

VirtualClass

NT-CGIP-L9-0120



Modelos de *Stocks* con demandas aleatorias

Por: MBA, M.Sc. Ing. Diego Luis Saldarriaga R.

Esta nota técnica fue escrita por el Profesor Diego Luis Saldarriaga R. de Zonológica S.A.S. El objetivo de esta nota técnica es servir de soporte a los cursos de gestión de inventarios y a cursos de cadena de suministro y operaciones, adicionalmente tiene el propósito también que sea un soporte que fomente la discusión más que ilustrar de forma ortodoxa la manera se solucionar un problema de gestión de *stocks*.

Medellín, Colombia, enero, 2020.

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN.

1. Gestión de *Stocks* bajo incertidumbre

El análisis realizado antes de esta lección estudió la forma de gestionar los *stocks* cuando la demanda es determinística o conocida y en donde el esfuerzo en la gestión estaba concentrado en optimizar los costos de posesión del inventario y de ordenar y el análisis era limitado, pues faltaba incluir los costos de tener ventas pérdidas o tener roturas de *stocks* por falta de existencias para cubrir las órdenes de los clientes.

Para la gestión de *stock* que nos ocupa en este apartado es necesario resaltar la importancia que tiene el hecho de que – ante el surgimiento de faltantes cuando la demanda es probabilística o no conocida con exactitud - las empresas se protejan con una porción de existencias para combatir la aleatoriedad mencionada.

De otro lado, los tiempos de entrega también varían porque existe aleatoriedad en dichos tiempos; lo anterior obedece a que los proveedores o las plantas de producción no entregan las unidades ordenadas en los tiempos estipulados porque en esos entornos deben lidiar con factores internos y externos que hacen que los programas de producción no se cumplan (tome el ejemplo de una rotura de una máquina o de una materia prima defectuosa) retrasando consecuentemente los programas de entregas; estas vicisitudes nos llevan a ser cautos. Una recomendación necesaria para estos casos es que también debería haber una protección contra esas variaciones.

En esta sección se estudiará el caso de la demanda probabilística como es la mayoría de las situaciones prácticas que se encuentran al gestionar el abastecimiento de productos. Los modelos que estudian cuándo ordenar se relacionarán con los siguientes tres casos:

- Sistemas de revisión continua. La revisión del modelo ocurre permanentemente.
- Sistemas de revisión periódica. El chequeo del modelo ocurre cada cierto periodo de tiempo, por ejemplo, una semana, quince días o cada mes.

Modelos de inventarios

Existen tres tipos generales de sistemas de inventarios: los modelos de revisión continua o de cantidad fija del pedido (también llamados cantidad económica del pedido - *Economic Order Quantity*, *EOQ* y modelo *Q*), los pedidos de una sola vez y los modelos de periodo de tiempo fijo (también llamados sistema periódico, sistema de revisión periódica, sistema de inventario fijo de pedido y modelo *P* o *T*).

En los sistemas de revisión continua debe analizarse el nivel de inventario en todo momento. En la práctica la revisión ocurre cada que se genera una transacción, pero para altos niveles de transacciones el control permanente es costoso y demanda grandes cantidades de tiempo de los responsables de gestionar los inventarios; este sistema permite tener menores niveles de inventarios de seguridad que el sistema periódico, debido a que deben buscarse protecciones únicamente durante el periodo de reabastecimiento o *LT*.

En los sistemas de revisión periódica el inventario se revisa cada *T* unidades de tiempo y cuando $T \rightarrow 0$ la revisión se vuelve continua. En este caso el inventario de seguridad es mayor porque debe existir un cubrimiento adicional para la porción de tiempo *T*, es decir la protección en este caso debe abarcar el periodo de tiempo $LT + T$.

Para las condiciones de demanda aleatoria se pueden usar diversos modelos de control (algunos esquemas son los más utilizados y se describirán en este documento).

Para el estudio de estos sistemas de control de inventarios se usarán las siguientes notaciones:

[Escriba aquí]

s = es el punto de re-orden (posición de inventarios desde la cual se debe lanzar un nuevo pedido al proveedor).

Q = es la cantidad que se debe ordenar en cada periodo de reabastecimiento o de planeación.

T = es el periodo de revisión del sistema (tiempo en el que el inventario debe ser revisado. Muchos autores lo denotan con la letra R).

LT = tiempo de entrega del proveedor.

M = inventario máximo disponible (límite superior hasta el cual debe ordenarse. Muchos autores lo denotan con la letra S).

En la Tabla 1 se presentan algunas reglas para seleccionar las políticas de inventarios de acuerdo con la estratificación de los productos. Una técnica de segmentación puede ser la clasificación ABC por volumen de ventas estudiada en un capítulo anterior.

	Revisión continua	Revisión periódica
Artículos A	(s, M)	(T, s, M)
Artículos B	(s, Q)	(T, M)

Tabla 1, reglas para seleccionar políticas de inventarios

Revisión continua cantidad fija - sistema s, Q

Los modelos de cantidad fija tratan de determinar el punto específico s en el cual se colocará un pedido y el tamaño Q del mismo. El punto de pedido s es siempre un número específico de unidades en inventario. Cuando las existencias bajan de ese punto de pedido o punto s se hace un reaprovisionamiento por una cantidad Q que siempre es fija, aunque el tiempo entre pedidos puede ser diferente; lo anterior quiere decir que el tiempo en que la posición actual de *stock* llegue a s puede variar dependiendo de la velocidad con que las ventas fluyan. La solución a este modelo es algo así: cuando el número de unidades en *stock* llegue a 458 genere un pedido de 1.940 unidades más.

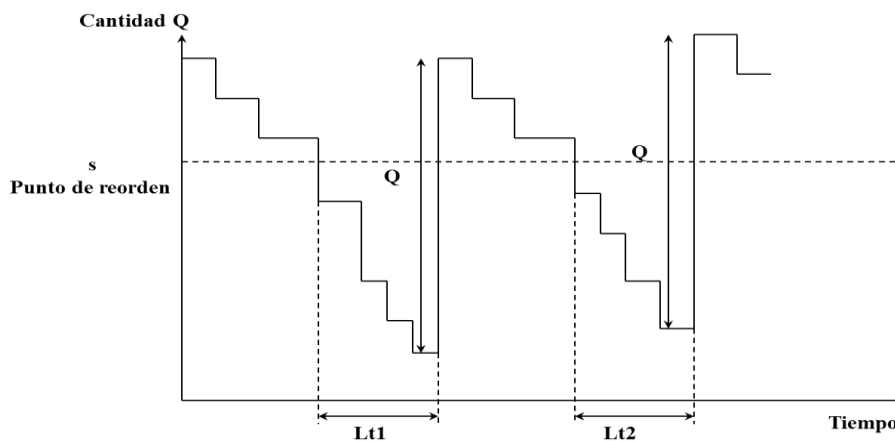


Figura 1, modelo s, Q

[Escriba aquí]

La Figura 1 representa el proceso del nivel del inventario con respecto al tiempo. Nótese cómo la cantidad de pedido Q se considera fija y predeterminada con anterioridad, pero $Lt1$ y $Lt2$ pueden ser diferentes. Asimismo, Q se calcula con base en algún método, incluyendo la cantidad económica de pedido estudiada en el capítulo anterior.

Este modelo requiere:

- Revisión continua (diaria) de los niveles de inventario. Se trata de estar alerta para conocer el momento en que la posición de inventario llegue a l nivel de s .
- El intervalo entre pedidos varia pero la cantidad a pedires fija.
- Las órdenes se hacen exactamente cuando los niveles de inventarios están en el punto s o punto de reorden.
- Los pedidos diferentes que estén en curso se reciben en la misma secuencia en que fueron ordenados.
- Con un adecuado nivel de s se pueden obtener altos niveles de servicio, por lo que es recomendado para artículos tipo “A”.
- Este tipo de modelos puede garantizar un mejor nivel de servicio con menor inversión.
- Como se puede deducir de la Figura 1, la cantidad de pedido Q es determinada y no tiene ninguna relación con s (son independientes).
- Los costos de producción se disminuyen si se estandariza una cantidad de lote fija (de preferencia la económica).
- Lo ideal en este modelo es realizar un pedido justo antes de que el nivel de existencias toque el punto s ; con esto se garantizará cero faltantes, siempre y cuando la demanda real durante el tiempo de abastecimiento o LT sea menor o igual a la porción s .

Nótese como cualquier posición de inventarios q por debajo de s , es decir $s-q \neq 0$ colocará el nivel de servicio en alerta. Una buena gestión debe buscar siempre que $s-q = 0$.

Punto de reorden (s)

En este modelo aún queda pendiente responder ¿Cuál es el valor de s o punto de re-orden? Este punto s está representado por la siguiente ecuación:

$$s = \hat{x}_L \tag{1}$$

Donde:

\hat{x}_L = estimación de la demanda esperada en el tiempo de reposición L , en unidades.

En los casos en que sea frecuente que la demanda durante L sobrepase el nivel de s es conveniente protegerse con un *stock* de seguridad quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$s = \hat{x}_L + IS \tag{2}$$

Si $\hat{x}_L = dL$, entonces.

$$s = \hat{x}_L + IS = d \times L + IS$$

[Escriba aquí]

Donde:

IS = stock de seguridad.

d = demanda diaria promedio en unidades.

L = Tiempo de entrega de los pedidos.

Más adelante se volverá sobre IS y se definirán varias alternativas para hacer los cálculos del inventario de seguridad.

Sistema Q con nivel máximo s , M (Mín - Máx)

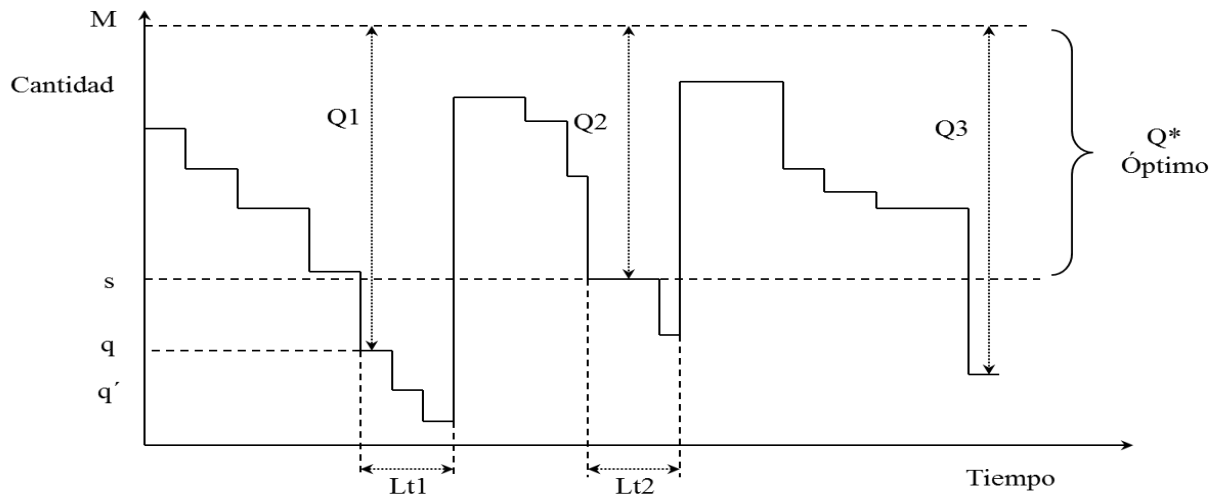


Figura 2 Modelo s, M

En este sistema - al igual que en el anterior - cada que el inventario actual cae a un nivel justo en el punto s se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario a un nivel máximo M , de esta manera la cantidad a solicitar depende el nivel del inventario actual y del nivel máximo M y por lo tanto puede variar de un pedido a otro. La cantidad a ordenarse:

$$Q = M - q \quad (3)$$

Este modelo se denomina usualmente Mínimo y Máximo, ya que normalmente los niveles de inventarios permanecen en el rango de (q, M) con un mínimo en q y un máximo en M .

La cantidad Q a ordenar es diferente porque justamente en cada momento del tiempo q puede ser diferente. Cabe agregar que el nivel de q dependerá del comportamiento de la demanda durante el tiempo LT .

El punto de re-orden se calcula de la misma manera que se estudió en el anterior apartado: usando la ecuación 2. La cantidad q puede asimilarse a una cantidad de protección o cantidad de seguridad, de tal manera que, si la demanda supera ampliamente la posición de inventario s , esta cantidad q puede prestar la protección adecuada.

En el caso en que se presente una posición de inventarios $q' < q$ el nivel de servicio está amenazado y quiere decir que la cantidad q debe corregirse.

[Escriba aquí]

En este modelo $LT1 = LT2$ las cantidades a ordenar Q son variables, es decir $Q1 \neq Q2 \neq Q3$ cambian porque cada vez debe tratarse de ordenarse una cantidad tal que alcance el punto máximo M .

Una vez ordenada la cantidad $M-q$ el inventario queda en su máximo y un nuevo ciclo debe empezar.

Revisión periódica cantidad variable - Sistema T, M

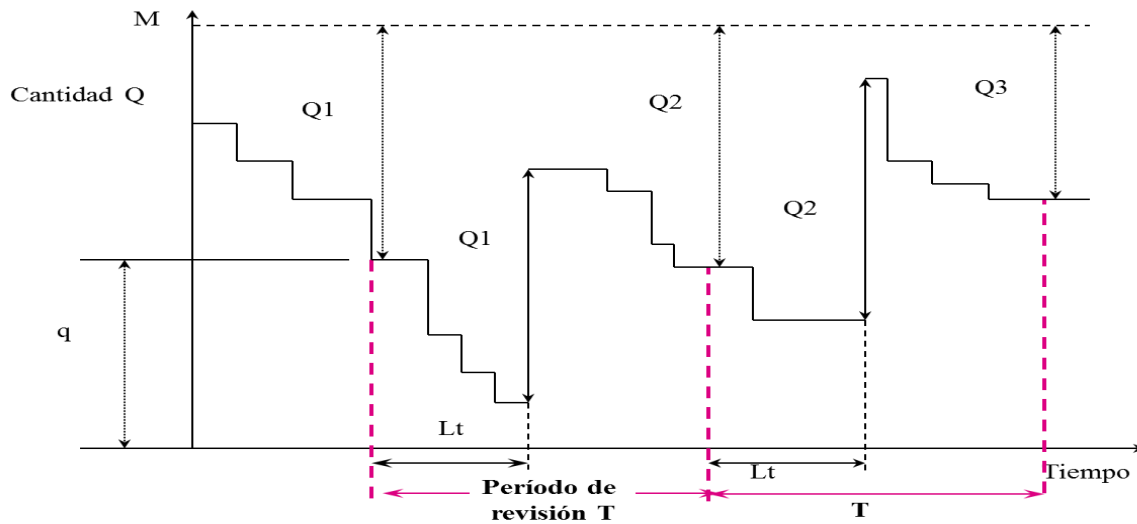


Figura 3 Modelo T, M

En este modelo se trata de saber el tiempo T en que debe ser revisado el sistema y colocar un pedido de una cantidad Q que es variable de periodo a periodo de revisión. En el modelo T los niveles de inventario se revisan a intervalos fijos de tiempo, se lanzan pedidos de reaprovisionamiento por la diferencia entre un nivel máximo M y la cantidad q al momento de la revisión (es decir $M-q$) y las cantidades Q a pedir son variables. Este tipo de modelo beneficia los pedidos de reabastecimiento conjunto (a una sola fuente) porque se puede presentar menos sensibilidad a los cambios repentinos de la demanda y es recomendado para artículos tipo "B" y "C".

Para la aplicación de este modelo se deben tener en cuenta los siguientes supuestos:

- Siempre hay demandas entre revisiones, es decir que la probabilidad de no tener demandas entre dos revisiones es cero porque cada vez que sucede una revisión se lanza un pedido de reposición.
- Los tiempos de reposición son constantes (se define que cada T días debe revisarse el modelo).
- Con un adecuado valor de s se pueden obtener altos niveles de servicio, por lo que es recomendado para artículos tipo "B".
- El valor de T es predeterminado, es decir que la dirección define cada cuanto tiempo debe revisarse el modelo y lanzar los órdenes de pedido.

Como el periodo de revisión es independiente de la demanda es posible que se presenten situaciones en las que la demanda sobrepasa el nivel q de inventarios poniendo en peligro las ventas o generando quiebres de inventarios; en el caso contrario - cuando la demanda esté lenta - se generan excesos de inventarios. Para la primera situación es necesario mantener una q mayor y para la segunda se debe manejar un q menor.

[Escriba aquí]

Ahora queda pendiente definir el valor de T . Es posible darle a T un tratamiento similar a un período económico de pedido.

Sistema T,s,M

Este modelo combina los sistemas (s,M) y (T,M) y define que cada T unidades de tiempo se debe revisar el nivel de inventarios. Si ese nivel es menor o igual a s , entonces se emitirá una orden por una cantidad Q para que el nivel de *stock* actual se recupere hasta un nivel M . En cada momento $M > s$, si esta condición se cumple no se ordena ninguna cantidad y se debe esperar a que se consuma la cantidad de tiempo T para hacer una nueva revisión. Para emitirse una nueva orden debe esperarse T unidades de tiempo y cumplirse que $M < s$.

Cuando $T=0$ el modelo se transforma en el modelo s,M y cuando el punto de reorden $s = T \cdot I$ el modelo es igual al sistema T,M .

2. El inventario de seguridad IS para ítems individuales

Hasta ahora se han estudiado modelos de inventarios determinísticos donde el tiempo de entrega y la demanda eran constantes. Un escenario más común y realista es donde la demanda y los tiempos de entrega de los proveedores se consideran variables, como es en la realidad.

Estos modelos tratan de responder a la pregunta: ¿Qué cantidad fija de inventario debe tenerse para que la empresa pueda cubrirse ante las variaciones que se esperan sobre el nivel medio de demanda y del *Lead Time*? (ver Figuras 4 a y 4 b).

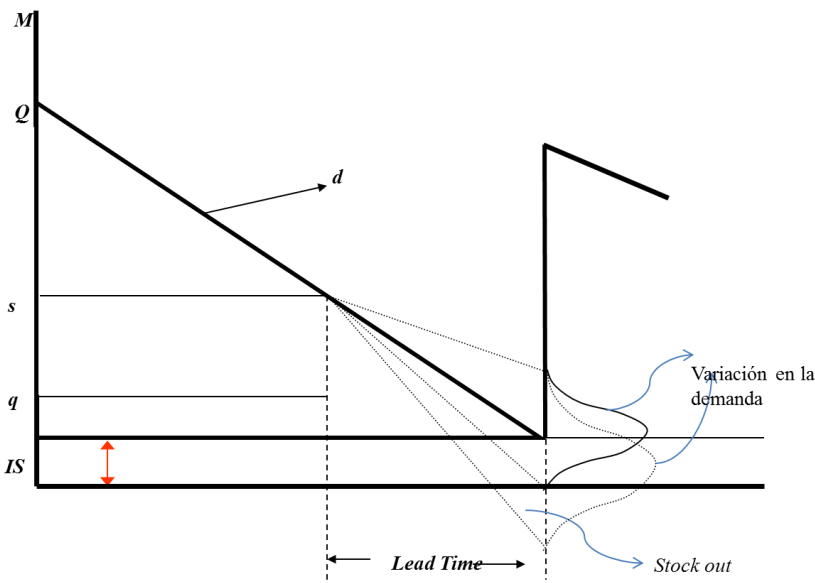


Figura 4a Desviaciones la demanda

[Escriba aquí]

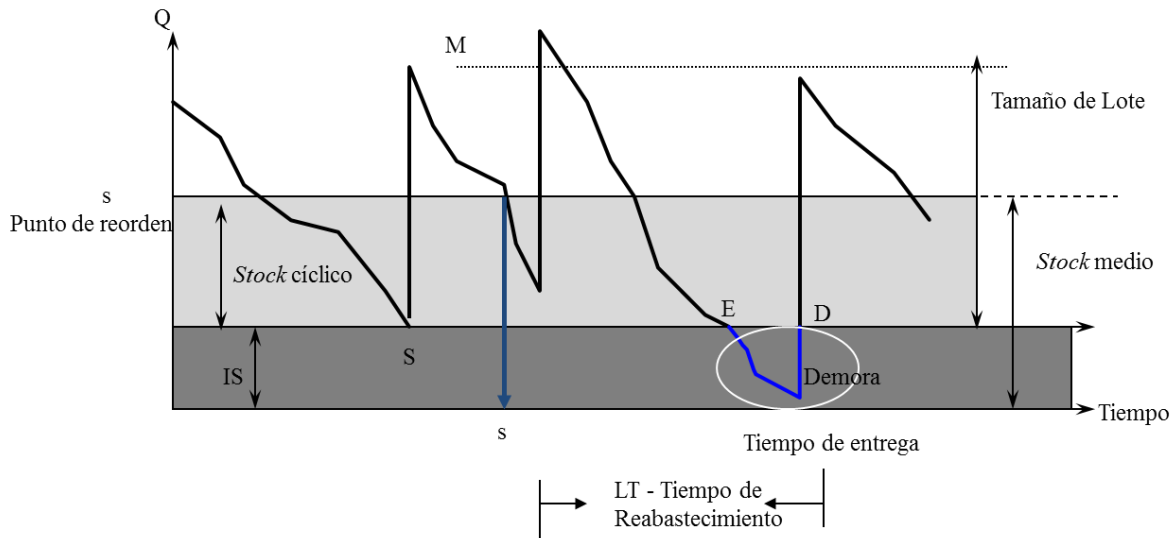


Figura 5 Definición de stock de seguridad y variación de la demanda

La Figura 5 representa el comportamiento de la demanda y los inventarios a través del tiempo. Se puede observar cómo a medida que avanza el tiempo (eje de las x) el inventario empieza a consumirse de acuerdo al ritmo proyectado de la demanda, esto sucede con una mayor o menor velocidad de acuerdo al ritmo de consumo por medio de las ventas (hay que recordar que se está considerando que la demanda es variable). Al encontrarse la posición de inventarios con el punto de reorden s se emite una orden de compra o una orden a producción pero ésta no llega al instante, por lo que se tendrá que esperar una porción de tiempo LT o *Lead Time* para que esté disponible; esta orden llega al sistema justamente cuando los niveles de inventarios se encuentran en el punto S (justo el límite del *stock* de seguridad) y cuando este pedido llega, los niveles de inventarios llegan a un nivel superior (punto M) y se empieza un ciclo de nuevo.

Noten cómo el inventario de seguridad no fue consumido - es decir no sufrió cambios -, esto nos lleva a mencionar que los inventarios de seguridad no existen para ser vendidos, sino que se justifican únicamente para cubrir desviaciones bruscas en la demanda y demoras en las entregas de los proveedores. Sólo cuando una de estas circunstancias sucede se puede usar esta porción de seguridad y en cualquier caso en la siguiente reposición debe recuperarse su posición.

Ahora considere el caso en que el proveedor se ha demorado en la entrega. Observando la Figura 5 se concluye claramente que se debía recibir el pedido en el punto E y realmente fue recibido en el punto D , generándose por supuesto una demora, pero durante esa demora el ritmo de ventas sigue. Se puede observar además como este ritmo de ventas durante la demora es cubierto con el *stock* de seguridad.

Considere entonces el caso en que las ventas se planificaron para que ocurrieran como se demuestra en la curva F de la Figura 6 y realmente se comportó como la curva G ; en este caso se generó una sobreventa. También podemos observar cómo esta sobreventa es cubierta con el *stock* de seguridad.

[Escriba aquí]

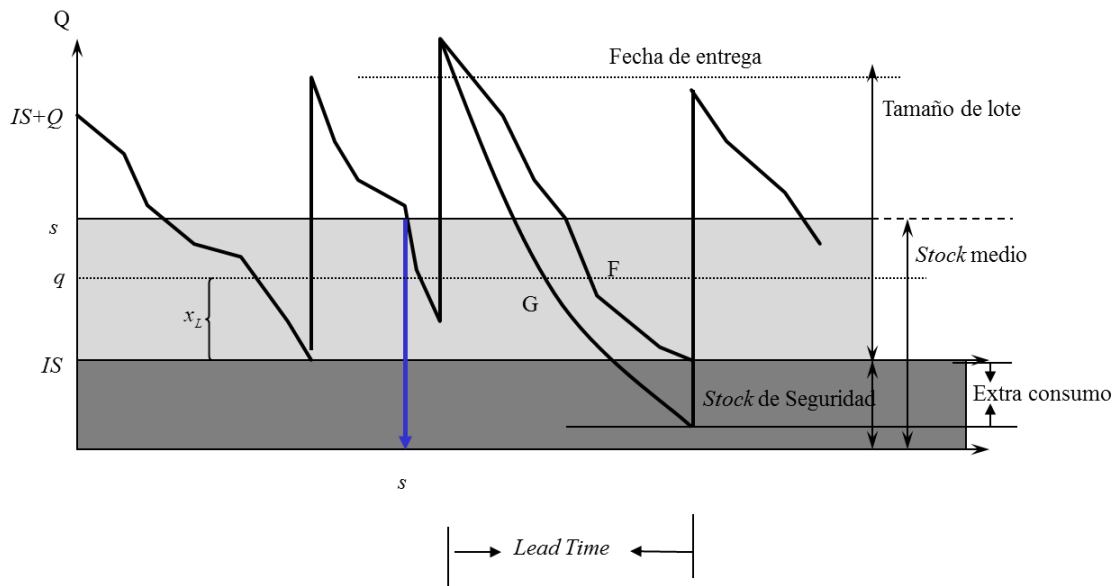


Figura 6 Definición de stock de seguridad y variación del tiempo de entrega

En los dos casos anteriores si no se dispusiera de este tramo de *stock* de seguridad se hubiera incurrido en *stock out* o venta perdidas.

El nivel de servicio lo define la probabilidad de tener suficiente *stock* para atender las órdenes en un periodo de tiempo dado. Un nivel de servicio del 96% es la probabilidad de no tener faltantes en la atención del 96% de las unidades demandadas o lo que es lo mismo, la probabilidad de surtir todas las cantidades solicitadas durante el periodo de reaprovisionamiento; consecuentemente la probabilidad de agotar el *stock* y no poder surtir un 4% de las cantidades pedidas.

Esa protección necesaria es una cantidad de inventario adicional llamado “Inventario de Seguridad” que funciona como un “colchón” añadiendo un cierto número de unidades al punto de reorden, sirviendo a sí, como un amortiguador ante las imprecisiones mencionadas.

Inventario de seguridad con base en algún factor constante

La experiencia del autor gestionando directamente portafolios de productos le muestra que esta es una práctica bastante extendida en los sectores comerciales e industriales y consiste en definir un factor p para protegerse ante imprevistos de cualquier clase y lo usan corrientemente para todos los ítems del portafolio. Evidentemente los que implementan esta práctica no conocen bien los verdaderos efectos de las variaciones de la misma demanda y de los tiempos de entrega que suceden a diferentes escalas de un producto a otro, por lo tanto, si cada producto tiene su historia y su propia arquitectura no es metódico que a todos se afecten por igual con un factor constante. El factor representa un número de días o de unidades adicionales a los pedidos corrientes. Lo anterior implica que si un producto tiene una demanda promedio de 10.000 unidades cada mes y el factor p definido es de 15 días, las unidades de protección serán 5.000.

En la Figura 7 se observa cómo en la curva 1 el riesgo de agotados es extremadamente bajo y una protección de 5.000 unidades es sobredimensionada y por lo tanto se incurre en un exceso de unidades en inventario. En cambio, en la curva 2 el área de riesgo de agotados es más grande y posiblemente las 5.000 unidades definidas de inventario de seguridad no alcancen a cubrir de las demandas de producto cuando éstas sean mayores a 10.000 unidades.

[Escriba aquí]

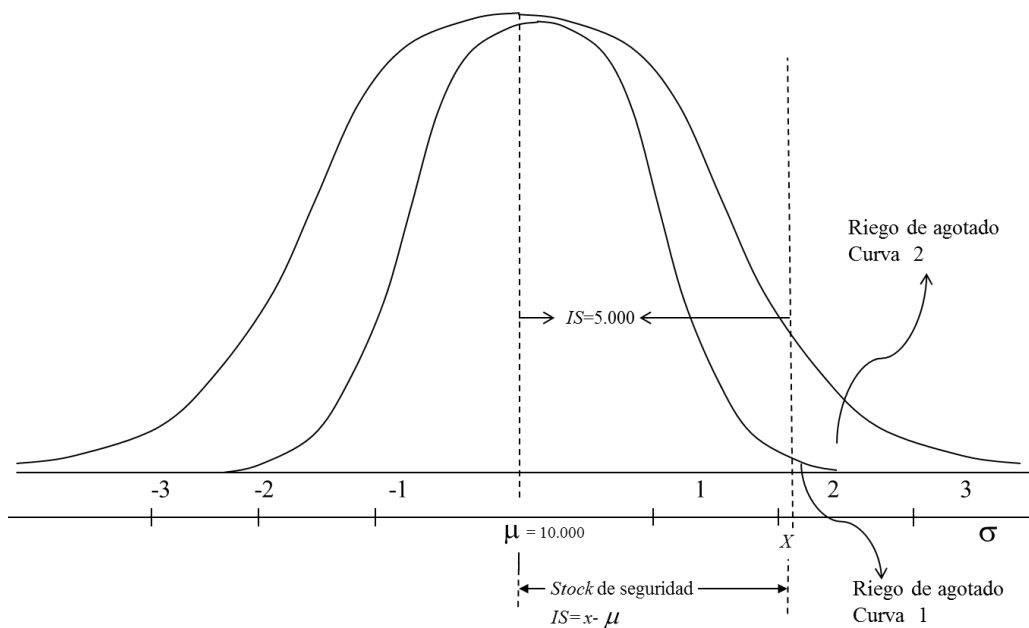


Figura 7 Definición del IS con base en un factor fijo

Inventario de seguridad que garantice un nivel de servicio al cliente

Cuando se ordena un artículo a producción o a un proveedor, ambos tienen un tiempo de entrega establecido o LT (no están al lado de nuestro negocio). Sin embargo, dentro de este tiempo pueden ocurrir al menos las siguientes actividades:

- El artículo que se ha ordenado se sigue vendiendo a su ritmo de entregas normales y usando las cantidades de inventario existentes en el sistema, en todo caso ya a un nivel de $q < s$.
- El artículo se vende a un ritmo mayor al planificado, poniendo en peligro la disponibilidad de la porción de inventarios actual $Q - s = q$.
- La venta del artículo se estanca, generando una reducción de su ritmo normal de ventas.
- Algo parecido sucede con el tiempo de entrega porque tanto los proveedores como los encargados de la producción pueden tomarse más del tiempo acordado para completar el despacho del pedido.

Todas estas circunstancias hacen que se presenten presiones sobre los niveles de inventarios porque se generan variaciones inesperadas y no conocidas en la demanda y en los tiempos y todo ello sucede estando dentro del tiempo de reabastecimiento prometido por el proveedor.

Después de establecer un nivel de servicio a satisfacer es posible relacionar las variables adecuadas para definir las cantidades de *stock* adicional que servirá de protección o de seguridad que garanticen esos niveles de servicio planteados.

Existen muchas definiciones de lo que es nivel de servicio, las cuales relacionan lo que se pide con lo que se despacha o las veces que se surten o no los productos que se ordenan.

Medidas de la disponibilidad de un producto

[Escriba aquí]

Los pedidos que se reciben de los clientes se surten con el inventario en existencia, de tal manera que el nivel de *stock* mide - en cada momento - la capacidad de la empresa para surtir la demanda de los clientes; estos pedidos no se podrán surtir si en el momento en que llegan las órdenes no existe suficiente inventario. Existen diferentes maneras de medir la disponibilidad de producto.

Las dos políticas más utilizadas para medir los niveles de servicio se relacionan con las probabilidades de faltantes, la probabilidad de la no ocurrencia de un faltante en un ciclo de reabastecimiento ó P y la cantidad de unidades que se pueden atender de manera instantánea con el inventario actual ó fr , en la figura 7.1 se especifican las políticas P . El área de la política de fr se calcula tomando las esperanzas parciales de unidades faltantes $Gz(k)$ que se estudiará más adelante.

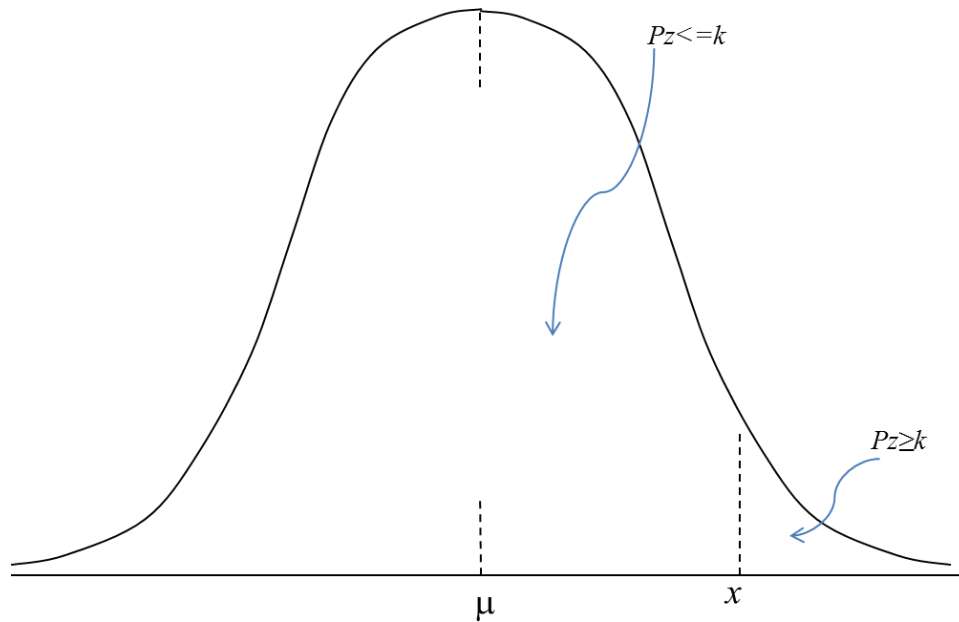


Figura 7.1, Políticas de servicio.

El número de abastecimientos que no tienen faltantes o tasa de surtido de los pedidos

La empresa puede estar interesada en ofrecer que en un alto número de abastecimientos o pedidos no se presenten faltantes, esto se logra si el inventario actual del ítem en estudio nunca llega a cero (de esta manera el nivel de servicio es la probabilidad P de no tener un faltante por cada ciclo de reposición). Teniendo en cuenta que el nivel de servicio será P , el nivel de ciclos con faltantes será $1-P$, si los clientes hacen 2.800 pedidos en el periodo y en 336 ocasiones hubo faltantes, la fracción de ciclos en los cuales hubo faltantes es $336/2.800 = 0,12$ y el nivel de servicio alcanzado es $1-336/2.800 = 0,88$. Lo anterior indica que en el 88% de las veces que se atiende un pedido no hubo faltantes o lo que es lo mismo, que en el 12% de los pedidos hubo faltantes. Note cómo acá no se conoce la magnitud del faltante y si ese fuera el interés es necesario conocer el *fill rate* (fr).

Fill Rate (fr) o tasa de surtido del producto

En muchas ocasiones de la vida real cuando ocurre un faltante no necesariamente se pierde la venta, si el cliente recibe pedidos pendientes existirá un chance de entregar el faltante en un envío posterior. Lo interesante es conocer la magnitud a la que los productos se entregan, es decir la tasa de llenado del pedido o

[Escriba aquí]

fill rate. Tenga en cuenta que el *fr* representa un indicador de servicio universal para conocer en qué porcentaje se están entregando los productos y evidencia la fracción de las cantidades pedidas que se pueden atender con el inventario actual.

Tiempo entre faltantes (*TEF*)

Esta es una tercera medida de servicio entregado a los clientes, el cual determina la frecuencia de faltantes en un periodo.

Las tasas a las que se atiende un pedido P tienden a ser más bajas que las tasas de atención de los productos fr , esto debido a que en la práctica los órdenes no se hacen ítem por ítem sino que están compuestas por varios artículos; entonces si se supone que un pedido consta de cuatro ítems y uno de ellos no está disponible, no se puede hacer el despacho completo. La empresa puede tener a la vez una tasa de surtido de pedidos baja y un alto nivel de surtido de productos o *fill rate* en el caso en que esta empresa acepte que se le puedan entregar los tres productos que existen en inventario.

3. Políticas de inventario en los sistemas de revisión continua

Sistemas de revisión continua (s, Q)

Las políticas se refieren a definir el punto de re-orden s , el inventario de seguridad IS y la cantidad Q a ordenar.

Supuestos

- La demanda es probabilística, pero se asume que – con el tiempo – los ratios de cambio de los pedidos promedio son pequeños.
- Cuando la posición de inventario q llegue a un punto s (o punto de re-orden) un pedido de cantidad Q es colocado para ser reabastecida en LT unidades de tiempo después.
- Si dos o más órdenes del mismo ítem fueron simultáneamente lanzadas y se encuentran pendientes por recibir, deberían ser recibidas en el mismo orden en que fueron emitidas. No se permite cruce de órdenes.
- El nivel de servicio debe ser alto, pues los costos de faltantes se consideran también altos; esto significa que el promedio de órdenes pendientes debe ser muy bajo comparado con el actual inventario promedio.
- Los errores del pronóstico siguen una distribución normal, sin sesgo y se conoce su desviación estándar σL del pronóstico en el tiempo de abastecimiento L . Cuando se habla de pronósticos sólo se proporcionan valores estimados, por lo tanto, se utilizan cifras supuestas.
- Se asume que el tamaño del pedido Q está dado, es independiente de s y ha sido calculado con cualquier método como el *EOQ*.
- Con el supuesto anterior sólo queda por determinar la cantidad del punto de re-orden s y el inventario de seguridad IS .
- Los costos de la política de control de inventarios no dependen de nivel de s calculado.

Sea:

[Escriba aquí]

D = demanda anual en unidades.

$f_z(k)$ = función de la distribución normal unitaria $N(0,1)$.

$$f_z(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \lambda^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (3.1)$$

$G_z(k)$ = función especial de la distribución normal unitaria $N(0,1)$ para una variable z , son las esperanzas parciales de faltantes y se denota por $G_z(k)$.

$$G_z(k) = \int_k^{\infty} (z - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \lambda^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (4)$$

k^l = factor de seguridad.

L = tiempo de entrega del proveedor o *Lead Time*.

$P_z(k)$ = probabilidad de que la normal unitaria z (con media 0 y desviación estándar 1) sea mayor o igual a k .

$$P_z(k) = \int_k^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \lambda^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

Q = cantidad predeterminada de pedido en unidades.

S = costo de pedir.

H = costo de mantener el inventario.

IS = inventario de seguridad.

\hat{x}_L = pronóstico de la demanda en el tiempo de reabastecimiento, en unidades.

$\hat{\sigma}_L$ = estimación de la desviación estándar de los errores del pronóstico en el tiempo de reposición, en unidades.

d = demanda diaria.

Cálculo del punto de Re-Orden (s)

En los anteriores modelos el punto s estaba representado por la ecuación (2) y de la Figura 6 se nota que $IS = s - \hat{x}_L$ entonces:

$$s = \hat{x}_L + IS$$

El inventario de seguridad es igual a la estimación de las desviaciones estándar de los errores del pronóstico en el tiempo de reposición multiplicado por un factor de seguridad k .

$$IS = k\sigma_L \quad (5)$$

$$s = \hat{x}_L + k\sigma_L \quad (6)$$

Pero σ_L es la desviación de la demanda en el *lead time*:

¹ Muchos autores la llaman z .

$$\sigma_i^2 = \sigma_1^2 L \Rightarrow \sigma_i = \sigma_1 \sqrt{L} \quad (7)$$

Tenga en cuenta que L debe estar expresado en las mismas unidades de tiempo de D (horas, días, semanas, meses, años), de esta manera s es:

$$s = \hat{x}_L + k\sigma_1\sqrt{L} \quad (8)$$

$$s = d.L + k\sigma_1\sqrt{L} \quad (9)$$

Donde

k = es el factor de seguridad.

σ_1 = desviación estándar de la demanda.

Recuerde que se había dejado pendiente el estudio de la manera de calcular las posiciones de inventario de seguridad. Se abordará esta temática contestando la pregunta: ¿Cuál será ese nivel de protección representado en el IS ?

Suponiendo que la demanda durante el tiempo de entrega de los pedidos se comporta como una distribución normal con *media* = μ y una desviación estándar σ conocidas, no importa cuáles sean los valores de μ y σ para una distribución de probabilidad normal, el área bajo la curva representa casi un 100% de los datos, de manera que si se observa la Figura 7.8 se puede demostrar matemáticamente que:

1. Aproximadamente el 68% de todos los valores de una población normalmente distribuida se encuentran dentro de $\pm 1 \sigma$, una desviación estándar de la media.
2. Aproximadamente el 95,5% de todos los valores de una población normalmente distribuida se encuentran dentro de $\pm 2 \sigma$, dos desviaciones estándar de la media.
3. Aproximadamente el 99,7% de todos los valores de una población normalmente distribuida se encuentran dentro de $\pm 3 \sigma$, una desviación estándar de la media.

² Ver Silver *et al* (1998, (p.p. 114-115)
[Escriba aquí]

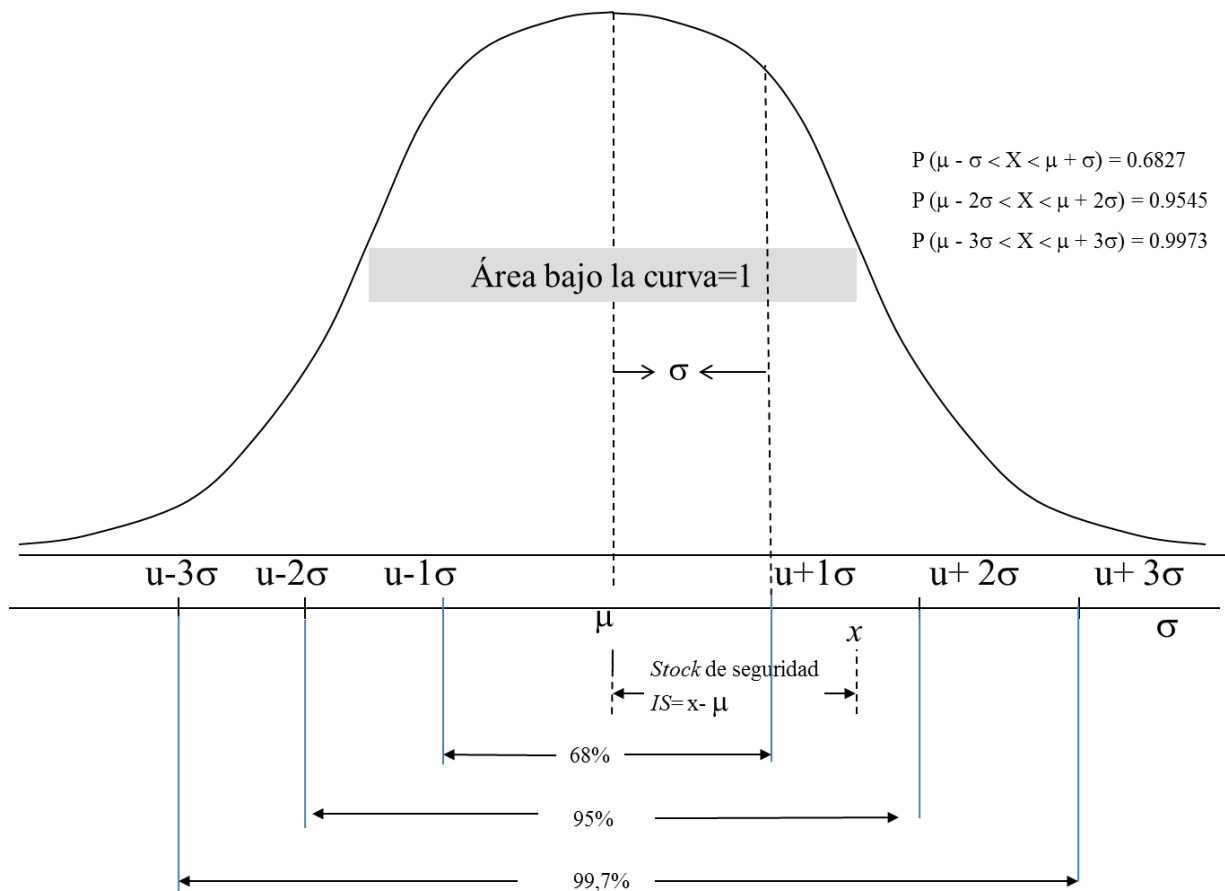


Figura 8 Distribución Normal

De esta manera si hipotéticamente se deseara que el 95,5% de las órdenes futuras esperadas se pudieran cubrir con el inventario actual se debería tener una protección adicional aproximada de 2σ y con esto garantizaríamos que el 95,5% de las veces cualquier demanda se podría cubrir con el inventario existente.

Para definir una distribución normal de probabilidad es necesario definir únicamente dos parámetros: la media μ y la desviación estándar σ . No importa cuáles sean los valores de estos dos parámetros de la distribución, el área debajo de la curva siempre será igual a 1, de manera que el área bajo la curva se puede asemejar a probabilidades. Por medio de la distribución normal estándar se pueden identificar áreas bajo cualquier curva normal y con el uso de las tablas de la distribución normal estándar se determina el área o la probabilidad de que la variable aleatoria distribuida normalmente esté dentro de ciertas distancias a partir de la media, esas distancias están definidas en términos de desviaciones estándar.

Políticas de Inventario Cuando se Define un Nivel de Servicio P que Mide los Faltantes por Ciclo de Reabastecimiento

P es la probabilidad de la no ocurrencia de un faltante en un ciclo de reabastecimiento o el nivel de servicio de la orden, consecuentemente la probabilidad de un faltante será $1 - P$. Para esta situación las políticas de gestión de inventario son:

- Seleccione el factor k de tal manera que $p_z \geq k = 1 - P$

[Escriba aquí]

Donde:

$Pz \geq k$ = probabilidad de que la distribución normal unitaria $N(0,1)$ sea mayor o igual a k .

- Defina el IS con la ecuación (5).
- Calcule s con la ecuación (9).

Estandarización de la distribución normal

Una variable aleatoria normal x se estandariza restándole su media y dividiendo este resultado por la desviación estándar, de esta manera una variable aleatoria normal con $\mu = 0$ y $\sigma^2 = 1$ recibe el nombre de variable aleatoria normal estándar y se denota como k .

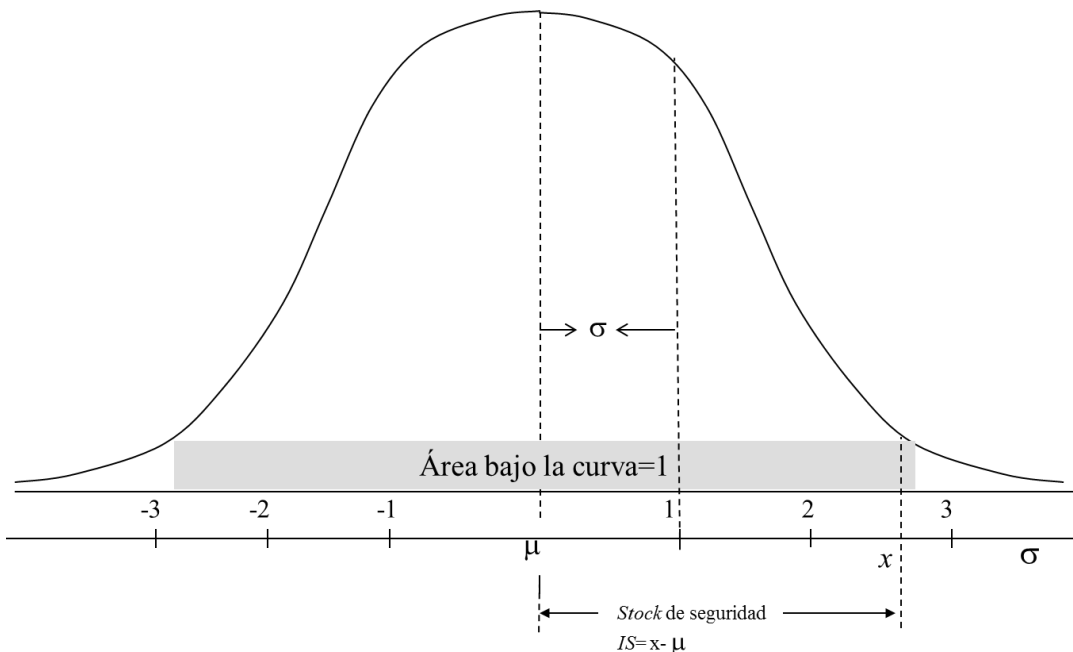


Figura 9 Campana de Gauss

En la figura 9 se ve claramente que la porción $x - \mu$ representa el *stock* de seguridad.

$$IS = (x - \mu)$$

Si se llama k el número de desviaciones estándar que hay desde x a la media de la distribución, se puede encontrar el valor de k con relación a la media y la desviación estándar como sigue:

$$k = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (10)$$

En la ecuación (10) a k se le conoce como variable estandarizada. Nótese como al restar μ , la media cambia de μ a cero, en esta relación:

x = valor de la variable aleatoria que nos ocupa.

μ = media de la distribución de la variable aleatoria.

[Escriba aquí]

σ = desviación estándar de la distribución.

k = número de desviaciones estándar que hay desde x a la media de la distribución.

Según Ross (2008 pág. 276) el valor de la variable estandarizada indica cuánto difiere la variable original de su media en unidades de desviación estándar y plantea que si - por ejemplo - la variable estandarizada k toma el valor de 2, esto significa que:

$$k = \frac{x - \mu}{\sigma} = 2$$

Despejando x se tiene que:

$$x = 2\sigma + \mu$$

x es dos desviaciones estándar mayor que su media.

Reemplazando $x - \mu$ en la ecuación (10), se tiene:

$$k = \frac{IS}{\sigma}$$

y despejando de la anterior ecuación IS se obtiene la ecuación (11) planteada a continuación:

$$IS = k \cdot \sigma \tag{11}$$

Si la demanda x en el periodo de reabastecimiento LT es una función de densidad de probabilidad definida como $f(x)$, los cinco argumentos siguientes son válidos para cualquier distribución de probabilidad de la demanda en el tiempo de reabastecimiento LT :

1. $IS = E$ (inventario neto justo antes de que arribe el abastecimiento).

$$= \int_0^{\infty} (s - x) f(x) dx$$

E es el valor esperado de la demanda durante el tiempo de reabastecimiento.

2. La probabilidad de que ocurra un faltante en el tiempo de reabastecimiento es:
Probabilidad $\{x \geq s\}$

$$= \int_s^{\infty} f(x) dx \tag{12}$$

3. La expectativa de faltantes por ciclo de reabastecimiento – en unidades – sería:

$$Ef = \int_s^{\infty} (x - s) f(x) dx \tag{13}$$

4. El inventario disponible promedio es:
Inventario neto = inventario actual – pendientes por entregar

El inventario justo cuando arriba la cantidad Q ordenada es:

$$I = s - x_L + Q$$

[Escriba aquí]

Y el inventario medio en el sistema es:

$$I = \frac{Q}{2} + IS$$

$$I = \frac{Q}{2} + k\sigma_L$$
(14)

5. El número de reabastecimientos por año sería:

$$\text{Reabastecimientos} = \frac{D}{Q}$$
(15)

Si la distribución de la demanda en el tiempo de reabastecimiento es normal, con media x_L y desviación estándar σ_L , las reglas de decisión para el sistema (s, Q) son:

Cuando el nivel de servicio fr es dado

En la práctica las compañías deciden qué nivel de servicio *fill rate* esperan ofrecer a sus clientes y consecuentemente, planean sus niveles de inventario (es común escuchar en conversaciones coloquiales de gerentes de logística que se habla de niveles de *fill rate* del 90%, 95%, 98%, etc.). De hecho, junto con el porcentaje de costos de logística sobre las ventas, estos son los indicadores por excelencia de la gestión logística.

El número esperado de faltantes Ef en un momento dado se presenta con la ecuación (13) y si se asume - como se dijo al principio de esta sección - que la distribución de la demanda es normal con media x_L y desviación estándar σ_L , entonces:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \lambda \frac{1}{2} \left(\frac{x - x_L}{\sigma_L} \right)^2 dx$$

Como se sabe que:

$$s = x_L + k\sigma_L$$

Reemplazando estas dos últimas ecuaciones en la ecuación (13) se tiene:

$$Ef = \int_{x_L + k\sigma_L}^{\infty} (x - x_L - k\sigma_L) \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \lambda \frac{1}{2} \left(\frac{x - x_L}{\sigma_L} \right)^2 dx$$

Como $z = \frac{x - x_L}{\sigma_L}$, derivando z con respecto a x se tiene:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{1}{\sigma_L} \text{ o lo que es lo mismo:}$$

$$dx = \sigma_L dz$$

Reemplazando la integral se transforma en:

[Escriba aquí]

$$Ef = \sigma_L \int_k^{\infty} (z - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \lambda^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

Como la función de la distribución unitaria $N(0,1)$ es:

$$G_z(k) = \int_k^{\infty} (z - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \lambda^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

Entonces:

$$Ef = \sigma_L G_z(k) \tag{16}$$

Cuando los faltantes se convierten totalmente en órdenes pendientes

Si se presenta la situación descrita anteriormente - donde los clientes aceptan pedidos pendientes, es decir ofrecen una oportunidad para que las órdenes se completen en diferentes entregas posteriores - la fracción de las cantidades solicitadas que no se surten y se convierte en cantidades pendientes es la relación entre el número esperado de unidades de faltante entre el valor esperado de la demanda en el ciclo, en este caso Q :

$$\text{Escasez} = \frac{Ef}{Q} \tag{17}$$

Consecuentemente con (17) la demanda que se satisface (la que no queda pendiente) es:

$$fr = 1 - \frac{Ef}{Q} \tag{18}$$

Reemplazando (7.16) en (7.18) se tiene:

$$fr = 1 - \frac{\sigma_L G_z(k)}{Q} \tag{19}$$

De esta ecuación puede despejarse el valor k como³:

$$G_z(k) = \frac{Q}{\sigma_L} (1 - fr) \tag{20}$$

³ También se puede obtener $G_z(k)$ de la siguiente manera:

La cantidad esperada de faltantes en el tiempo de entrega es $\sigma_L G_z(k)$, de otro lado, el número esperado de faltantes en un año es $\frac{\sigma_L G_z(k) D}{Q}$, recuerde que D/Q es el número esperado de órdenes al año; para un año el número esperado de

unidades faltantes será $(1 - fr)D$, igualando las dos expresiones se tiene: $(1 - fr)D = \frac{\sigma_L G_z(k) D}{Q}$ y aplicando

álgebra básica para despejar $G_z(k)$ se obtiene $G_z(k) = \frac{Q}{\sigma_L} (1 - fr)$.

[Escriba aquí]

Para estos casos la regla de decisión es:

Si se especifica el valor de k utilice las ecuaciones (5) y (9) para calcular el *stock* de seguridad y el punto de reorden s respectivamente.

Cuando los faltantes se convierten totalmente en ventas perdidas

En este caso las cantidades ordenadas que no se logren entregar en el primer despacho se perderán, entonces la demanda esperada por ciclo será: $De = Q - Ef$

Y fr será:

$$fr = 1 - \frac{Ef}{Q + Ef}$$

Derivando se obtiene el factor de seguridad con la siguiente ecuación:

$$G_z(k) = \frac{Q}{\sigma_L} \left(\frac{1 - fr}{fr} \right) \quad (21)$$

Para esta situación el factor k debe buscarse de la siguiente forma:

- Si los faltantes se convierten en pendientes use la ecuación (20).
- Si los faltantes se convierten en ventas perdidas use la ecuación (21).
- Calcule el *IS* usando la ecuación (5).
- Calcule s utilizando la ecuación (9).

Cálculos para obtener el costo total de la política de inventarios

El costo de la política de inventarios viene dado por la siguiente ecuación:

$$CT = c \times D + \left(\frac{Q}{2} + IS \right) H + \frac{D}{Q} S + escasez$$

El costo de los faltantes está dado de acuerdo a su definición, por ejemplo, cuando se conoce el *fill rate* el costo anual de la política está representada por la siguiente ecuación:

$$CT = c \times D + \left(\frac{Q}{2} + IS \right) H + \frac{D}{Q} S + \frac{D}{Q} \sigma_L G_z(k) C_f \quad (22)$$

La primera expresión es el valor de la compra, la segunda expresión representa el costo de mantener los inventarios, la tercera expresión la compone el número de pedidos D/Q por el costo de colocar cada pedido y la última expresión es el costo de los faltantes; en esta expresión $\sigma_L G_z(k)$ es el número de unidades esperadas de faltantes en un ciclo de reposición y dado que D/Q es el número de veces que se pide en un año, entonces $(D/Q) \sigma_L G_z(k)$ es el valor esperado de unidades faltantes en un año y al multiplicar esta

[Escriba aquí]

expresión por Cf^4 (costo aplicado a cada unidad faltante) se obtiene valor esperado del costo de los faltantes en un año.

Si se tiene la probabilidad P de que los faltantes ocurran en un número de ciclos de reposición se puede calcular el costo anual con la siguiente ecuación:

$$CT = c \times D + \left(\frac{Q}{2} + IS\right)H + \frac{D}{Q}S + \frac{D}{Q}P_z(k)Cf \quad (23)$$

La primera expresión es el valor de la compra, la segunda expresión representa el costo de mantener los inventarios, la tercera expresión la compone el número de pedidos D/Q por el costo de colocar cada pedido y la última expresión es el costo de los faltantes; en esta expresión $P_z(k)$ es la probabilidad de que los faltantes ocurran en cada ciclo de reposición y dado que D/Q es el número de veces que se pide en un año, entonces $(D/Q)P_z(k)$ es el valor esperado de número de ciclos en un año en los cuales se presentarán faltantes. Al multiplicar esta expresión por Cf (costo de faltante aplicado en cada ciclo de reposición) se obtiene el valor esperado del costo de los faltantes en un año.

El costo Cf de cada pedido faltante está representado por la medición que tenga la compañía. En muchas ocasiones no es fácil llegar a una medición de Cf pero una buena aproximación mínima de este costo es el margen de contribución unitario. El costo puede ser mayor si se considera por ejemplo que a causa de los frecuentes faltantes se pierden clientes, en este caso habría que cuantificar las compras futuras de este cliente y afectarlas por el margen de contribución para así obtener un límite superior del costo de los faltantes.

Ejercicio 3.1

Suponga que usted es el responsable de planear la producción y los reabastecimientos a un conjunto de tiendas de un gran *retail* y que el producto a reabastecer es el principal artículo de una categoría y el de más ventas si se consideran todas las categorías de la empresa. Considere los siguientes datos de la operación regular para este producto especial:

$d = 370.000$ unidades de la demanda mensual pronosticada.

$\sigma_1 = 45.000$ unidades - desviación estándar de las demandas pronosticadas.

$c = \$18$ precio de venta del producto.

$LT = 1$ mes - tiempo de entrega de la planta de producción.

$S = \$7.200$ costo de hacer una orden, incluye el *septup*.

$H = 1,6\%$ costo de mantenimiento del inventario mensual.

$P = 88\%$ nivel de servicio P deseado.

$Cf = \$2.4$ costo del faltante.

Establezca la política adecuada de reabastecimiento para este ítem especial y el nivel de *fill rate* logrado al aplicar la política, suponiendo que el cliente recibe órdenes pendientes.

⁴ El costo de faltantes Cf afecta las finanzas de la empresa, pero no necesariamente las finanzas del cliente, este valor oscila entre un mínimo representado por el margen de contribución que se deja de percibir cada que no se puede entregar una unidad y un máximo que puede llegar a ser el valor de los márgenes futuros que dejan de percibirse cuando se pierde un cliente o un consumidor, debido al mal servicio repetitivo. De cada ítem se sabe cuál es el margen de contribución, por lo que este dato no es difícil de obtener. Cuando no se entrega una unidad de producto, la empresa deja de facturar esa unidad, pero eso no significa que el cliente deje de vender esa unidad porque éste tiene sus respectivas coberturas de seguridad, por lo que no entregar una unidad de producto signifique necesariamente que el consumidor no puede comprar el producto.

[Escriba aquí]

Con la ecuación (9) del capítulo 5 calcule el *EOQ* de la siguiente manera:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2Ds}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 370.000 \times 7.200}{18 \times 1,6\%}} = 136.015$$

La desviación estándar de las ventas durante el *LT* será:

$$\sigma_L = \sigma_1 \sqrt{L} = 45.000 \sqrt{1 \text{ mes}} = 45.000 \text{ unidades.}$$

El siguiente paso es determinar el factor *k*:

$$p_{z(k)} = 1 - P = 1 - 0,88 = 0,12$$

De la tabla del apéndice A para un $P_{z(k)} = 0,12$ el valor de $k = 1,17$

Ahora, la demanda xL durante el tiempo de abastecimiento *LT* es:

$$xL = d.LT$$

$$xL = 370.000 \times 1 = 370.000$$

El inventario de seguridad es:

$$IS = 1,17 \times 45.000 = 52.650$$

y el punto de re-orden será:

$$s = 370.000 + 52.650 = 422.650$$

Para calcular el nivel de servicio *fr* se procede a calcular $G_z(k)$ para el valor de $k = 1,17$ de la tabla espacial de la distribución normal se encuentra que $G_z(k) = 0,0596$ y aplicando la ecuación (19) se obtiene el siguiente valor de *fr*.

$$fr = 1 - \frac{45.000(0,0596)}{136.015} = 0,9802$$

El 98,02% de las unidades ordenadas se podrán surtir del inventario actual.

El costo asociado a esta política es:

$$CT = 18 \times 370.000 + \left(\frac{136.015}{2} \times 18 \times 1,6\% + 52.650 \right) + \frac{370.000}{136.015} \times 7.200 + \frac{370.000}{136.015} \times 45.000(0,0596) \times 2,4$$

\$/mes.

Uso del Excel para el cálculo del nivel de servicio *P* dada una política de resurtido

Dada una política de resurtido puede usarse Excel para calcular el nivel de servicio *P* con la función DISTR.NORM(*s*, *DL*, σ_L , 1).

Para el ejercicio 7.3.1 el cálculo de *P* sería:

$$P = \text{DISTR.NORM}(422.650, 370.000, 45.000, 1) = 0,8790 \approx 0,88$$

Ejercicio 3.2

[Escriba aquí]

El siguiente ejercicio es tomado de un caso real. Considere la siguiente historia de ventas en kilos mensuales de un producto que se manufactura para una empresa de alimentos (ver Tabla 2). La máquina donde se elabora el producto entrega el pedido en 14 días, pero debe fabricar otras 5 referencias más, por lo que cada vez que se debe fabricar un producto se incurre en un costo de cambio de \$2.800. Asimismo, la empresa no desea mantener altas existencias, en parte porque el producto es perecedero y existe un riesgo alto de caducidad y también porque los cálculos de la compañía (incluyendo este concepto) muestran que mantener un kilo de producto en inventario le representa 1.2% mensual. Tenga en cuenta que el precio de venta del producto es de \$10.5, el costo de producción asciende a \$5.4 y la demanda que se espera es de 210.000 kilos mensuales.

Periodo	Ventas	Periodo	Ventas
1	168.974	11	174.511
2	166.486	12	168.029
3	166.111	13	161.737
4	157.570	14	180.500
5	167.628	15	162.415
6	176.212	16	188.690
7	152.217	17	190.329
8	176.469	18	197.721
9	149.460	19	180.715
10	165.012	20	193.132

Tabla 2

Los registros de niveles de servicio al pedido (órdenes que son entregadas completas desde la primera vez) son del 85%, aunque un alto porcentaje de los clientes recibe pedidos pendientes. Se trata de establecer la política de reabastecimiento más adecuada para este producto. ¿Qué pasaría si los clientes no aceptaran órdenes pendientes y la penalización por ventas perdidas fuera el margen de contribución?, ¿Qué debe hacerse para tener un *fill rate* del 98%? y ¿Cuántos días permanecerá un kilo de producto almacenado? Haga sus comentarios acerca de esta política.

La cantidad Q a ordenar es:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2Ds}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 210.000 \times 2.800}{10.5 \times 1,2\%}} = 96.106$$

Nótese cómo para el cálculo del EOQ anterior se utilizó el precio de venta de \$10.5 y no el costo del producto de \$5.4, esto es plausible porque mantener el inventario guardado priva la empresa de obtener oportunamente el precio de venta y a su vez el margen de contribución, por lo que es lógico aplicar una penalización al margen de contribución de \$5.1 ($10.5 - 5.4 = 5.1$).

Utilizando Excel y los datos de la Tabla 7.2 se calcula la desviación estándar de las ventas históricas obteniendo el dato de 13.332 unidades. La desviación estándar de las ventas durante el LT de 14 días será:

$$\sigma_L = \sigma_1 \sqrt{L} = 13.332 \sqrt{14/30} = 9.107 \text{ kilos.}$$

El siguiente paso es determinar el factor k para un nivel de servicio al pedido del 85%.

$$p_{z(k)} = 1 - P = 1 - 0.85 = 0.15$$

De la tabla para un $P_{z(k)} = 0.15$ el valor de $k = 1.04$.

[Escriba aquí]

Posteriormente proceda a calcular la demanda xL durante el tiempo de abastecimiento LT .

$$xL = d.LT.$$

$$xL = 210.000 \times (14/30) = 98.000 \text{ kilos.}$$

y el *stock* de seguridad es:

$$IS = 1.04 \times 9.107 = 9.471 \text{ kilos.}$$

El punto de re-orden será:

$$s = 98.000 + 9.471 = 107.471 \text{ kilos.}$$

Seguidamente procedase a buscar el *fill rate* considerando un valor de $G_z(k)$ para $k = 1,04$ que es de 0,07716. Reemplazando este valor y el de Q en la ecuación (7.20) se tiene:

$$fr = 1 - \frac{9.107 \times 0.07716}{96.106} = 0.9927$$

El 99,27% de las cantidades ordenadas se podrán entregar si cada que la posición de inventarios llega a 107.471 se ordenan 96.106 kilos de producto y si los clientes reciben pendientes.

Consecuente con esta política el inventario de ciclo es:

$$I = \frac{Q}{2} + IS = \frac{96.106}{2} + 9.471 = 57.775 \text{ kilos.}$$

y los días que en promedio un producto permanece en el inventario son:

$$Ic = \frac{57.775}{210.000} = 0,275(30) = 8.3 \text{ días}$$

Si se desea tener un *fill rate* más bajo - o del 98% como plantea el ejercicio - el valor de $G_z(k)$ se procede a calcular aplicando la ecuación (7.20).

$$G_z(k) = \frac{96.106}{9.107} (1 - 0,98) = 0,2121$$

En la tabla de la distribución normal este factor de servicio equivale a un nivel de servicio de $k = 0,45$ y el valor del *stock* de seguridad ahora es:

$$IS = 0.45 \times 9.107 = 4.098$$

De nuevo se puede buscar en la tabla de la distribución normal del apéndice A el nivel de servicio al pedido P para un $k = 0,45$ es de 67,36%.

Con esta nueva información el punto de re-orden cambia a la posición de:

$$s = 98.000 + 0.45 \times 9.107 = 102.098$$

Un menor *fill rate* hace que las cantidades de *stock* de seguridad y punto de re-orden bajen. En el caso contrario se necesitaría un mayor nivel de protección para aumentos de tasas de llenado del pedido.

4. Políticas de inventarios cuando se presentan demandas aleatorias y tiempos de entrega aleatorios

[Escriba aquí]

Si se considera que el tiempo de entrega y la demanda son variables aleatorias independientes⁵ y se dispone de una muestra de datos de las ventas y de los tiempos de entrega y a su vez de sus desviaciones respectivas, es posible usar una relación que combine estas variables para obtener un cálculo de *stock* de seguridad más confiable.

Por las propiedades de la varianza se tiene que:

$$Var(d) = E[d^2] - (E[d])^2 \quad (45)$$

Usando la proposición de la varianza condicional:

$$Var(d) = E[Var(d / L)] + Var(E[d / L]) \quad (46)$$

Y como:

$$Var(d / L = L) = L\sigma_d^2 \quad (47)$$

Y de la misma manera:

$$E[d / L = L] = Ld \quad (48)$$

Reemplazando las ecuaciones 47 y 48 en 46 se tiene:

$$Var(d) = E[L\sigma_d^2] + Var(Ld)$$

Lo que significa que:

$$Var(d) = \sigma_d^2 E[L] + d^2 \sigma_L^2$$

Y de esta manera la desviación estándar combinada de d y L es:

$$\sigma_{d/L} = \sqrt{L\sigma_d^2 + d^2 \sigma_L^2} \quad (49)$$

Donde:

d = es el ratio de demanda en unidades por unidad de tiempo (es una variable aleatoria).

$\sigma_d = \sigma_L$ = es una estimación de la desviación estándar de la demanda en unidades por unidad de tiempo durante el tiempo de abastecimiento (en secciones pasadas se ha usado la notación σ_L).

L = tiempo de entrega en unidades de tiempo (es una variable aleatoria).

σ_{LT} = desviación estándar del tiempo de entrega o LT .

Se sugiere consultar Ross (2003 p.p. 116-119) para mayores detalles relacionados con el cómputo de varianzas condicionadas y la demostración de la desviación estándar combinada.

⁵ Ross (2008 pág.233) plantea que las variables X y Y son independientes si el conocimiento del valor de una de ellas no cambia las probabilidades de la otra, esto es si X toma los valores de $x_i, i \geq 1$ y Y toma los valores $y_j, j \geq 1$. De igual forma se dice que X y Y son independientes si los sucesos de que X sea igual a x_i y de que Y sea igual a y_j son independientes para cualquier variable x_i e y_j .

[Escriba aquí]

A esta expresión se le conoce comúnmente como la desviación estándar combinada: corresponde a la desviación estándar de la demanda y de los tiempos de entrega durante el tiempo de aprovisionamiento y se calcula con la ecuación (49)⁶.

La ecuación que debe usarse para el cálculo del *stock* de seguridad es la misma ecuación (7.6) pero utilizando ahora la desviación estándar combinada:

$$IS = k \cdot \sigma_{d/L} \quad (50)$$

Donde ya se sabe que k (número de desviaciones estándar desde la media de la distribución) es un factor de seguridad que depende del nivel de servicio prometido a los clientes o nivel de confianza deseado. Dado un valor de P , k se calcula en Excel con la función DISTR.NORM.ESTAND.INV(P).

Para calcular el factor k se procede como se ha estudiado en las secciones anteriores.

De la ecuación 49 se pueden obtener varias derivaciones, por ejemplo, si se considera el caso en donde los suministros son confiables - es decir cuando no existe desviación en los tiempos de entrega (en la realidad son muy contadas las aplicaciones en donde este supuesto ocurra) -. La segunda parte de la ecuación 49 es cero y la ecuación del *stock* de seguridad se convierte en:

$$IS = k \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{L} \quad (51)$$

También es posible (aunque en muy contadas ocasiones) la ocurrencia de nulas variaciones en la demanda o pedidos con muy bajo nivel de variabilidad, es decir $\sigma_d = 0$ pero manteniendo la aleatoriedad del tiempo de reposición, en este caso el *stock* de seguridad puede calcularse con la ecuación:

$$IS = k \cdot d \cdot \sigma_{LT} \quad (52)$$

Para obtener cálculos más precisos es necesario hacerse de la información completa; como habrá notado al estudiar la ecuación (7.49), combinar las cuatro variables que impactan los niveles de inventarios a saber: el volumen de ventas, los *Lead Times* y las desviaciones del tiempo de entrega y de la demanda ofrece resultados más valiosos, sin embargo, puede usar la ecuación con los datos que disponga. Al aplicar la Fórmula (49) es necesario que tenga en cuenta que las unidades de tiempo de la demanda deben coincidir con las unidades de tiempo del abastecimiento, esto implica que si la demanda está en toneladas/día el tiempo debe estar también en días.

Como se ha dicho, el *stock* de seguridad debe proteger sobre las vicisitudes de las ventas, el tiempo de entrega y la variabilidad de estos dos factores. Asimismo, el *stock* de seguridad se torna gestionable y puede reducirse si se aumenta la frecuencia de entrega se controla la variabilidad de los tiempos de entrega y se precisa el pronóstico de la demanda.

Es fácil concluir del anterior párrafo que un producto altamente variable y además con un tiempo de entrega alto necesitará elevados niveles de *stocks*, esto deja sin piso las políticas generalizadas sobre abastecimiento de ítems porque lo que importa realmente es la arquitectura de cada producto y cómo estos son abastecidos por nuestros proveedores o fábricas.

Variantes cuando la desviación estándar es muy alta

⁶ Consultar también Fetter, Robert B. y Winston C. Dalleck. 1961. *Decision Models for Inventory Management*. Homewood, Ill: R.D. Irwin. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/419422.html>.

[Escriba aquí]

Como se planteó anteriormente, cuando la desviación estándar es tan alta que hace que el índice de variabilidad sea elevado es posible sustituir la desviación estándar por el *MAPE*, esto porque:

- Si $V \leq 25\%$ puede afirmarse que los datos son homogéneos y se concentran bastante bien a través de una media, es decir la media es un estadístico muy representativo de la muestra de datos.
- Si $V \geq 25\%$ es evidencia de que los datos no son homogéneos y la media no es un buen estadístico para representar la muestra estudiada.

Si V es muy alto los valores del *IS* serán a su vez muy elevados. En ocasiones un buen pronóstico puede diluir la necesidad de protecciones extras de inventarios; entonces en los casos en donde existan resultados consistentes en el tiempo de un buen pronóstico representado en valores menores o iguales al 25% en el *MAPE*, esta recomendación cobra mucha relevancia.

Ejercicio 4.1

El autor ha ejecutado los cálculos respectivos para una compañía productora de bienes de consumo masivo que importa sus materias primas desde USA, tiene un consumo semanal de 252 toneladas de materia prima esencial y trabaja seis días a la semana a tres turnos. De las mediciones realizadas en una muestra del último año se desprende una desviación diaria de 5 toneladas en el consumo, un tiempo de entrega promedio del proveedor de 91 días (desde que se coloca la orden de compra, hasta que el producto está en la fábrica) y una desviación del tiempo de entrega de 21 días. La citada empresa tiene una expectativa de servicio $P = 98\%$ y estableció en su sistema de información 500 toneladas de inventario de seguridad. Aplicando la Fórmula 7.49 para el cálculo de la desviación estándar combinada y la ecuación (7.39) para el cálculo del *IS* se obtiene el siguiente resultado:

Los parámetros a usar son:

$d = 252$ toneladas por semana (es el ratio de demanda en unidades por unidad de tiempo. Es una variable aleatoria).

$\sigma_d = 5$ toneladas (desviación estándar de la demanda en unidades por unidad de tiempo).

$L = 91$ días (tiempo de entrega en unidades de tiempo, es una variable aleatoria).

$\sigma_{LT} = 21$ días (desviación estándar del tiempo de entrega o *LT*).

Usando (49) y (50) se obtienen la desviación estándar y el *stock* de seguridad:

$$\sigma_{d/L} = \sqrt{91 \times 5^2 + 42^2 \times 21^2} = 883 \text{ toneladas.}$$

$$IS = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV } 98\% \times \sqrt{91 \times 5^2 + 42^2 \times 21^2}$$

Para un nivel de servicio P del 98% $k = 2,05$:

$$IS = 2.05(883) = 1.810 \text{ toneladas.}$$

Nótese como las 252 toneladas de consumo semanal se colocaron en 42 toneladas de consumo diario para que las unidades sean consistentes en el cálculo.

Para completar la política de inventarios en el caso que nos ocupa faltaría calcular s , esto se logra con la siguiente ecuación:

$$s = \hat{x}_x + k \sigma_{d/L} \tag{53}$$

[Escriba aquí]

$$s = 42 \times 91 + 1810 = 5.632 \text{ toneladas.}$$

Y el costo total puede calcularse con la ecuación (23) utilizando $\sigma d/L$ a cambio de σLT .

Con una necesidad técnica de inventario de seguridad de 1.810 toneladas y con una definición errónea de existencias de 500 toneladas era evidente que allí se encontraba parte del problema de incumplimientos reiterados a los programas de producción y consecuentemente, incumplimientos al comercio y los consumidores.

Los resultados de los volúmenes de inventario de seguridad para diferentes niveles de P y diferentes desviaciones en los tiempos de entrega se pueden ver en la siguiente Tabla 3.

Desviación del lead time (días)	IS Toneladas	IS (días)	% Reducción
21	1.800	43,19	
19	1.629	39,09	10%
17	1.458	34,99	19%
15	1.287	30,9	29%
13	1.117	26,8	38%
11	946	22,71	47%
9	776	18,63	57%
7	606	14,57	66%
0	98	2,35	95%

Tabla 3 Niveles de IS dependiendo de las desviaciones en el Lead Time

Si esta industria lograra que su proveedor redujera la variabilidad del tiempo de entrega de 21 días a 0 podría tener una reducción de inventario del 95%. Efectivamente la acción emprendida por la empresa fue concentrarse en buscar confiabilidad en el suministro y ha logrado - en seis meses - una reducción de su inventario de seguridad cercana al 70%.

Ejercicio 4.2

Considere el reabastecimiento de las Baterías AAA para su principal cliente. Una cadena de almacenes de productos para el hogar que tiene ventas promedio diarias para este ítem cercanas a los 68 paquetes de 5 unidades cada uno, con una desviación estándar de 14 paquetes y sus tiempos de entrega para este cliente es de 3 días, pero a veces se desvían 1 día, el cliente le ha enviado una orden de compra por 350 paquetes. Si usted ha definido que para este cliente especial se guardarán 60 paquetes como protección de seguridad, entonces:

- ¿Cuál será el nivel de servicio fr que la empresa le ofrece al cliente?
- Si la empresa decide bajar el nivel de servicio fr al 95% ¿Cuál será ahora la necesidad de *stock* de seguridad?

[Escriba aquí]

Primero se procede a calcular la desviación estándar combinada aplicada a la ecuación (49):

$$\sigma_{d/L} = \sqrt{3(14)^2 + (68)^2(1)^2} = 72 \text{ paquetes.}$$

De la ecuación (50) se obtiene el valor de k , pues son conocidos la desviación estándar y el *stock* de seguridad.

$$k = \frac{IS}{\sigma_{d/L}} = \frac{60}{72} = 0,8310$$

Para un $k = 0,8310$ el valor de $G_z(k) = 0,1140$

Y aplicándola ecuación (19), se obtiene el *fr* ofrecido.

$$fr = 1 - \frac{72(0,1140)}{350} = 0,9778 \approx 97,8\%$$

Si la empresa decide bajar el *fill rate* al 95%, el nuevo *IS* será:

De la ecuación (20) se puede calcular el nuevo $G_z(k)$ obteniendo:

$$G_z(k) = \frac{350}{72}(1 - 0,95) = 0,2430$$

De la tabla de la distribución normal se obtiene el valor de $k = 0,36$ para un $G_z(k) = 0,2430$.

De nuevo con la ecuación (50) calcule el valor de nuevo nivel de *IS*.

$$IS = k\sigma_{d/L} = 0,36(72) = 25,92 \approx 26 \text{ paquetes de Baterías AAA.}$$

Nótese como el inventario de seguridad baja 34 unidades (de 60 a 26) al bajar el nivel de servicio *fr* 2,78%.

Los responsables de gestionar los inventarios deben establecer qué es más económico para la empresa: mantener el nivel de inventarios o disminuir un poco el nivel de servicio.

Otros métodos usados frecuentemente para calcular el *Stock* de Seguridad

El *stock* de seguridad depende del nivel de servicio y de la precisión del pronóstico (mientras más preciso sea el pronóstico menor podrá ser el *stock* de seguridad).

Existen maneras alternativas para el cálculo del *stock* de seguridad, depende más que nada de la disponibilidad de los datos que se tengan a mano, de la capacidad computacional de los sistemas de información y de la complejidad de las operaciones. A continuación, se estudian dos fórmulas adicionales para el cálculo de las coberturas de seguridad dependiendo de la relación de los tiempos de entrega y los tiempos de reaprovisionamiento o de planeación.

Si el tiempo de reaprovisionamiento es mayor al tiempo del pronóstico puede usar la siguiente ecuación:

$$IS = k \times \sqrt{W} \times \sigma_d \tag{54}$$

Si el tiempo de reaprovisionamiento es menor o igual al tiempo de pronóstico puede usar la siguiente ecuación:

[Escriba aquí]

$$IS = k \times W \times \sigma_d \quad (55)$$

Donde:

$$W = \frac{L}{PP} \quad (56)$$

L = plazo de entrega en día.

PP = periodo de pronóstico en días.

Plazo de entrega (propio) = periodo inicial + tiempo de fabricación propia + tiempo para tratamiento de entradas de mercancías (días laborables).

Plazo de entrega (comprado) = tiempo para tratamiento de entradas de mercancía + plazo de entrega previsto.

Periodo de pronóstico = (días laborables), hace referencia a los días que pasan entre cada pronóstico de necesidades.

Ejercicio 4.3

Considere una empresa que comercializa un producto cuya demanda se distribuye normalmente con un promedio de venta por día de 600 unidades y con una desviación estándar durante el LT de 33 unidades. Si se quiere tener un inventario de seguridad que alcance a cubrir de agotamientos el 95% de las veces que se hace un pedido ¿Cuál debe ser el inventario de seguridad y cuál el valor de s si el LT es de 4 días?

Al ir a la tabla normalizada y buscar a cuántas desviaciones estándar equivale cubrirse contra el 95% de las veces (que es lo mismo que buscar: la probabilidad de que la demanda esté por encima el 5%) se encuentra que:

El valor de k es de 1.65 veces.

El $IS = 1.65 \times 33$ unidades = 54 unidades.

Aplicando (7.6) para calcular s se tiene:

$s = (600 \text{ unidades/día} \times 4 \text{ días}) + 54 \text{ unidades} = 2.454$ unidades.

Si la empresa del ejercicio 7.6.3 hace pronósticos cada 14 días ¿Cuál será el inventario de seguridad?

Cómo $LT < PP$ se puede aplicar la ecuación (55) para el cálculo del *stock* de seguridad.

$$IS = 1,65 \times \frac{4}{14} \times 33 = 15,6 \approx 16$$

Y el punto de reorden s será:

$s = (600 \text{ unidades/día} \times 4 \text{ días}) + 16 \text{ unidades} = 2.416$ unidades.

Ejercicio 4.4

Ferretería Superior comercializa despulpadoras manuales de café, su demanda promedio día es de 6 unidades en épocas de alta cosecha con una desviación estándar diaria de 1 despulpadora. Ellos quieren tener un inventario de seguridad que alcance a cubrir de agotamientos el 95% de las veces. El tiempo de respuesta promedio de su proveedor ha sido de 7 días con una desviación estándar de 3 días ¿Cuál debe ser el inventario de seguridad? y ¿Cuál debe ser el punto de re-orden?

[Escriba aquí]

Aplicando la Fórmula de la desviación estándar combinada (49) se tiene:

$$\sigma = \sqrt{7 \cdot 1^2 + 6^2 \cdot 3^2} = 18 \text{ despulpadoras.}$$

Ahora:

Para $P = 95\%$, se tiene un $k = 1.65$

$$IS = 1,65 \times 18 = 30 \text{ despulpadoras.}$$

$$s = 6 \times 7 + 30 = 72 \text{ despulpadoras.}$$

Una política de inventarios para este negocio de despulpadoras será: cuando el inventario llegue a 72 despulpadoras se debe hacer un pedido al proveedor. Note como el *stock* de seguridad es muy sensible al tiempo de entrega y a su desviación; si el tiempo de entrega fuera los mismos 7 días, pero el proveedor fuera 100% confiable, el inventario de seguridad sería 11 despulpadoras y el punto de re-orden bajaría a 53 despulpadoras, es decir descendería en un 35%.

5. Administración de los inventarios en la práctica

La experiencia del autor gestionando inventarios, conociendo variadas problemáticas e impartiendo académicamente conocimientos relacionados con la gestión de inventarios le ha llevado a escribir este apartado especial. A menudo los responsables de gestionar los inventarios en las organizaciones quedan abrumados, inquietos y frustrados cuando tratan de aplicar los modelos acá estudiados a la realidad. La experiencia muestra que los modelos teóricos estudiados se pueden transferir y aplicar bastante bien a la realidad, aunque pueden existir decepciones si no se aplican correctamente.

Diseñe un modelo de control

Sea un experto en el pentágono de control

En la práctica, ser un experto en la gestión de inventarios es saber gestionar el pentágono de control de inventarios (ver Figura 10). Los cinco lados del pentágono están compuestos por:

- Punto de re-orden.
- Inventario de seguridad.
- Inventario máximo.
- Nivel de servicio.
- Costos.

Un producto está bien gestionado cuando está por dentro del pentágono de control, más específicamente cuando el nivel de inventarios actual está por encima del punto de re-orden y del *stock* de seguridad, abajo del inventario máximo M definido, cumpliendo el nivel de servicio y con unos excesos dentro de lo esperado. Además, si el ítem está dentro del pentágono, está controlado y las acciones deben encaminarse a bajar los *leads times* y las variabilidades, de no ser así algo está fallando y deberá ponerse atención al ítem.

Recuerde que el objetivo de la gestión de *stocks* es equilibrar el costo de servicio y el mismo servicio en sí; si un elemento del pentágono está por fuera, una alerta debe ser lanzada por el sistema de información.

[Escriba aquí]

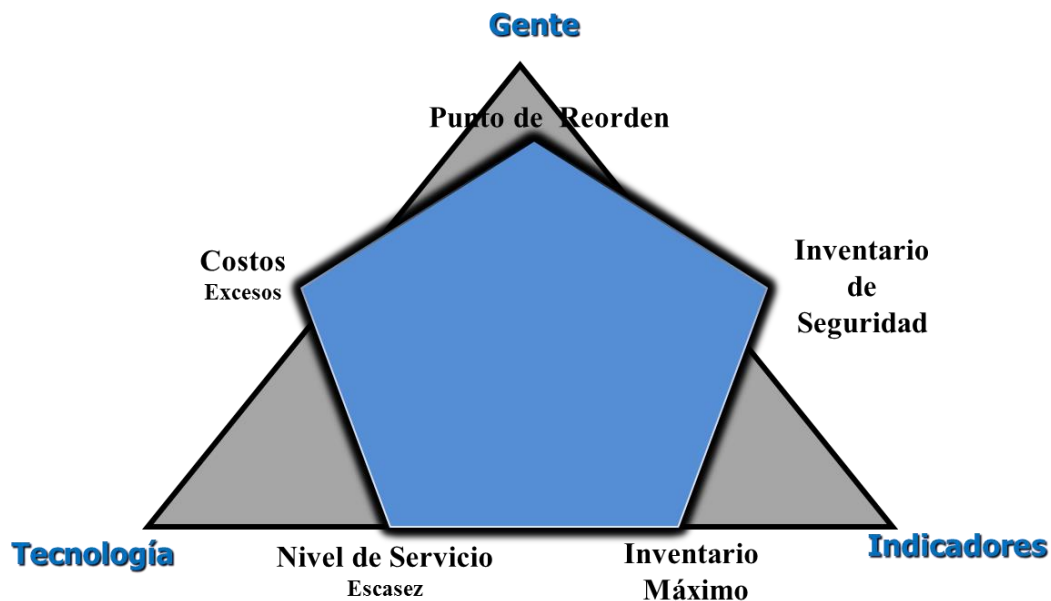


Figura 10, Pentágono de la gestión de inventarios

El ciclo del control y la gestión de inventarios se cimienta mejor cuando está soportado adecuadamente por una estructura compuesta por la gente, la tecnología y los indicadores de gestión.

En la práctica gestionar miles de ítems no es posible sin contar con sistemas de información y computadoras que ayuden a esa labor, es por eso que el soporte de la tecnología es imprescindible para obtener buenos resultados de costos y servicio.

Con relación a la gente los modelos por sí solos no gestionan los inventarios, las personas con su conocimiento y aptitudes son las que producen los verdaderos resultados.

Conozca su portafolio y la manera de gestionarlo

El sistema de control debe establecer qué productos son verdaderamente importantes y como es su gestión y control. En la Figura 11 se pueden estudiar dos maneras distintas de gestionar los productos del portafolio; los artículos A - aunque son los más importantes por definición de aporte al margen, rentabilidad y volumen de ventas - no quiere decir que sean los que mayor participación en el valor del inventario deban tener.

[Escriba aquí]

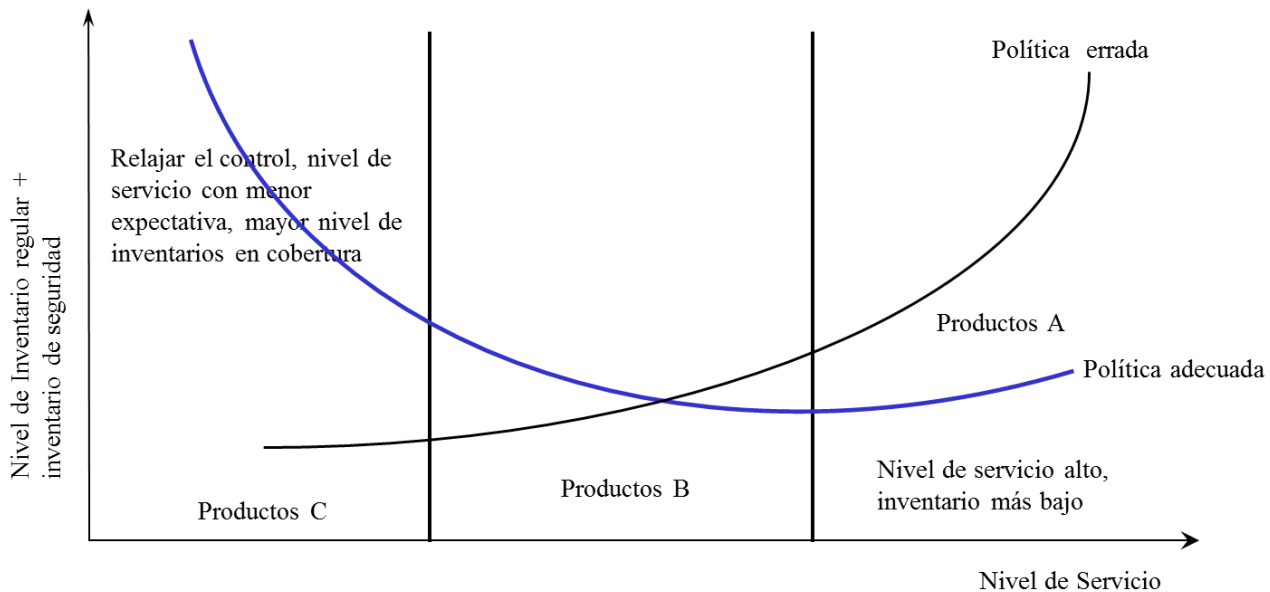


Figura 11, Políticas de gestión de portafolios

Para los productos C una política acertada será tener mayor número de días de inventario y relajar el control, esta política es justificada por el hecho de que mayores días de inventarios no afectarán al valor total del inventario (los productos C contribuyen con muy poco valor al inventario) y de esta manera se garantiza el nivel de servicio.

Saber gestionar los ítems es conocer qué tratamiento se le da dentro del sistema de gestión. Una promoción, un producto de línea tipo C, un producto de línea tipo A, un artículo en introducción, un producto de temporada y muchas otras situaciones que se presentan en la vida diaria habría que aplicarles técnicas diferentes para su gestión. En la Figura 12 se presenta un esquema del orden que debe seguir un ítem dentro de las múltiples opciones para gestionarlo.

La Figura 12 se complementa con la Tabla 4 adaptada de Sipper y Bulfin (1998, pág. 325).

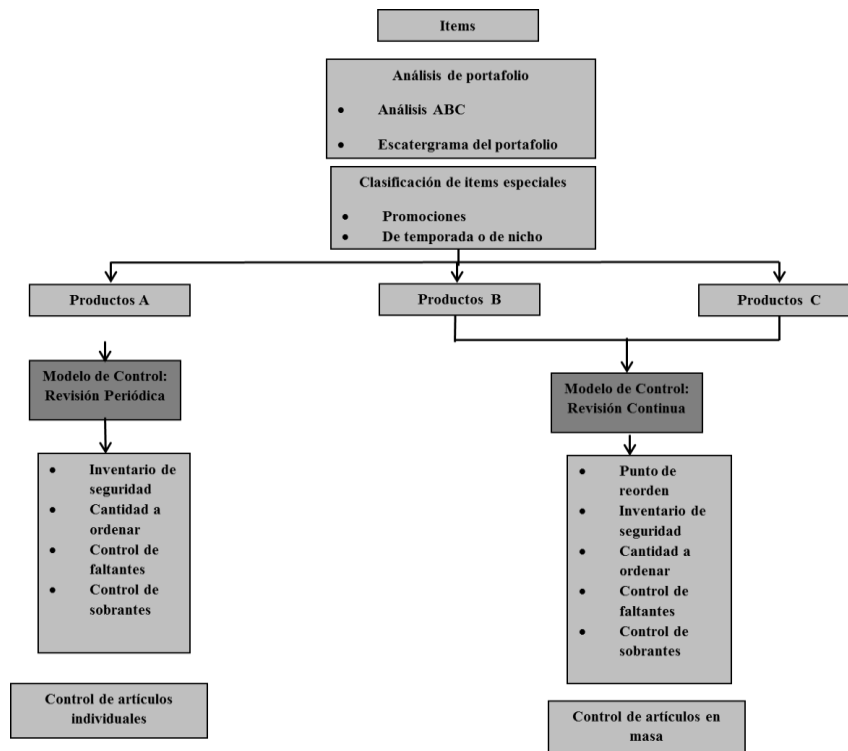
	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Principio de control	Control de artículos individuales	Control masivo	Control masivo
Política de inventario	Revisión periódica	Revisión continua	Revisión continua
Período de revisión	1 o 2 semanas	Continuo	Continuo
Punto de reorden	Ninguno	$dL + is$ ($q_1 \leq s$)	$dL + is$ ($q_1 \leq s$)
Cantidad de reorden	MPS, Gestión de Demanda	EOQ, Cantidad Periódica de Orden (T_{EOQ})	Optimización
Inventario de seguridad	Menos de 0,5 meses	0,5 a 1,5 meses	≈ 3 meses
Inventario máximo	Bajo	Más que para el grupo A $q_1 \geq I_{máx}$	Más que para el grupo B $q_1 \geq I_{máx}$
Método de control	Ecuación de balance de materiales	Triángulo de control	Triángulo de control
Herramienta de control	Balaceo de Inventarios	Informe de excepciones	Informe de excepciones

Fuente: adaptado de Sipper y Bulfin (pág 325, 1998)

Tabla 4, Decisiones de control

[Escriba aquí]

De la Tabla 4 se concluye que los productos A deben ser gestionados de la siguiente manera: el control debe ser ítem por ítem, la política de revisión debe ser periódica, la revisión debe ser frecuente, la cantidad a ordenar se calcula por medio de un balanceo de necesidades, el inventario de seguridad es sumamente importante para garantizar el nivel de servicio y los inventarios deben permanecer lo más bajo que se pueda (es posible por la alta frecuencia de reabastecimiento).



Adaptado de Sipper (1998, pág.323)

Figura 12, Gestión de Ítems

Por último, muchos errores pueden cometerse al aplicar los modelos teóricos a las situaciones prácticas del día a día. A continuación, se tratarán de presentar algunos de los errores más comunes que hacen que se privilegie la lógica por encima de la técnica para gestionar los inventarios:

- No combinar adecuadamente las unidades. Por ejemplo, usar demandas mensuales y tiempos de entrega en días. Es necesario que las unidades sean consecuentes cuando se esté aplicando cualquier modelo, no hacerlo le causará resultados imprecisos.
- El uso de números entre cero y uno. Por ejemplo, el componente cuadrático en la desviación estándar combinada de 0,5 meses hace que este dato sea cada vez menor; es preferible llevar todos los datos a la misma unidad (normalmente a días).
- No considerar adecuadamente las variaciones de la demanda dentro del *Lead Time*. No es recomendable usar una desviación estándar de las ventas mensuales con un *Lead Time* de 15 días, lo correcto sería calcular la desviación de las ventas por día durante los 15 días del *Lead Time*. Por ejemplo, si se tiene una demanda mensual de 120.000 unidades y el *Lead Time* es de 10 días, la demanda pronosticada dentro de dicho tiempo será $120.000/30 \times 10 = 40.000$ unidades y no las 120.000 mencionada. Usar 120.000 como demanda afectará los cálculos generando necesidades irracionales.

[Escriba aquí]

- Partir del supuesto de que los datos de la demanda o de los tiempos de entrega siguen siempre una distribución normal. En la realidad no siempre los datos se distribuyen normalmente, es posible que sigan otras distribuciones de probabilidad (como la *Gamma*). Si este fuera el caso deberían usarse las estadísticas de tendencia y dispersión de esta distribución y no los de la normal. Se recomienda ver Jay Devore (2001, p.p. 168-171) para estudios profundos de las demás distribuciones de probabilidad; adicionalmente en Silver *et al* (1998, pág. 737) se pueden estudiar las ecuaciones para la distribución *Gamma* de la probabilidad de faltantes y punto de re-orden y sus aplicaciones en Excel.
- La calidad y cantidad de los datos (recuerde el teorema del límite central estudiado en el Capítulo 2). La cantidad de información condiciona la distribución de probabilidad que siguen los mismos; las unidades de los datos deben ser consecuentes con la estructura de los cálculos, por esta razón se recomienda ampliamente siempre trabajar con datos diarios tanto en demanda como en tiempos. Las empresas tienen la facilidad de obtener datos en días, esto es un hecho esencial si se considera que en la realidad las órdenes se reciben todos los días y además consecuentemente con esto, todos los días hay entregas a los clientes.
- Saber qué modelo utilizar. En la revisión continua o periódica o la aplicación de cualquier algoritmo de compensación de necesidades, los datos difieren de acuerdo al modelo elegido.
- La adecuada interpretación de los resultados. Por ejemplo, si el cálculo del *stock* de seguridad es 100 unidades (modelados con datos diarios) y si el tiempo de entrega de los proveedores es de 14 días, el inventario de seguridad (las 100 unidades) se deben mantener día a día. No es correcto pensar que cada día debe mantenerse en inventario $100(14) = 1.400$.
- La revisión periódica de los datos. Se sugieren revisiones después de terminado cada periodo de operaciones (mes, catorcenas, semanas o días). Además, tras finalizar un periodo todos los cálculos deben ser actualizados. El exceso de trabajo o la simple negligencia hacen que se trabaje con datos desactualizados poniendo en peligro la integridad de los resultados de los modelos aplicados.
- No construir y estudiar la serie de tiempo de los datos después de cada periodo de operaciones. Esta herramienta debe ser utilizada para conocer el comportamiento de las ventas de cada producto a través del tiempo. Este ejercicio le dará al planificador una completa visión y conocimiento de la arquitectura del producto, lo cual es indispensable para hacer una buena gestión.
- La falta de conocimiento y educación del planificador de inventarios. Este recurso debe tener un perfil adecuado y con suficiente facilidad para interpretar resultados matemáticos (ver en un capítulo posterior el perfil del Planeador de Manufactura).
- No gestionar adecuadamente el Síndrome de Fin de Mes ocasiona desconfianza en la capacidad del modelo para absorber las variaciones y en el proceso de reabastecimiento mismo.
- La falta de escenarios de sincronización adecuados - como los procesos *S&OP* - donde las partes se nivelan en conocimientos matemáticos de los modelos utilizados y pensar que el problema es de los modelos es miope.
- Tratar de obtener óptimos locales en vez de óptimos globales. Se presenta esta disyuntiva - por ejemplo - cuando se debe decidir agrandar los lotes de producción más allá de las recomendaciones técnicas de los modelos para premiar un mejor costo de producción unitario, a sabiendas de los riesgos en el aumento de los costos aguas abajo de la cadena y de posibles pérdidas y obsolescencia del producto.
- La adecuada interpretación del *stock* de seguridad. Debe recordarse que es una porción del inventario que se usa para protecciones ante las desviaciones en las ventas y en los tiempos de entrega. No olvide que ni el *stock* cíclico o medio ni el inventario a mano se catalogan como *stock* de seguridad.
- Creer que es indispensable un *software* sofisticado para gestionar los inventarios. La herramienta de Excel es suficiente porque es un programa flexible, amigable y fácil de usar, donde se pueden armar modelos más idóneos que muchas veces los programas sofisticados no contienen. Sin embargo, se debe reconocer que dichos programas avanzados - como los *ERP* - proveen ventajas fundamentales como la utilización de un solo juego de cifras y la integración

[Escriba aquí]

con los demás procesos de la compañía. Se recomienda el uso de *software* avanzados siempre y cuando a estos se les puedan incorporar los modelos que se adapten a nuestras circunstancias.

- Se debe estar siempre conectado a las actividades del mercado. Un responsable de inventario sumergido en los números puede ir en contravía de lo que la compañía quiere y de lo que el mercado le permite hacer.

Sugerencias

A continuación, se plantea una serie de sugerencias para la adecuada gestión de inventarios en la práctica; éstas no pretenden ser todas las posibles ni reglas de oro, más bien son aspectos que sería importante incorporar al sistema de control y gestión de *stock* para avanzar en busca de la mejor relación costo y servicio a los clientes. Al final se deja al usuario la potestad de incorporar las que crea convenientes:

- Use el modelo adecuado para cada artículo. Los portafolios de productos son variados, dinámicos y flexibles. Un producto A puede tener un alto valor unitario pero un movimiento lento (caso de los motores en los almacenes de repuestos). Asimismo, un producto C puede ser de ventas muy bajas, pero de un alto movimiento. No se puede aplicar un modelo de gestión a todos los productos por igual.
- Haga simulaciones y verifique en laboratorio los resultados antes de lanzarse a hacer ensayos masivos. Es posible que adapte en laboratorio un modelo específico para un grupo de productos, por lo cual es conveniente correrlo en paralelo para verificar sus beneficios antes de ser lanzado a la práctica.
- Siempre comience por un piloto y haga que la organización lo entienda, inclusive desde el fundamento matemático.
- Esté atento a los niveles de servicio y a los de inventario. La atención es cuestión de todos los días, no sólo cuando existe un problema. Recuerde que si todo va muy bien puede ser posible que no se esté moviendo con las herramientas y a la velocidad adecuadas.
- No crea que la lógica se aplica a todas situaciones comunes de gestión de inventarios. La lógica crea caos y es necesario conocer cómo se crea este tipo de situaciones, debido a que el hecho que los responsables de los procesos piensen que la gestión de los inventarios es mera lógica es el inicio de todos los problemas. Los comportamientos mentales de operación llevados o gobernados por la lógica - aquella percepción de que las cosas son simples y deben hacerse de la manera que a alguien se le ocurre o que esa lógica muestra. Esa concepción desprovista de análisis, método y medición - ocasiona una gestión distorsionada. Definir una política de inventarios no es tan sencillo como decir que se comprenden dos veces lo que se consume.
- Pague por productividad al equipo de planeación de inventarios y al equipo de cadena de suministro. Diseñe un sistema de remuneración basado en el desempeño y gobernado por el indicador de balanceo de inventarios (ver Capítulo de Indicadores de Gestión).
- Capacite constantemente hasta que convierta a los responsables de gestionar los inventarios en verdaderos técnicos en la materia, capaces de interpretar y aplicar a la práctica todos los modelos posibles.
- Establezca la disciplina del proceso *S&OP*, este concepto será tratado en otro capítulo más adelante con mayor detenimiento.
- Siempre respáldese en decisiones gerenciales, por esto es bueno que la organización comprenda que:
 - Hay que defender el suministro, pero controlando los costos, esto lleva a tomar decisiones de parar líneas de producción si las ventas no fluyen como se planearon.
 - Los problemas de gestión de inventarios – como los de muchos otros procesos - son asunto de todos, no de unos pocos y se mejoran con el concurso de la organización entera.
 - El capital de trabajo debe gestionarse y debe tener metas concretas.
- Mida económicamente todos los avances en servicio y costos de la política de inventarios.
- Tenga una infraestructura adecuada para la gestión de los inventarios; esta infraestructura la componen: el *software*, el *hardware*, los procesos y las personas.
- Una vez gane confianza con la aplicación del nuevo modelo, enfóquese en:

[Escriba aquí]

- Reducir las variabilidades de las ventas. Esta debe ser una tarea conjunta con el personal de ventas porque cuando se les incorpora a ellos en dicha labor siempre se logran avances satisfactorios en esta materia. Saldarriaga (2012, p.p. 175-181) diagnóstica el impacto del ciclo de ventas en las operaciones y ofrece una gama de alternativas que muchas organizaciones ya han aplicado con contundentes resultados sobre el aplanamiento del ciclo de ventas y la reducción de la variabilidad.
- Disminuir las variaciones de los *Lead Times* conjuntamente con los dueños de los procesos de producción y suministros.
- Baje el *stock* de seguridad, esta será una consecuencia de las dos acciones anteriores. Hágalo paso a paso, de manera que no ponga en peligro los niveles de servicio. Los avances le irán indicando hasta qué punto debe moverse.

Bibliografía

- Bowersox, D.J. y Closs, D.J. *Logistics Management. The Integrated Supply Chain Process*. McGraw-Hill (New York, 1996).
- Berenson, Mark L y LLevine, David M. Estadística Básica en Administración. *Prentice Hall*. Cuarta Edición (1992).
- Caso: Zara: IT para la Moda Rápida TEC-C-0528-SDA-00-S. EDDE - Escuela de Dirección de Empresas.
- Caso Zara: Moda Rápida. EADA.
- Chen, F., Drener, Z., Ryan, J.K. y Simchi-Levi, D. *Quantifying The Bullwhip Effect in Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Time and Information*. *Management Science*. 46, 3, pp. 436-443 (2000).
- Chopra, S- & Meindl. Administración de la Cadena de Suministros: Estrategia Planeación y Operación. Tercera Edición. Pearson *Prentice Hall* (México, 2008).
- Chase, Richard B., Aquilano, Nicholas J. y Jacobs, F. Robert. Administración de Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios. Capítulo 15. Octava. Edición. McGraw-Hill.
- Montgomery, Douglas C. y Runger, George C. Probabilidad y Estadística. Aplicaciones a la Ingeniería. McGraw-Hill (México, 1996).
- Do Nascimento JÃo, Belmiro, Freddo, Antonio Carlos, NegrÃo de Figueiredo, Gabriela y Maiochi, Ana Paula. Pontificia Universidad Católica de São Paulo. Universidad Católica de Santos. Internacionalización en la Industria de la Moda: El Caso Zara.
- Domínguez Machuca, José Antonio, Ruiz Jiménez, Antonio, Domínguez Machuca, M. Angel y Álvarez Gil M^a José. Dirección de Operaciones Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios. Capítulo 1. p.p. 1-29. McGraw - Hill.
- Dornier, Philippe Pierre; Ernst, Ricardo; Fender, Michel y Kouvelis, Panos. *Global Operations and Logistics, Text and Cases*. John Wiley & Sons, Inc. New York (1998).
- Devore, Jay L. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Quinta Edición. Thomson *Learning*. México (2001).
- Devore Jay L. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, Octava Edición, *Cengage Learning* Editores, S.A de C.V (México D.F, 2012).
- Eliyahú M. Goldratt, El Síndrome del Pajar. Quinta Edición. Ediciones Castillo. México (2002).

[Escriba aquí]

- Ehrhardt, R. The Power Approximation for Computing (s,S) Inventory Policies. *Management Science*, 25(8), 777-786 (1979).
- Goldratt, Eliyahu. El síndrome del Pajar, p.p. 19 y 24 (2004).
- Green, Raul. “Logística de la Moda en una SC Bajo Intensa Presión”. *Manutención y Almacenaje* No. 448, p.p. 68-71 (Julio, 2009).
- Heizer, Jay y Barry Render. Dirección de la Producción: Decisiones Tácticas. Sexta Edición. Capítulo 2: Gestión del Inventario, p.p 41-88. Prentice Hall (Madrid, 2001).
- Lee, H. L; So, K. C.; Tang, C.S. *The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain. Management Science*. 46, 5, p.p. 626-643. (2000).
- Silver, Edward A.; Pyke, David F y Paterson, Rein. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3 Edición. John Wiley & Sons, Inc. New York (1998).
- Sipper, Daniel y Bulfin, Robert L. Jr. Planeación y Control de la Producción. Mc Graw Hill (México, D.F, 1998).
- Wayne L. Winston. Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos. Grupo Editorial Ibero América (1994).
- Shonberger, Richard J. Manufactura de Categoría Mundial. Editorial Norma.
- Ross, Sheldon M. *Introduction to Probability Models*. Octava Edición. Academic Press (Estados Unidos, 2003).
- Ross, Sheldon M. Introducción a la Estadística. Versión Española Traducida por Prof. Dr. Teófilo Valdés Sánchez. Reverté (Barcelona, 2008).
- Rodríguez Urbina Lucía, Maya Moya, Luz Marina y Aranda Silva, Moisés. Probabilidad. Primera Edición. Editorial Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, 2010).
- Van, Hoek R.I. *Tue Rediscovery of Postponement a Literature Review and Directions for Research. Journal Operations Management* 19, p.p. 161-184 (2001)
- Saldarriaga, Diego. L. Diseño, Optimización y Gestión de Centros de Distribución: Almacenar Menos, Distribuir Más (Bogotá, 2012).
- Vidal Holguín, Carlos Julio. Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios. Programa Editorial Universidad del Valle (2010).
- Zermati, Pierre. Gestión de Stocks. Sexta Edición. Ediciones Pirámide (Madrid, 2004).

Revistas especializadas

- APICS. *The Performance Advantage*. <http://www.apics.org>
- Revista Zonalógica. (Medellín, Colombia). <http://www.zonalogistica.com>
- Revista *Logistics Management* (Estados Unidos) <http://www.logisticmgmt.com>
- Revista Log & Man (Brasil) <http://www.imam.com.br>

[Escriba aquí]