

MARCO DE REFERENCIA PARA LA IMPLEMENTACION DE  
DDMRP EN LA PLANTA DE NON STICK GSA

JOSE LUIS BUILES HENAO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en  
ingeniería

Asesor: Carlos Alberto Castro Zuluaga

MEDELLIN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERIA

2019

Nota de aceptación

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Medellín, 14 de mayo de 2019

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	13
2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
3. OBJETIVOS .....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. ESTADO DEL ARTE .....	18
4.1 SISTEMAS TIPO PUSH .....	18
4.1.1 Planificación de requerimientos de material MRP .....	19
4.2 SISTEMAS TIPO PULL .....	21
4.2.1 Sistema Kanban específico .....	22
4.2.2 Sistemas Base-Stock.....	23
4.2.3 Sistema Kanban extendido .....	24
4.2.4 Trabajo en proceso constante (ConWIP).....	25
5. MARCO CONCEPTUAL DEL MODELO DDMRP .....	26
5.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO DEL INVENTARIO (BUFFER).....	27
5.1.1 Factores de Posicionamiento estratégico de inventario (buffer) .....	29
5.1.2 Ejemplo punto de desacople.....	31
5.2 PERFILES Y NIVELES DE BUFFER.....	34
5.2.1 Definición de Lead time .....	35
5.2.2 Perfil del buffer.....	37
5.2.3 Factor de Lead time (LTF) .....	41
5.2.4 Factor de variabilidad.....	42
5.2.5 Cálculo de la zona amarilla del buffer .....	42
5.2.4 Cálculo de la zona verde del buffer.....	44
5.2.6 Cálculo de la zona roja del buffer .....	45
5.3 AJUSTES DINAMICOS .....	47

5.3.1 Ajustes recalculados .....	47
5.3.2 Factor de ajuste planeado (PAF) .....	48
5.4 PLANEACIÓN DEMAND DRIVEN O BASADA EN LA DEMANDA .....	50
5.4.1 Ecuación de flujo neto.....	50
5.4.2 Picos de demanda calificados .....	52
5.4.3 Explosión desacoplada .....	54
5.5 EJECUCION VISIBLE Y COLABORATIVA .....	55
6. PILOTO IMPLEMENTACION DDMRP .....	59
6.1 ESQUEMA DE FABRICACIÓN ACTUAL PROCESO NON STICK .....	59
6.2 POSICIONAMIENTO PUNTOS DE DESACOPLE .....	59
6.3 DEFINICION DE PARAMETROS PARA CALCULO DE BUFFER .....	61
6.4 ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARAMETROS DEL BUFFER.....	61
6.5 SIMULACION MODELO DESACOPLE PROPUESTO.....	63
7. CONCLUSIONES.....	65
8. RECOMENDACIONES .....	66
9. BIBLIOGRAFIA .....	67
10. ANEXOS .....	69

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Sistemas tipo Push .....	18
<b>Figura 2:</b> Proceso MRP .....	19
<b>Figura 3:</b> Sistema tipo Pull .....	22
<b>Figura 4:</b> Sistema Kanban específico .....	22
<b>Figura 5:</b> Sistema Base-Stock.....	24
<b>Figura 6:</b> Sistema Kanban extendido .....	24
<b>Figura 7:</b> Trabajo e proceso constante (ConWIP).....	25
<b>Figura 8:</b> Seis pilares DDMRP .....	26
<b>Figura 9:</b> Los cinco componentes de DDMRP .....	27
<b>Figura 10:</b> Efecto Látigo .....	28
<b>Figura 11:</b> Fuentes de variabilidad .....	28
<b>Figura 12:</b> Proceso con punto de desacople.....	31
<b>Figura 13:</b> BOM y esquema de fabricación FPG y FPH.....	31
<b>Figura 14:</b> Ejemplo esquema de fabricación desacoplado.....	33
<b>Figura 15:</b> Representación Buffer .....	35
<b>Figura 16:</b> Lead time de manufactura (MLT).....	36
<b>Figura 17:</b> Lead time acumulado (CLT) .....	36
<b>Figura 18:</b> Lead time desacoplado (DLT).....	37
<b>Figura 19:</b> Buffer total .....	46
<b>Figura 20:</b> Ajuste Recalculado ADU.....	48
<b>Figura 21:</b> Ajuste de demanda DAF.....	49
<b>Figura 22:</b> Componentes ecuación de flujo neto.....	51
<b>Figura 23:</b> Ejemplo ecuación flujo neto .....	52
<b>Figura 24:</b> Umbral de picos y horizonte de picos .....	53
<b>Figura 25:</b> Explosión desacoplada .....	55
<b>Figura 26:</b> Alertas DDMRP.....	56

<b>Figura 27:</b> Priorización por estado del buffer .....	57
<b>Figura 28:</b> Buffer de planeación y ejecución .....	57
<b>Figura 29:</b> Esquema de fabricación actual.....	59
<b>Figura 30:</b> Esquema de fabricación con puntos de desacople.....	60
<b>Figura 31:</b> Análisis de sensibilidad parámetros buffer.....	62
<b>Figura 32:</b> Tamaño del buffer.....	63
<b>Figura 33:</b> Simulación Buffer.....	64

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Factores de posicionamiento estratégico de inventario.....	30
<b>Tabla 2:</b> Consideraciones de ubicación punto de desacople .....	32
<b>Tabla 3:</b> Clasificación Lead time.....	39
<b>Tabla 4:</b> Perfiles de Buffer.....	40
<b>Tabla 5:</b> Rango factor Lead time .....	41
<b>Tabla 6:</b> Rango factor de variabilidad.....	42
<b>Tabla 7:</b> Datos ejemplo cálculo de buffer .....	43
<b>Tabla 8:</b> Criterios puntos de desacople .....	60
<b>Tabla 9:</b> Parámetros modelo propuesto. ....	61
<b>Tabla 10:</b> Consumo promedio Diario.....	61

## TABLA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Cantidad económica de producción.....	69
<b>Anexo 2:</b> Varianza.....	69
<b>Anexo 3:</b> Desviación estándar .....	70
<b>Anexo 4:</b> Coeficiente de variación.....	70
<b>Anexo 5:</b> Coeficiente de variación del cuadrado .....	70
<b>Anexo 6:</b> Error porcentual absoluto medio (MAPE) .....	71
<b>Anexo 7:</b> Intervalo de demanda promedio (ADI).....	71
<b>Anexo 8:</b> Hoja de cálculo para Simulación y cálculo de buffer.....	72

## GLOSARIO

ADU: Consumo promedio diario, en inglés Average Daily Usage. Es el promedio de consumo diario para cada material.

BOM: lista de materiales, en inglés Bill Of Material. Es la receta de fabricación para un componente manufacturado, la cual contiene el detalle de los elementos y cantidades necesarias para la fabricación de una parte específica.

CLT: Lead time acumulado, en inglés Cumulative Lead Time, es el tiempo acumulado más largo necesario para llevar a cabo una actividad determinada.

DAF: Factor de ajuste de demanda, en inglés Demand Adjustment Factor. Factor utilizado para modificar al alza o a la baja el consumo promedio diario (ADU).

DLT: Lead time desacoplado, en inglés Decoupled Lead Time. Es la secuencia más larga no protegida (sin buffer) en una lista de materiales.

EPQ: Cantidad económica de producción o EPQ por las siglas en inglés para Economic Production Quantity.

Lead time: Es el tiempo que ocurre desde que una orden es puesta en el sistema (Fecha de Ingreso de la Orden) hasta el día que el cliente interno o externo espera tener el material en su sitio (Fecha Esperada).

LTF: Factor de Lead time, en inglés Lead Time Factor. Factor aplicado a la demanda promedio diaria de un componente (ADU) para calcular tanto la zona verde como la roja en el buffer. Depende de la categoría del lead time (alta, media o baja).

LTAF: Factor de ajuste del lead time, en inglés Lead Time Adjustment Factor. Factor aplicado al Lead time para modificar al alza o la baja el lead time de un producto.

MLT: Lead time de manufactura, en inglés Manufacturing Lead Time. Es el tiempo total requerido para la producción de un artículo

MOQ: Cantidad mínima de orden, en inglés Minimum Order Quantity. Es la cantidad mínima que puede ser ordenada.

NFE: Ecuación de flujo neto, en inglés Net Flow Equation. Cálculo para determinar el estado de planificación de un elemento almacenado en el buffer.

On-hand: hace referencia al inventario a la mano o inventario disponible.

PAF: Factor de ajuste planeado, en inglés Planned Adjustment Factor. Manipulaciones a la ecuación del buffer que afectan la posición de inventario aumentando o disminuyendo los niveles de buffer

PO: Orden de compra en inglés Purchase Order. Documento que identifica los sku's, cantidades y fechas de entrega.

SKU: Siglas en inglés para Stock Keeping Unit, código de artículo.

TOC: Siglas para Teoría de Restricciones, en inglés Theory of Constraints. Filosofía de gestión holística que se basa en el principio de que los sistemas complejos exhiben simplicidad inherente, una restricción que limita la capacidad del sistema.

TOG: Tope de verde, en inglés Top Of Green. Máximo nivel del buffer resulta de sumar las zonas roja, amarilla y verde de un buffer.

TOR: Tope de rojo, en inglés Top Of Red. Máximo nivel de la zona roja del buffer.

TOY: Tope de amarillo, en inglés Top Of Yellow. Nivel del buffer resultante de sumar la zona roja y amarilla buffer. Indica el punto desde el cual se generan necesidades de abastecimiento.

Variabilidad: medida de la dispersión de una variable con respecto a su media. Los estadísticos más utilizados para medirla son la varianza y la desviación estándar.

WIP: trabajo en proceso, en inglés Work In Process.

ZAF: Factor de ajuste de zona, en inglés Zone Adjustment Factor. Factor que incrementa o disminuye una zona específica del buffer.

## RESUMEN

DDMRP es una metodología reciente de planificación diseñada para gestionar las cadenas de suministros complejas, donde la variabilidad excesiva hace inoperantes otras metodologías como MRP. Con el objetivo de reducir la propagación de la variabilidad, DDMRP se basa en 5 pasos pensados para proteger y promover el flujo de información relevante i) posicionamiento estratégico de inventario. ii) perfiles y niveles de buffer. iii) ajustes dinámicos iv) planeación basada en la demanda y v) ejecución visible y colaborativa.

El presente trabajo, define el marco conceptual para la implementación de la metodología DDMRP, al tiempo que mediante simulaciones y análisis de sensibilidad pone a prueba la robustez y los parámetros en lo que se basa el modelo para enfrentarse a variaciones en la demanda. Los resultados son expuestos al finalizar el documento.

**Palabras clave:** DDMRP, variabilidad, buffer, desacople, ajuste dinámico, nivel de servicio, información relevante.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la década de los 50's se desarrolló e implementó la metodología de Planificación de Requerimientos de Materiales o MRP por sus siglas en inglés (Material Requirements Planning) y desde entonces se convirtió en la base de la planificación y control de producción actual en la mayoría de las empresas (Mohebb at al, 2007).

Como fruto del trabajo de Joseph Orlicky, Oliver Wight y otros profesionales adscritos a A.P.I.C.S. (American Production and Inventory Society) las empresas han podido mejorar la calidad y la efectividad de su planificación y programación para elementos de demanda dependiente, lo cual en parte se debe a la lógica de la lista de materiales (BOM, Bill Of Materials), en donde las necesidades independientes pueden explosionarse y generar necesidades de fabricación y programas de suministros que garantizan que los componentes lleguen justo cuando se necesitan, proporcionado a los gerentes un sistema integrado para evaluar los impactos potenciales de los cambios propuestos en el plan de suministro. (Miclos et al, 2018).

La lógica simple y coherente impulsó la popularidad del MRP, sin embargo, esta simplicidad se logra tomando una visión determinística de las condiciones operativas que son inconsistentes con la realidad (Mohebb at al, 2007). En la actualidad, por ejemplo, el tiempo de tolerancia de los clientes es mucho más corto, la variedad y complejidad de los productos ha aumentado, la cadena de suministro ha evolucionado y se ha extendido por todo el mundo, y la variabilidad ha llegado para quedarse, (Ptak y Smith, 2016).

La planificación de las necesidades de material impulsada por la demanda DDMRP por sus siglas en inglés (Demand Driven Material Requirements Planning), es un método reciente y prometedor, que está diseñado para abordar las condiciones anteriormente descritas. DDMRP es un método completo de planificación que

busca gestionar la cadena de suministro a partir de la demanda de los clientes (Miclos, 2016).

El presente trabajo sirve como marco de referencia para la implementación de la metodología DDMRP en GSA, específicamente en su línea de producción Non Stick

Adicionalmente, a través de la realización de una prueba piloto se logra evidenciar el aumento en el nivel de servicio y la reducción en los niveles de inventario de producto terminado al implementar la metodología. De igual forma, se pone a prueba la robustez de los supuestos en los que se fundamenta DDMRP, a la vez de que se exponen las ventajas y desventajas asociadas a la metodología.

Finalmente se identifican puntos críticos en la aplicación de la metodología DDMRP y se hacen recomendación con el fin de servir como guía en la implementación en diferentes sectores y/o procesos de manufactura.

## 2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Satisfacer las necesidades de los clientes a la vez de que se construyen márgenes financieros favorables son el propósito general de cada empresa. Para lograr estas metas, se debe encontrar un compromiso entre varios factores: las entregas a tiempo, la reducción de los plazos de entrega, niveles óptimos de inventarios tanto de producto terminado, materia prima y trabajo en proceso (WIP), además de la reducción de los costos de los bienes vendidos (Miclos at al, 2016).

El comportamiento general del mercado ha evolucionado en los últimos 30 años (Ptak y Smith, 2016). Esta evolución ha traído consigo aumentos en la incertidumbre de la demanda, variabilidad en los tiempos de suministro y producción, así como cambios significativos al interior de las organizaciones. El aumento de la variabilidad dificulta poder establecer previsiones de consumos más precisos generando alto nerviosismo en el comportamiento de metodologías de planificación y control tradicionales como el MRP, (Lee y Billington, 1992). La vieja metodología de empujar y promover (push and promote) resulta obsoleta para lidiar con estas nuevas realidades. Es por esto por lo que debe darse un salto a metodologías que protejan y maximicen el flujo de materiales e información relevante, requisitos indispensables para gestionar las cadenas de suministros en ambientes altamente variables, volátiles y complejos como los de hoy (Ptak y Smith, 2016).

GSA, no ha sido ajena a los inconvenientes inherentes de las metodologías de planificación y control de la producción MRP y ha visto como su nivel de servicio se ha deteriorado paulatinamente hasta llegar a niveles del 88% en el sector de manufactura y comercialización de utensilios para la cocina y pequeños electrodomésticos, donde el estándar exige una media mínima de 93%. Esta diferencia, no solo implica una pérdida de volumen en ventas, sino que acarrea multas por incumplimientos en el nivel de servicio, así como también, deterioro en la credibilidad de la marca.

Frente a esta situación, resulta indispensable replantear el proceso de planificación y control de la producción actualmente utilizado, implementando nuevas metodologías que permitan minimizar el impacto de la variabilidad y la incertidumbre propias de las cadenas de abastecimiento actuales, a fin de lograr el nivel de servicio requerido por el mercado sin afectar negativamente los objetivos propios del negocio en términos del capital de trabajo invertido en inventarios.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar marco de referencia para la implementación de la metodología DDMRP en la planta de Non Stick de GSA.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear el marco conceptual para la implementación de metodología DDMRP.
- Mostrar el proceso de parametrización y ejecución del modelo DDMRP en uno de los productos de la planta Non Stick de GSA que sirva de guía para una implementación general.
- Realizar una simulación y el análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo propuesto a fin de mostrar la operabilidad de la metodología DDMRP

## 4. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, los sistemas de gestión de materiales pueden ser clasificados en tres grandes grupos: i) sistemas tipo *Push*, ii) y sistemas tipo *Pull* (González-R et al, 2011).

### 4.1 SISTEMAS TIPO PUSH

Las empresas conciben la fabricación de sus productos generalmente en función de pronósticos de demanda o de un itinerario determinado de trabajo (González-R et al, 2011). Esta metodología tiene como finalidad asegurar el suministro de productos anticipándose a la demanda permitiendo que las máquinas y los procesos se utilicen a máxima capacidad para reducir los costos (Schroeder et al, 2010).



**Fuente:** (González-R et al., 2011)

Como se muestra en la figura 1, en los sistemas tipo *Push* las órdenes de abastecimiento se basan en los pronósticos de ventas que sirven como entrada para la generación de planes maestros de producción (MPS). Los productos son producidos aun cuando no haya demanda real para ellos.

De acuerdo con Miclos (2018), la metodología más representativa dentro de los sistemas de producción tipo *Push* es el MRP. A continuación, se exponen sus fundamentos.

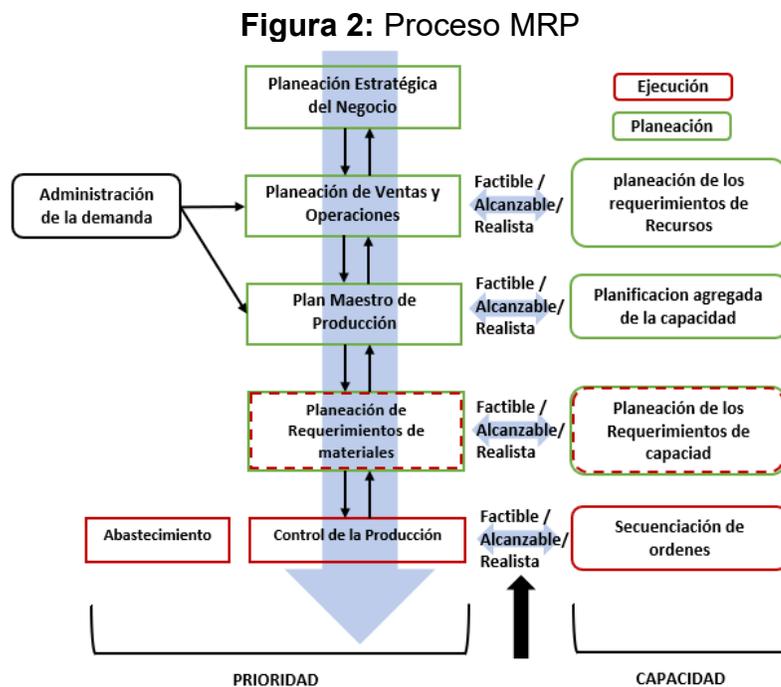
#### 4.1.1 Planificación de requerimientos de material MRP

Sin lugar a duda, el método más famoso y extendido en los sistemas tipo Push es el MRP (Miclos, 2016). La metodología de Planificación de Requerimientos de Materiales o MRP fue desarrollada e implementada en la década de los 50's Joseph Orlicky (Orlicky, 1975).

De acuerdo con Miclos (2016), MRP es un sistema de gestión de pronósticos que coordina desde la compra de materias primas y componentes, hasta los recursos materiales y humanos. MRP tiene tres objetivos principales:

- i) Garantizar la disponibilidad de recursos para la producción y para la venta.
- ii) Minimizar el inventario.
- iii) Planificar y programar las actividades de producción y compra.

La figura 2 describe la metodología MRP desde el plan estratégico de negocio hasta la ejecución y control de la producción.



Fuente: (Miclos, 2016)

#### 4.1.1.1 Plan Estratégico de Negocio

Define los principales objetivos y orientaciones de la empresa. Esta realizado a nivel del comité directivo y ofrece una visión a largo plazo, generalmente entre 5 a 10 años de las ventas y por lo tanto de las necesidades de producción (Kotter, 2012; Slack and Lewis, 2015).

#### 4.1.1.2 Planeación de las ventas y operaciones

Expresa en términos operativos la política comercial de la compañía. Es una visión a mediano plazo, generalmente entre 12 a 18 meses por lo que es planeada de forma mensual y con agregación a nivel de familia de productos. Este plan es creado con el esfuerzo de los departamentos de producción, ventas, mercadeo y marketing, finanzas y recursos humanos con el fin de verificar la viabilidad y ajustar las necesidades de producción, las necesidades financieras y los objetivos de ventas.

Dicho plan, está basado en pronósticos de venta que son inciertos por naturaleza, razón por la cual este plan debe actualizarse periódicamente para permanecer consistente (Miclos, 2016)

#### 4.1.1.3 Plan Maestro de producción.

Es una expresión más detallada que la del Plan de Ventas y operaciones, y se ocupa de transformar los pronósticos en compromisos en firme para el departamento de producción. Al contrario del Plan de ventas y operaciones, el plan maestro de producción se genera para cada ítem. Este plan, se define cada mes y proporciona la información necesaria para la planificación de las necesidades de materiales o MRP permitiendo equilibrar las decisiones de acuerdo con la carga de trabajo y disponibilidad de recursos (Miclos, 2016).

#### 4.1.1.4 Planeación de los Requerimiento de Materiales

En cada empresa, es posible clasificar lo ítems en dos clases:

- i) Ítems de demanda independiente: estos corresponden a los productos terminados que hacen parte del plan maestro de producción.
- ii) Ítems de demanda dependiente: estos son los elementos iniciales o intermedios en la lista de materiales, componentes o piezas de subensamble para los cuales la demanda depende de los productos terminados. MRP utiliza las hojas de ruta de producción que detallan todos los pasos necesarios para que un ítem sea fabricado, al mismo tiempo que detallan el tiempo necesario para llevar a cabo cada actividad. Una vez se determina el tiempo de entrega o producción para cada ítem, MRP genera pedidos para cada referencia en comparación con el plan maestro de producción (Miclos, 2016).

#### 4.1.1.5 Control de la producción

El objetivo principal es ejecutar el programa de producción y realizar el seguimiento del plan de producción. De igual forma, debe informar sobre los recursos y los materiales utilizados a lo largo de todo el proceso de producción. En conclusión, es considerado como la traducción a las diferentes acciones del plan generado por el MRP en un horizonte diario (Miclos, 2016).

#### 4.2 SISTEMAS TIPO PULL

En contraste con los sistemas tipo *Push*, la fabricación *Pull* espera hasta que el consumidor señala una necesidad de bienes o servicios antes de producir para satisfacer dicha necesidad. La señal proveniente del cliente, entonces, visualmente es enviada a las diversas etapas de producción, e incluso a la cadena de suministro para determinar lo que debe producirse y cuando debe entregarse el producto (Hopp y Spearman, 1996; Schroeder et al, 2010)

**Figura 3: Sistema tipo Pull**  
**SISTEMA TIPO PULL (HALAR)**



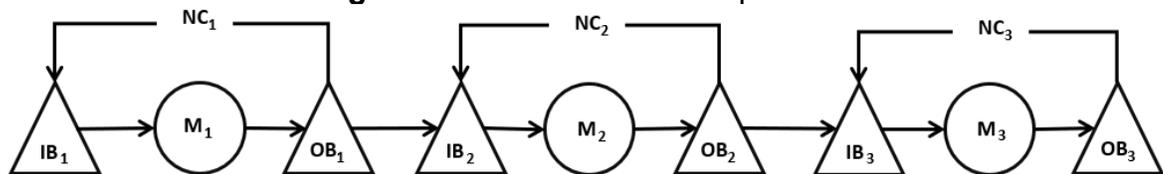
Fuente: (González-R et al., 2011)

Como se muestra en la figura 2, es la demanda real del cliente la encargada de enviar la señal para la fabricación de cada ítem, y solo se producen los que realmente tienen demanda evitando así la acumulación de inventario innecesario.

#### 4.2.1 Sistema Kanban específico

Kanban se refiere a un marcador (tarjeta, señal, placa o algún otro dispositivo) que se usa para controlar la secuenciación de trabajos a lo largo de un proceso de fabricación. El propósito del sistema Kanban es señalar la necesidad de hacer más partes y de asegurar que estas se produzcan justo a tiempo (Schroeder et al, 2010).

**Figura 4: Sistema Kanban específico**



Fuente: (González-R et al., 2011)

La figura 4 muestra el flujo tanto de materiales entre los diferentes procesos y las respectivas tarjetas Kanban entre el ingreso y la salida de cada operación. Las convenciones se explican a continuación:

IB<sub>i</sub>: número de trabajos en el buffer de entrada de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

OB<sub>i</sub>: número de trabajos en el buffer de salida de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

M<sub>i</sub>: número de trabajos en la estación  $i$ .

NC: número de tarjetas en la estación  $i$ .

Las características del sistema son las siguientes:

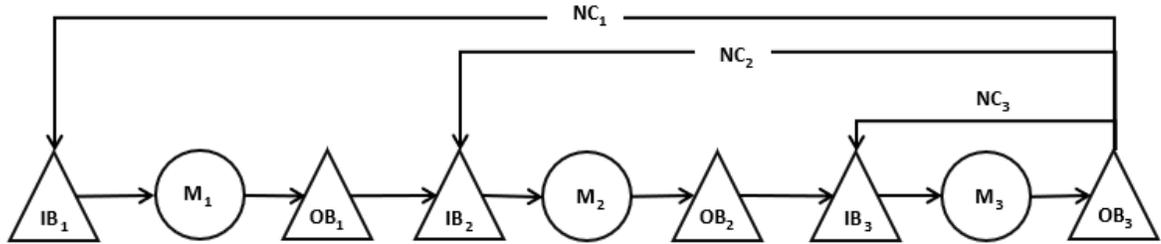
- Uso de dos señales de comunicación (Kanban de doble tarjeta), en donde de acuerdo con Sipper y Bulfin (1997), el sistema de doble tarjeta utiliza una señal de producción y otra de transporte.
- La producción se extrae en función del nivel de inventario o programación de la última estación.
- Control descentralizado: el control de flujo de la producción se realiza de manera visual por parte de los empleados a través de cada paso en el proceso de fabricación.
- WIP Limitado: en nivel de inventario está limitado en cada estación de trabajo.

El principal objetivo es el de eliminar desperdicios manteniendo la cantidad de inventario intermedio en un nivel “razonable” aumentando los niveles de servicio al reducir el tiempo de entrega. Esta metodología resultó exitosa hace unas décadas, sin embargo, los cambios en el mercado y el aumento de la variabilidad hacen que el número de tarjetas tenga que ser ajustado dinámicamente (Gupta et al, 1999).

#### 4.2.2 Sistemas Base-Stock

Este sistema está basado en inventario objetivo para cada estación de trabajo. Cada que se produce una demanda real desde el cliente, esta se transfiere aguas arriba para reponer el nivel de inventario objetivo de cada operación. Sin embargo, este principio puede aumentar los niveles de WIP deseados debido a la falta de coordinación entre los diferentes procesos creando colas de inventario en proceso en algunas estaciones (Buzacott, 1989). Para hacer frente a esta situación, el sistema Base-Stock se ha convertido en un sistema de tarjetas, la demanda sigue siendo transmitida directamente, pero el WIP está limitado con un número específico de tarjetas (Bonvik et al, 1997) como se muestra en la figura 5.

**Figura 5: Sistema Base-Stock**



Fuente: (González-R et al., 2011)

$IB_i$ : número de trabajos en el buffer de entrada de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

$OB_i$ : número de trabajos en el buffer de salida de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

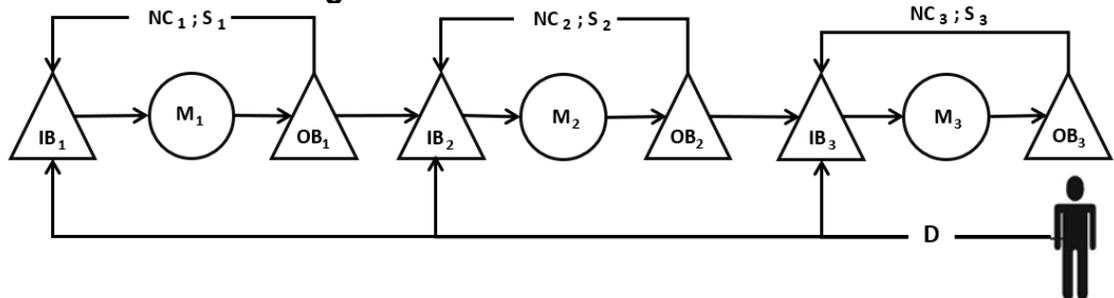
$M_i$ : número de trabajos en la estación  $i$ .

$NC_i$ : número de tarjetas en la estación  $i$ .

#### 4.2.3 Sistema Kanban extendido

Es un sistema híbrido entre un objetivo de inventario (Base-stock) y Kanban. El sistema Kanban extendido utiliza dos parámetros  $NC$  y  $S$ , donde  $S$  es el objetivo en número de productos que deben producirse para ser almacenados en el buffer de salida (Gonzalez-R et al, 2011). Este sistema se ilustra en la figura 6.

**Figura 6: Sistema Kanban extendido**



Fuente: (González-R et al., 2011)

$IB_i$ : número de trabajos en el buffer de entrada de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

$OB_i$ : número de trabajos en el buffer de salida de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

$M_i$ : número de trabajos en la estación  $i$ .

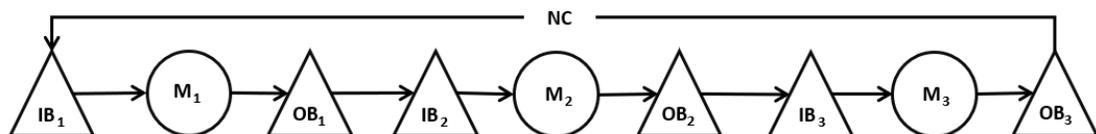
$NC_i$ : número de tarjetas en la estación  $i$ .

Cuando existe una demanda, esta se transmite a todas las estaciones aguas arriba, por lo que para producir un ítem en la estación  $i$ , es necesario una necesidad de fabricación aguas abajo y la disponibilidad de una tarjeta Kanban. Este método, detiene la generación de suministro si no existe una demanda real (Miclos, 2016).

#### 4.2.4 Trabajo en proceso constante (ConWIP)

Mantiene constante el trabajo en proceso (WIP) gestionando los procesos de entrada según la salida (Spearman et al, 1990). Existe un número fijo de tarjetas a producir y cada orden de producción solo puede iniciar si hay una tarjeta disponible, si todas las tarjetas están en uso, la nueva producción debe esperar. Con este sistema, la línea de producción no se sobrecargará de trabajo ya que la tarjeta está limitada por el rendimiento del cuello de botella. Cuando un trabajo es terminado al final del proceso, la tarjeta estará disponible nuevamente al inicio de este. La figura 07 ilustra el flujo de materiales y de tarjetas para dicho modelo.

**Figura 7:** Trabajo e proceso constante (ConWIP)



Fuente: (González-R et al., 2011)

$IB_i$ : número de trabajos en el buffer de entrada de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

$OB_i$ : número de trabajos en el buffer de salida de la estación  $i$  en el tiempo  $t$ .

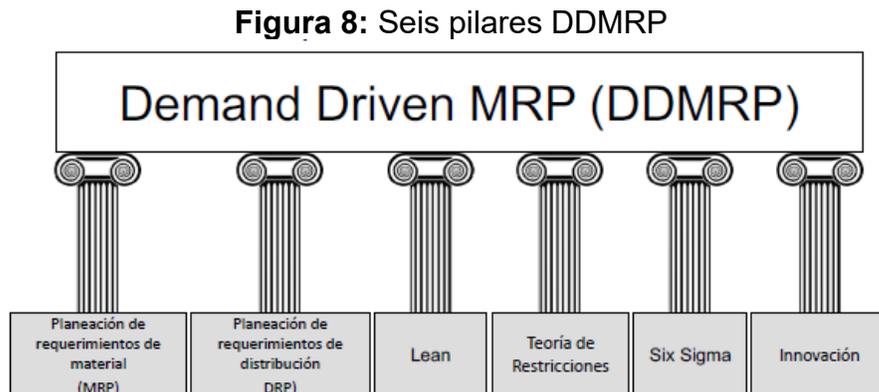
$M_i$ : número de trabajos en la estación  $i$ .

$NC_i$ : número de tarjetas en la estación  $i$ .

## 5. MARCO CONCEPTUAL DEL MODELO DDMRP

La planificación de las necesidades de material impulsada por la demanda o DDMRP por las siglas en inglés para Demand Driven Material Requirements Planning, es una metodología para modelar, planear y gestionar las cadenas de suministro con el fin de promover y proteger el flujo de materiales e información relevantes. (Ptak y Smith, 2016).

DDMRP acoge en sus pilares las buenas prácticas de metodologías como MRP<sup>1</sup> (Material Requirement Planning), DRP<sup>2</sup> (Distribution Requirements Planning), Lean<sup>3</sup>, Six Sigma<sup>4</sup>, TOC<sup>5</sup> (Theory Of Constraints), además de innovaciones propias que permiten potencializar las buenas prácticas tomadas de las anteriores metodologías (Miclos, 2016). La Figura 8, muestra los seis pilares de DDMRP:



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

<sup>1</sup> MRP: conjunto de técnicas que utiliza datos de listas de materiales, datos de inventario y el programa maestro de producción para calcular los requisitos de los materiales. Hace recomendaciones para liberar pedidos de reposición (Diccionario APICS 12th, 2008).

<sup>2</sup> DRP: la función de determinar la necesidad de reponer inventario en almacenes sucursales (Diccionario APICS 12th, 2008).

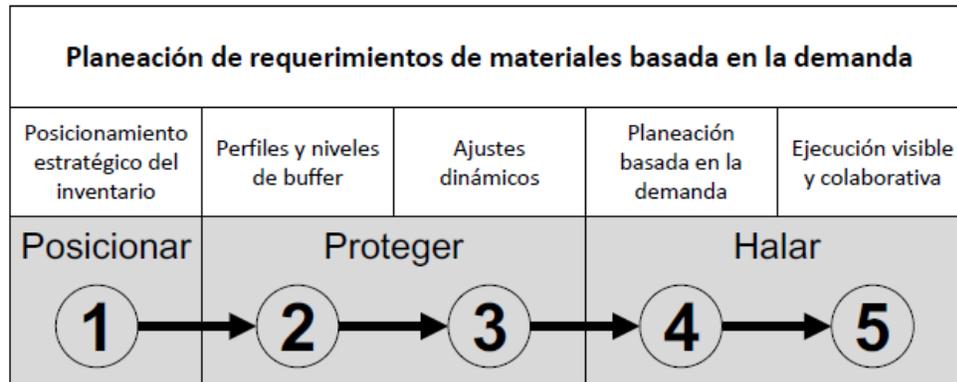
<sup>3</sup> Filosofía de producción que enfatiza la minimización de la cantidad de recursos mediante la eliminación de desechos y simplificación de los procesos (APICS Dictionary 12th Edition, 2008).

<sup>4</sup> Six Sigma: conjunto de conceptos y prácticas que son claves para reducir la variabilidad en los procesos (Diccionario APICS 12th, 2008).

<sup>5</sup> TOC: filosofía de gestión holística que se basa en el principio de que los sistemas complejos exhiben simplicidad inherente, una restricción que limita la capacidad del sistema (Diccionario APICS 12th, 2008).

Como se muestra en la Figura 9, DDMRP está compuesto de 5 elementos principales, los cuales se encuentran agrupados en 3 fases: Posicionar, Proteger y Halar.

**Figura 9:** Los cinco componentes de DDMRP

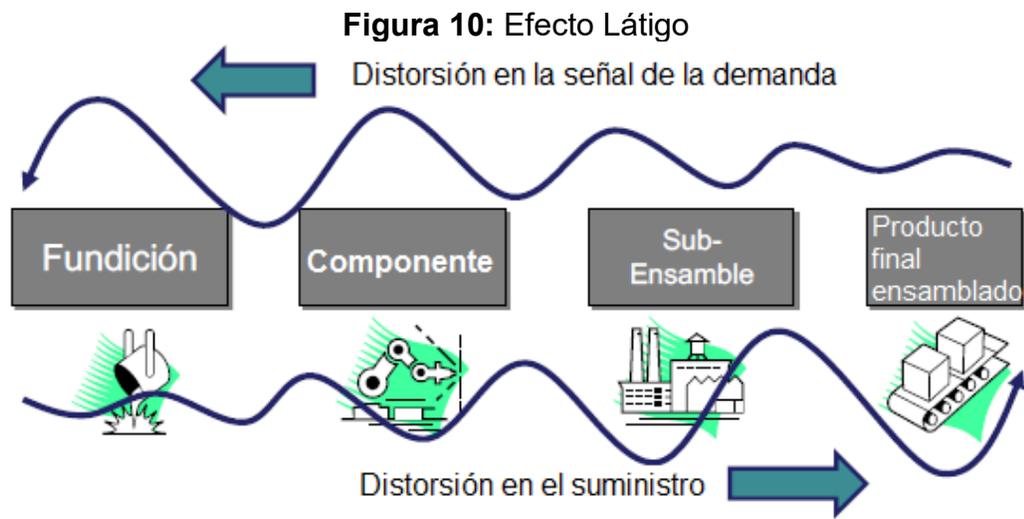


Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

### 5.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO DEL INVENTARIO (BUFFER)

La acumulación y amplificación de la variabilidad son los mayores enemigos para el flujo de información y de materiales relevantes, por lo que, es necesario diseñar un sistema que detenga o mitigue la transferencia y amplificación de la variabilidad a través del sistema (Ptack y Smith, 2011).

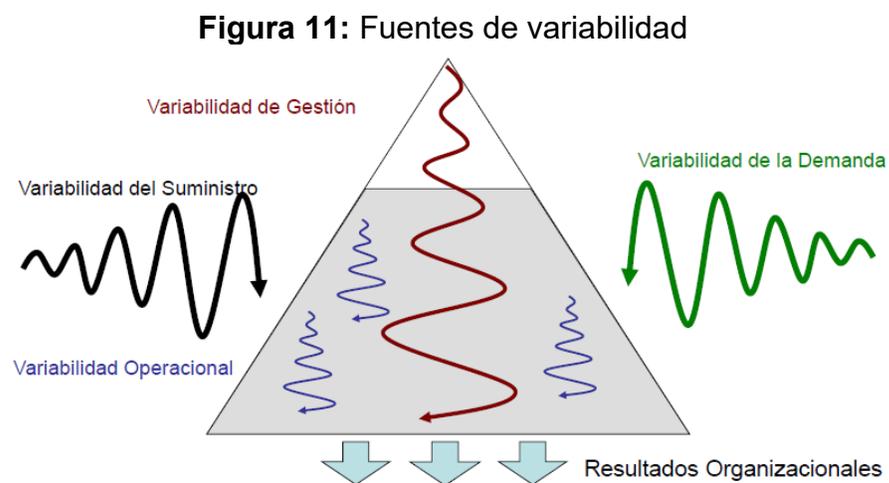
Dicha transferencia y amplificación de la variabilidad es conocida comúnmente como efecto látigo o Bull-Whip Effect y es definido por APICS como: “pequeños cambios en la demanda provocan una gran cantidad de movimientos en toda la cadena de suministro que a su vez provoca una enorme acumulación de inventario en sus diversos actores. El inventario puede pasar rápidamente de tener faltantes a tener excesos. Esto es causado por la naturaleza de la transmisión de órdenes en serie y las demoras inherentes en el transporte del producto a través de la cadena” sistema (Diccionario APICS 12th, 2008).



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

La figura 10, ilustra la transferencia y amplificación de la variabilidad a lo largo de un proceso. Este proceso de transferencia y amplificación se da en ambas direcciones y tiende a ser peor en cuanto aumenta la complejidad de los procesos. Entre más partes tenga la cadena de suministro peor será el efecto observado. (Ptack y Smith, 2016).

La figura 11, ilustras las principales fuentes de variabilidad en las cadenas de suministro.



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

- Variabilidad en la demanda: fluctuaciones y desviaciones experimentadas en el patrón de la demanda y/o de los requerimientos.
- Variabilidad en el suministro: interrupciones en la red de suministros que generan variaciones entre las cantidades requeridas y/o las fechas prometidas para el recibo de las ordenes de suministros.
- Variabilidad operacional: variación aleatoria presentada por un sistema debido a trabajos por debajo de la velocidad nominal del sistema. Por ejemplo, considere un molde de inyección de plásticos donde debido a un problema en su sistema de refrigeración es necesario aumentar el tiempo de ciclo de solidificación.
- Variabilidad de gestión: variabilidad atribuible a las personas, solo cuando se controla esta variabilidad es posible identificar la variabilidad normal del sistema. Esta variabilidad puede darse, por errores en la operación de las máquinas y/o en el ajuste de herramientas.

#### 5.1.1 Factores de Posicionamiento estratégico de inventario (buffer)

Romper las dependencias en lugares clave simplificará dramáticamente la ecuación de planificación y nos permitirá vivir en horizontes más cortos con información más relevante. Dicho rompimiento, se realiza mediante puntos de desacople.

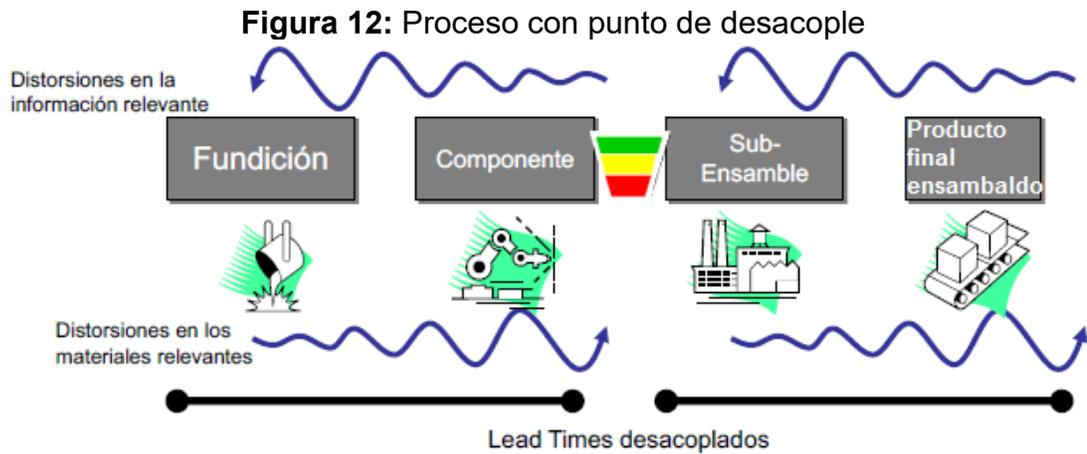
Los puntos de desacople, son lugares en la estructura del producto o de la red de distribución, donde se crea inventario para lograr independencia entre los procesos o entidades. La decisión de los puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los plazos de entrega a los clientes y la inversión en inventarios. (Diccionario APICS 12th, 2008). La Tabla 1, muestra los factores que deben ser considerados a la hora de posicionar puntos de desacople.

**Tabla 1:** Factores de posicionamiento estratégico de inventario

Factor	Descripción
Tiempo de tolerancia del cliente	La cantidad de tiempo que los clientes potenciales están dispuestos a esperar para la entrega de un bien o un servicio.
Tiempo del mercado potencial	El lead time que permitirá un aumento del precio o la captación de nuevos negocios a través de clientes existentes o nuevos canales de clientes.
Horizonte de los pedidos de venta	Es el horizonte de tiempo que ofrece la mayor visibilidad de pedidos confirmados.
Variabilidad externa	El potencial y la severidad de perturbaciones en las fuentes de suministros y/o proveedores específicos. El potencial de giros y picos en la demanda que puedan sobrepasar capacidad de los recursos (capacidad, inventario, efectivo, etc.).
Apalancamiento y flexibilidad del inventario	Los lugares en la estructura de lista de materiales (BOM) o la red de distribución, que proporcionan a la compañía las mejores opciones disponibles, así como una mayor disminución del lead time para satisfacer las necesidades del negocio.
Protección de operaciones críticas	Minimización de la propagación de la variabilidad a través de las operaciones críticas o cuellos de botella, las cuales son aquellas operaciones que subordinan las salidas del sistema.

**Fuente:** (Ptak y Smith, 2016)

Como se muestra en la figura 12, una vez elegidos los puntos de desacople, estos actúan como amortiguadores de la variación impidiendo que esta se transfiera y amplifique a lo largo de la cadena de suministro al mismo tiempo que se reduce el lead time de los productos.

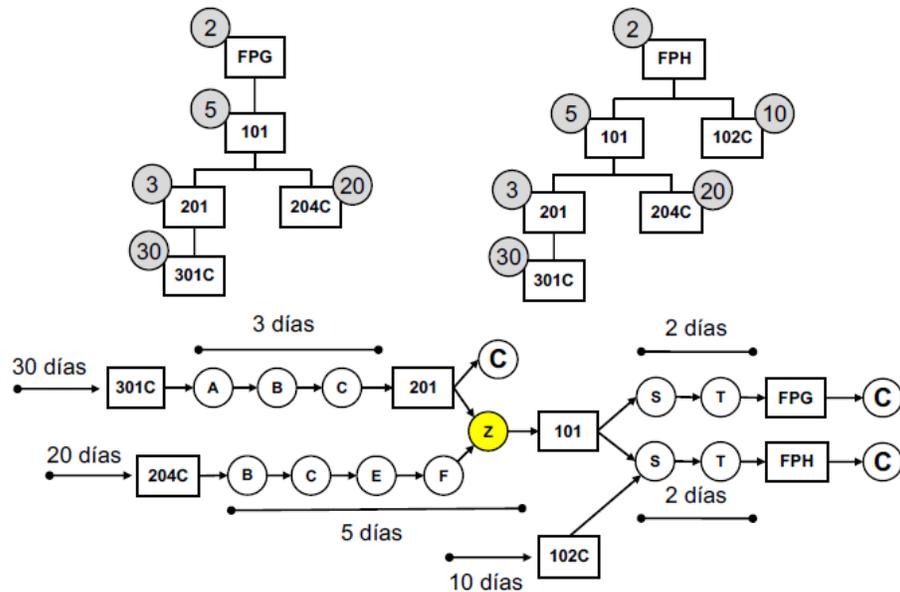


Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

### 5.1.2 Ejemplo punto de desacople

La figura 13, muestra la lista de materiales y esquema de fabricación para los productos FPG y FPH. El producto 201 también es vendido como repuesto.

**Figura 13: BOM y esquema de fabricación FPG y FPH**



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

La figura 13 superior, muestra la lista de materiales (BOM) para los productos FPG y FPH donde los círculos en color gris sobre cada uno de los componentes hacen

referencia el lead time en días para cada uno de ellos. Para la definición del lead time de los productos manufacturados se ha tomado el tiempo necesario para la producción de una cantidad económica de producción o EPQ por las siglas en inglés para Economic Production Quantity.

La figura 13 inferior, muestra el esquema de fabricación para los productos FPG y FPH donde cada círculo corresponde a las operaciones necesarias para lograr la fabricación de cada componente. La operación Z resaltada en color amarillo, hace referencia a la operación de ensamble que requiere mano de obra especializada y que para este caso representa un recurso crítico. Los rectángulos, por su parte, identifican los componentes manufacturados o comprados. De igual forma, se muestra el lead time de cada componente especificado en días.

La tabla 2, resume los factores de posicionamiento del buffer utilizados en el ejemplo de la figura 14.

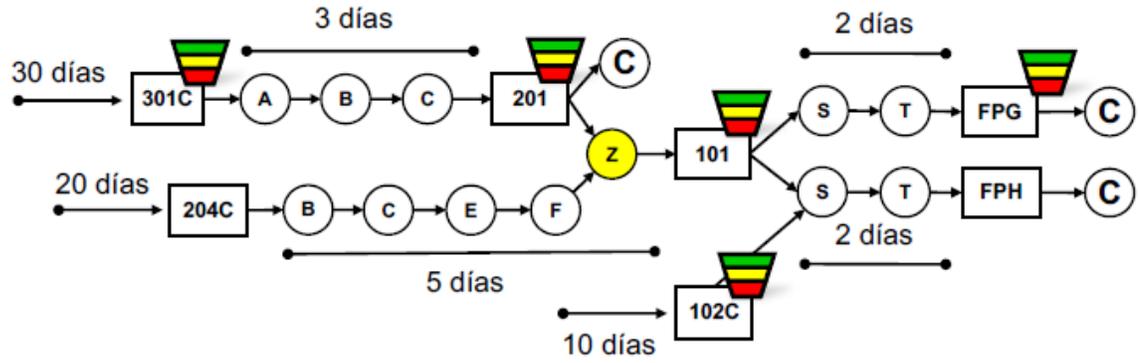
**Tabla 2:** Consideraciones de ubicación punto de desacople

Tiempo de tolerancia del cliente	3 días para FPG y FPH
Tiempo del mercado potencial	FPG tiene un mercado que necesita disponibilidad en 1 día
Horizonte de los pedidos de venta	3+ días para la mayoría de las órdenes.
Variabilidad externa	80% de las entregas del componente 101 se realizan con plazo por encima del plazo de entrega. De igual forma para el componente 102C el 50% de las entregas tienen inconvenientes de calidad.
Apalancamiento y flexibilidad del inventario	101 es componente común para FPG y FPH
Protección de operaciones críticas	El recurso Z es una operación de ensamble que requiere personal altamente calificado.

Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Como resultado de las consideraciones de la Tabla 2, se obtiene el siguiente esquema de fabricación desacoplado, el cual es mostrado en la figura 7.

**Figura 14:** Ejemplo esquema de fabricación desacoplado



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Los criterios para ubicar los buffers se listan a continuación:

- i) Buffer 301C: ubicado para disminuir tiempo de abastecimiento del componente.
- ii) Buffer 201: ubicado para proteger al recurso restrictivo Z. Esta ubicación impedirá que dicho recurso sufra paradas inesperadas por falta de abastecimiento de componentes.
- iii) Buffer 101: dicho buffer es ubicado para impedir que la variabilidad del suministro interfiera con el abastecimiento del componente. De acuerdo con la tabla 2, el componente presenta frecuentes retrasos.
- iv) Buffer 102C: el buffer es ubicado para impedir que la variabilidad en el suministro interrumpa el flujo de materiales a la siguiente operación.
- v) El buffer en el Producto terminado FPG es ubicado teniendo en cuenta que el tiempo potencial del mercado es tan solo de 1 día. Dicho buffer ayudará a atender la demanda en el tiempo requerido.

## 5.2 PERFILES Y NIVELES DE BUFFER

Para hacer que los puntos de desacople absorban la variación de la oferta y de la demanda, se debe utilizar un mecanismo de amortiguación. En la metodología DDMRP, este mecanismo es llamado “Buffer” y toma forma de stock que sirve para comprimir el tiempo de entrega y amortiguar la variabilidad evitando que esta se propague y amplifique.

Al desacoplar los tiempos de entrega del lado del consumo del buffer, estos se comprimen instantáneamente. Esta compresión tiene implicaciones inmediatas en el nivel de servicio e inventarios (Ptack y Smith, 2016)., Esto debido a que a menores tiempos de entrega mayor la reacción ante cambios inesperados en la demanda y con ello un aumento en el nivel con el que servimos los requerimientos. De igual modo, esta reducción en los tiempos de entrega disminuye los niveles de inventario ya que la protección que estos deben brindar está relacionada directamente con este tiempo de entrega, en otras palabras, a menor tiempo de entrega, menor inventario de seguridad.

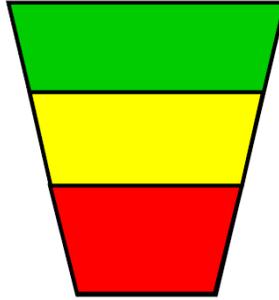
La Figura 15, muestra la representación típica de un buffer en DDMRP, donde se diferencian las 3 zonas de protección.

La zona verde: determina la frecuencia y la cantidad mínima de generación para cada orden.

La zona Amarilla: es el núcleo de la cobertura de la demanda en el buffer. y,

La zona Roja: es la zona de seguridad insertada en el buffer. En la sección 5.2.2 se expone en detalle el cálculo para cada zona según la metodología DDMRP.

**Figura 15:** Representación Buffer



**Fuente:** (Ptak y Smith, 2016)

### 5.2.1 Definición de Lead time

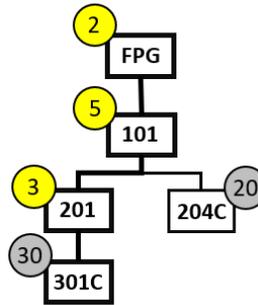
El uso de punto de desacople revela la necesidad de definir un nuevo tipo de lead time que debe ser entendido y calculado a fin de: determinar fechas de entrega, definir el tamaño del buffer, así como los puntos de alto apalancamiento de inventario para desacoplarlos (Ptack y Smith, 2016).

Para explicar los conceptos relativos al lead time, se utilizará la estructura de la lista de materiales (BOM) mostrada en la figura 13 para el Producto FPG.

#### 5.2.1.1 Lead time de Manufactura (MLT)

Es el tiempo total requerido para la producción de un artículo (Diccionario APICS 12th 2008). La figura 16 muestra el Lead time de manufactura (MLT) resaltado en color amarillo, en este caso 10 días.

**Figura 16:** Lead time de manufactura (MLT)

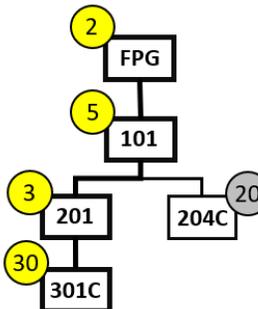


Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

### 5.2.1.2 Lead time acumulado (CLT)

Es el tiempo más largo para llevar a cabo la actividad en cuestión, en el que se incluyen tanto el lead times de manufactura como el lead time de abastecimiento o compra. Este tiempo se encuentra revisando el lead time acumulado de cada una de las trayectorias de la lista de materiales; siendo la trayectoria más larga es la que define el lead time acumulado. (Diccionario APICS 12th, 2008). La figura 17 muestra el CLT para el producto FPG, en este caso 40 días.

**Figura 17:** Lead time acumulado (CLT)

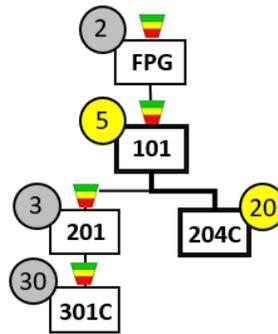


Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

### 5.2.1.3 Lead time desacoplado (DLT)

Es definido como la secuencia más larga no protegida (sin buffer) en una lista de materiales. En la figura 18, se muestra que el DLT para esta estructura está dado por la secuencia 204C - 101 que en total suma 25 días.

**Figura 18:** Lead time desacoplado (DLT)



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

### 5.2.2 Perfil del buffer

Una vez ubicados estratégicamente los puntos de desacople, y definido el lead time para los artículos, se continúa con el dimensionamiento de las tres zonas de protección mencionadas en el numeral 5.2. Para hacerlo se deben tomar en consideración los siguientes parámetros:

- i) Lead time desacoplado (DLT): Parte esencial del dimensionamiento del buffer. Afecta directamente el tamaño de las tres zonas del buffer (roja, amarilla, y verde).
- ii) Cantidad de orden mínima (MOQ): la generación de órdenes se debe ajustar a la cantidad mínima de pedido impuesta en algunas oportunidades por los proveedores, lo cual afectará la zona verde del buffer.
- iii) Consumo promedio diario (ADU): es el promedio móvil simple para el consumo diario de cada ítem o SKU. DDMRP distingue 3 tipos de ADU:
  - ADU histórico: basado únicamente en el promedio móvil simple de los consumos diarios registrados en el pasado. Especialmente útil para aquellos SKU que cuentan con un largo historial de consumo.
  - ADU futuro: basado en el promedio móvil simple proyectado para un SKU. Su uso es recomendado para aquellos SKU para los cuales no se cuenta con

datos históricos como el lanzamiento de nuevos productos y donde la única información disponible corresponde el pronóstico de ventas.

- ADU Mixto: es la combinación de los dos casos anteriores, donde se toma una proporción de datos históricos y se combina con proyecciones de consumo esperados en el futuro.

Matemáticamente no existe expresión para determinar el horizonte ideal para el cálculo de dichos promedios móviles. Sin embargo, pueden utilizarse reglas heurísticas para su determinación. La metodología DDMRP sigue los siguientes horizontes de tiempo:

- Productos Manufacturados: el horizonte de tiempo recomendado se encuentra entre 30 y 60 días. Lo anterior debido a que para los productos manufacturados es importante integrar rápidamente los cambios en la demanda evitando que sean suavizados con una gran cantidad de datos. Por el contrario, si el horizonte de tiempo es demasiado corto, esto generará fluctuaciones rápidas en el cálculo del buffer que probablemente no puedan ser atendidas.
- Productos comprados: generalmente los productos comprados como las materias primas, al tener una mayor agregación se comportan de manera más estable. Debido a esto desde la metodología DDMRP se recomienda un horizonte de tiempo dentro de un rango de 30 a 90 días.

A demás de los parámetros antes mencionados, los perfiles de buffer deben ser organizados en tres categorías dependiendo de:

i) Tipo de artículo: las partes deben agruparse en primer lugar según su tipo: comprados (P) y Manufacturados (M).)

ii) Categoría de lead time: el lead time se determinará por categorías como plazo de entrega alto, plazo de entrega medio y plazo de entrega corto.

Esta clasificación puede realizarse de forma heurística dividiendo el lead time desacoplado (DLT) más largo por tipo de producto en 3 partes iguales y luego comparando el lead time específico del ítem con este. (Ptak y Smith, 2016).

**Tabla 3:** Clasificación Lead time

Lead time desacoplado	100 días
Lead time alto	68 días – 100 días
Lead time medio	34 días – 67 días
Lead time bajo	0 días - 33 días

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla 3, un lead time es considerado bajo cuando se encuentra dentro de un rango de 0 a 33 días. Esta clasificación es posible al dividir en 3 zonas iguales el lead time desacoplado (DLT) de 100 días.

iii) Categoría de variabilidad: la variabilidad se determinará por categorías dividiéndose en tres categorías: Variabilidad alta, variabilidad media y variabilidad baja.

Esta clasificación puede realizarse de forma heurística aplicando los siguientes criterios (Ptak y Smith, 2016)

- Variabilidad alta: Picos frecuentes de demanda durante el tiempo de entrega o lead time.
- Variabilidad media: Picos ocasionales de demanda durante el tiempo de entrega o lead time.
- Variabilidad Baja: tiene poco o ningún pico de demanda durante el tiempo de entrega o lead time. La demanda es estable.

De igual forma, puede hacerse uso del coeficiente de variación al cuadrado para realizar dicha clasificación

$$CV^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{x}^2} \quad (1)$$

Donde:

$$\sigma^2 = \text{Varianza}$$

$\bar{x}^2$  = demanda Promedio al cuadrado

De acuerdo con Syntetos et al (2005), el coeficiente de variación al cuadrado se clasifica de acuerdo con los siguientes rangos:

$CV^2 < 0.75 = \text{Variabilidad baja}$

$0.75 \leq CV^2 < 1.33 = \text{Variabilidad media}$

$CV^2 \geq 1.33 = \text{Variabilidad alta}$

Los perfiles de buffer pueden clasificarse como se sugiere en la tabla 4. La primera letra corresponde al tipo de producto: P para comprado y M para manufacturado.

La segunda letra corresponde al plazo de entrega (lead time), S para corto, M para medio y L para largo.

La tercera y última letra corresponde al nivel de variabilidad: L para baja, M para media y H para alta.

Estas tres categorías no obedecen a definiciones matemáticas y deben ser asignadas desde la experiencia (Miclos, 2016).

**Tabla 4:** Perfiles de Buffer

		Tipo de Parte			
		Comprado (P)	Manufacturado (M)		
Categoría de Lead Time	Corto (S)	PSL	MSL	Corto (L)	Categoría variabilidad
		PSM	MSM	Medio (M)	
		PSH	MSH	Alto (H)	
	Mediano (M)	PML	MML	Corto (L)	
		PMM	MMM	Medio (M)	
		PMH	MMH	Alto (H)	
	Largo (L)	PLL	MLL	Corto (L)	
		PLM	MLM	Medio (M)	
		PLH	MLH	Alto (H)	

Fuente: adaptación (Ptak y Smith, 2016)

A modo de ejemplo, considere un perfil de buffer con la siguiente denominación: PMH, lo cual indica que el perfil corresponde a un material Comprado (P) con lead time mediano (M) y variabilidad alta (H). Como se verá en los puntos 5.2.3 y 5.2.4, la clasificación de la categoría de lead time y de la categoría de variabilidad juegan un papel importante en la determinación de los factores utilizados en el cálculo de las zonas verde y roja del buffer. Un error en la clasificación de dichas categorías traería como resultado zonas de buffer insuficientes o sobre dimensionadas de acuerdo con cada caso (sobre valoración y subvaloración).

### 5.2.3 Factor de Lead time (LTF)

El factor de lead time (LTF) se aplica al consumo promedio diario de un componente (ADU) dentro de su lead time con el fin de calcular los valores de las zonas verde y roja. La Tabla 5, muestra los rangos para el factor de acuerdo con la categoría de Lead time.

**Tabla 5:** Rango factor Lead time

Categoría Lead time	Rango de factor para lead time
Largo (H)	0.20 a 0.40
Medio (M)	0.41 a 0.60
Corto (S)	0.61 a 1

Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Como se observa en la Tabla 5, a mayor lead time menor factor. Esto se debe a que para los artículos con lead time largos se desea forzar que la zona verde del buffer sea lo más pequeña posible con el fin de aumentar la frecuencia de los pedidos.

Los rangos de valores para cada categoría de lead time no están basados en cálculos matemáticos y deberán ser ajustados de acuerdo con la experiencia y particularidad de cada implementación. De igual forma, es posible utilizar técnicas

estadísticas como el coeficiente de variación con el fin de calcular nuevos rangos para cada categoría y/o ajustar los valores sugeridos en la tabla 5. (Miclos, 2016).

#### 5.2.4 Factor de variabilidad

El factor variabilidad se aplica al consumo promedio diario de un componente (ADU) dentro de su lead time con el fin de calcular el valor de la zona roja de seguridad y absorber la variabilidad en el consumo. La Tabla 6, muestra los rangos para el factor de acuerdo con la categoría de variabilidad.

**Tabla 6:** Rango factor de variabilidad

Categoría Lead time	Rango de factor de variabilidad
Alta (H)	0.61 a 1+
Medio (M)	0.41 a 0.60
Corto (L)	0.20 a 0.40

Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

A diferencia del factor de lead time, a mayor variabilidad, mayor será el factor que se debe utilizar. Esto se debe a que se requiere que la zona de cobertura que amortigua la variabilidad del consumo sea lo mayor posible.

Al igual que los rangos de valores para cada categoría de lead time, los rangos definidos en la tabla 6 no están basados en cálculos matemáticos y deberán ser ajustados de acuerdo con la experiencia y particularidad de cada implementación. Sin embargo, la variabilidad puede ser medida con técnicas estadísticas como el coeficiente de variación o el error porcentual absoluto medio o MAPE por las siglas en inglés para Mean Absolute Percentage Error, con el fin de ajustar y/o proponer nuevos rangos para cada categoría de variabilidad (Miclos, 2016).

#### 5.2.5 Cálculo de la zona amarilla del buffer

La zona amarilla del buffer es el núcleo de la cobertura de la demanda en el buffer.

Para su cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$Zona\ amarilla = ADU \times DLT \quad (2)$$

Donde,

ADU: es el consumo promedio diario.

DLT: Lead time desacoplado

Considere los datos de la Tabla 7 para calcular las zonas del buffer para el producto FPG:

**Tabla 7:** Datos ejemplo cálculo de buffer

Consumo promedio diario (ADU)	20
Perfil de buffer	M,M(0.5), L(0.25)
MOQ	200
Frecuencia de orden	7 días
Lead time desacoplado (DLT)	14 días

Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Frecuencia de orden: hace referencia a la frecuencia con la cual son generadas órdenes de suministro. Por ejemplo, dicha frecuencia puede ser considerada de acuerdo con la clasificación ABC del material:

Materiales tipo A: 4 órdenes por mes (1 orden semanal).

Materiales tipo B: 2 órdenes por mes.

Materiales tipo C: 1 orden por mes

Aplicando la ecuación 2, se tiene:

$$Zona\ amarilla = ADU \left( 20 \frac{unid}{día} \right) DLT(14\ días)$$

$$Zona\ amarilla = 280\ unid$$

#### 5.2.4 Cálculo de la zona verde del buffer

La zona verde del buffer es el núcleo de las órdenes de reposición. Determina la frecuencia de generación de órdenes y el tamaño mínimo de cada una.

Para calcular la zona verde, deben evaluarse las siguientes 3 opciones y tomar la de mayor resultado.

- i) Un porcentaje del consumo promedio diario (ADU).

$$Zona\ verde = ADU \times DLT \times LTF \quad (3)$$

Donde,

ADU: consumo promedio diario

LTF: factor de lead time.

DLT: lead time desacoplado

$$Zona\ verde = ADU \left( 20 \frac{unid}{día} \right) DLT(14\ días) LTF(0.5)$$

$$Zona\ verde = 140\ unid$$

- ii) Cantidad mínima (MOQ).

$$Zona\ verde = MOQ \quad (4)$$

Donde,

MOQ = cantidad mínima de la orden

$$Zona\ verde = 200\ unid$$

Ver Tabla 6 para definición de MOQ.

- iii) Un ciclo de pedido mínimo

$$Zona\ verde = ADU \times frecuencia\ orden \quad (5)$$

Donde,

ADU: consumo promedio diario

Frecuencia orden: frecuencia esperada de emisión de órdenes.

$$Zona\ verde = ADU \left( 20 \frac{unid}{día} \right) 7\ días$$

$$Zona\ verde = 140\ unid$$

Ver Tabla 7 para definición de frecuencia de orden.

Una vez calculadas las 3 opciones, se toma el máximo valor:

$$Zona\ verde = \max\{140,200,140\}$$

$$Zona\ verde = 200$$

### 5.2.6 Cálculo de la zona roja del buffer

La zona roja, obedece a la zona de seguridad. Esta zona se encarga de amortiguar la variabilidad del consumo por lo que, a mayor variabilidad, mayor será la zona roja.

Para calcular la zona roja, se deben utilizar las siguientes 3 expresiones de forma secuencial:

- i) Cálculo de la zona roja base

$$Rojo\ base = ADU \times DLT \times LTF \quad (6)$$

Donde,

ADU: consumo promedio diario

LTF: factor de lead time.

DLT: lead time desacoplado

$$Rojo\ base = ADU \left( 20 \frac{unid}{día} \right) DLT(14\ días) LTF(0.5)$$

$$Rojo\ base = 140\ unid$$

- ii) Cálculo Zona roja de seguridad

$$Rojo\ seguridad = Rojo\ base \times factor\ variabilidad \quad (7)$$

$$Rojo\ seguridad = 140\ unid \times 0.25$$

$$\text{Rojo seguridad} = 35$$

iii) Zona Roja

Por último, basta sumar los anteriores dos resultados para tener la Zona roja del buffer.

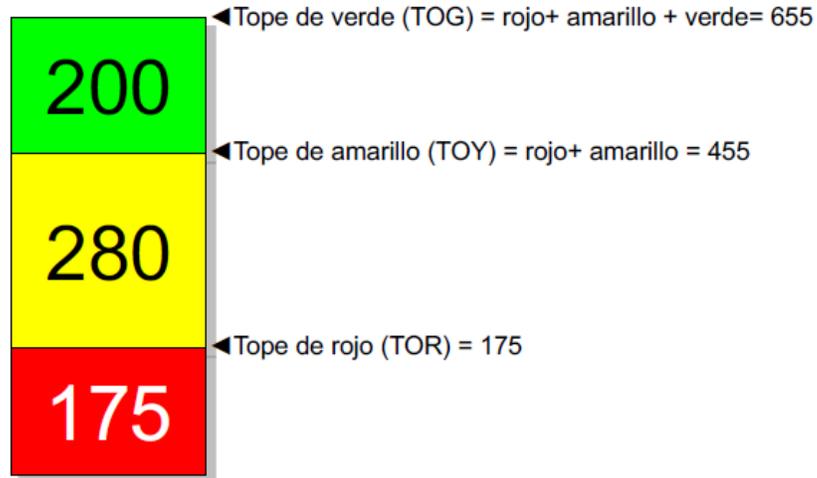
$$\text{Zona Rojo} = \text{Rojo base} + \text{Rojo seguridad} \quad (8)$$

$$\text{Zona Rojo} = 140 + 35$$

$$\text{Zona Rojo} = 175 \text{ unid}$$

La Figura 19 muestra la configuración del buffer calculado en los pasos anteriores, al tiempo que hace referencia a los topes de cada una de las zonas del buffer

**Figura 19:** Buffer total



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

TOR: Tope de rojo, en inglés Top Of Red. Máximo nivel de la zona roja del buffer.

TOY: Tope de amarillo, en inglés Top Of Yellow. Nivel del buffer resultante de sumar la zona roja y amarilla buffer. Indica el punto desde el cual se generan necesidades de abastecimiento.

TOG: Tope de verde, en inglés Top Of Green. Máximo nivel del buffer resulta de sumar las zonas roja, amarilla y verde de un buffer. En este caso:

### 5.3 AJUSTES DINAMICOS

Con el fin de hacer frente a la variabilidad de la demanda, los buffers deben ser ajustados constantemente. Esta acción marca una gran diferencia con la metodología del MRP tradicional donde el stock de seguridad no se ajusta dinámicamente, ya que este permanece estático en el tiempo (Ptack y Smith, 2016).

#### 5.3.1 Ajustes recalculados

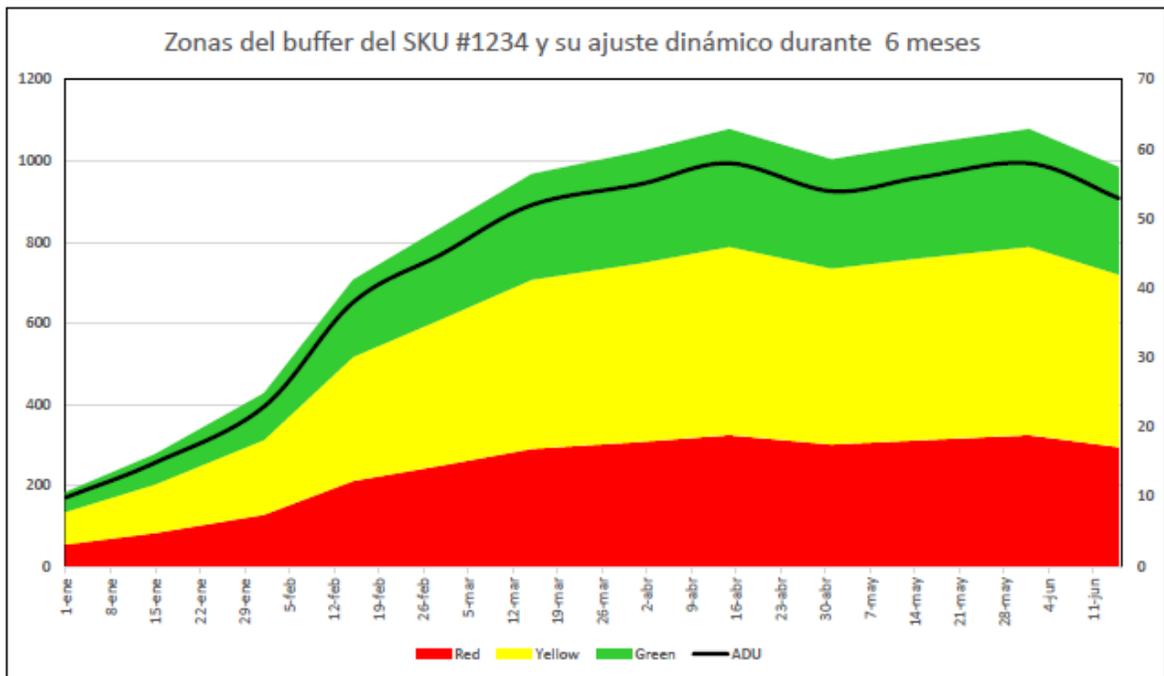
Se define como un recálculo automático de la posición del buffer teniendo en cuenta las variables de su ecuación:

- i) Consumo promedio diario (ADU). El ajuste de esta variable tiene un efecto dramático en el tamaño del buffer ya que afecta las 3 zonas de este. El ajuste debe hacerse diariamente y en el horizonte de tiempo definido de acuerdo con lo descrito en el numeral 5.2.2.
- ii) Lead time (LT). Al igual que el consumo promedio diario (ADU), el ajuste de esta variable tiene un efecto dramático en el tamaño del buffer ya que está integrado en el cálculo de las 3 zonas que lo componen. Sin embargo, su ajuste no es frecuente y obedece a disminuciones temporales de capacidad, mantenimiento de maquinaria y cambios en las condiciones de negociación con proveedores.
- iii) Cambios en el perfil del buffer. Son consecuencia de cambios en la clasificación tanto de la variabilidad de la demanda como de la clasificación del lead time. Como consecuencia la zona roja del buffer se verá afectada.
- iv) MOQ: este ajuste se da principalmente por cambios en las condiciones de producción en el caso de componentes manufacturados o de

negociación y/o cambio de proveedor en los componentes comprados. Como consecuencia de este ajuste, la zona verde sufrirá cambios en su tamaño.

De acuerdo con Ptak y Smith (2016), las últimas 3 variables (lead time, perfil del buffer y MOQ) son estáticas y su ajuste debe darse en un horizonte mayor o igual al lead time. La figura 20 muestra como las diferentes zonas del buffer son recalculadas de acuerdo con la evolución del consumo promedio diario (ADU).

**Figura 20:** Ajuste Recalculado ADU



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

### 5.3.2 Factor de ajuste planeado (PAF)

En numerosos sectores existen periodos de estacionalidad, y para ello el DDMRP recomienda el uso de factores de ajuste planeados (PAF) para manejar este fenómeno. Dichos ajustes son manipulaciones realizadas a las ecuaciones utilizadas en el cálculo de las diferentes zonas del buffer con el fin de aumentar o disminuir los niveles de buffer en un periodo determinado de tiempo.

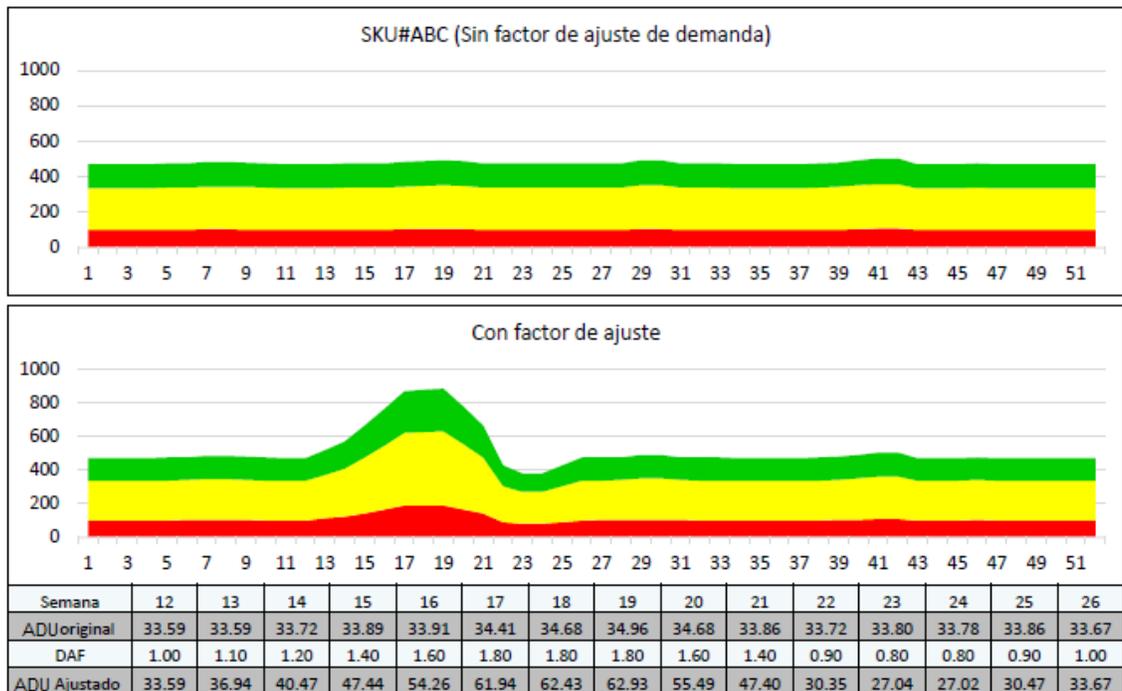
Se distinguen 3 tipos de ajustes planeados:

i) Factor de ajuste de la demanda (DAF)

Es una manipulación manual de la entrada del consumo promedio diario (ADU) en un rango de tiempo establecido como consecuencia de promociones comerciales, actividades para incentivar la demanda, especulaciones del mercado o como una reacción a los cambios rápidos de la demanda durante periodos breves de tiempo.

La Figura 21 sirve como ejemplo de un ajuste de demanda, donde en los periodos 13 al 21 se realizó un ajuste incrementando el consumo promedio diario mientras que para los 22 al 25 este ajuste se hace a la baja. Estas modificaciones son realizadas en fracciones de ADU, por ejemplo, un factor de 1.6 incrementa el ADU en un 60%, mientras que un factor de 0.8 disminuye el ADU en un 20%. Este ajuste debe realizarse en un horizonte de tiempo no inferior al lead time desacoplado (DLT).

**Figura 21:** Ajuste de demanda DAF



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

ii) Factor de ajuste de zona (ZAF)

Las tres zonas del buffer (verde, amarilla y roja) pueden igualmente ser ajustadas mediante un factor que incrementa o disminuye dicha zona. El ajuste se realiza mediante un factor de ajuste. Por ejemplo: un factor de 1.5 ajusta la zona al cual es aplicado en un 150%.

iii) Factor de ajuste de lead time (LTAF)

Para ajustar el lead time de un producto durante un periodo de tiempo determinado, para lo cual basta multiplicar este por un factor. Este factor puede ser aplicado a uno o varios productos sin necesidad de que estos tengan el mismo perfil de buffer. Un factor de 1.5 aumenta el lead time en un 150%. Dicho ajuste se encuentra motivado por cambios temporales en el lead time de fabricación o compra, debido, por ejemplo, a reducciones temporales de capacidad, mantenimiento preventivo, o cierres temporales, entre otros.

#### 5.4 PLANEACIÓN DEMAND DRIVEN O BASADA EN LA DEMANDA

Hasta el momento, el sistema DDMRP solo ha sido modelado. El siguiente componente tiene como objetivo la generación de pedidos de suministro con el tiempo y cantidad apropiados para atender la demanda de cada producto, para lo cual el DDMRP introduce la ecuación de flujo neto.

##### 5.4.1 Ecuación de flujo neto

Como se dijo anteriormente, la ecuación de flujo neto es la responsable por la generación de los pedidos de suministro y es definida por la siguiente expresión:

$$NFE = a \text{ la mano} + \text{en camino} - \text{demanda calificada} \quad (8)$$

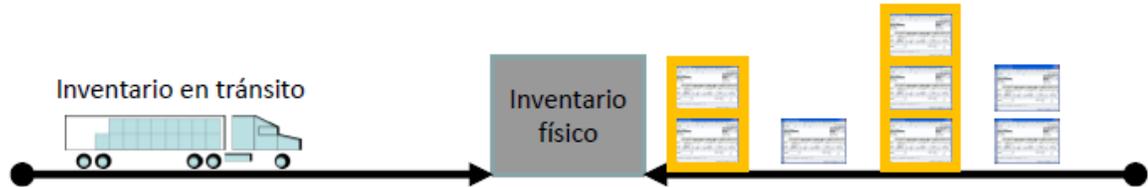
Donde,

*A la mano*, es la cantidad de stock físicamente disponible. En la figura 22 está representado por la caja gris inventario físico o “inventario disponible”.

*En camino*: cantidad de inventario que se ha pedido pero que aún no ha sido recibido. En la figura 22 está representado por el inventario en tránsito del camión.

Demanda calificada. Es la sumatoria de los pedidos con fecha de entrega en el pasado, pedidos con fecha de entrega del día en curso, más los picos calificados, Estos últimos abordados con mayor profundidad en el numeral 5.4.2. En la figura 22, la demanda calificada se encuentra resaltada en amarillo.

**Figura 22:** Componentes ecuación de flujo neto

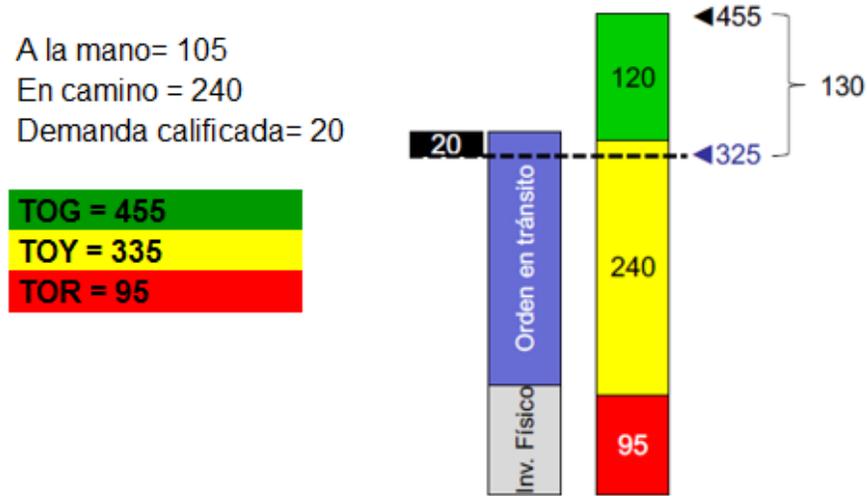


Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Mientras la ecuación de flujo neto se encuentre en la zona verde del buffer no habrá generación de pedidos de suministro. Sin embargo, tan pronto la ecuación de flujo neto ingresa a la zona amarilla o roja se hará un pedido de suministro cuya cantidad será igual a el tope de la zona verde (TOG) menos el resultado de la ecuación de flujo neto. Este proceso debe realizarse cada día a fin de conseguir la generación de órdenes de suministro.

A modo de ejemplo, considere la siguiente información para el calcular la ecuación de flujo neto, como se observa en la figura 23.

**Figura 23:** Ejemplo ecuación flujo neto



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Aplicando la ecuación 8 tiene que:

$$NFE = 105 + 240 - 20$$

$$NFE = 325$$

Dado que el resultado de la ecuación de flujo neto se encuentra dentro de la zona amarilla, se genera una sugerencia de orden de suministro por 130 unidades.

$$sugerencia\ suministro = TOG - NFE$$

$$sugerencia\ suministro = 455 - 325$$

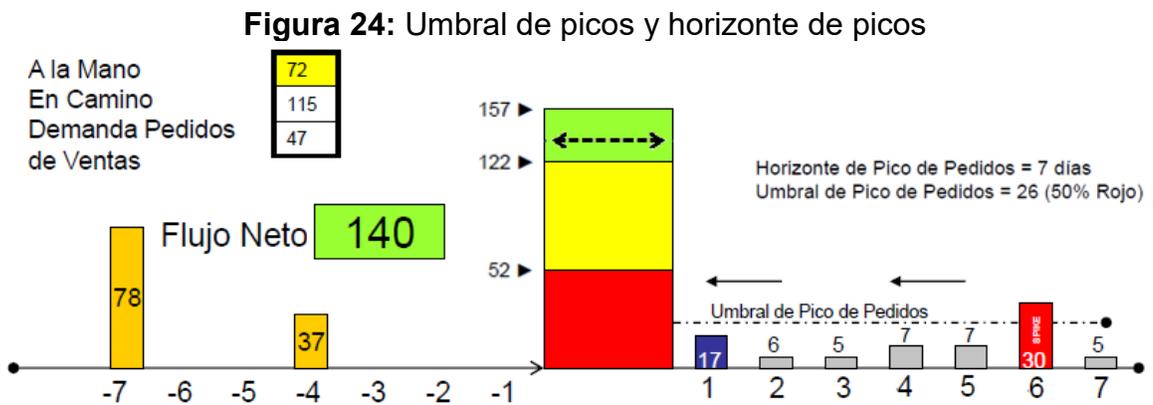
$$sugerencia\ suministro = 130$$

#### 5.4.2 Picos de demanda calificados

Un pico de pedido se define como una demanda acumulada para una fecha en el futuro que amenaza la integridad del buffer. Esto significa que es necesario definir un mecanismo para identificar dicha situación. DDMRP define los conceptos de umbral de picos de demanda y horizonte de picos de demanda. El objetivo de estos nuevos puntos de control es el de anticipar esta demanda y realizar los ajustes pertinentes en el cálculo de la ecuación del flujo neto con el fin de emitir sugerencias

de aprovisionamiento que permitan atender estos pedidos sin poner en riesgo la integridad del buffer. De acuerdo con Ptak y Smith (2016), el umbral de picos y horizontes de picos se definen de la siguiente manera:

- i) El umbral de picos: se define como un nivel el cual una vez sobrepasado califica la demanda futura. Generalmente este nivel está representado como una fracción de la zona roja del buffer. Ptak y Smith (2016) sugieren que este nivel se tome como el 50% de la zona roja. También es posible definir este umbral como una cantidad fija respecto al buffer, sin embargo, este caso presenta desventajas con respecto al primero debido a que no será recalculado cada vez que el buffer sufra una actualización.
- ii) Horizonte de picos: la segunda condición para calificar una demanda futura como demanda calificada, es definir un horizonte de tiempo. Dicho horizonte es una ventana de tiempo en la cual un pedido puede ser considerado como una amenaza para la integridad del buffer. Esta ventana de tiempo está definida en fracciones del lead time desacoplado (DLT).



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

La figura 24, muestra una simulación de los componentes de la ecuación del flujo neto. Resaltados en color naranja el inventario en camino cuya suma es de 115 unidades. El inventario a la mano es de 72 unidades mientras que la demanda

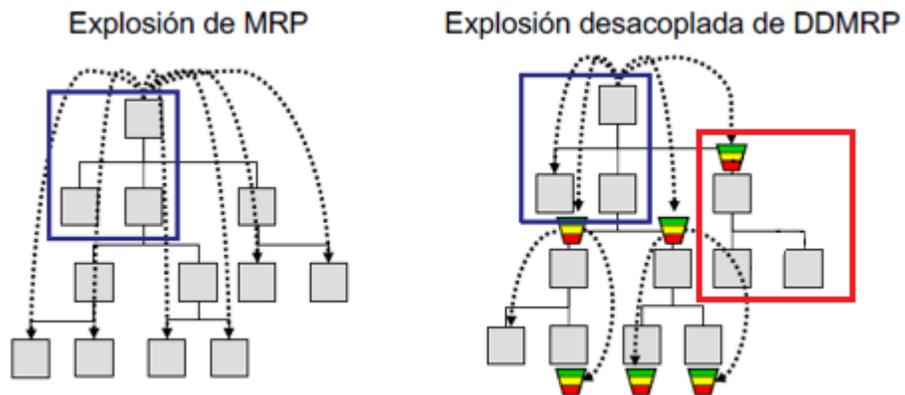
calificada solo se toma en cuenta las cantidades de los pedidos con fecha de despacho en el pasado, cuya cantidad en el ejemplo es cero. Los pedidos pendientes por despachar en el día uno, cuya cantidad es de 17 unidades (resaltadas en color azul) y los picos calificados con 30 unidades (resaltadas en color rojo). Debe considerarse que a pesar de que las 30 unidades pedidas se encuentran en horizonte mayor a 1 día, son consideradas como demanda calificada al cumplir con las condiciones de pico de demanda calificada: ya que superan el umbral de pico calificado definido en 26 unidades al tiempo que se encuentran dentro del horizonte de tiempo definido de 7 días.

#### 5.4.3 Explosión desacoplada

La explosión de materiales es el proceso de cálculo de la demanda de componentes de un artículo padre, a partir de la cantidad especificada en la lista de materiales de dicho componente (Diccionario APICS 12th, 2008).

A diferencia de MRP donde la explosión de materiales se ejecuta desde el nivel superior hasta el nivel inferior de la BOM creando dependencia entre los componentes, DDMRP realiza una explosión desacoplada de lista de materiales deteniéndose una vez se llega a un componente con buffer sin importar que este no sea el último nivel en la lista de materiales. Para que la explosión pase a un nivel inferior del buffer, es necesario que la ecuación de flujo neto ingrese a la zona de reposición (zona amarilla o roja).

**Figura 25:** Explosión desacoplada



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

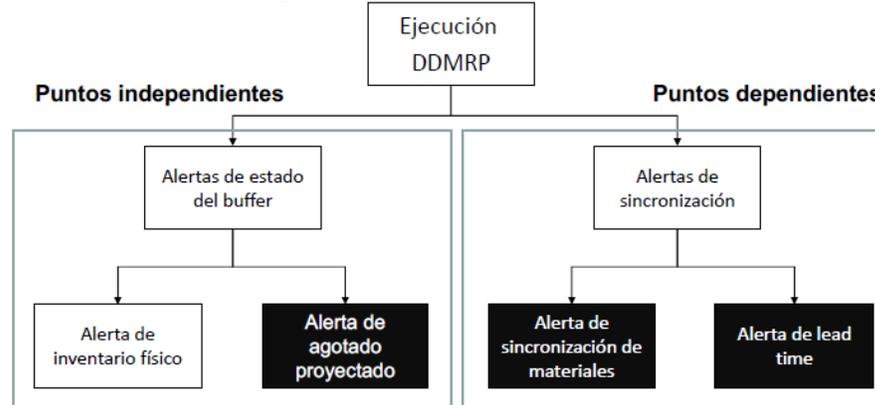
La figura 25, muestra las diferencias en la explosión de la lista de materiales entre la metodología MRP y DDMRP. Para los componentes que no tienen configurado un buffer, tanto MRP como DDMRP realizan cálculos semejantes (ver componentes en el recuadro azul de la figura 18). Sin embargo, para los componentes configurados con buffer, la explosión se detiene una vez se llega a este punto (ver recuadro rojo de la figura 25), continuando si y solo si la ecuación de flujo neto ingresa a la zona amarilla.

## 5.5 EJECUCION VISIBLE Y COLABORATIVA

DDMRP hace una cuidadosa distinción entre la planeación y la ejecución. Planeación es el proceso de generación de órdenes de suministro mediante el uso de la ecuación de flujo neto. En tanto la ejecución es el proceso de programación y control de las ordenes de suministro generadas (Ptak y Smith, 2016).

Para tal fin, se definen dos criterios que permiten proteger y promover el flujo de información relevante.

**Figura 26: Alertas DDMRP**



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Como se muestra en la figura 26, los criterios utilizados para la gestión de las órdenes de suministro son: i) alertas de estado de buffer y ii) alertas de sincronización.

- i) Las alertas de estado del buffer están diseñadas para mostrar el estado actual y proyectado del inventario disponible en los puntos independientes. Estas alertas no utilizan la ecuación de flujo neto ya que su objetivo es mostrar si el inventario disponible (on-hand) cubre o no la demanda, ya que, de no contar con el inventario suficiente, es posible que el punto de desacople permita la transmisión de la variabilidad aguas abajo en la cadena de suministro.
- ii) Las alertas de sincronización por su parte están diseñadas para resaltar problemas con respecto a los ítems dependientes (ítems que no han sido desacoplados).

Si se considera el ejemplo mostrado en la figura 27, este sigue inicialmente la lógica de priorización por fecha, pero se observa que las tres órdenes tienen la misma fecha en cuyo caso se resaltan los niveles de buffer, los cuales indican las diferencias para estas 3 órdenes. Claramente puede notarse que, a pesar de tener la misma fecha, la orden PO 831145 tiene menor nivel de buffer, por ende, mayor prioridad sobre las otras PO (Miclos, 2016).

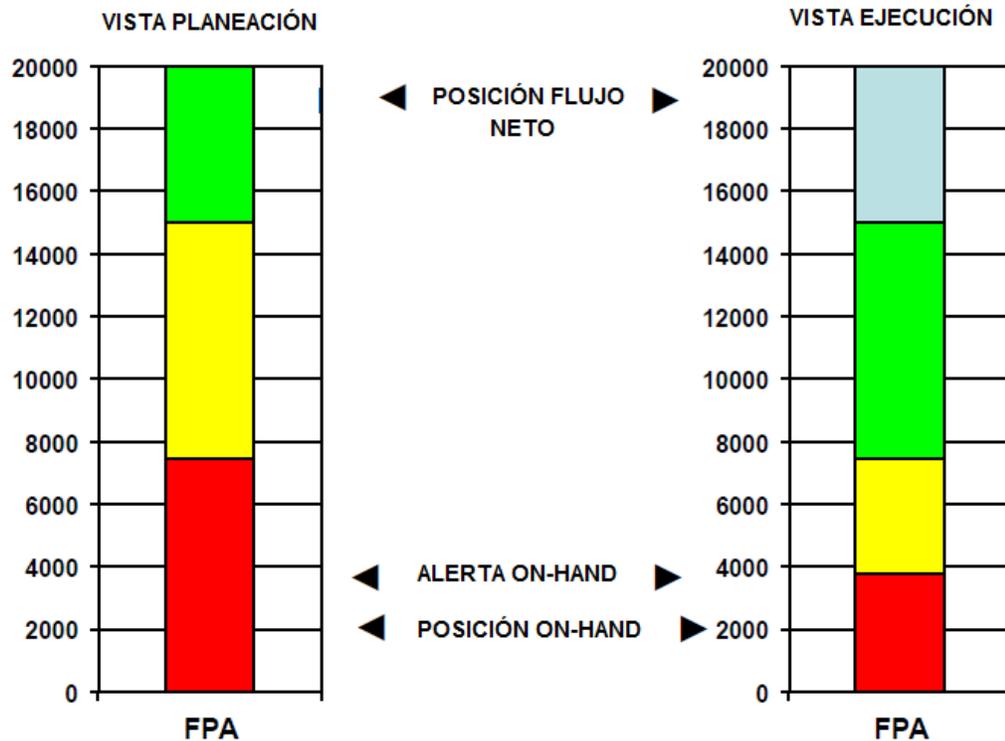
**Figura 27:** Priorización por estado del buffer

Order #	Due date	Buffer Status	Supplier
PO 831145	05 / 12	RED - 12.3%	PNW Fabrication
PO 821158	05 / 12	YELLOW - 52.3%	PNW Fabrication
PO 831162	05 / 12	YELLOW - 56.1%	PNW Fabrication

Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

La ejecución y por tanto la priorización de órdenes de suministro está basada en el estado del inventario disponible (On-hand). Es por esto por lo que la representación convencional del buffer debe ser ajustada para mostrar dicho fin. La figura 28 hace una comparación entre el buffer de planeación y el buffer de ejecución.

**Figura 28:** Buffer de planeación y ejecución



Fuente: (Ptak y Smith, 2016)

Como se muestra en la figura 28, a pesar de que tanto del buffer de planeación (izquierda en la gráfica) como el buffer de ejecución (derecha en la gráfica) son de

igual tamaño se notan varias diferencias entre sí. Las diferencias y construcción del buffer de ejecución son explicadas a continuación:

i) Zona roja del buffer de ejecución:

Representa el 50% de la zona roja del buffer de planeación.

ii) Zona Amarilla del buffer de ejecución.

Representa el restante 50% de la roja del buffer de planeación.

iii) Zona verde del buffer de ejecución:

Es equivalente a la zona amarilla del buffer de planeación.

iv) Zona azul del buffer de ejecución:

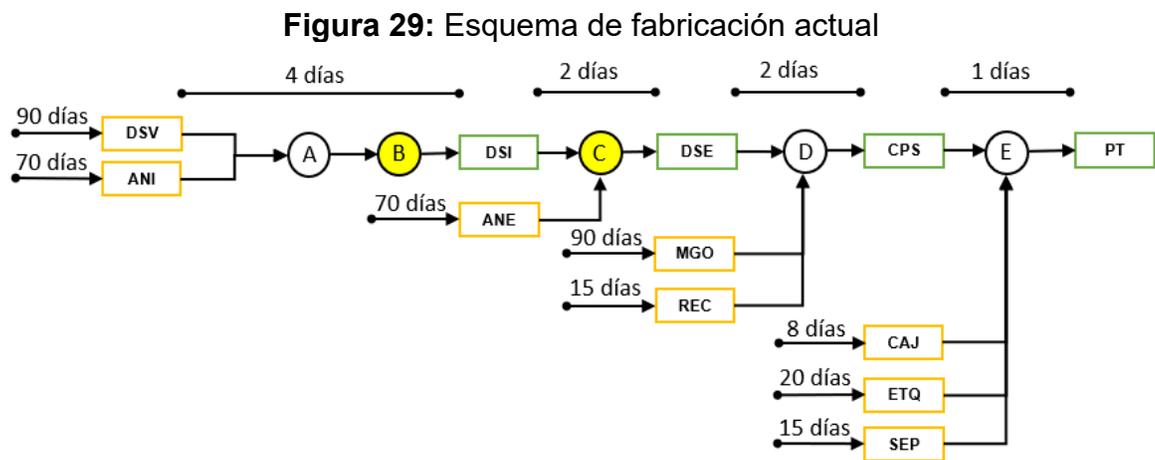
Esta nueva zona corresponde a la zona de exceso de inventario y es equivalente a la zona verde del buffer de planeación

La priorización deberá realizarse con base al estado del buffer de ejecución como se mencionó anteriormente, esto quiere decir que la prioridad en la ejecución estará para aquellos materiales que ingresen a la zona roja, luego para aquellos ítems cuyo inventario se encuentre en la zona amarilla y por último aquellos cuyo inventario se encuentre en la zona verde y azul respectivamente.

## 6. PILOTO IMPLEMENTACION DDMRP

### 6.1 ESQUEMA DE FABRICACIÓN ACTUAL PROCESO NON STICK

La figura 29, muestra el esquema de fabricación actual en la planta de non Stick, resaltados en color naranja, los ítems comprados (P), en color verde los ítems manufacturados (M). los círculos representan las operaciones necesarias para la fabricación de cada componente. Resaltado en color amarillo las operaciones críticas (cuello de botella) del proceso de Non Stick definidas como la operación restricción de la línea de fabricación.



Fuente: Elaboración propia

Se debe considerar que el lead time para los productos manufacturados están dados de acuerdo con el cálculo de la cantidad económica de producción o EPQ por sus siglas en inglés, dicha expresión se muestra en el anexo 1.

### 6.2 POSICIONAMIENTO PUNTOS DE DESACOPLE

Los criterios para el posicionamiento de los puntos de desacople son resumidos en la tabla 8.

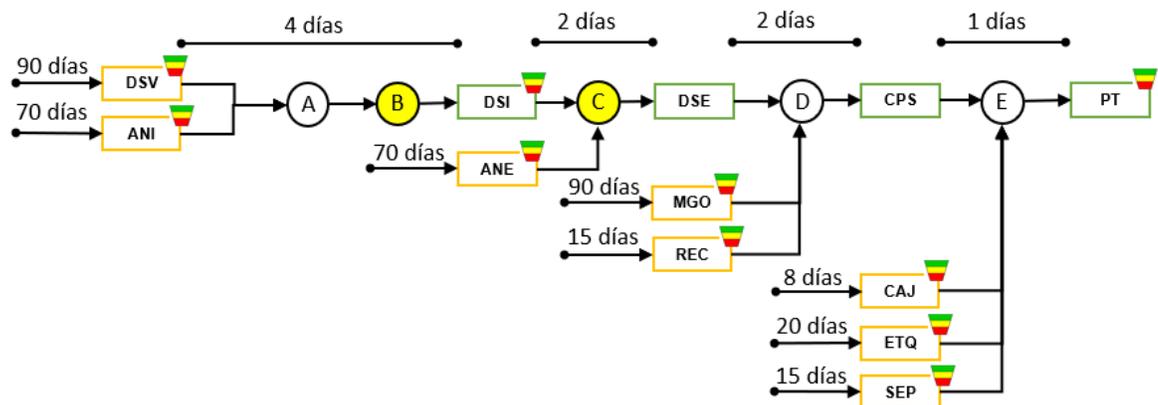
**Tabla 8:** Criterios puntos de desacople

Criterio	Descripción
Tiempo de tolerancia del cliente	El cliente espera tener disponibilidad de producto máximo 2 días después de la colocación del pedido. Por lo que es necesario tener punto de desacople en el producto terminado
Apalancamiento y flexibilidad del inventario	Se ubican puntos de desacople en las materias primas con el fin de reducir los tiempos de abastecimiento.
Protección de operaciones críticas	A pesar de que las operaciones B y C son realizadas por el mismo equipo cuello de botella, se decide solo desacoplar en la operación B, ya que esta primera operación es común para todos los componentes, mientras que en la operación C se realiza la personalización para cada cliente (el nivel de agregación el menor).

Fuente: Elaboración propia

La figura 30, muestra el nuevo esquema de fabricación con los puntos de desacople definidos en la tabla 8.

**Figura 30:** Esquema de fabricación con puntos de desacople



Fuente: Elaboración propia

### 6.3 DEFINICION DE PARAMETROS PARA CALCULO DE BUFFER

La tabla 9, resume de los parámetros necesarios para el cálculo de los buffers para el modelo de desacople propuesto en la figura 30.

**Tabla 9:** Parámetros modelo propuesto.

Parámetro	Valor	Descripción
Lead time desacoplado (DLT)	5 días	Suma de lead times de las operaciones C, D y E respectivamente. Ver figura 30.
Factor lead time	0.4	Lead time medio. Ver tabla 5
Factor de variabilidad	1	$CV^2 = 1.43$ . aplicando formula 1 Variabilidad alta. Ver tabla 6
Perfil del buffer	MMH	Producto manufacturado, lead time medio y variabilidad alta
MOQ	300	el MOQ es calculado por el área de ingeniería haciendo uso de la metodología de cálculo EPQ. ver anexo 1.
Frecuencia Orden	7	Basados en el análisis de datos históricos, se requiere la generación de órdenes de fabricación con periodicidad semanal.

Fuente: Elaboración propia

### 6.4 ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARAMETROS DEL BUFFER

Para el análisis de sensibilidad de los parámetros del buffer, se toma como referencia los valores de la tabla 9. Para el cálculo del consumo promedio diario (ADU) se toman los consumos reales de 15 días, estos valores son mostrados en la tabla 10:

**Tabla 10:** Consumo promedio Diario

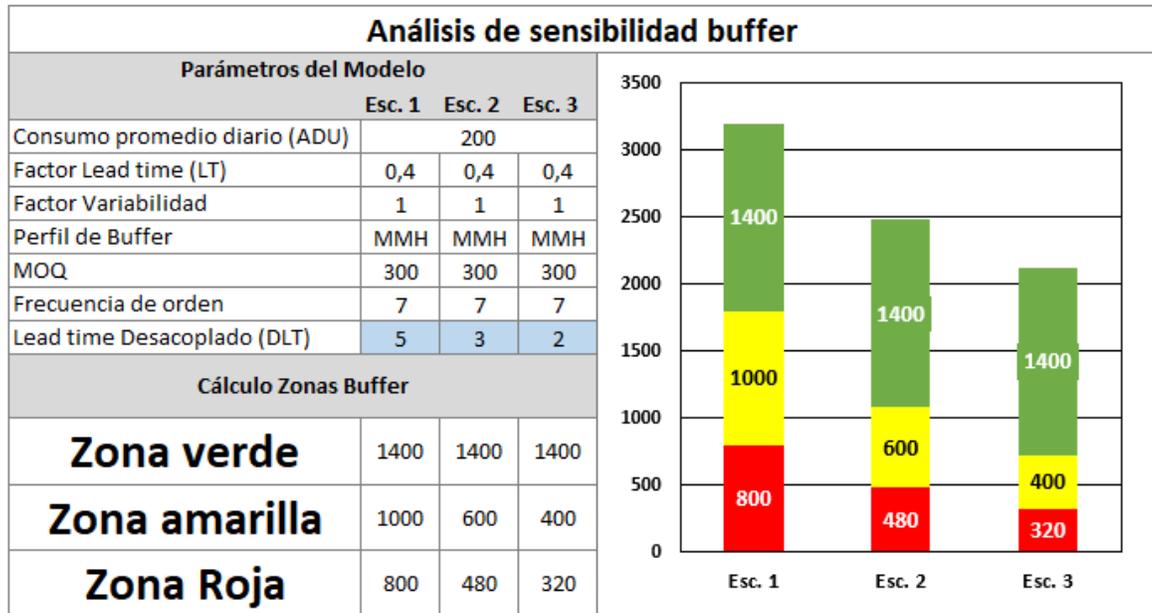
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Consumo	81	156	165	89	240	200	115	269	239	138	337	200	332	150	289

Fuente: Elaboración propia

$$ADU = \frac{81 + 156 + 165 + 89 + 240 + 200 + 115 + 269 + 239 + 138 + 337 + 200 + 332 + 150 + 289}{15}$$

$$ADU = 200$$

**Figura 31:** Análisis de sensibilidad parámetros buffer



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 31, se simula el comportamiento de tres escenarios diferentes. Resaltado en color azul el parámetro modificado para cada escenario, en este caso el lead time desacoplado (DLT), mientras los demás parámetros permanecen iguales en cada uno de los escenarios.

**Figura 32: Tamaño del buffer**

	<b>Esc. 1</b>	<b>Esc. 2</b>	<b>Esc. 3</b>
<b>Tamaño del Buffer</b>	<b>3.200</b>	<b>2.480</b>	<b>2.120</b>
Días cobertura zona verde	7,0	7,0	7,0
Días cobertura zona amarilla	5,0	3,0	2,0
Días cobertura zona roja	4,0	2,4	1,6
Total días cobertura Buffer	16,0	12,4	10,6
<b>Variación buffer vs Esc.1</b>		<b>-23%</b>	<b>-34%</b>

Fuente: Elaboración propia

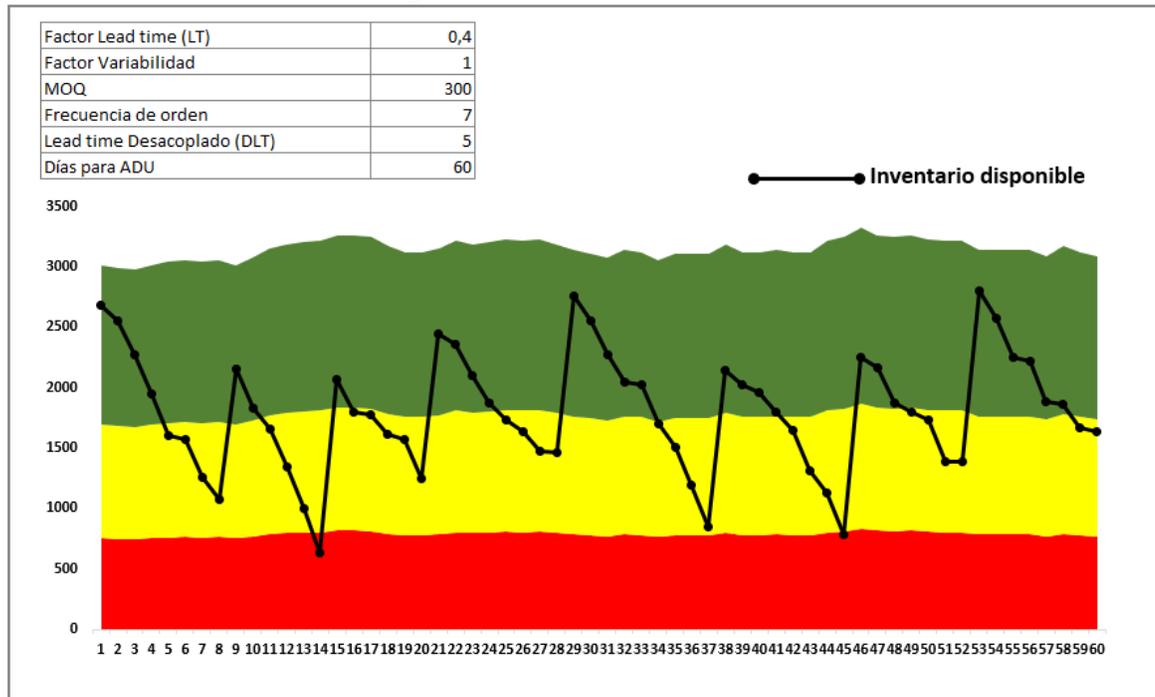
Como se muestra en la figura 32, al comparar los resultados del escenario 1 vs los resultados del escenario 2, la disminución de 40% en el lead time desacoplado (DLT), al pasar de 5 días a 3 días representa una reducción del 23% en el tamaño de buffer total, mientras la disminución de 1 día adicional conlleva a una reducción adicional de un 11%

Dicha reducción, supone no solo menos uso de capital de trabajo, sino también una reducción en espacio de almacenamiento y demás costos asociados al mantenimiento de inventario. De forma similar se puede realizar análisis de sensibilidad de los diferentes parámetros que afectan el modelo, para establecer los efectos de sus cambios sobre los buffers y de estos sobre su capacidad de reacción frente a la demanda.

#### 6.5 SIMULACION MODELO DESACOPLE PROPUESTO

Para la simulación del modelo, se tomaron 150 días de historia de facturación. Dichos datos son divididos en dos partes a fin de entrenar el modelo y luego verificar su desempeño frente a la realidad observada. La figura 33 muestra los resultados de dicha simulación

**Figura 33: Simulación Buffer**



Fuente: Elaboración propia

Una vez analizados los resultados de 60 días de simulación, se puede concluir los siguientes:

- El modelo tiene la suficiente robustez para reaccionar a cambios moderados en la demanda.
- Se obtuvo un nivel de servicio del 100% comparado contra el nivel de servicio real obtenido en el mismo periodo de tiempo de 87% para el ítem en cuestión. Este aumento significa no solo cumplir los requerimientos del cliente, sino que supone también una disminución en la multa por incumplimiento de nivel de servicio de alrededor de 25 millones de pesos en el periodo analizado, lo que representa un 24% de disminución.
- De igual forma se evidencia un aumento de 5.5% en el espacio requerido para el almacenamiento de producto terminados en los dos primeros meses de aplicación del modelo. Sin embargo, tiende a desaparecer e incluso se reduce en 9.8% a partir del 4 mes de implementado el modelo.

## 7. CONCLUSIONES

Una de las principales dificultades a las que se enfrenta una de las metodologías de planeación más reconocidas a nivel empresarial como MRP radica en hacer frente y gestionar las fuentes de variabilidad presentes tanto en la demanda como en abastecimiento (fabricación y/o compra de componentes).

El modelo Demand Driven MRP (DDMRP), introduce una nueva propuesta para gestionar dichas fuentes de variabilidad y a promover el flujo de información relevante. Mediante el uso de simulación discreta, fueron puestos a prueba estos nuevos conceptos, validando la robustez de estos y mejorando los resultados obtenidos con el actual método de planificación (MRP) que es utilizado en la línea NON STICK GSA.

El marco de referencia planteado en el presente proyecto, busca ser una guía para aquellos que deseen implementar el modelo DDMRP, en el cual mediante un piloto se lograr mostrar la forma de parametrización, ajuste, actualización y control de este. Para tal fin, se desarrollaron una primera herramienta que sirve para mostrar la sensibilidad del modelo frente a los cambios de los parámetros y una segunda sirve para mostrar mediante una simulación cómo funciona el modelo.

Los parámetros del modelo fueron sometidos a análisis de sensibilidad con el fin de conocer los límites de DDMRP en cada una de las simulaciones, los resultados fueron superiores a los obtenidos con el método actual, logrando niveles de servicio del 98% lo que supone un aumento de 10% frente al nivel de servicio actualmente presentado por la GSC.

Pese a los buenos resultados, es necesario reconocer la sensibilidad que el modelo tiene ante el valor de parámetros como: lead time desacoplado (DLT), frecuencia de orden y variabilidad, por lo que estos no deben ser asignados de manera empírica y deben seguir toda la rigurosidad necesaria para ser determinados.

## 8. RECOMENDACIONES

Analizados los resultados de las simulaciones realizadas se sugieren los siguientes puntos de control y mejora para garantizar implementación de la metodología DDMRP en la planta de non Stick.

i) Definición de lead times:

de acuerdo con el análisis de sensibilidad realizado a los parámetros de cálculo de buffer, se evidenció que el modelo es muy sensible a cambios en dicho parámetro (lead time desacoplado) por lo que es necesario revisar exhaustivamente dicho parámetro e implementar programas de mejora continua que permitan disminuir los factores que en el cálculo de lo lead times de producción.

ii) Variabilidad

Al igual que en el caso anterior, el modelo reacciona significativamente a la variabilidad, por lo que es importante el trabajo continuo tanto con proveedores como en el proceso productivos para llevar este parámetro a niveles óptimos.

iii) Frecuencia de orden

Punto importante en la reducción de la zona verde del Buffer y por ende en el buffer total, se recomienda la revisión de la política actual basada en la clasificación ABC con el fin de aumentar la frecuencia lo que generará no solo disminución del inventario, sino también flexibilidad en la fabricación

De igual forma, se recomienda la aplicación de la implementación a los demás procesos productivos de GSA, dados los resultados de la simulación, se encuentra una gran oportunidad de mejorar los resultados a nivel general de la compañía.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Bonvik, A.M., Couch, C.E., Gershwin, S.B., (1997). *A comparison of production-line control mechanisms*. Int. J. Prod. Res. 35, 789–804.
- Buzacott, J.A., (1989). *Queueing models of Kanban and MRP controlled production systems*. Eng. Costs Prod. Econ. 17, 3–20.
- González-R, Framinan J. and Pierreval H. (2011). *Token-based Pull Production Control Systems: An Introductory Overview*. Journal of Intelligent Manufacturing 23: 5–22.
- Gupta, S.M., Al-Turki, Y. a. Y., Perry, R.F., (1999). *Flexible kanban system*. Int. J. Oper. Prod.Manag. 19, 1065–1093.
- Hopp, W., and Spearman M. (1996). *Factory Physics: Foundations of Factory Management*. Chicago, IL: InvinIMcGraw Hill.
- Lee H, and Billington C. (1992) “*Managing Supply Chain Inventory -Pitfalls and Opportunities*.” Sloan Management Review 33, no. 3 (SPR 1992): 65–73.
- Miclo R., Lauras M., Fontanili F., Lamothe J. & Melnyk A. (2018): *Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management*, International Journal of Production Research.
- Miclo R. (2016). *The” Demand Driven MRP” Promises: a Discrete Event Simulation Approach*. Modeling and Simulation. Ecole des Mines d’Albi-Carmaux.
- Miclo R., Fontanili F., Lauras M., Lamothe J. & Milian B. (2016). An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP. IFAC-PapersOnLine 49-12 (2016) 1725–1730

- Mohebbi E., Choobineh F., Pattanayak A. (2007). *Capacity-driven vs. demand-driven material procurement Systems*. Int. J. Production Economics. 107: 451–466
- Orlicky, J. A. (1974). *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*. New York:McGraw-Hill.
- Ptak, C., and C. Smith. (2011). *Orlicky's Material Requirements Planning 3/E*. New York: McGraw Hill Professional.
- Ptak, C., and C. Smith. (2016). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*. Norwalk, CT: Industrial Press.
- Schroeder R., Meyer S., Rungtusanatham M. (2010). *Operations Management: Contemporary Concepts and Cases*. 5th edition. New York: McGraw-Hill.
- Sipper, D., Bulfin, R.L.J., (1997). *Production: Planning, Control and Integration, International Edition*. ed. Primis Custom Publishing.
- Spearman, M.L., Woodruff, D.L., Hopp, W.J., (1990). *CONWIP: a pull alternative to kanban*. Int. J. Prod. Res. 28, 879–894.
- Syntetos, A. A.; Boylan, J. E. (2005). *The accuracy of intermittent demand estimates*. International Journal of Forecasting, Vol.21, No 2, pp. 303-314

## 10. ANEXOS

### **Anexo 1:** Cantidad económica de producción

Lote de producción de un único producto para el cual los costos por emitir la orden de producción y los costos por mantenerlo en inventario se igualan

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_0}{(1 - D/P)C_h}}$$

Donde:

$C_h$ : Costo de tenencia

$C_0$ : Costos de preparación o set up.

$D$  : tasa anual de demanda

$P$ :Tasa de producción anual

### **Anexo 2:** Varianza

Medida de dispersión de cada valor observado con respecto a la media.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}$$

Donde:

$N$ : tamaño de la población

$X_i$ : Valor de la observación

$\mu$ : media

### **Anexo 3: Desviación estándar**

Raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Donde :

$\sigma^2$ : Varianza

### **Anexo 4: Coeficiente de variación**

Relación entre la desviación estándar y su media.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100$$

Donde:

$\sigma$  : desviación estándar

$\mu$ : media

### **Anexo 5: Coeficiente de variación del cuadrado**

Proporciona una medida normalizada utilizada para estimar la varianza de un proceso.

$$CV^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{x}^2} \left\{ \begin{array}{l} < 0.75 \text{ Variabilidad baja} \\ \geq 0.75, < 1.33 \text{ Variabilidad media} \\ \geq 1.33 \text{ Variabilidad alta} \end{array} \right\}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

$\bar{x}^2$  = demanda Promedio al cuadrado

### Anexo 6: Error porcentual absoluto medio (MAPE)

Mide el tamaño del medio del error absoluto en términos porcentuales.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n} \times 100$$

Donde:

$A_t$  : demanda real en el periodo t

$F_t$ : pronostico en el periodo t

n: número de periodos

### Anexo 7: Intervalo de demanda promedio (ADI)

Mide la regularidad de una demanda en el tiempo al calcular el intervalo promedio entre dos demandas.

Ejemplo de un historial de demanda en 12 intervalos de tiempo:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	6	5	0	9	2	0	14	0	0	21	0	17

$$ADI = \frac{(2 - 1) + (4 - 2) + (5 - 4) + (7 - 5) + (10 - 7) + (12 - 10)}{6} = 1.83$$

Cada elemento surge de restar el periodo mayor donde se presenta una demanda >0 con el periodo anterior donde la demanda fue >0

En el caso del elemento (10-7) se resta al periodo 10 donde la demanda es de 21 unidades el periodo anterior cuya demanda fue >0, en este caso el periodo 7 donde la demanda alcanzó un total de 14 unidades.

Lo anterior indica que en promedio cada 1.83 días se presenta una demanda de producto.

### Anexo 8: Hoja de cálculo para Simulación y cálculo de buffer

<b>Pestaña</b>	<b>Descripción</b>	<b>Parámetros necesarios</b>
Cálculo de Buffer	Permite realizar el cálculo de las tres Zonas del buffer, cálculo de cobertura de inventario para cada una de las zonas del buffer e inventario promedio esperado.	Consumo promedio diario (ADU)
		Factor Lead time (LT)
		Factor Variabilidad
		Perfil de Buffer
		MOQ
		Frecuencia de orden
Análisis de Sensibilidad buffer	Permite realizar la simulación del comportamiento del buffer y sus diferentes zonas al modificar los parámetros del modelo.	Consumo promedio diario (ADU)
		Factor Lead time (LT)
		Factor Variabilidad
		Perfil de Buffer
		MOQ
		Frecuencia de orden
Simulación	Permite la simulación de la evolución del Buffer y sus respectivas zonas a través del tiempo. Configurado para utilizar 150 registros de consumo divididos en dos grupos i) 90 registros iniciales utilizados para configuración y estabilización del modelo y 60 registros para análisis de resultados.	Consumo real (150 registros)
Gráfica Simulación	Representación gráfica de los resultados de simulación. Solo toma en cuenta los últimos 60 registros.	Consumo promedio diario (ADU)
		Factor Lead time (LT)
		Factor Variabilidad
		Perfil de Buffer
		MOQ
		Frecuencia de orden
		Lead time Desacoplado (DLT)



Simulador  
DDMRP.xlsx