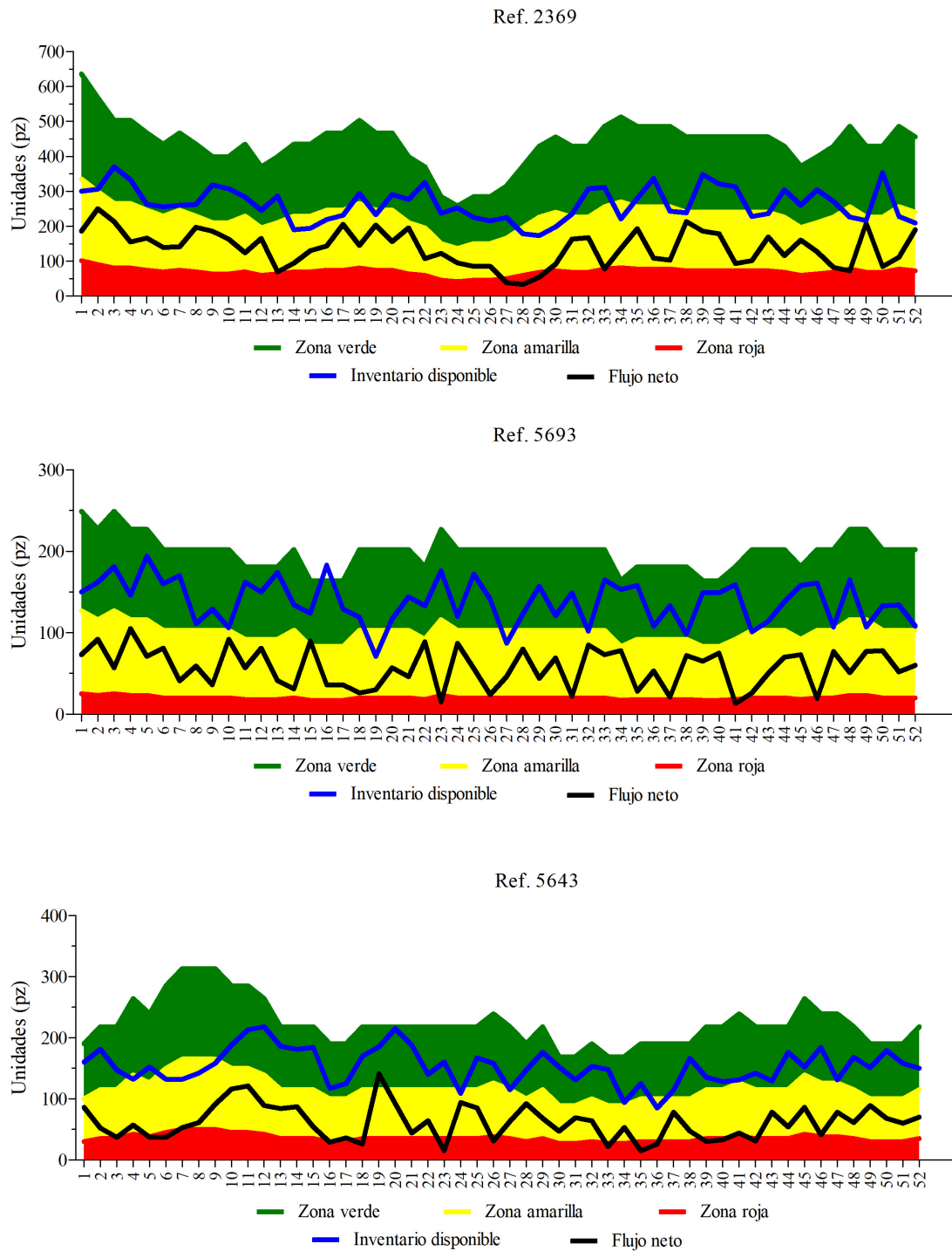


Figura 4.14: Comportamiento anual del *buffer*

Fuente: Elaboración propia.

puede notar que bajo el sistema actual que a compañía se tiene un nivel más alto de inventario. Al implementar DDMRP simultáneamente se mejora el servicio al cliente, ya que durante el periodo de análisis se cumplen los pedidos al 100% ya que ninguno de los productos detallados en la implementación de los *buffers* caen de forma prolongada en la zona roja. La línea punteada representa el nivel de inventario en piezas en el almacén que es superior al inventario almacenado utilizando el sistema de la compañía.

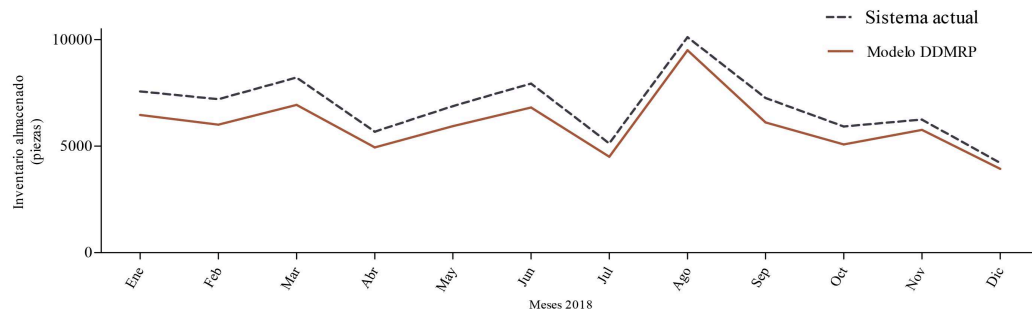


Figura 4.15: Inventario sistema actual vs. DDMRP

Fuente: Elaboración propia.

También se mejora la rotación de los activos, ya que los mismos son utilizados de manera más efectiva para generar ingresos. En el periodo de comparación al implementar DDMRP la rotación de los activos mejora a 4.30 veces en el año (con el sistema actual era de 3.23 veces al año). El inventario rota más veces lo que significa que los productos permanece menos tiempo en la bodega. De esto se obtiene que si en el 2018 se hubiera aplicado la metodología en promedio el inventario hubiera rotado cada 12 semanas frente a al sistema actual que es de 16 semanas. Ver tabla 4.16 y 4.17

4.3.6 CONCLUSIÓN DE IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Hasta el momento se han presentado hallazgos de la investigación realizada en donde se puede observar que la implementación en la compañía es una buena

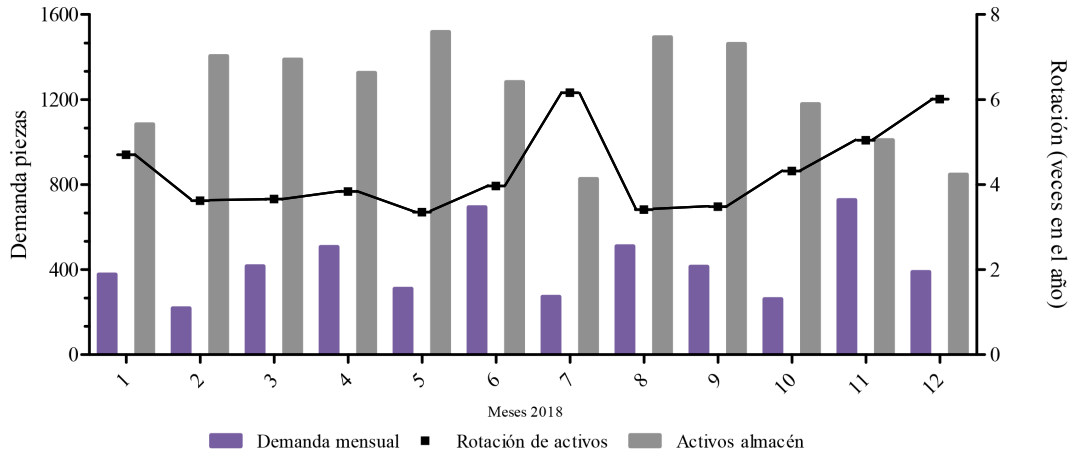


Figura 4.16: Rotación de activos con DDMRP

Fuente: Elaboración propia.

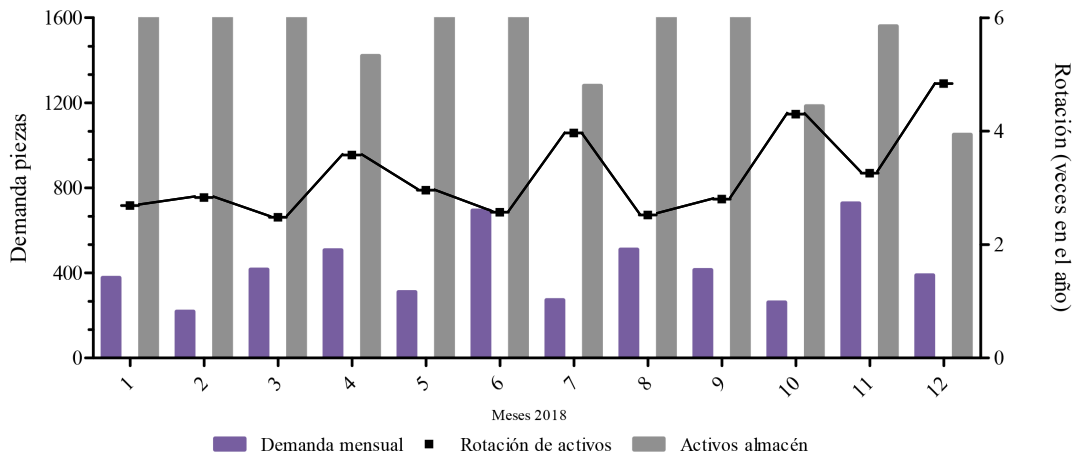


Figura 4.17: Rotación de activos con sistema actual

Fuente: Elaboración propia.

herramienta para gestionar el inventario; permite que se mejore el nivel de servicio gracias a que se considera la demanda calificada; permite una mejor dimensión del inventario lo que ayuda a incrementar la rotación del inventario.

Si la metodología se hubiera implementado en el 2018 se hubiera logrado una reducción del inventario entre un 13 % y 15 % frente al inventario en efecto realizadas, pero a su vez se cubre la demanda de los productos lo que implica que se mantenga la participación en el mercado y no se ponga en riesgo las operaciones de la empresa. Por ende, se realza la utilidad dentro del ámbito logístico interno.

Después de haber desarrollado la metodología propuesta con la cual se puede observar una mejora en la gestión de los inventarios, en el siguiente capítulo se presentan las conclusiones de esta investigación.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

La gestión de inventarios esta generalmente soportada por sistemas que se ven limitados por los complejos desafíos del panorama industrial y comercial actual, por lo que es difícil contar con sistemas que se adapten completamente a la situación actual del mercado. Estas limitaciones generan que los planeadores continuamente modifiquen sus políticas de inventarios sin conocimiento teórico, dando como consecuencia desabastos o excesos de inventarios.

En este trabajo de investigación, se propone un modelo de gestión de inventarios que toma los cinco componentes dados por la metodología DDMRP que busca revolucionar las funciones de la planeación de los insumos, materiales y productos de las cadenas de suministro que actualmente se encuentran inmersas en un entorno complejo y variante.

Esto condujo a conocer los beneficios que DDMRP tiene en la planeación de los materiales. La evidencia experimental obtenida apoya la hipótesis de que DDMRP es una técnica de reposición de la cadena de suministro que reconoce el flujo de los materiales e información como elementos esenciales para mitigar la variabilidad a partir del establecimiento de puntos de desacople en los que se ubican niveles de inventarios dinámicos adecuados conocidos como buffers. Esto hace posible que los inventarios puedan ajustarse y responder a los cambios en la demanda.

Además de que este modelo es capaz de generar órdenes de abastecimiento y realiza un seguimiento de su comportamiento con el propósito de corregir las desviaciones entre lo planeado y lo ejecutado. De manera que, la ausencia de cualquiera de sus componentes puede llegar a disminuir drásticamente la efectividad y los resultados del DDMRP.

DDMRP se edifica en la base de la información relevante de la empresa como: demanda, inventario disponible y en tránsito. Aquí el buffer se convierte en el principal elemento de planeación ya que a partir de éste se generan las señales de órdenes de reposición de los artículos. Por lo que el buffer cumple diversos objetivos relevantes para la planeación de los materiales en una cadena de suministro:

- Desacopla el lead time de reposición
- Funciona de manera independiente de los pedidos.
- Detiene la propagación del efecto látigo garantizando la recuperación del sistema cuando ocurre una falla o error sin provocar pérdidas de producción.
- Se ajusta dinámicamente según el consumo diario promedio a través de horizontes de tiempo definidos por el usuario.

Una vez realizada la proyección de la implementación en la empresa caso de estudio, se observa que DDMRP es un modelo de reposición funcional y adecuado para gestionar el inventario, ya que mejora el nivel de servicio gracias a la consideración de la demanda calificada, ayuda a que se incremente la rotación de inventario y disminuye el nivel de inventario almacenado.

Todo esto es posible gracias a la dimensión de los buffers que considera el Lead Time de los componentes que normalmente el equipo de planeación no toma en cuenta para el cálculo de las necesidades de material. Además de que esta información acompañada del ADU y el coeficiente de variabilidad de la demanda y el suministro fueron factores importantes para la construcción del buffer, teniendo en cuenta que

el cálculo certero de estos es crucial ya que cualquier cambio o modificación pueden alterar el comportamiento del buffer. Por lo que DDMRP puede considerarse como una metodología robusta y eficaz para la planeación y ejecución de la cadena de suministro de la compañía caso de estudio porque los materiales logran reducir el tiempo de espera, lo que significa mantener niveles de inventarios disponibles sin incurrir en excesos.

Algunos de los hallazgos de la investigación realizada se muestran a continuación:

1. DDMRP puede ser aprovechado de mejor manera, considerando adecuadamente todos los puntos dados por la metodología. Esto debido a que elementos como la variabilidad del suministro y la demanda, el ADU y el Lead Time son factores que afectan el comportamiento de los buffers.
2. DDMRP se basa en la utilización de buffers como sistemas de amortiguación colocados en la lista de materiales para desacoplar el comportamiento variable del aprovisionamiento de los materiales y regular la demanda.
3. DDMRP genera órdenes de pedido que permiten al planeador tener una visión del inventario físico que se tiene almacenado, los pedidos que están pendientes de recibir y la cantidad de flujo neto.
4. DDMRP permite conocer cuáles son las materias primas que se comparten entre diversas referencias lo que asegura un conocimiento certero de los materiales necesarios para lograr la efectividad de la producción.
5. DDMRP combina la variabilidad de la oferta y la demanda en el mismo buffer.
6. DDMRP no actúa sobre el consumo real, sino que considera la demanda actual más los picos de pedidos calificados en un futuro próximo para determinar los nuevos lanzamientos.
7. Los niveles de inventario dados por el buffer absorben la variabilidad de la oferta impidiendo la insuficiencia y el desabastecimiento de los materiales. El

buffer es capaz de ajustarse de tal manera que se compre el material preciso para satisfacer los pedidos de los clientes cuando exista inactividad del proveedor, y reajustarse cuando el proveedor vuelva a su condición habitual.

Los resultados obtenidos con la implementación de DDMRP son favorables ya que mejora la visibilidad en toda la cadena de suministro al conocer el estado de las referencias a través de alertas que advierten la condición del buffer, dando la facultad a todo el personal involucrado de tomar decisiones adecuadas y oportunas.

Es un enfoque que se adapta a ambientes estocásticos, desarrollando una planeación de productos más realista a partir del control del inventario. DDMRP es una metodología prometedora en el campo de la cadena de suministro, en esta investigación mejoró los niveles y disponibilidad del inventario. Sin embargo, se requieren estudios empíricos en diversos sectores que corroboren en qué medida DDMRP perfecciona la logística y la cadena de suministro de las empresas al mismo tiempo que proporciona una ventaja frente a sus competidores.

Los casos que hacen referencia a la investigación empírica mencionan los beneficios obtenidos con la implementación de esta reciente metodología que coincidan con los obtenidos en este trabajo. Las mejoras se han visto reflejadas, principalmente, en el servicio al cliente, el tiempo de espera, nivel de inventario, estructura de costos más bajos y en la eficiencia operacional de la empresa (Miclo *et al.*, 2016), (Ptak y Smith, 2016). Por lo que esta metodología debe implementarse en ambientes más complejos, donde se pueda analizar su comportamiento con listas de materiales más amplias y complejas (Kortabarria *et al.*, 2018), (Ihme, 2015), (Shofa y Widyarto, 2017).

5.1 CONTRIBUCIONES

Si bien la cadena de suministro no es un concepto moderno, su concepción incorpora elementos que aparecen en el dinamismo del mercado, por lo que el entendimiento del mismo es esencial para el desarrollo de una correcta planeación de los materiales que serán necesarios para la producción.

Esta investigación muestra una aportación en la gestión de la cadena de suministro, principalmente en la planeación logística de reaprovisionamiento de inventarios ya que propone la implementación de la metodología Demand Driven MRP como una nueva vía en los métodos de trabajo de planeación. Esto basado en la información del consumo inmediato de los clientes en tiempo real dejando de lado la planeación con base en datos históricos.

Básicamente, con la implementación de los componentes DDMRP se rompe el paradigma de los pronósticos y se exalta la importancia de encaminar las decisiones al ritmo del mercado. Se plantea una guía de la demanda soportada por la metodología en una respuesta rápida cuando se definen los puntos de desacople de la cadena de suministro y los niveles de los buffers.

En esta investigación, DDMRP se muestra como un sistema revolucionario que apoya el reaprovisionamiento de los materiales suple la necesidad de tener cantidades exactas de inventario. Lo que en la práctica se traduce en un inventario constituido en lo que realmente se utilizará en la producción; en lo que se producirá para ser distribuido en el mercado; y finalmente lo que el cliente consumirá. Esto da la razón a las empresas de no centrar la atención en aspectos como faltantes o excesos de inventarios para llevar a cabo la gestión de la organización.

Una de las grandes contribuciones hechas en este trabajo, es dar la importancia al lugar donde se almacenarán ciertas piezas o materiales del inventario incorporando el concepto de buffer. El cual a partir de los puntos de desacople dimensiona la ubi-

cación de manera estratégica de estas piezas, considera el consumo promedio diario y se ajusta dinámicamente. Esto permite realizar de manera constante el recálculo del consumo del artículo seleccionado, contribuyendo al ajuste de las cantidades de inventario de acuerdo al consumo real de la demanda.

Esto permite primordialmente, contar con un sistema de control independiente para cada materia prima de la estructura de cada referencia, que monitorea el comportamiento del inventario respecto a su demanda para una toma de decisiones adecuada sobre la cantidad necesaria a pedir.

Lo anterior, permite satisfacer a los clientes mediante el envío oportuno al mismo tiempo que se compensa el costo en gran medida. Además, cuando es ejecutado el modelo DDMRP la visibilidad apoya la toma de decisiones fiable y permite comunicar la demanda en todos los niveles de la lista de materiales, propiciando la interconexión de las funciones.

5.2 TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro sobre el modelo DDMRP se recomiendan los siguientes puntos:

- Para próximas investigaciones respecto de esta temática se recomienda involucrar en la planeación de los inventarios más actores en la cadena de suministro (proveedores y clientes) para considerar aquellas complejidades que esto conlleva.
- Para abarcar un mayor horizonte de posibilidades se recomienda aplicar la metodología en listas de materiales más amplias y con niveles de variabilidad más altos en la demanda y el suministro, con el objetivo de analizar el comportamiento ante mayores variaciones. Así mismo se puede asumir los materiales en proceso y la capacidad de las máquinas para responder a la demanda de los

clientes.

- La parametrización del lead time y la variabilidad (demanda y suministro) son básicos para la correcta ejecución y construcción del buffer, por lo que optar por parámetros aplicables (perfil del buffer) para todos los productos daría más objetividad a la medición dada por DDMRP.
- Durante esta investigación se trabajaron con datos que sucedieron en un año anterior para hacer una comparación con los resultados obtenidos con respecto a los obtenidos con el sistema actual de la empresa, por lo que se recomienda implementar la metodología con datos de la demanda diaria y real de la compañía.
- Realizar una réplica más profunda de la metodología en un ambiente más amplio y complejo para observar si se obtienen resultados similares y comparar su comportamiento en el proceso de planeación de los materiales.
- Se puede suponer el uso de herramientas electrónicas que brinden información precisa de la recepción de materiales con el fin de trabajar en conjunto con las alertas de ejecución que puedan vincularse automáticamente a las bases de datos de los clientes y proveedores. Esto apoyado de la colaboración e integración de diversas áreas dentro de la compañía e incluso entre los actores de la cadena de suministro.
- Se puede considerar la creación de un software con una interfaz gráfica que se alimente de la información requerida por DDMRP para la generación de órdenes de suministro que permita visualizar el comportamiento de los buffers de manera automatizada.
- El análisis de costos para la toma de decisiones es algo fundamental, principalmente para los directivos de la compañía. De modo que, si esta metodología brinda beneficios relevantes, es importante visualizar la viabilidad de la implantación de este proyecto en la compañía.

- Finalmente, establecer parámetros para la definición de las referencias para el análisis, teniendo en cuenta la diferencia de la cantidad demandada de cada referencia.

APÉNDICE A

DIMENSIÓN DE LOS *buffers*

Tabla A.1: Memoria intermedia durante un periodo de 12 meses - Ref. 5693

Sem.	ADU	LTD	F. de LT	FV	Verde	Amarillo	Rojo
1	11	7	0.5	0.25	39	77	49
2	10	7	0.5	0.25	35	70	44
3	11	7	0.5	0.25	39	77	49
4	10	7	0.5	0.25	35	70	44
5	10	7	0.5	0.25	35	70	44
6	9	7	0.5	0.25	32	63	40
7	9	7	0.5	0.25	32	63	40
8	9	7	0.5	0.25	32	63	40
9	9	7	0.5	0.25	32	63	40
10	9	7	0.5	0.25	32	63	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13 continúa de la página anterior

Sem.	ADU	LTD	FLT	FV	Verde	Amarillo	Rojo
11	8	7	0.5	0.25	28	56	35
12	8	7	0.5	0.25	28	56	35
13	8	7	0.5	0.25	28	56	35
14	9	7	0.5	0.25	32	63	40
15	7	7	0.5	0.25	25	49	32
16	7	7	0.5	0.25	25	49	32
17	7	7	0.5	0.25	25	49	32
18	9	7	0.5	0.25	32	63	40
19	9	7	0.5	0.25	32	63	40
20	9	7	0.5	0.25	32	63	40
21	9	7	0.5	0.25	32	63	40
22	8	7	0.5	0.25	28	56	35
23	10	7	0.5	0.25	35	70	44
24	9	7	0.5	0.25	32	63	40
25	9	7	0.5	0.25	32	63	40
26	9	7	0.5	0.25	32	63	40
27	9	7	0.5	0.25	32	63	40
28	9	7	0.5	0.25	32	63	40
29	9	7	0.5	0.25	32	63	40
30	9	7	0.5	0.25	32	63	40
31	9	7	0.5	0.25	32	63	40
32	9	7	0.5	0.25	32	63	40
33	9	7	0.5	0.25	32	63	40
34	7	7	0.5	0.25	25	49	32
35	8	7	0.5	0.25	28	56	35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13 continúa de la página anterior

Sem.	ADU	LTD	FLT	FV	Verde	Amarillo	Rojo
36	8	7	0.5	0.25	28	56	35
37	8	7	0.5	0.25	28	56	35
38	8	7	0.5	0.25	28	56	35
39	7	7	0.5	0.25	25	49	32
40	7	7	0.5	0.25	25	49	32
41	8	7	0.5	0.25	28	56	35
42	9	7	0.5	0.25	32	63	40
43	9	7	0.5	0.25	32	63	40
44	9	7	0.5	0.25	32	63	40
45	8	7	0.5	0.25	28	56	35
46	9	7	0.5	0.25	32	63	40
47	9	7	0.5	0.25	32	63	40
48	10	7	0.5	0.25	35	70	44
49	10	7	0.5	0.25	35	70	44
50	9	7	0.5	0.25	32	63	40
51	9	7	0.5	0.25	32	63	40
52	9	7	0.5	0.25	32	63	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.2: Memoria intermedia durante un periodo de 12 meses - Ref. 5643

Sem.	ADU	LTD	FLT	FV	Verde	Amarillo	Rojo
1	8	5	0.5	0.5	39	77	49
2	9	5	0.5	0.5	35	70	44
3	9	5	0.5	0.5	39	77	49
4	11	5	0.5	0.5	35	70	44
5	10	5	0.5	0.5	35	70	44
6	12	5	0.5	0.5	32	63	40
7	13	5	0.5	0.5	32	63	40
8	13	5	0.5	0.5	32	63	40
9	13	5	0.5	0.5	32	63	40
10	12	5	0.5	0.5	32	63	40
11	12	5	0.5	0.5	28	56	35
12	11	5	0.5	0.5	28	56	35
13	9	5	0.5	0.5	28	56	35
14	9	5	0.5	0.5	32	63	40
15	9	5	0.5	0.5	25	49	32
16	8	5	0.5	0.5	25	49	32
17	8	5	0.5	0.5	25	49	32
18	9	5	0.5	0.5	32	63	40
19	9	5	0.5	0.5	32	63	40
20	9	5	0.5	0.5	32	63	40
21	9	5	0.5	0.5	32	63	40
22	9	5	0.5	0.5	28	56	35
23	9	5	0.5	0.5	35	70	44
24	9	5	0.5	0.5	32	63	40
25	9	5	0.5	0.5	32	63	40
26	10	5	0.5	0.5	32	63	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13 continúa de la página anterior

Sem.	ADU	LTD	FLT	FV	Verde	Amarillo	Rojo
27	9	5	0.5	0.5	32	63	40
28	8	5	0.5	0.5	32	63	40
29	9	5	0.5	0.5	32	63	40
30	7	5	0.5	0.5	32	63	40
31	7	5	0.5	0.5	32	63	40
32	8	5	0.5	0.5	32	63	40
33	7	5	0.5	0.5	32	63	40
34	7	5	0.5	0.5	25	49	32
35	8	5	0.5	0.5	28	56	35
36	8	5	0.5	0.5	28	56	35
37	8	5	0.5	0.5	28	56	35
38	8	5	0.5	0.5	28	56	35
39	9	5	0.5	0.5	25	49	32
40	9	5	0.5	0.5	25	49	32
41	10	5	0.5	0.5	28	56	35
42	9	5	0.5	0.5	32	63	40
43	9	5	0.5	0.5	32	63	40
44	9	5	0.5	0.5	32	63	40
45	11	5	0.5	0.5	28	56	35
46	10	5	0.5	0.5	32	63	40
47	10	5	0.5	0.5	32	63	40
48	9	5	0.5	0.5	35	70	44
49	8	5	0.5	0.5	35	70	44
50	8	5	0.5	0.5	32	63	40
51	8	5	0.5	0.5	32	63	40
52	9	5	0.5	0.5	32	63	40

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE B

GENERACIÓN DE ÓRDEN

Tabla B.1: Flujo neto durante 16 semanas- Ref. 5693

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5693																
Inventario disponible	150	162	226	176	239	190	215	141	174	151	192	180	204	164	154	213
Inventario bajo pedido	50	105	15	90	0	60	15	75	45	60	15	45	15	60	75	0
Inventario recibidos	0	50	105	15	90	0	60	15	75	45	60	15	45	15	60	75
Demanda calificada	127	130	154	116	138	124	159	112	138	89	120	114	148	163	109	147
Flujo neto	73	137	87	150	101	126	71	104	81	122	87	111	71	61	120	66
Inventario fisico final	112	171	266	164	280	155	186	114	181	177	225	174	194	109	198	234

	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Generar orden de pedido	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Cantidad sugerida	92	12	78	-1	48	9	64	31	54	13	32	8	48	74	-14	40
Cantidad sugerida	105	15	90	0	60	15	75	45	60	15	45	15	60	75	0	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla B.2: Flujo neto durante 16 semanas- Ref. 5643

5643	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Inventario disponible	160	181	147	132	152	132	132	142	158	188	213	218	186	181	184	117
Inventario bajo pedido	50	15	60	75	75	90	105	105	90	60	30	15	45	30	30	60
Inventario recibidos	0	50	15	60	75	75	90	105	105	90	60	30	15	45	30	30
Demanda calificada	124	144	170	150	190	185	184	186	157	132	122	144	147	124	160	148
Flujo neto	86	52	37	57	37	37	53	61	91	116	121	89	84	87	54	29
Inventario físico final	131	182	87	137	132	117	127	158	203	243	248	201	151	199	117	95

Generar orden	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cantidad sugerida	4	51	66	68	76	98	95	87	57	19	14	36	19	16	49	61
Cantidad sugerida	15	60	75	75	90	105	105	90	60	30	15	45	30	30	60	75

Fuente: Elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA

- APICS (2017), «American Production and Inventory Control Society (APICS)»,
url<http://www.apics.org/>.
- AWHEDA, A., M. N. AB RAHMAN, R. RAMLI y H. ARSHAD (2016), «Factors related to supply chain network members in SMEs», *Journal of Manufacturing Technology Management*, **27**(2), págs. 312–335.
- AYERS, J. B. y D. M. MALMBERG (2002), «Supply chain systems: are you ready?», *Information Strategy: The Executive's Journal*, **19**(1), págs. 18–27.
- BABAI, M. Z., A. A. SYNTETOS, Y. DALLERY y K. NIKOLOPOULOS (2009), «Dynamic re-order point inventory control with lead-time uncertainty: analysis and empirical investigation», *International Journal of Production Research*, **47**(9), págs. 2461–2483.
- BASHYAM, S. y M. C. FU (1998), «Optimization of (s, S) inventory systems with random lead times and a service level constraint», *Management Science*, **44**(12-part-2), págs. S243–S256.
- BASHYAM, T. (1996), «Competitive capacity expansion under demand uncertainty», *European Journal of Operational Research*, **95**(1), págs. 89–114.
- BEGEN, M. A., H. PUN y X. YAN (2016), «Supply and demand uncertainty reduction efforts and cost comparison», *International Journal of Production Economics*, **180**, págs. 125–134.

- BEHESHTI, H. M. (2010), «A decision support system for improving performance of inventory management in a supply chain network», *International Journal of Productivity and Performance Management*, **59**(5), págs. 452–467.
- BENTON, W. y H. SHIN (1998), «Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration», *European Journal of Operational Research*, **110**(3), págs. 411–440.
- BEYER, D., F. CHENG, S. P. SETHI, M. TAKSAR *et al.* (2010), *Markovian demand inventory models*, Springer.
- BHATNAGAR, R. y A. S. SOHAL (2005), «Supply chain competitiveness: measuring the impact of location factors, uncertainty and manufacturing practices», *Technovation*, **25**(5), págs. 443–456.
- BLACKBURN, J., D. H. KROPP y R. MILLEN (1986), «A Comparison of Strategies to Dampen Nervousness in MRP Systems», *Management Science*, **32**, págs. 413–429.
- BONNEY, M. (1994), «Trends in inventory management», *International Journal of Production Economics*, **35**(1-3), págs. 107–114.
- BOOKBINDER, J. H. y M. ÇAKANYILDIRIM (1999), «Random lead times and expedited orders in (Q, r) inventory systems», *European Journal of Operational Research*, **115**(2), págs. 300–313.
- BOWERSOX, D. J., D. J. CLOSS y M. B. COOPER (2007), *Administración y logística en la cadena de suministros*, McGraw-Hill,.
- BRAITHWAITE, D., ALAN Y HALL (1999), «Risky business? Critical decisions in supply chain management: part 1», *Supply Chain Practice*, **1**(2), págs. 40–57.
- BRAZ, A. C., A. M. D. MELLO, L. A. DE VASCONCELOS GOMES y P. T. DE SOUZA NASCIMENTO (2018), «The bullwhip effect in closed-loop supply chains: A systematic literature review», *Journal of Cleaner Production*, **202**, págs. 376–389.

- BROWNE, S., P. ZIPKIN *et al.* (1991), «Inventory models with continuous, stochastic demands», *The Annals of Applied Probability*, **1**(3), págs. 419–435.
- CANACINTRA (2015), «Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA)», [urlhttps://canacindra.org.mx/camara/](https://canacindra.org.mx/camara/).
- CANNELLA, S., J. M. FRAMINAN, M. BRUCCOLERI, A. P. BARBOSA-PÓVOA y S. RELVAS (2015), «The effect of Inventory Record Inaccuracy in Information Exchange Supply Chains», *European Journal of Operational Research*, **243**(1), págs. 120–129.
- CECERE, L., D. HOFMAN, R. MARTIN y L. PRESLAN (2005), «The handbook for becoming demand driven», *AMR Research*.
- CHEN, H., M. Z. FRANK y O. Q. WU (2007), «US retail and wholesale inventory performance from 1981 to 2004», *Manufacturing & Service Operations Management*, **9**(4), págs. 430–456.
- CHEN, Q. y R. H. GERLACH (2013), «The two-sided Weibull distribution and forecasting financial tail risk», *International Journal of Forecasting*, **29**(4), págs. 527–540.
- CHEN, S.-P. (2011), «A membership function approach to lot size re-order point inventory problems in fuzzy environments», *International Journal of Production Research*, **49**(13), págs. 3855–3871.
- CONSULTANTS, C. M. (2018), «Demand- Driven Supply Chain Managment», [urlhttps://www.camelot-mc.com](https://www.camelot-mc.com).
- CORREA, H. L. y I. G. GIANESI (2000), *Just in Time, MRP II E OPT: Um Enfoque Estratégico* ., Editora Atlas SA.
- CROXTON, K. L., D. M. LAMBERT, S. J. GARCÍA-DASTUGUE y D. S. ROGERS (2002), «The demand management process», *The International Journal of Logistics Management*, **13**(2), págs. 51–66.

- CSCMP (2013), «Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)», [ürlhttps://cscmp.org](https://cscmp.org)”.
- DE KOK, T. G. y J. C. FRANSOO (2003), «Planning Supply Chain Operations: Definition and Comparison of Planning Concepts», **11**, págs. 597–675.
- DE VRIES, J. (2007), «Diagnosing inventory management systems: An empirical evaluation of a conceptual approach», *International Journal of Production Economics*, **108**(1), págs. 63–73.
- DER VORST, J. G. V. y A. J. BEULENS (2002), «Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **32**(6), págs. 409–430.
- DOLGUI, A. y C. PRODHON (2007), «Supply planning under uncertainties in MRP environments: A state of the art», *Annual Reviews in Control*, **31**(2), págs. 269–279.
- DOWNEY, K., Y. ZHANG, C. URBANO y T. KLINGER (2014), «A Comparative Study of Print Book and DDA Ebook Acquisition and Use», *Technical Services Quarterly*, **31**(2), págs. 139–160.
- FANG, X., C. ZHANG, D. J. ROBB y J. D. BLACKBURN (2013), «Decision support for lead time and demand variability reduction», *Omega*, **41**(2), págs. 390–396.
- FIOM, S. (2012), «Effective and efficient use of safety or buffer stock», *Operations Management*, **5**, págs. 27–31.
- FISHER, M., K. RAJARAM y A. RAMAN (2001), «Optimizing inventory replenishment of retail fashion products», *Manufacturing & service operations management*, **3**(3), págs. 230–241.
- FISHER, M. L. (2001), «What is the right supply chain for your product?», *Harvard Business Review*, **72**(2), págs. 105–116.

- FORRESTER, J. W. (1997), «Industrial dynamics», *Journal of the Operational Research Society*, **48**(10), págs. 1037–1041.
- FRISCIA, T., K. O'MARAH, D. HOFMAN y J. SOUZA (2009), «The AMR research supply chain top 25 for 2009», *AMR Research*.
- GEBENNINI, E., R. GAMBERINI y R. MANZINI (2009), «An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization», *International Journal of Production Economics*, **122**(1), págs. 286–304.
- GLOCK, C. H., J. M. RIES *et al.* (2012), «Channel coordination and variance reduction in a newsvendor setting», *International Journal of Services and Operations Management*, **12**(3), págs. 269–288.
- GODINHO FILHO, M. y F. C. F. FERNANDES (2006), «Redução da instabilidade e melhoria de desempenho do sistema MRP», *Production*, **16**, págs. 64–79.
- GOLDRATT, E. M. (1988), «Computerized shop floor scheduling», *International Journal of Production Research*, **26**(3), págs. 443–455.
- GUPTA, A., A. BHARDWAJ y A. KANDA (2010), «Fundamental concepts of Theory of Constraints: An emerging philosophy», *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **46**, págs. 686–692.
- GUPTA, M. y D. SNYDER (2009), «Comparing TOC with MRP and JIT: a literature review», *International Journal of Production Research*, **47**(13), págs. 3705–3739.
- GUPTA, Y. P. y M. C. GUPTA (1989), «A system dynamics model for a multi-stage multi-line dual-card JIT-kanban system.», *International Journal of Production Research*, **27**(2), pág. 309.
- HAYYA, J. C., D. P. CHRISTY y A. PAN (1987), «Reducing inventory uncertainty: A reorder point system with two vendors.», *Prod. Inventory Manage.*, **28**(2), págs. 43–49.

- HECKMANN, I., T. COMES y S. NICKEL (2015), «A critical review on supply chain risk – Definition, measure and modeling», *Omega*, **52**, págs. 119–132.
- HERNANDEZ GAONA, M. P. R., JOSÉ L. (2005), *MRP vs JIT ventajas y desventajas de cada uno y la posibilidad de combinarlos*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de México.
- HERTZEL, M. G., Z. LI, M. S. OFFICER y K. J. RODGERS (2008), «Inter-firm linkages and the wealth effects of financial distress along the supply chain», *Journal of Financial Economics*, **87**(2), págs. 374–387.
- HIGLE, J. L. y K. G. KEMPF (2011), *Production Planning Under Supply and Demand Uncertainty: A Stochastic Programming Approach*, Springer New York, New York, NY, págs. 297–315.
- HOPP, W. J. y M. L. SPEARMAN (2011), *Factory physics*, Waveland Press.
- HULL, B. Z. (2005), «Are supply (driven) chains forgotten?», *The International Journal of Logistics Management*, **16**(2), págs. 218–236.
- IHME, M. (2015), *Interpreting and applying demand driven MRP: a case study*, Tesis Doctoral, Nottingham Trent University.
- INEGI (2017), «Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)», [urlhttps://www.inegi.org.mx/](https://www.inegi.org.mx/).
- JIANG, J. y S.-C. RIM (2016), «Strategic Inventory Positioning in BOM with Multiple Parents Using ASR Lead Time», *Mathematical Problems in Engineering*, **2016**, págs. 1–9.
- KING, P. L. (2011), «Crack the code: Understanding safety stock and mastering its equations», *APICS magazine*, **21**(2011), págs. 33–36.
- KOH, S. C. L., S. M. SAAD y M. JONES (2002), «Uncertainty under MRP-planned manufacture: review and categorization», *International journal of production research*, **40**(10), págs. 2399–2421.

- KORTABARRIA, A., U. APAOLAZA, A. LIZARRALDE y I. AMORRORTU (2018), «Material management without forecasting: From MRP to demand driven MRP», *Journal of Industrial Engineering and Management*, **11**, pág. 632.
- KUMAR, S. K., M. TIWARI y R. F. BABICEANU (2010), «Minimisation of supply chain cost with embedded risk using computational intelligence approaches», *International Journal of Production Research*, **48**(13), págs. 3717–3739.
- KWAK, J. K. y S. GAVIRNENI (2015), «Impact of information errors on supply chain performance», *Journal of the Operational Research Society*, **66**(2), págs. 288–298.
- LEE, C. Y. (1993), «A Recent Development of the Integrated Manufacturing System: A Hybrid of MRP and JIT», *International Journal of Operations & Production Management*, **13**(4).
- LEE, H. (2002), «Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties», *California Management Review*, **44**(3), págs. 105–119.
- LEE, H. y J. WU (2006), «A study on inventory replenishment policies in a two-echelon supply chain system», *Computers & Industrial Engineering*, **51**(2), págs. 257–263.
- LEE, H. L., V. PADMANABHAN y S. WHANG (1997a), «The bullwhip effect in supply chains», *Sloan management review*, **38**, págs. 93–102.
- LEE, H. L., V. PADMANABHAN y S. WHANG (1997b), «Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect», *Management science*, **43**(4), págs. 546–558.
- LIKER, J. K. (2005), *The toyota way*, Esensi.
- LOCKAMY, A. y K. MCCORMACK (2010), «Analysing risks in supply networks to facilitate outsourcing decisions», *International Journal of Production Research*, **48**(2), págs. 593–611.
- MA, J., T. LEI y G. E. OKUDAN (2013), «EOQ-based inventory control policies for perishable items: The case of blood plasma inventory management», .

- MACCHI, M., F. KRISTJANPOLLER, M. GARETTI, A. ARATA y L. FUMAGALLI (2012), «Introducing buffer inventories in the RBD analysis of process production systems», *Reliability Engineering & System Safety*, **104**, págs. 84–95.
- MARSCHAK, T., J. GEORGE SHANTHIKUMAR y J. ZHOU (2015), «A newsvendor who chooses informational effort», *Production and Operations Management*, **24**(1), págs. 110–133.
- MARTÍN-ANDINO, R. (2006), «Gestión de inventarios y compras», *España: Escuela de Organización Industrial*.
- MENDES, P. y S. LINK (2011), *Demand Driven Supply Chain: A Structured and Practical Roadmap to Increase Profitability*, Springer Berlin Heidelberg.
- MICLO, R., F. FONTANILI, M. LAURAS, J. LAMOTHE y B. MILIAN (2016), «An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP», *IFAC-PapersOnLine*, **49**, págs. 1725–1730.
- MICLO, R., M. LAURAS, F. FONTANILI, J. LAMOTHE y S. A. MELNYK (2017), «Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management», *International Journal of Production Research*, **57**(1), págs. 166–181.
- MILNE, R. J., S. MAHAPATRA y C.-T. WANG (2015), «Optimizing planned lead times for enhancing performance of MRP systems», *International Journal of Production Economics*, **167**, págs. 220–231.
- MIN, H. y G. ZHOU (2002), «Supply chain modeling: past, present and future», *Computers & Industrial Engineering*, **43**(1), págs. 231–249.
- MISHRA, S., S. B. MODI y A. ANIMESH (2013), «The relationship between information technology capability, inventory efficiency, and shareholder wealth: A firm-level empirical analysis», *Journal of Operations Management*, **31**(6), págs. 298–312.

- MULA, J., R. POLER y J. P. GARCÍA (2006), «Evaluación de Sistemas para la Planificación y Control de la Producción», *Información tecnológica*, **17**(1), págs. 19–34.
- NARASIMHAN, S. L., D. W. MCLEAVEY y P. J. BILLINGTON (1996), *Planeación de la producción y control de inventarios*, Prentice-Hall Hispanoamericana.
- NEALE, J., H. LEE y T. HARRISON (2006), «The Practice of Supply Chain Management: Where Theory and Application Converge. International Series in Operations Research & Management Science», .
- OHNO, T. (1988), *Toyota production system: beyond large-scale production*, crc Press.
- PLOSSL, G. y J. ORLICKY (1994), *Orlicky's Material Requirements Planning*, McGraw-Hill Companies, Incorporated.
- PONCE, A. R. (1992), *Administración moderna*, Limusa.
- PTAK, C. y C. SMITH (2011), *Orlicky's Material Requirements Planning 3/E*, McGraw-Hill's AccessEngineering, McGraw-hill.
- PTAK, C. A. y C. SMITH (2016), *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*, Industrial Press, Incorporated.
- RAINNIE, A. (1991), «Just-in-Time, Sub-Contracting and the Small Firm», *Work, Employment and Society*, **5**(3), págs. 353–375.
- RAY, S. y E. JEWKES (2004), «Customer lead time management when both demand and price are lead time sensitive», *European Journal of Operational Research*, **153**(3), págs. 769–781.
- REN, S., H.-L. CHAN y P. RAM (2017), «A comparative study on fashion demand forecasting models with multiple sources of uncertainty», *Annals of Operations Research*, **257**(1-2), págs. 335–355.

- RIM, S.-C., J. JIANG y C. J. LEE (2014), «Strategic inventory positioning for MTO manufacturing using ASR lead time», , págs. 441–456.
- ROSSI, T., R. POZZI, M. PERO y R. CIGOLINI (2017), «Improving production planning through finite-capacity MRP», *International Journal of Production Research*, **55**(2), págs. 377–391.
- SABRI, E. y B. BEAMON (2000), «A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design», *Omega*, **28**(5), págs. 581–598.
- SERRANO, M. J. E. (2009), *Gestión de aprovisionamiento: administración*, Editorial Paraninfo.
- S.G. DESHMUKH, T. J. V. N., YEAR=2015 () .
- SHANG, J., P. R. TADIKAMALLA, L. J. KIRSCH y L. BROWN (2008), «A decision support system for managing inventory at GlaxoSmithKline», *Decision Support Systems*, **46**(1), págs. 1–13.
- SHENOY, D. y R. ROSAS (2018), *Introduction to Inventory Management*, Springer International Publishing, págs. 3–11.
- SHOFA, M. J., A. O. MOEIS y N. RESTIANA (2018), «Effective production planning for purchased part under long lead time and uncertain demand: MRP Vs demand-driven MRP», pág. 12055.
- SHOFA, M. J. y W. O. WIDYARTO (2017), «Effective production control in an automotive industry: MRP vs. demand-driven MRP», *AIP Conference Proceedings*, **1855**(1).
- SILVER, E. A., D. F. PYKE, R. PETERSON *et al.* (1998), *Inventory management and production planning and scheduling*, tomo 3, Wiley New York.
- SILVER, E. A., D. F. PYKE y D. J. THOMAS (2016), *Inventory and production management in supply chains*, CRC Press.

- ŞİMŞİT, Z. T., N. S. GÜNAY y Z. VAYVAY (2014), «Theory of constraints: A literature review», *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **150**, págs. 930–936.
- SINGH, D. y A. VERMA (2018), «Inventory Management in Supply Chain», *Materials Today: Proceedings*, **5**(2, Part 1), págs. 3867–3872.
- SIPPER, D. y R. L. BULFIN (1999), *Planeación y control de la producción*.
- SMITH, D. y C. SMITH (2013), *Demand Driven Performance*, McGraw Hill Professional.
- SNYDER, L. V., Z. ATAN, P. PENG, Y. RONG, A. J. SCHMITT y B. SINSOYSAL (2016), «OR/MS models for supply chain disruptions: a review», *IIE Transactions*, **48**(2), págs. 89–109.
- SODHI, M. S., N. S. SODHI y C. S. TANG (2014), «An EOQ model for MRO customers under stochastic price to quantify bullwhip effect for the manufacturer», *International Journal of Production Economics*, **155**, págs. 132–142.
- SREEDEVI, R. y H. SARANGA (2017), «Uncertainty and supply chain risk: The moderating role of supply chain flexibility in risk mitigation», *International Journal of Production Economics*, **193**, págs. 332–342.
- STEVENSON, W. J., M. HOJATI y J. CAO (2007), *Operations management*, tomo 8, McGraw-Hill/ Irwin Boston.
- SWANN, D. (1986), «Using MRP for optimized schedules (emulating OPT)», *Production and Inventory Management*, **27**(2), págs. 30–37.
- TANEL, T. L. (2012), «How to make EOQ relevant again», [urlhttps://search.proquest.com/docview/1422206871?accountid=43860](https://search.proquest.com/docview/1422206871?accountid=43860).
- TECH, D. D. (2019), «Demand Driven Latin America (DDLA)», [urlhttp://demanddrivenlatam.com/](http://demanddrivenlatam.com/).
- THORSEN, A. y T. YAO (2017), «Robust inventory control under demand and lead time uncertainty», *Annals of Operations Research*, **257**(1), págs. 207–236.

- TORKUL, O., R. YILMAZ, H. SELVI y M. CESUR (2016), «A real-time inventory model to manage variance of demand for decreasing inventory holding cost», *Computers & Industrial Engineering*, **102**, págs. 435–439.
- TRAPERO, J. R., M. CARDÓS y N. KOURENTZES (2019), «Empirical safety stock estimation based on kernel and GARCH models», *Omega*, **84**, págs. 199–211.
- UPTON, D. M. (1994), «The management of manufacturing flexibility», *California management review*, **36**(2), págs. 72–89.
- VINSON, C. E. (1972), «The cost of ignoring lead time unreliability in inventory theory», *Decision Sciences*, **3**(2), págs. 87–105.
- VOLLMANN, T. E., W. BERRY, D. WHYBARK y F. JACOBS (2005), «Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain», *Irwin, NY*.
- WANG, X. y S. M. DISNEY (2016a), «The bullwhip effect: Progress, trends and directions», *European Journal of Operational Research*, **250**(3), págs. 691–701.
- WANG, X. y S. M. DISNEY (2016b), «The bullwhip effect: Progress, trends and directions», *European Journal of Operational Research*, **250**(3), págs. 691–701.
- WHITIN, T. M. (1955), «Inventory control and price theory», *Management science*, **2**(1), págs. 61–68.
- WILDING, R. (1998), «The supply chain complexity triangle: uncertainty generation in the supply chain», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **28**(8), págs. 599–616.