

Determinación de la cantidad económica de pedido en una empresa cauchera venezolana aplicando la técnica LIMIT

Determining economic order quantity in a Venezuelan tire factory applying LIMIT technique

Jorge Piña Gutiérrez

Palabras Clave: cantidad económica de pedido, técnica LIMIT, inventario, costos

Key Words: economic order quantity, LIMIT technique, inventory, costs,

RESUMEN

Este trabajo presenta la determinación de la cantidad económica de pedido utilizando la técnica LIMIT (Técnica de Interpolación para la Gestión de Inventarios por Lote Económico), en la programación de los artículos producidos en la Entubadora en Frío de una empresa cauchera venezolana y tiene como objetivos principales: reducir la inversión en inventario de los materiales producidos sin incrementar los costos de operación (mínima inversión en inventario); mantener el nivel de inventario de los materiales entubados, en perfecto acuerdo con la demanda esperada del consumidor final (máximo servicio al cliente) y por último, mejorar la eficiencia de las operaciones de la empresa (mínimo costo de operación). Los resultados obtenidos indican que se logró reducir los costos de inversión en inventario en un 1.91%, sin que se hayan aumentado los costos de operación; además, se obtuvo una reducción de los costos por paradas de máquina, gracias a la falta de material entubado en Armado Radial (cliente) de 914,11 Bs/año y por último se logró disminuir los costos debido al reproceso por deterioro y obsolescencia en un 58,33%, por tanto, se puede concluir que se lograron los objetivos planteados.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, todas las empresas reconocen que el éxito de sus operaciones depende en cierto grado de la gestión de sus inventarios. Mantener artículos en inventario exige un costo de mantenimiento y financiación, sin contar con el riesgo inherente de

ABSTRACT

The present research deals with the economic order quantity determination, using the LIMIT (Lot-size Inventory Management Interpolation Technique), in the scheduling of goods produced in the Cold Feed Extruder in a Venezuelan tire factory, having as a main goal: reducing the investment in inventory of the produced material, without increasing the operative costs (minimal investment on stocks); keeping the inventory levels of the extruded materials in perfect agreement with the expected demand of the final consumer (maximum client service), and, increasing the efficiency of the company operations (minimum operation costs). The obtained results indicate that the investment inventory costs were reduced at a rate of 1.91%, without increasing operational costs. Furthermore, a reduction of costs for machinery stops was obtained ought to extruded materials needing in Radial Armoring of 914.11 Bs per year. Finally, costs were reduced because reprocess per damage and obsolescence at a rate of 58.33%; it can be concluded that the objectives proposed were reached.

obsolescencia y deterioro. Por otra parte, la existencia de inventario influye en sus ventas y/o eficiencia de sus procesos productivos.

Plossl y Wight (1985), al respecto, señalan que:

Una decisión básica en la gestión de stocks, consiste en equilibrar los costos de la inversión realizada en stocks con los costos de los pedidos de

reabastecimiento. La pregunta a contestar es: "¿Qué cantidad ser pedida?". La cantidad de pedido correcta será aquella que mejor equilibre los costos asociados al número de pedidos efectuados y los asociados al tamaño de los pedidos. En efecto, si se equilibran ambos, se minimiza el costo total y la cantidad resultante de pedido es la cantidad económica de pedido (CEP) o tamaño económico del lote. (p.88).

Por otra parte, Gupta (2009), afirma que:

El LIMIT, es una técnica desarrollada para manejar los tamaños de lotes económicos, y a la vez tratar con las restricciones asociadas a la cantidad económica de pedido. Esta técnica provee un medio para calcular directamente el tamaño de lote apropiado para una familia de artículos sometidos a ciertas restricciones.

De igual manera, Liu y Ridway (1985), Kusri (2005) y Absi y Sidhoum (2008), mencionan la importancia de la técnica LIMIT (Técnica de Interpolación para la Gestión de Inventarios por Lote Económico, por su siglas en inglés de *Lot-size Inventory Management Interpolation Technique*), para manejar los inventarios agregados y tratar con las restricciones de costos asociadas.

El presente artículo trata sobre la aplicación de la técnica LIMIT para la determinación de la cantidad económica de pedido, en la programación de la producción de los artículos elaborados en la Entubadora en Frío, de una empresa cauchera venezolana, y tiene como objetivos principales: reducir la inversión en inventario, sin incrementar los costos de operación (mínima inversión en inventario), mantener el nivel de inventario de los artículos entubados, en perfecto acuerdo con la demanda esperada del consumidor final (máximo servicio al cliente), y mejorar la eficiencia de las operaciones de la empresa (mínimo costo de operación).

Esta introducción se completa con el marco teórico, y la descripción de la técnica LIMIT, necesaria para presentar la metodología, los resultados y discusión, así como las conclusiones.

Marco teórico

Decisiones básicas de inventario

Según Brooking, et al. (1995), el concepto básico de cantidad económica de pedido o lote económico de producción fue publicado por F.W. Harris en 1915 y el método estadístico para determinar los puntos de pedido fue presentado por R.H. Wilson en 1934. Desde entonces se han aplicado a los problemas de gestión de inventarios, técnicas analíticas cada vez más refinadas; la razón de que se haya dado mayor atención a los inventarios es que para muchas empresas, esa cifra es la partida mayor que aparece del lado del activo en los balances.

Los problemas de inventarios relacionados con cantidades en existencias muy pequeñas o sumamente grandes, pueden ser causa del fracaso de los negocios. Si un fabricante deja de tener existencias de un artículo crítico, esto podría dar por resultado paros en la producción; si no hay existencias de algún artículo, cuando el cliente cree que debe haberlas, el comerciante o proveedor pierde un cliente, no sólo para ése artículo, sino para otros en el futuro. Por otra parte, si se tienen muchas existencias de un artículo, esto podría originar altos costos de operación, afectando el buen desenvolvimiento económico del negocio.

La conclusión que se puede sacar de todo esto, es que una administración eficaz de los inventarios, conlleva a una contribución muy significativa en las ganancias de una empresa, además de aumentar sus ingresos y el total de su activo. Por esta razón, una preocupación fundamental de la administración, consiste en desarrollar políticas de inventarios que disminuyan los costos totales de operación de la empresa.

En realidad, hay que tomar dos decisiones básicas de inventario: la cantidad que hay que pedir cada vez, y cuando debe pedirse. Al considerar esas decisiones, una alternativa consiste en pedir grandes cantidades, a fin de disminuir los costos de los pedidos. La otra consiste en pedir pequeñas cantidades, para disminuir los costos cargados a los inventarios. Llevadas al extremo cualquiera de esas alternativas, tendrá un efecto desfavorable en las ganancias, y la mejor, en términos de ganancias e ingresos sobre los activos totales, es un equilibrio entre los dos extremos.

Costos que intervienen en la gestión de los inventarios

Los costos en que puede incurrir una empresa a consecuencia de los niveles de inventario que establezca, se agrupan en tres categorías: los dos primeros, (costos de pedido y costos de almacenamiento), se igualan uno a otro, en el modelo de inventario a desarrollar. El tercer costo, es la pérdida que sufre la empresa si hay faltantes en sus existencias, y el cual no será tomado en cuenta en este estudio, ya que en el modelo de inventario a desarrollar se supone que no habrá faltantes de existencias.

Costos de pedido o de preparación (K)

Son los costos asociados con el reabastecimiento de un inventario. Se incurre en estos costos cada vez que se compra materiales a un proveedor o que se echa a andar una máquina para comenzar una corrida de producción. Tienen una característica especial, que es la de permanecer constantes, independientemente del tamaño de lote que se compre o se pida a producción.

Costos de almacenamiento (I)

Manejar y mantener artículos en inventarios cuesta dinero, y puede decirse que, a mayor cantidad almacenada mayor resultará el costo de almacenamiento por unidad. Por lo general, se incluyen en estos costos los siguientes elementos: obsolescencia, deterioro, seguro, espacio y capital. Se suele expresar como un porcentaje del valor total del inventario. Luego, conocido éste porcentaje y multiplicado por el costo unitario del producto, se obtiene el costo de almacenamiento por unidad de producto almacenado.

Cantidad económica de pedido (CEP)

La cantidad económica de pedido, es el modelo fundamental para la gestión de inventario. Es un método que, tomando en cuenta la demanda determinística de un producto, el costo de mantener el inventario, y el costo de ordenar un pedido, produce como salida la cantidad óptima de unidades a pedir para minimizar el costo total anual, (o el cualquier otro período que establezca la empresa), de mantenimiento de inventarios y el costo total anual de pedido. El concepto de cantidad económica de pedido se aplica en las siguientes condiciones: primero, la empresa se

reabastece mediante lotes, bien comprándolos o bien fabricándolos, pero no se producen los artículos continuamente y segundo, las tasas de venta o utilización son constantes y bajas relativamente a las tasas normales de producción de los artículos, resultando por tanto cierta cantidad de existencias. "Se han desarrollado dos métodos para determinar la cantidad económica de pedido, ellos son: el método de aproximaciones sucesivas, y el método matemático" (Piña, 1995, p.19). A continuación se describe el método matemático, ya que éste será el modelo a utilizar en la presente investigación.

El método matemático

Este método utiliza una fórmula matemática (Parra, 2005, p.114; Fazel, 1997, p.496; Ullah& Parveen, 2010, p.21), que permite calcular, con un solo paso, la cantidad económica de pedido para cada artículo, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$CEP = \sqrt{\frac{2 \times D \times K \times P}{I \times C}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

D = Demanda o uso anual, en unidades

K = Costo de pedido o preparación de máquina, Bs/hora

P = Horas de preparación por pedido para cada grupo

I = Costo de almacenamiento, como fracción decimal por Bs. de existencias medias

C = Costo unitario, en Bs. por unidad física

A veces y cuando así lo exigen los archivos sobre inventario, como ocurre en ésta investigación, es conveniente calcular la CEP sobre la base del uso mensual del artículo (Plossl y Wight, 1985, p.98), quedando entonces la fórmula de la forma siguiente:

$$CEP = \sqrt{\frac{24 \times D \times K \times P}{I \times C}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo D, el uso mensual, en unidades, y las otras variables igual a las descritas anteriormente.

En las aplicaciones reales, surgen algunas limitaciones que pueden imposibilitar la consecución inmediata de los beneficios proporcionados por la CEP; entre éstas cabe destacar la falta de capital para invertir en inventarios y en espacio para almacenarlos, la falta

de formación profesional o entrenamiento para preparaciones de máquinas y la capacidad limitada de la maquinaria.

Por otra parte, unido a estas limitaciones, y quizás, constituyendo la causa principal de las pocas aplicaciones realizadas de la CEP, es que ella es aplicable a artículos individuales e indican, de acuerdo con ciertas hipótesis de costos, una situación óptima deseada para cada uno de ellos. Esto significa, que con estas fórmulas de la CEP, no se pueden obtener resultados totales sobre inventarios o condiciones de operación, (cambios necesarios en la maquinaria y número de pedidos a realizar), ni tampoco elementos para analizar las posibles variaciones de las cantidades económicas, información muy necesaria para que la Dirección de la empresa pueda realizar una buena gestión de los inventarios. Es por esto, que como parte de un proyecto especial de la Sociedad Americana para el Control de Producción e Inventario (APICS), fue desarrollada una técnica denominada LIMIT (Lot-size Inventory Management Interpolation Technique), que permite aprovechar los beneficios del concepto de CEP con restricciones como las mencionadas anteriormente.

La técnica LIMIT

La técnica LIMIT (técnica de interpolación para la gestión de inventarios por lote económico), ha sido desarrollada para calcular directamente el tamaño de lote apropiado para un grupo de artículos sometidos a un mismo proceso de fabricación (Gupta, 2009; Plossl& Wight 1985).

Los cálculos del LIMIT pueden ser llevados a cabo manual o automáticamente; son sencillos e inmediatos y aunque la empresa tenga acceso a un computador, es preferible que se realicen primeramente en forma manual sobre una muestra de artículos, para garantizar una comprensión del concepto. Para grandes cantidades de artículos, un programa computarizado constituye obviamente la vía práctica y común de aplicación de esta técnica.

El LIMIT es una técnica de dos fases. En la primera fase, cantidades económicas experimentales son calculadas para cada artículo del grupo seleccionado, usando la ecuación estándar 1 o 2 anteriormente establecida en el modelo

matemático. Entonces, se comparan las horas de preparación de la maquinaria necesarias para producir estos nuevos lotes experimentales con las necesarias para producir los lotes actuales. Luego, se calculan unas nuevas cantidades de pedido LIMIT, que igualen las horas totales de preparación de la maquinaria con las horas actuales. La finalidad es generalmente, reducir los inventarios totales muy substancialmente sin cambiar las horas de preparación de la maquinaria, es decir, sin variar las condiciones de operación. En la segunda fase, una serie de alternativas para el grupo de artículos son presentadas, mostrando el efecto que un cambio en las condiciones actuales de pedido puede tener sobre las existencias.

Metodología o técnica manual LIMIT

El procedimiento a seguir para la aplicación de la técnica LIMIT, consta de los siguientes pasos:

1.- Se determinan las horas de preparación mensuales actuales necesarias para cada grupo y las totales para todos los grupos de artículos. Según Gupta (2009), Narasimhan et al. (1996), y Plossl& Wight (1985), el cálculo se realiza utilizando la expresión matemática siguiente:

Horas preparación mensuales actuales =

$$\frac{\text{Consumo mensual}}{\text{Cantidad de pedido actual} \times \text{hrs. de preparación por pedido}}$$

2.- Se calculan las cantidades de pedidos experimentales para cada grupo y las totales para todos los grupos de artículos, lo cual se efectúa utilizando la fórmula estándar del CEP.

3.- Se hallan las horas de preparación mensuales experimentales para cada grupo y las totales para todos los grupos de artículos, utilizando la relación matemática:

Horas preparación mensuales experimentales =

$$\frac{\text{Consumo mensual}}{\text{cantidad de pedido experimental} \times \text{horas preparación por pedido}}$$

4.- Se determinan las cantidades de pedidos LIMIT, usando la expresión matemática:

$$\text{Cantidad de pedido LIMIT} = \text{Cantidad de pedido experimental} \times M$$

Siendo M un factor multiplicador, que permite convertir directamente, las cantidades de pedidos experimentales en cantidades LIMIT, y el cual se calcula con la fórmula:

$$M = \frac{H_e}{H_a} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

H_e = Horas de preparación totales obtenidas a partir de las cantidades de pedidos experimentales.

H_a = Horas de preparación totales obtenidas con las cantidades de pedidos actuales, y que deben ser iguales a las calculadas con las cantidades de pedidos LIMIT, puesto que éste es el factor limitante.

5. Se determinan las horas de preparación LIMIT para cada uno de los grupos y las totales para todos los grupos de artículos, usando la expresión matemática:

$$\begin{aligned} \text{Horas preparación mensuales LIMIT} &= \\ &= \frac{\text{Consumo mensual}}{\text{cantidad de pedido LIMIT} \times \text{horas preparación por pedido}} \end{aligned}$$

Estas horas de preparación LIMIT se comparan con las horas de preparación actuales y si son iguales se concluye que se cumple con el objetivo planteado (primera fase del LIMIT).

6.- Por último, se realiza un análisis de sensibilidad de los inventarios totales medios respecto a la variación en las horas totales de preparación, usando la fórmula LIMIT (Ecuación 3), con la finalidad de ver si resulta rentable modificar, bajo control, las condiciones actuales vigentes (segunda fase del LIMIT).

Ventajas y desventajas de la técnica LIMIT

METODOLOGÍA

El presente trabajo se ubica como una investigación de campo, ya que se trata de una investigación aplicada para comprender y resolver una situación, necesidad o problema en un contexto determinado (Tovar, 2008). Para la recolección de la información se utilizó la revisión documental (reportes de producción, programas de producción, reportes de costos, entre otros). El procedimiento para la

Entre los beneficios o ventajas que ofrece la aplicación de la técnica LIMIT en la gestión de inventarios, se tienen:

-Es una técnica muy sencilla, fácil de comprender y aplicar.

-Muestra la manera de conseguir beneficios inmediatos; disminuyendo la inversión en inventarios o los costos de pedido, sin incrementar los costos de operación.

-Indica los beneficios reales de la aplicación de la CEP a una situación específica, así como las acciones oportunas que deben ser emprendidas para conseguirlos.

-Proporciona información sobre los inventarios totales, los costos totales de pedidos y los costos de la inversión en inventarios totales, y por otro lado, no está limitada por consideraciones referentes a artículos individuales.

-Se halla sincronizada a los objetivos de la Dirección de la empresa, ya que le permite conocer de manera sencilla cuánto dinero suplementario debe invertir y que volumen de ahorro consigue en contrapartida.

Entre las desventajas cabe mencionar:

-Es esencial emplearla con sensatez, ya que no toman en consideración todas las variables posibles que intervienen en tales decisiones, como por ejemplo, el riesgo de escasez y sus consecuencias negativas.

-El personal encargado de la revisión de los lotes debe ajustarlos teniendo en cuenta los defectos, deterioro y otros factores no considerados en los cálculos LIMIT.

aplicación de la técnica LIMIT se hará en tres etapas de la manera siguiente: la primera etapa comprenderá la recolección y análisis de los datos, luego la segunda etapa consistirá en la determinación de las cantidades LIMIT (primera fase del LIMIT), y por último, la tercera etapa comprenderá la realización del análisis de sensibilidad (segunda fase del LIMIT).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primera etapa: Recolección y análisis de datos

Antes de calcular las cantidades LIMIT, es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Agrupar los artículos según el tipo de componente producido, mostrando su consumo mensual y horas de preparación por pedido, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Tipo de componente producido, consumo mensual y horas de preparación por pedido

Grupo	Componente	Consumo(rollos/mes)	Preparación(horas/pedido)
A	Relleno de talón	2859	0.27
B	Pared abrasiva	2697	0.42
C	Pre-entubado	761	0.46
D	Gomita abrasiva	385	0.22
E	Pared camión	1254	0.27
F	Pared combinada	18	0.43

2. Calcular el costo unitario, C, para cada grupo especificado, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculo del costo unitario

Grupo	Componente	Kgs./rollo	Bs./kg	Costo unitario (Bs./rollo)
A	Relleno de talón	18.22	2.03	36.99
B	Pared abrasiva	51.94	2.22	115.31
C	Pre-entubado	53.14	2.57	136.57
D	G. abrasiva	17.86	2.19	39.11
E	Pared camión	40.82	1.85	75.52
F	P. combinada	48.03	2.31	110.95

3.- Determinar las cantidades de pedidos actuales para cada grupo, mediante la revisión de los programas de producción, tal como se presenta en la tabla 3.

Tabla 3.- Cantidades de pedidos actuales

	Grupo					
	A	B	C	D	E	F
Cantidad de pedido actual (rollos/mes)	77	66	29	29	40	10

4.- Calcular el costo de preparación de máquina por pedido, K. Según datos contables de la empresa, para los últimos seis meses, se muestra en la tabla 4, la siguiente información con respecto a la Entubadora en Frío. Entonces, según la tabla 4, se tiene:

Costo de preparación de máquina = $K = 150.92/50.77 = 2.97$ Bs/hora.

Tabla 4.- Costo de preparación de máquina

Mes	Bs./cambio	Horas/cambio
1	176.94	59.52
2	128.78	43.32
3	159.31	53.59
4	152.40	51.26
5	162.97	54.82
6	125.09	42.08
Promedio	150.92	50.77

5. Calcular el costo de almacenamiento, I. Este costo se representa en porcentaje y se evalúa como la sumatoria de los siguientes renglones:

Costo de oportunidad o de capital: se refiere al beneficio que la empresa deja de obtener al no invertir el valor del producto en inventario, en otra actividad donde pueda obtener mayor beneficio. En éste caso, se estima, de acuerdo con la tasa pasiva vigente, la cual es del 10% anual.

Costo por seguros: según datos contables de la empresa, ésta actualmente paga una tarifa del 11% de la inversión media en inventarios, debido a los riesgos a que están sometidos sus existencias.

Costo de deterioro: se refiere al costo que puede ocasionar el mal manejo y el daño de los materiales. Este costo se estimó en 2%, debido específicamente a la cuantiosa pérdida que originaría el uso inadecuado de los límites de envejecimiento de la goma, principal componente de los productos elaborados.

Costo del espacio de almacenamiento: es aquel en el que se incurre como resultado de la necesidad de almacenar inventario. Se consideran los siguientes factores:

d.1) Terrenos: está relacionado con el costo de capital invertido en terrenos, viene expresado en porcentaje y se determina mediante la siguiente expresión matemática:

Costo de Terreno = $(\text{Inversión en terrenos}) / (\text{Promedio de Inversión Total en Inventario}) \times \text{Costo de capital}$

En éste caso se tiene que:

$\text{Costo de capital} = 21.5\%$

$\text{Inversión en terrenos} = 370.512,40 \text{ Bs.}$

$\text{Valor promedio de la inversión total en inventario} = 15.932.054,77 \text{ Bs.}$

Por tanto,

$\text{Costo de terreno} =$

$= (370.512,40 \text{ Bs.}) / (15.932.054,77 \text{ Bs.}) \times 21.5\% = 0.50\%$

d.2) Edificaciones: es el costo expresado en porcentaje, que se obtiene por medio de la relación matemática siguiente:

$\text{Costo de edificaciones} = (\text{Depreciación anual de almacenes}) / (\text{Valor medio de la inversión total en inventario})$

En ésta investigación, se tiene que:

$\text{Depreciación anual de almacenes} = 984.600,98 \text{ Bs.}$

$\text{Valor medio de la inversión total en inventario} = 15.932.054,77 \text{ Bs.}$

En consecuencia,

$\text{Costo de edificaciones} =$

$= (984.600,98 \text{ Bs.}) / (15.932.054,77 \text{ Bs.}) \times 100 = 6.18\%$

Resumiendo se tiene que:

$\text{Costo de almacenamiento} = I$

$= 10\% + 11\% + 2\% + 0.50 + 6.18\% = 29.68\%$.

Segunda etapa: Determinación de las cantidades LIMIT

(Primera fase del LIMIT)

Según la metodología o técnica manual LIMIT, el procedimiento a seguir para determinar las cantidades LIMIT, es el siguiente: primeramente se determinan las horas de preparación mensuales actuales para cada grupo y el total de los seis grupos. Según los datos de la tabla 1 y 3, para el caso del grupo A (Relleno de talón), se tiene:

$\text{Horas de preparación mensuales actuales} =$

$= 2859/77 \times 0.27 = 10.03$

De manera similar, se calculan las horas de preparación mensuales actuales para los grupos restantes, obteniéndose los resultados correspondientes a las horas de preparación mensuales para cada grupo así como el total para los seis grupos en la fila denominada "Horas de preparación mensuales actuales" de la tabla 5.

En segundo lugar, se determinan las cantidades de pedidos experimentales para cada grupo y el total de los seis grupos. Según los datos de la tabla 1, el costo de preparación de máquina, el costo de almacenamiento y el costo unitario, para el caso del grupo A, se tiene:

$$CEP_{Experimental} = \sqrt{((24 \times 2859 \times 0.27 \times 2.97) / (0.2968 \times 36.99))} = 71 \text{ rollos.}$$

De la misma manera, se calculan las cantidades de pedidos experimentales para los grupos restantes, anotándose los resultados en la fila denominada "Cantidad de pedido experimental" de la tabla 5.

En tercer lugar, se calculan las horas de preparación mensuales experimentales para cada grupo y el total para los seis grupos. De acuerdo con los datos de la tabla 1 y las cantidades de pedidos experimentales halladas anteriormente, para el caso del grupo A, se tiene:

$$\text{Horas de preparación mensuales experimentales} = 2859 / 71 \times 0.27 = 10.87$$

Análogamente, se determinan las horas de preparación mensuales experimentales para los demás grupos, colocándose los resultados obtenidos en la fila denominada "Horas de preparación mensuales experimentales" de la tabla 5. Cabe destacar aquí que las cantidades de pedidos experimentales (205 rollos) calculadas con

un costo de almacenamiento del 29.68%, provocan una disminución del 18.33% en la cantidad de pedido actual (251 rollos) pero un aumento del 24.24% en las horas de preparación calculadas con las cantidades de pedidos actuales (de 51.41 a 63.87 horas).

En cuarto lugar, hallada las horas de preparación mensuales actuales y las horas de preparación mensual experimental, se aplica la fórmula LIMIT, para determinar las cantidades de pedidos LIMIT:

$$M = 63.87 / 51.41 = 1.24$$

Luego, según las cantidades de pedidos experimentales calculadas, para el grupo A, se tiene:

$$\text{Cantidad de pedido LIMIT} = 71 \times 1.24 = 88 \text{ rollos}$$

De la misma forma, se calculan las cantidades de pedidos LIMIT, para los grupos restantes, obteniéndose los resultados mostrados en la fila "Cantidad de pedido LIMIT", de la tabla 5.

En quinto y último lugar, se determinan las horas de preparación mensuales LIMIT. Según los datos de la tabla 1, las horas de preparación por pedido y las cantidades de pedido LIMIT anteriormente calculadas, para el grupo A, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Horas de preparación mensuales LIMIT} &= \\ &= 2859 / 88 \times 0.27 = 8.77 \end{aligned}$$

Al igual que antes, este cálculo se efectúa para los grupos restantes, anotándose los resultados en la fila "Horas de preparación mensuales LIMIT", de la tabla 5.

Tabla 5.- Cálculos de la técnica LIMIT

	Grupo						Total
	A	B	C	D	E	F	
Horas de preparación mensuales actuales	10.03	17.16	12.07	2.92	8.46	0.77	51.41
Cantidad de pedido experimental	71	49	25	23	33	4	205
Horas de preparación mensuales experimentales	10.87	23.12	14.00	3.68	10.26	1.94	63.87
Cantidad de pedido LIMIT	88	61	31	29	41	5	255
Horas de preparación mensuales LIMIT	8.77	18.57	11.29	2.92	8.26	1.55	51.36

Como se puede observar en la tabla 5, con estos resultados, se cumple con el objetivo planteado, ya que las horas de preparación mensuales totales son iguales para las cantidades de pedidos actuales (51.41 horas) y para las cantidades LIMIT (51.36 horas). Aparentemente, no se reduce el volumen de las cantidades con los cálculos LIMIT. No obstante,

si se multiplican estas cantidades por los costos unitarios, se puede constatar una reducción en el valor total de los inventarios medios. En la tabla 6, se presentan los resultados obtenidos en las tres clases de cantidades de pedidos, en unidades y en bolívares.

Tabla 6. Valor de los inventarios medios

Grupo	Unidades			Costo unitario	Bolívares		
	Actual	Experimental	LIMIT		Actual	Experimental	LIMIT
A	77	71	88	36.99	2848.23	2626.29	3255.12
B	66	49	61	115.31	7610.41	5650.19	7033.91
C	29	25	31	136.57	3960.53	3414.25	4233.67
D	29	23	29	39.11	1134.19	899.53	1134.19
E	40	33	41	75.52	3020.84	2492.16	3096.32
F	10	4	5	110.95	1109.50	443.80	554.75
Total	251	205	255	-	19683.71	15526.22	19307.96
Inversión en inventario					9841.86	7763.11	9653.98

Cálculo del costo antes y después del LIMIT

A.- Costo por paradas en el Departamento de Armado debido a falta de material entubado:

En la tabla 7, se muestran las horas – hombre/día perdidas en Armado Radial, debido a falta de material entubado para los seis meses anteriores y posteriores a la aplicación de la técnica LIMIT:

Tabla 7.- Horas - hombre perdidas por paradas en Armado debido a falta de material entubado

Meses anteriores	Antes		Meses posteriores	Después	
	Hrs-hombre/día	Hrs-hombre/día		Hrs-hombre/día	Hrs-hombre/día
1	16.88		7	4.76	
2	20.16		8	4.79	
3	15.84		9	9.43	
4	25.45		10	8.35	
5	16.93		11	12.12	
6	14.48		12	5.80	
Promedio	18.12		Promedio	7.54	

En consecuencia, se tiene que:

$\text{Costo Antes} = 0.24 \text{ Bs/hr-hombre} \times 18.12 \text{ hr-hombre/día} \times 360 \text{ días/año} = 1565.57 \text{ Bs/año.}$

$\text{Costo Después} = 0.24 \text{ Bs/hr-hombre} \times 7.54 \text{ hr-hombre/día} \times 360 \text{ días/año} = 651.46 \text{ Bs/año.}$

$\text{Reducción de los costos por paradas en Armado} = 1565.57 - 651.46 = 914.11 \text{ Bs/año.}$

B. – Costo por obsolescencia y/o deterioro:

En la tabla 8, se muestra el número de rollos reprocesados (antes y después del LIMIT), debido a que cumplieron su período de envejecimiento sin ser utilizados o a que salieron fuera de producción bien sea debido a cambio de diseño o a que ya se cumplió el ticket de producción para esa medida.

Tabla 8. Número de rollos reprocesados antes y después del LIMIT.

Meses anteriores	Antes		Después	
	Rollos reprocesados	Meses posteriores	Rollos reprocesados	Meses posteriores
1	43	7	14	
2	40	8	18	
3	39	9	16	
4	43	10	18	
5	45	11	19	
6	36	12	16	
Promedio	41	Promedio	17	

Por tanto, se tiene que:

Pérdida de capacidad debido al reproceso antes del LIMIT=

$$1.76 \text{ min./rollo} \times 41 \text{ rollos/mes} \times 1 \text{ hr}/60 \text{ min} = 1.20 \text{ hrs/mes}$$

Pérdida de capacidad debido al reproceso después del LIMIT =

$$1.76 \text{ min./rollo} \times 17 \text{ rollos/mes} \times 1 \text{ hr}/60 \text{ min} = 0.50 \text{ hrs/mes}$$

Entonces, se tiene que:

Porcentaje de reducción del costo de obsolescencia y/o deterioro = $(1.20 - 0.50)/1.20 \times 100 = 58.33\%$

Tercera etapa: Realización del análisis de sensibilidad

(Segunda fase del LIMIT)

Como se dijo, anteriormente, la segunda fase de la técnica LIMIT, consiste en elaborar una serie de alternativas para el grupo de artículos, revelando el impacto que un cambio en las condiciones actuales de pedido puede tener sobre las existencias. Esto es, indica las consecuencias de un mayor número de pedidos o de un tiempo superior invertido en preparar la maquinaria. Esta segunda fase (análisis de las alternativas existentes), debe indicar si resulta rentable modificar, bajo control, las condiciones actuales vigentes. A continuación, en la tabla 9, se muestra un análisis de sensibilidad de los inventarios totales medios respecto a la variación en las horas totales de preparación, utilizando la fórmula LIMIT.

Tabla 9. Análisis de sensibilidad

Horas totales de preparación	Costo total de preparación por hora.(2.97 Bs.)	Factor multiplicador	Inversión media en inventario(Bs.)	Porcentaje de reducción de inversión en inventario
51.41 (Actual)	152.69	-	9841.86	-
40.00	118.80	1.60	12420.97	(21.86)
45.00	133.65	1.42	11023.62	(12.00)
50.00	148.50	1.28	9936.78	(0.96)
51.36 (LIMIT)	152.54	1.24	9626.25	2.19
55.00	163.35	1.16	9005.21	8.50
60.00	178.20	1.06	8228.90	16.39
63.87 (Exper.)	189.69	1.00	7763.11	21.12
70.00	207.90	0.91	7064.43	28.22

Utilizando la fórmula LIMIT (Ecuación 3), se tiene para el segundo valor de la tabla 9 (40.00 horas totales de preparación):

$$M = 63.87/40 = 1.60$$

El valor de la inversión en inventario de acuerdo con la cantidad total de pedido experimental según la tabla 6, es de 15526.22 Bs. Teniendo en cuenta la

limitación existente de 40.00 horas de preparación, la inversión total en inventario será:

$Inversión\ total\ en\ inventario = 15526.22\ Bs. \times 1.60 = 24841.95\ Bs.$

Y por tanto, la inversión media en inventario:

$Inversión\ media\ en\ inventario = 24841.95/2 = 12420.97\ Bs.$

En la tabla 9, se representa la inversión media en inventario, que se obtiene con diversos niveles alternativos de horas de preparación para los grupos considerados.

CONCLUSIONES

Tres de los principales objetivos para la obtención de beneficios en la mayoría de las empresas industriales son: mínima inversión en inventario, máximo servicio al cliente y mínimo costo de operación. El mayor problema con que se encuentran es que estos objetivos son contradictorios. Se puede facilitar un servicio máximo al cliente si los inventarios son muy altos y si la fábrica se adapta a las variaciones de la demanda de los consumidores, modificando los niveles y programas de producción. Así, el segundo objetivo se alcanza a costa del primero y el tercero. Basado en esta premisa, se realizó la presente investigación, en la cual se concluyó lo siguiente:

El valor de los inventarios medios, según las cantidades de pedidos LIMIT (9653.98 Bs.), es menor que el obtenido con las cantidades de pedido actuales (9841.86 Bs.), en una cantidad de 187.88 Bs. Ello supone por tanto una reducción de la inversión en inventario del 1.91%, sin que hayan aumentado los costos de operación, lo cual era uno de los objetivos de éste trabajo (mínima inversión en inventario).

Debido a la racionalización de los inventarios, de acuerdo CON las cantidades de pedidos LIMIT, se disminuyó considerablemente el número de hrs-hombre/día perdidas por paradas o falta de material entubado, en el Departamento de Armado Radial, (cliente interno), lo cual llevado a términos monetarios, además de la satisfacción del cliente, representa una disminución de los costos por paradas de máquina, en Armado Radial, de 914.11 Bs./año, (ver Cálculo del costo antes y después del LIMIT), lo cual era otro de los objetivos de éste trabajo (máximo servicio al cliente).

De igual manera, se logró una substancial mejora en la capacidad de la Entubadora en Frío, debido a que, el número de rollos reprocessados por deterioro u obsolescencia, disminuyó notablemente al utilizar las cantidades de pedido LIMIT, alcanzándose una reducción en los costos por estos conceptos del 58.33%, (ver Cálculo del costo antes y después del LIMIT), representando esto el cumplimiento del último objetivo de éste trabajo (mínimo costo de operación).

Actualmente, la mayoría de las empresas investigan, constantemente, las aplicaciones de máquinas complejas, que suelen exigir tiempos de preparación largos y costosos, originando mayores lotes económicos y aumentos apreciables en los inventarios de los artículos producidos por estas máquinas. Por esta razón, el LIMIT, puede emplearse para averiguar cuál será el incremento de la inversión en inventarios y espacios necesarios con los nuevos equipos comparativamente a la situación actual.

Si bien, el desarrollo de la técnica LIMIT, se realizó para adecuar las variaciones del costo de almacenamiento a la política empresarial, puede también ser utilizada como simulador aunque la Dirección de la empresa tenga definido un costo de almacenamiento supuestamente correcto en las circunstancias en que opera la fábrica.

Recomendaciones

Según la segunda fase de los cálculos LIMIT, (ver tabla 9), se puede observar que, a medida que aumentan las horas totales de preparación, disminuyen los valores de los inventarios totales medios, es decir, que se reduce la inversión en inventarios. Por tanto, se recomienda a la Dirección de la empresa, conformar un equipo, integrado por personal de Producción, Control de Producción e Ingeniería Industrial, que se encargue de analizar y

establecer, cuáles son las horas de preparación totales máximas, que se pueden programar, sin que se afecte la capacidad requerida de la máquina, para cumplir con el ticket de producción, ya que al aumentar las horas totales de preparación disminuye la utilización o capacidad del equipo. La principal idea consistiría, en reducir el tiempo de cada alistamiento de máquina y luego re-invertir el tiempo ahorrado en alistamientos más frecuentes.

La utilización de la Técnica LIMIT, resulta muy beneficiosa y de mucha ayuda, en el momento de aplicar el concepto de Cantidad Económica de Pedido al mundo real de la empresa. Por ello, se recomienda su aplicación en la elaboración de políticas o cálculos que tengan que ver con la Gestión de Inventarios.

REFERENCIAS

Absi, N. y Sidhoum, S. (2008). The Multiitem Capacitated Lot-sizing Problem with Setup and Shortage Costs. *European Journal of Operational Research*, 185 (3), 1351-1374.

Brooking, S.; Hailey, W.; Parker, H. y Woodruff, C. (1995). Evolving Production Technologies: Implications for Inventory Ordering Formulations. *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (2), 30-42.

Fazel, F. (1997). A Comparative Analysis of Inventory Costs of JIT and EOQ Purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 27 (10), 496-504.

Gupta, R. (2009). Know Something about Inventory. Recuperado de www.boddunan.com/.../9301-Know-S.

Heizer, J. y Render, B. (2011). *Operations Management*, 10th Edition. USA: Prentice-Hall, 497-540.

Hinojo Lucena, F.J. (2011). Introducción al Estilo APA. Recuperado de www.slideshare.net/arawixnuna/normas-apa-7913594.

Kusrini, E. (2005). Sistem Persediaan Multiitem Dengan Kendala Investasi Dan Luas Gudang [Sistema de

Inventario Multiitem con Restricciones de Inversión y Espacio de Almacén]. Indonesia: *Teknoin*, 10 (2), 95-103.

Liu, C., y Ridgway, K. (1995). A Computer-Aided Inventory Management System part 2: Inventory Level Control. *Integrated Manufacturing Systems*, 6 (2), 11-17.

Nahmias, S. (2007). *Análisis de la Producción y las Operaciones*. México: McGraw-Hill.

Narasimhan, S; McLeavey, W. y Billington, P. (1996). *Planeación de la Producción y Control de Inventario*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Parra Guerrero, F. (2005). *Gestión de Stocks*. Madrid: ESIC Editorial. 3ra edición.

Plossl, G. y Wight, O. (1985). *El Control de la Producción y los Stocks*. Barcelona: Industria Gráfica S.A.

Piña, J. (1995). Determinación de la Cantidad Económica de Pedido Utilizando la Técnica LIMIT. Tesis de Maestría en Ingeniería Industrial no publicada, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Seguí, C. (2008). Tablas y Gráficos al Estilo APA. Recuperado de www.slideshare.net/.../taller-tablas-figuras-apa-2008-sep-18-presen.

Tovar, J. (2008). Tipos de Investigación-Gestión Tecnológica. Recuperado de juan.tovar.blogspot.es/1212767700/

Autor

Jorge Piña Gutiérrez. Ingeniero Industrial. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo. Profesor a Tiempo Convencional, Departamento de Investigación Operativa, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

E-mail: jgpinag@hotmail.es

Recibido: 21/09/2012

Aceptado: 15/11/2012