Inventarios probabilísticos con demanda independiente de revisión continua, modelos con nuevos pedidos

Francy Ríos*, Andrés Martínez*, Teresa Palomo**, Susana Cáceres** y Marisol Díaz***

Recepción: 7 de agosto de 2007
Aceptación: 8 de mayo de 2008

***Universidad de Oriente, Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela, Maestría en Informática Gerencial.**
Correo electrónico: amart29@gmail.com
****Universidad de Oriente, Barcelona, Departamento de computación administrativa.**
*****Universidad de los Andes, Estado Mérida.**

Resumen. El propósito de este trabajo es explicar el sistema de inventario probabilístico con demanda independiente y revisión continua, con nuevos pedidos. Este análisis se realiza considerando la importancia que este tipo de modelos tiene para la adecuada toma de decisiones sobre la adquisición y manejo óptimo de recursos en las empresas. Estos modelos se caracterizan por poseer una demanda y/o tiempo de suministro variables en el tiempo y la necesidad o demanda del artículo es generada como consecuencia de las decisiones de muchos actores ajenos a la cadena logística (clientes o consumidores), por lo que la empresa no tiene control de la misma.
Palabras clave: inventario, demanda probabilística, investigación de operaciones, revisión continua.

Probabilistic Stocks with Independent Demand of Continuous Check, Models with New Requests

Abstract. The aim of this work is to explain the probabilistic stock system with independent demand and continuous checks, and with new requests. This analysis is performed considering the importance that this type of model has for companies in order that they may take the right decision about the acquisition and manage of resources. These models are characterized by having a variable demand and/or supply time, and the need or demand for the item is generated as a consequence of the decision of many external participants in the logistic chain (clients or consumers), which the company does not have control of.
Key words: stock, probabilistic demand, operation research, continuous check.

Introducción

La necesidad de mantener bienes físicos o mercancías almacenadas con el propósito de satisfacer la demanda sobre un horizonte de tiempo específico, actualmente puede ocasionar problemas en las empresas que intentan asegurar un trabajo uniforme y eficiente en sus operaciones. Estos problemas han sido denominados como problemas de inventario e involucran decisiones que tienden a considerar, ¿cuándo hacer pedidos? y ¿en qué cantidad?, además se basan en una política de inventarios que es típica de cada problema. Es por ello, que en el área económica los inventarios revisten una gran importancia, por lo que las empresas realizan un gran esfuerzo, no sólo para gestionarlos debidamente, sino para que además los resultados en cuanto a eficiencia y controlabilidad del problema sean lo más satisfactorios posibles. Para ello es indispensable usar políticas cuyos procedimientos a emplear resulten de fácil utilización y permitan una operación fluida para la empresa.

Este trabajo de investigación documental presenta de forma sencilla y resumida los modelos de inventarios probabilísticos de revisión continua con nuevos pedidos con el propósito de servir como base referencial al momento de realizar la importante labor de seleccionar el modelo que mejor se ajuste a cada caso en particular. Para ello se iniciará con una breve introducción donde se describen, de forma general, los inventarios probabilísticos con demanda independiente y luego se pasa a puntualizar los de revisión continua, para llegar finalmente al objeto de esta investigación, los modelos de control de inventario con nuevos pedidos, a saber, costo con faltante y nivel de servicio, los cuales se discutirán a profundidad de forma teórica y práctica a fin de facilitar su comprensión.

1. Inventarios probabilísticos con demanda independiente

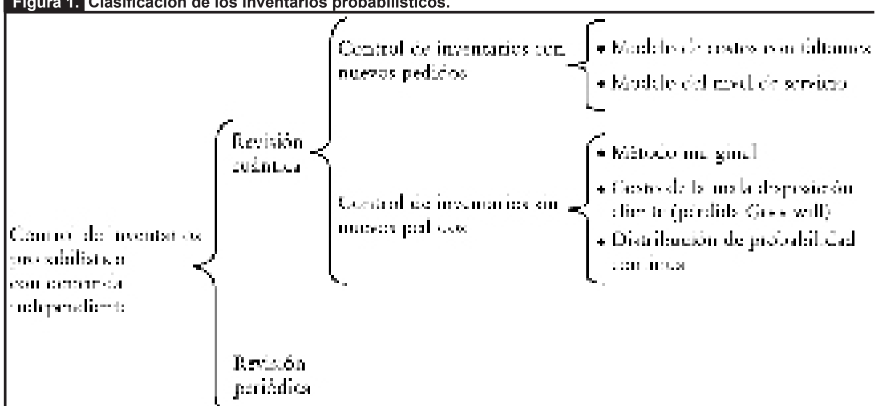
A nivel general, los inventarios probabilísticos con demanda independiente se caracterizan por la suposición de que sólo se conoce la probabilidad de distribución de la demanda durante el tiempo de producción, pero no la demanda actual durante ese periodo, por lo que, cuando se establece el punto de pedido, existe la posibilidad de que el inventario se agote y tener que enfrentar un costo por faltante y por último la demanda del producto no se relaciona con la demanda de otros productos.

Según Marthur y Solow (1996) los inventarios probabilísticos con demanda independiente se pueden clasificar, según la frecuencia de revisión en: modelos de revisión periódica y de revisión continua. Adicionalmente los modelos de revisión continua se clasifican en: modelos de revisión continua con nuevos pedidos y modelos de revisión continua sin nuevos pedidos, en la figura 1 se muestra detalladamente la clasificación de este tipo particular de inventarios.

En todo modelo de inventario es crucial la determinación del punto de pedido (*R*) y el tamaño de pedido (*Q*), ya que el costo anual esperado del faltante se afectará por estos valores, sin embargo, debido a la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de producción, en ocasiones se presenta un agotamiento de existencia, por lo que deben tenerse unidades adicionales en el inventario (inventario de seguridad).

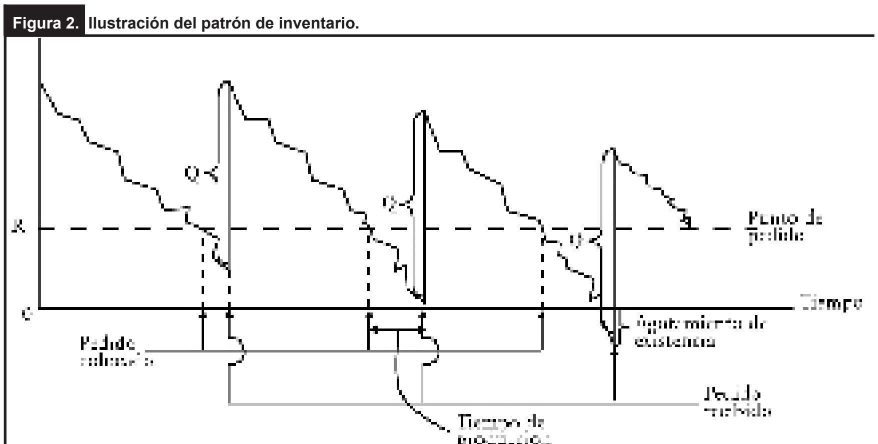
Para finalizar, es necesario tener en cuenta al momento de seleccionar alguno de estos modelos de inventario, que sólo son apropiados cuando la demanda procede de un número razonable de fuentes independientes (demanda independiente) y en su forma habitual, esto ocurrirá para inventarios con productos terminados.

Figura 1. Clasificación de los inventarios probabilísticos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Ilustración del patrón de inventario.



Fuente: Bonini *et al.* (2001)

1.1. Inventarios probabilísticos con demanda independiente de revisión continua

En este tipo de inventario se debe determinar el punto *R*, cuando el inventario cae al nivel de punto de pedido, se ordenará un pedido de tamaño constante *Q* (ver figura 2), en cuanto a la revisión, ésta se realiza cada vez que se hace un retiro o una adición, lo que implica la inversión de una considerable cantidad de tiempo en el mantenimiento del inventario. La necesidad de un sistema computarizado para la implantación de este sistema, implica una considerable inversión económica, es por ello que se recomienda su aplicación únicamente a aquellos artículos de mayor precio e importancia.

El sistema de revisión continua tiene dos variantes: el control de inventario con nuevos pedidos donde se encuentran dos modelos: *a)* costo con faltante y *b)* nivel de servicio; y el control de inventario sin nuevo pedido, el cual cuenta con tres modelos: *a)* método marginal, *b)* costo de la mala disposición del cliente (pérdida de Goodwill) y *c)* distribución de probabilidad continua. Adelante se describirán con más detalles, los modelos correspondientes al control de inventario con nuevos pedidos.

1.1.1. Modelo de costo con faltante

Bonini *et al.* (2001) explican en su libro *Análisis cuantitativo para los negocios*, que el propósito de este modelo es minimizar el costo total en que se incurre durante un periodo dado, además que considera tres costos: *a)* de situar el pedido; *b)* de mantener una unidad en el inventario por un año; *c)* de carecer de una unidad de inventario (costo del faltante o de escasez). El tamaño óptimo del pedido y el punto óptimo de pedido serán en general, una función de estos tres costos más la tasa promedio de la demanda durante el periodo de producción y la variabilidad de la demanda durante ese periodo.

1.1.1.1. Supuestos

a) Tiempo de producción para el reabastecimiento se conoce y es constante.

b) El costo de faltantes es por unidad e independiente de la duración de las existencias.

c) La demanda durante el tiempo de producción (M) se distribuye normalmente.

d) El punto de pedido óptimo R es mayor que la demanda promedio del tiempo de producción.

e) El inventario de seguridad, en promedio, siempre está en el inventario.

f) Se quiere determinar cuánto debe ser el pedido (Q) y cuándo hacerlo (R).

1.1.1.2. Variables del modelo matemático

Sean:

R = punto de pedido.

Q = cantidad de pedido.

D = demanda promedio por año.

K = costo de hacer un pedido.

k_c = costo de mantener por un año una unidad en el inventario.

k_u = costo por faltante.

M = número de unidades de la demanda durante el tiempo de producción para el reabastecimiento.

$\overline{M}$ = número promedio de unidades que se requieren durante el tiempo de producción.

σ_M = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de producción.

1.1.1.3. Determinación de la cantidad de pedido óptima

La determinación de la cantidad de pedido óptima (Q), se realiza a través de la aplicación de la ecuación 1, cálculo de la cantidad económica de pedido (CEP):

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{k_c}} \tag{1}$$

La aplicación de esta misma ecuación no es a la ligera, sino que se hace bajo la suposición de que el valor del CEP es una aproximación razonable al valor de la cantidad de pedido óptima, la cual se sustenta en dos razones, en primer lugar se ha demostrado que la suma de los costos anuales de procesamiento de pedidos, más los costos anuales de mantener el inventario no es muy sensible a errores moderados en Q y en segundo lugar, aunque Q y R en teoría deben determinarse simultáneamente, en situaciones más prácticas no se presentan problemas serios de costo si Q está determinada de forma independiente a través de la ecuación anterior, la cual es considerada la fórmula básica para el cálculo de Q, independientemente si la demanda es determinística o probabilística.

1.1.1.4. Determinación del punto óptimo de pedido: un método marginal

A pesar de que no es necesario calcular los valores de Q y R simultáneamente, como ya se explicó, Q influye directamente en el número de veces por año que se estará expuesto a una posible situación de agotamiento de existencia, por ello es indispensable tener en cuenta para determinar R, el valor de Q.

Ahora bien, a través de la aplicación de un análisis marginal se obtiene la fórmula que permite determinar R. Como primer paso se establece un valor en el punto de pedido, que podría ser, $R = \overline{M}$, demanda promedio del tiempo de producción. Determinado este valor, es preciso averiguar si es conveniente aumentar R en una unidad. Esto se logra calculando el costo anual esperado de agregar otra unidad a R y el costo anual esperado de no agregar la unidad adicional y luego realizar la comparación de un costo frente al otro. Debido a que la unidad adicional se agregaría al inventario de seguridad ($R = \overline{M}$), lo que implica que se tendría que mantener en el inventario casi todo el tiempo, el costo anual de incrementar en una unidad a R, es casi igual a k_c.

En vista de que en este modelo la demanda es incierta, no es posible determinar exactamente el costo anual incremental esperado de no agregar la unidad adicional a R, es por ello que se recurre a herramientas probabilísticas para su cálculo (ver ecuación 2):

$$\begin{pmatrix}\text{Costo incremental}\\ \text{de no agregar una}\\ \text{unidad incremental}\end{pmatrix} = \text{Prob}\begin{bmatrix}\text{Siguiente unidad}\\ (\text{o más})\ \text{demandada}\end{bmatrix} \times k_u \times \left[\frac{D}{Q}\right] \tag{2}$$

Si se define $F(R)$ como la probabilidad de que la demanda (M) durante el tiempo de producción sea menor o igual al valor corriente de R: $F(\mathrm{R}) = \mathrm{Prob}\ (M \leq R)$. Entonces, la probabilidad de que la siguiente unidad (o más) sea demandada es $1\text{-}F(R)$.

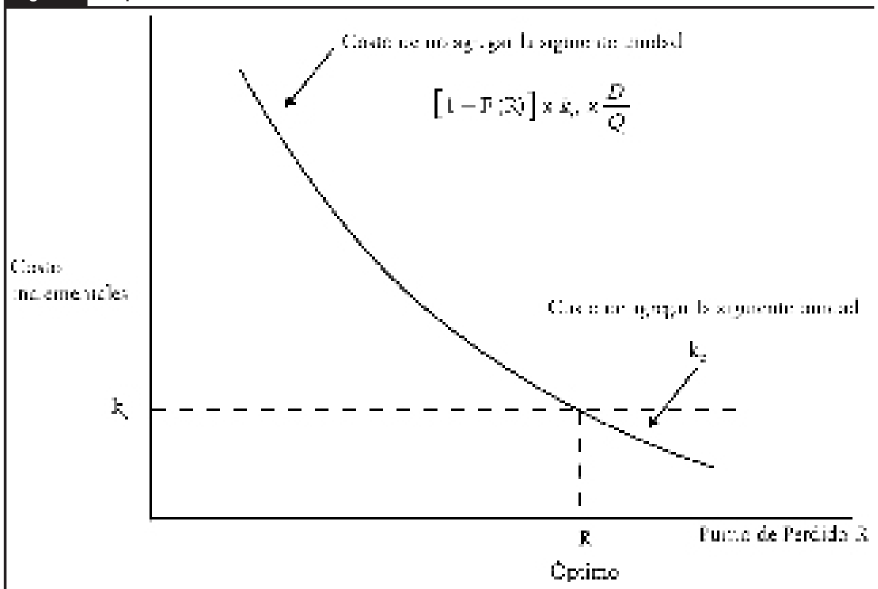
La figura 3 muestra de forma gráfica el comportamiento de los costos de agregar y no agregar la unidad incremental. En ella es posible apreciar que a medida que R aumenta, la probabilidad de exigir la unidad adicional (o más) cae y las dos líneas se llegan a cruzar, en este punto dejan de agregarse unidades a R, ya que el costo de añadir una unidad excede el costo de no hacerlo. Cuando las líneas se cruzan, los dos costos incrementales son iguales, en forma matemática esto se puede representar como se muestra en la ecuación 3:

$$kc = [1 - F(R)] \times k_u \times \frac{D}{Q} \quad o \quad [1 - F(R)] = \frac{k_c \times Q}{k_u \times D} \qquad (3)$$

Despejando $F(R)$ de la ecuación 3 se obtiene la ecuación 4, que no es otra cosa que la probabilidad deseada de la demanda del tiempo de producción menor o igual a R.

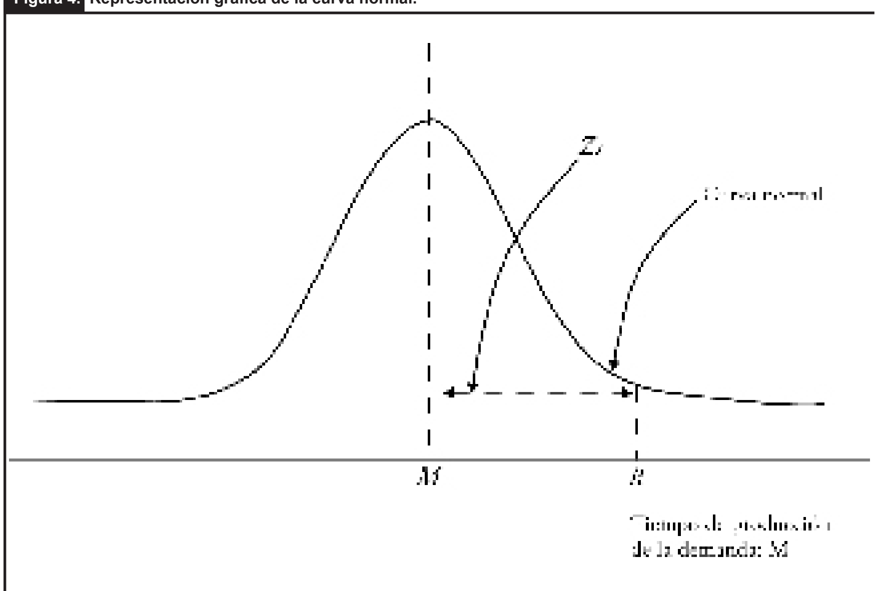
$$F(R) = 1 - \frac{k_c \times Q}{k_u \times D} \qquad (4)$$

Figura 3. **Comportamiento de los costos.**



Fuente: Bonini, Hausman y Bierman (2001).

Figura 4. **Representación gráfica de la curva normal.**



Fuente: Bonini, Hausman y Bierman (2001).

Una vez determinado el valor de $F(R)$, en la tabla de distribución normal se ubica el valor de Z correspondiente, el cual será el número de desviaciones estándar que deben seguirse desde la media de ventas, antes de que la probabilidad sea $F(R)$, de que la demanda del tiempo de producción, M sea igual o menor que R (ver figura 4). El punto de pedido óptimo (R), se calcula mediante el uso de la ecuación 5.

$$R = \overline{M} + Z\sigma_M \qquad (5)$$

Es posible observar que por definición, el punto de pedido es igual a la demanda promedio del tiempo de producción más el inventario de seguridad. Por tanto el inventario de seguridad es $Z\sigma_M$.

1.1.1.5. Cálculo de la desviación estándar del tiempo de producción de la demanda

Es muy común que el tiempo de producción para el reabastecimiento sea diferente al periodo estándar utilizado para reunir los datos de la demanda. Es por ello necesario un método que permita calcular σ_M a partir de σ_I, donde σ_I se refiere a la desviación estándar de la demanda durante el periodo estándar. A continuación se deduce la ecuación que permite determinar σ_M, lo cual se realiza a través de un ejemplo para facilitar su comprensión.

Si se tiene un tiempo de producción de tres semanas y un periodo estándar de una semana, es posible considerar la demanda del tiempo de producción como la suma de tres demandas aleatorias semanales. Ahora bien, si las demandas semanales son independientes, la varianza de la suma es igual a la suma de las varianzas como se muestra a continuación: $\sigma_M^2 = \sigma_1^2 + \sigma_1^2 + \sigma_1^2 = 3\sigma_1^2$. De esta manera, si asumimos L como la duración del tiempo de producción, entonces la fórmula general es la que se muestra a continuación:

$$\sigma_M = \sqrt{L \times s_1} \tag{6}$$

1.1.1.6. Costo total esperado

El propósito de todo modelo de inventario es en esencia, disminuir en lo posible el costo total esperado para un periodo determinado. Teóricamente la ecuación 7 permite calcular el valor del costo total esperado, su uso es muy simple, ya que sólo consiste en sustituir los valores de las variables, bien sean los proporcionados por el sistema o calculados mediante los procedimientos que anteriormente se explicaron, a excepción de $N(Z)$, la cual se refiere a la función de pérdida unitaria para la distribución normal estándar, y Z es igual a R convertida a las unidades de la desviación estándar a partir de la demanda media, durante el tiempo de producción y se calcula a través de la ecuación 8, para luego buscar su valor en la tabla normal.

$$\text{Costo total } (Q, R) = \left[\left[K + (k_u \times \sigma_M \times N(Z)) \right] \times \left(\frac{D}{Q} \right) \right] + \left[\left[\frac{Q}{2} + \left(R - \overline{M} \right) \right] \times k_c \right] \tag{7}$$

$$Z = \frac{R - \overline{M}}{\sigma_M} \tag{8}$$

A continuación, con el propósito de ejemplificar el modelo presentado, se estudiará el caso de una empresa dedicada al ramo de la construcción, donde el inventario de piezas de repuestos es de gran importancia a fin de no tener retrasos en ninguno de los proyectos en ejecución, ya que se requiere de un mes para recibir los pedidos. Se considerará la pieza MTD-3456. Se espera que esta pieza se requiera a una tasa de 100 unidades (U) por mes (1 200 U por año). Se ha observado que la demanda durante un mes es casi normal con una desviación estándar de 40. El costo de los pedidos es de US$1 000 por pedido; el costo de mantenimiento es de US$20 por año, y el costo de los faltantes es de US$200 por unidad. Se debe determinar el tamaño del pedido Q, el punto de pedido R y el costo total esperado. Las variables conocidas se enumeran a continuación:

K = US$1 000
k_c = US$20
k_u = US$200
σ_M = 40
D = 1 200 U/año
$\overline{M}$ = 100 U

En primer lugar, se determinará el tamaño del pedido, mediante la ecuación 1

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{k_c}} \rightarrow Q = \sqrt{\frac{2x\,(1\ 000)x(1\ 200)}{20}} = 346{,}41 \approx 346 \text{ und}$$

Una vez determinado que el tamaño del pedido Q = 346 unidades, ya es posible deducir el valor de R, para ello se requiere en primer lugar, calcular la probabilidad de la demanda (M) durante el tiempo de producción,

donde:

$$F(R) = 1 - \frac{k_c \times Q}{k_u \times D} \rightarrow F(R) = 1 - \frac{20 \times 346}{200 \times 1\ 200}$$

$$\rightarrow F(R) = 0.9712$$

Una vez determinado el valor de $F(R)$ = 0.9712 se ubica el valor de Z correspondiente en la tabla de la función de distribución normal estandarizada. El valor de Z = 1.90 al sustituirlo en la ecuación 5 permite obtener el valor de R, como se muestra a continuación:

$$R = \overline{M} + Z_\sigma \rightarrow R = 100 + (1.90 \text{ x } 40) = 176 \rightarrow R = 176 \text{ U}$$

En este punto sólo falta calcular el valor de la función de pérdida unitaria para la distribución normal estándar $N(Z)$ aplicando la ecuación 8, con el cual se podrá determinar el valor del costo total esperado, usando la ecuación 7:

$$Z = \frac{R - \overline{M}}{\sigma_M} \rightarrow Z = \frac{176 - 100}{40} = 19$$

el valor de la pérdida unitaria para la distribución normal es 0.01105. Sustituyendo los valores en la ecuación 7 obtenemos:
Costo total (Q, R) = 3 774.798 + 4 980
Costo total (Q, R) = US $8 754.798

De lo anterior se puede concluir que a un Costo total Esperado de US $8 754.798 la empresa debe hacer pedidos de 346 unidades y el punto óptimo para realizar un pedido es cuando le queden en su inventario 176 unidades.

1.1.2. Modelo del nivel de servicio (Bonini et al., 2001)

Su propósito es minimizar el costo total en que se incurre durante un periodo, dado con base en la satisfacción de una fracción específica de la demanda. Considera tres costos: K, k_c, k_u.

1.1.2.1. Supuestos

• El tiempo de producción para el reabastecimiento se conoce y es constante.
• El costo del faltante es por unidad, independiente de la duración de la existencia.
• El criterio para decidir si es conveniente o no aumentar R en una unidad, ya no es únicamente la comparación del costo anual esperado de agregar otra unidad a R con el costo anual esperado de no agregar la unidad adicional, sino que además se incluye el porcentaje de nivel de servicio que se desea (P).
• La estimación del costo de un faltante, se fundamenta en el problema de determinar el nivel de servicio deseado.
• M, se distribuye normalmente.
• El punto R es mayor que la demanda $\overline{M}$ promedio del tiempo de producción.
• El inventario de seguridad, en promedio, siempre está en el inventario
• Se quiere determinar Q y cuándo hacerlo (R).

1.1.2.2. Variables del modelo matemático

Sean:
P = nivel de servicio.
($1-P$) = fracción de pedidos no cumplidos por ciclos.
Las demás variables se definieron en la sección anterior.

1.1.2.3. Determinación de la cantidad de pedido óptima

Al igual que en el modelo de costos con faltante, para el cálculo de Q, se considera la expresión (1), independientemente si la demanda es determinística o probabilística, es por ello que también es usada en este modelo para tales efectos.

1.1.2.4. Determinación del punto óptimo de pedido

Una vez calculada Q, se debe determinar el número de pedidos que se estima incumplir en un tiempo de producción:

$$\begin{pmatrix}\text{Pedidos que se estima}\\ \text{incumplir en un}\\ \text{tiempo de producción}\end{pmatrix} = \sigma_M N(Z) \tag{9}$$

Donde el valor de N (Z) se obtiene de la tabla de pérdida normal unitaria. Ahora bien, como la demanda promedio sobre un ciclo de reabastecimiento debe ser igual al suministro promedio a largo plazo, y ya que la cantidad suministrada es Q, entonces, la demanda promedio durante el ciclo también es Q, por tal motivo es posible representar la fracción esperada de los pedidos no cumplidos en un ciclo a través de la ecuación.

$$\begin{pmatrix}\text{Fracción de pedidos}\\ \text{no cumplidos por ciclo}\end{pmatrix} = \frac{\sigma_M N(Z)}{Q} \tag{10}$$

Debido a que el nivel de servicio es P, la ecuación 10 para la determinación de la fracción de pedidos no cumplidos por ciclos puede igualarse a $1-P$ como se muestra en la ecuación:

$$\frac{\sigma_M N(Z)}{Q} = (1-P) \tag{11}$$

Despejando $N(Z)$ de la ecuación 11, se obtiene la ecuación 12:

$$N(Z) = \frac{Q(1-P)}{\sigma_M} \tag{12}$$

Una vez determinado el valor del lado derecho de la ecuación 12, se utiliza la tabla de pérdida normal unitaria $N(Z)$, para encontrar el valor de Z, el cual se sustituye en la ecuación $R = \overline{M} + Z\sigma_M$ para calcular el punto óptimo de pedido.

1.1.2.5. Costo total esperado

Una vez determinadas todas las variables que afectan los costos del inventario la ecuación 13, permite calcular el valor del costo total esperado.

$$\text{Costo total } (Q,R) = \left[[K]\times\left(\frac{D}{Q}\right)\right] + \left[\left[\frac{Q}{2} + \left(R-\overline{M}\right)\right]\times k_c\right] \tag{13}$$

Ahora se mostrará de forma práctica el modelo anteriormente explicado, para ello se usará nuevamente el caso de la empresa dedicada al ramo de la construcción, sólo que en este caso la empresa considera el mantener un nivel de servicio del 99%. A continuación se enumeran las variables conocidas:

D = 1 200 U
K = US$1 000
k_c= US$20
P = 99%
σ_M = 40
$\overline{M}$ = 100 U

En este caso no es necesario calcular, ya que el cálculo se realizó cuando se aplicó el modelo de costo faltante Q = 346 unidades.

Para poder determinar el valor de R se usará la ecuación $R = \overline{M} + Z\sigma_M$, pero antes se debe calcular el valor de Z que es desconocido, para ello se debe, en primer lugar deducir el valor de $N(Z)$ como se muestra a continuación

$$N(Z) = \frac{Q(1-P)}{\sigma_M} \rightarrow N(Z) = \frac{346(1-0.99)}{40} \rightarrow N(Z) = 0.0865$$

A continuación se utiliza la tabla de pérdida normal unitaria $N(Z)$, para encontrar el valor de Z que satisfaga la ecuación, de donde se obtiene un valor de $Z= 0.98$ el cual permite calcular el punto óptimo de pedido, como se muestra a continuación:

$$R= \overline{M} + Z\,\sigma_M \rightarrow R= 100+(0.98 \times 40) \rightarrow R= 139.2$$

$$\rightarrow\ R= 139 \text{ U}$$

Finalmente ya se tienen los valores de todas las variables necesarias para determinar el costo total esperado

$$\text{Costo total } (Q,\ R) = \left[[K]\times\left(\frac{D}{Q}\right)\right] + \left[\left[\frac{Q}{2}+\left(R-\overline{M}\right)\right]\times k_c\right]$$

$$\text{Costo total } (Q,\ R) = \left[[1\ 000]\times\left(\frac{1\ 200}{346}\right)\right] + \left[\left[\frac{346}{2}+(139-100)\right]\times 20\right]$$

$$\rightarrow \text{Costo total } (Q,R) = \text{US\$ } 7\ 708.21$$

En conclusión, para un nivel de servicio de 99% con una cantidad de pedido Q = 346 el punto óptimo de pedido debe ser R =139 unidades y el costo total esperado será de US$7 708.21.

Conclusiones

El análisis exhaustivo de la información documental recolectada durante esta investigación permitió realizar una descripción sencilla y concreta de los modelos de control de inventario de costo con faltante y nivel de servicio, lo que hizo evidente las siguientes afirmaciones:

• La aplicación de los modelos presentados se recomienda únicamente en aquellos artículos de mayor precio e importancia, ya que su implantación amerita una considerable inversión en tiempo de mantenimiento del inventario y en recursos económicos debido a que es necesario un sistema computarizado para su control.

• El modelo de costo con faltante permite determinar un punto de pedido, utilizando un modelo que evalúa el costo de faltantes, buscando disminuir la probabilidad de que se presente agotamiento de existencia durante el tiempo de producción, en cambio el modelo del nivel de servicio se fundamenta en determinar un punto de pedido basado en la satisfacción de una porción específica de la demanda, fracción que se puede definir con base en lo establecido por la competencia.

La aplicación práctica de ambos modelos a un mismo caso de estudio permitió evidenciar que no existe diferencia en el tamaño del pedido (Q) independientemente el modelo que se use, sin embargo, no ocurre lo mismo para el Punto Óptimo de Pedido (R), ni para el Costo Total Esperado del Inventario, con la aplicación del Modelo de Nivel de Servicio se obtuvo valores menores de estas variables en comparación con los obtenidos al aplicar el Modelo de Costo con faltante, lo que se traduce en ahorro para la empresa, no obstante, es necesario tener claro que en el caso del modelo de nivel de servicio se debe considerar las limitaciones que implica el hecho que la gerencia deben evaluar el costo de un faltante para decidir mantener el nivel de servicio, ya que esto implica una disminución en la probabilidad de que no haya agotamiento durante el tiempo de producción, lo que podría ocasionar retrasos en los proyectos y por ende pérdida a nivel económico para la empresa.

Por último es muy importante que antes de tomar la decisión de aplicar el modelo de costo con faltante o el de nivel de servicio, se realice una evaluación que permita estimar la relación riesgo-beneficio que ofrece cada uno de estos modelos, para así determinar cuál es el que distribuye más eficientemente el dinero del inventario de seguridad maximizando la disponibilidad del producto y a la vez minimiza los costos de mantenimiento del inventario, generando un adecuado equilibrio. ergo

Bibliografía

Argawal, M. (2002). *Recent Developments in Operational Research*. Narosa, New Delhi.

Balestrini, M. (2003). *Estudios documentales teóricos, análisis de discurso y las historias de vida*. BL Consultores Asociados, Caracas.

Bonini C., Hausman W., Bierman H., (2001). *Análisis cuantitativo para los negocios*. Mc Graw Hill Interamericana, 9ª edición.

Chase, R.; N. Aquilano; R. Jacobs (2000). *Administración de producción y operaciones*. 8a ed., Mc Graw Hill Companies, INC. Colombia.

Hillier, S. y G. Lieberman (1991). *Introducción a la investigación de operaciones*. Mc Graw Hill, México D.F.

Marín, A. (2006). "Ampliación de modelos de investigación operativa licenciatura de matemáticas Universidad de Murcia". Universidad de Murcia. Murcia. < http://www.um.es/or/ampliacion/apuntes.html> (20 de junio de 2007).

Mathur, K. y D. Solow (1996). *Investigación de operaciones. El arte de la toma de decisiones*. Prentice Hall Hispanoamericana, México D.F.

Muckstadt, J. (2004). *Analysis and Algorithms for Service Parts Supply Chains*. Springer, Cambridge.

Sherbrooke, C. (2004). *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques*. Springer, Cambridge.

Silver, E. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons, Indianapolis.

Wild, T. (2002). *Best Practice in Inventory Management*. Butterworth-Heinemann, Burlington.

Winston, W. (1994). *Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos*. Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F.

Zipkin, H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. McGraw Hill Educational, Chicago.