

**IV Jornadas Académicas-XV Jornadas de Coyuntura
de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
27, 28 y 29 de agosto de 2013**

**APLICABILIDAD DE LAS HERRAMIENTAS DE DETERMINACIÓN
DE LOTES ÓPTIMOS DE COMPRA EN LAS IMPORTACIONES DE
INSUMOS DE LA INDUSTRIA LANERA CON ÉNFASIS EN EL
IMPACTO DEL COSTO FINANCIERO.**

Cr. Prof. Christian Kuster

Doctorando en Contabilidad – FCCEE-UBA

FCCEE – UDELAR

Unidad Académica: Contabilidad

Resumen:

1- Objetivo:

El trabajo apunta a determinar la aplicabilidad del modelo de determinación de lotes óptimos de compra (EOQ) en la industria lanera. Para el caso de estudio se eligió el aceite de ensimaje utilizado en el lavado de lanas por tratarse de un insumo estratégico para el cual necesariamente debe formularse un contrato de aprovisionamiento con el proveedor. En la elaboración de sus términos se considera de fundamental importancia conocer los resultados del modelo, sobre todo teniendo en cuenta de que se trata de un material de consumo permanente, típicamente no esporádico. Las dificultades logísticas relacionadas con los trámites de importación exigen por un lado enfrentar altos costos de internación por cada embarque recibido –si se eligiera trabajar con lotes pequeños de compra- y por otro altos costos vinculados a la inmovilización de capital-si se eligiera operar con embarques de gran dimensión-, por lo cual se hace necesario encontrar un lote que garantice el mínimo nivel de costos totales posible. La razón de enfatizar el análisis del costo financiero en particular deriva de considerar que se trata del costo de mantenimiento de stock mas relevante, en la medida de que los otros costos relacionados a los depósitos donde se dispone la mercadería revisten una elevada

independencia con respecto al volumen depositado, lo cual tiende a tornarlos prácticamente irrelevantes en el marco de este tipo de decisiones. Salvo contados casos en que los depósitos son alquilados o se renuncia a percibir un alquiler, o tratándose de cámaras frigoríficas con elevado consumo de energía, el costo puro de almacenaje no guarda –en la mayoría de los casos– una relación causal con el volumen de mercaderías alojadas. Si se trata de un almacén que tiene asociados ciertos costos de vigilancia, iluminación y depreciaciones, el espacio ocupado por la mercadería carece de impacto económico en ese sentido. Lo mismo ocurre con los costos fijos de la sección de compras, toda vez que resultan independientes del número de pedidos realizados.

Consideramos a la constatación de relaciones causales como un aspecto fundamental en el proceso de toma de decisiones y de acuerdo a este principio, junto al de un riguroso análisis crítico de las herramientas, es que se desarrollará el trabajo. La existencia de relaciones causales es la que garantiza que los costos se comporten en la realidad como el modelo prevé que lo harán, y en esa medida es que resulta funcional al proceso de toma de decisiones. Si los costos involucrados no reaccionan frente a los cambios en la variable clave –que para el caso sería la dimensión del lote de compra– de la manera que el modelo estima, el modelo pierde sentido.

2- Metodología

El modelo de determinación de lotes óptimos de compra –también conocido como Economic Order Quantity: EOQ– se trata de una herramienta cuantitativa que busca encontrar una cierta cantidad a comprar para la cual se minimizan los costos de compra y almacenaje. El trabajo comenzará por la elaboración de un resumen sobre el estado actual del conocimiento en relación al tema, realizando un análisis crítico de las diversas concepciones teóricas relacionadas. Luego se procederá al estudio de un caso real concreto en el que se aplica la herramienta para el aprovisionamiento de aceite de ensimaje y se analizan las conclusiones, buscando básicamente tres objetivos , en línea con los de la asignatura: a) combinar la teoría con la práctica, con el convencimiento de que el conocimiento y la comprensión de los modelos cuantitativos son la base de su aplicación, b) interpretar los modelos aplicados respetando la realidad económica de forma de generar información útil a la toma de decisiones, y c) reafirmar la relevancia de los modelos cuantitativos en la administración de los negocios.

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Sin dudas que el nivel de inventario de los insumos cumple un papel muy importante en la planificación operativa y financiera de una empresa, toda vez que oficia como variable clave que posibilita y sostiene un cierto nivel de actividad normal, y como reserva para permitir que se haga frente a posibles faltantes por problemas de abastecimiento o demandas imprevistas de los clientes. Los problemas básicos a los que se enfrenta el administrador son:

- Determinar las necesidades anuales o mensuales del insumo
- Determinar el volumen de cada partida o lote a adquirir en cada ocasión.
- Determinar en que momento debería ordenarse la compra de dicha partida.

La decisión debe tener en cuenta varios aspectos:

- El volumen de compra del período determinará el poder de negociación ante el proveedor y las bonificaciones que estará dispuesto a otorgar.
- Disponer de inventarios implica asumir costos de financiamiento en función del dinero a inmovilizar, costos de mantenimiento de stock y costos operativos derivados de la acción de comprar.

La función de los modelos cuantitativos será ayudar en la toma de decisiones frente a esos problemas buscando optimizar el uso de los recursos. (Anderson et al, 2004. De León et al, 2011. Horngren et al 2007. Render et al. 2012. Baker, 1997. Yardin, 2009)

Según Anderson existen dos tipos de modelos en función de si la tasa de demanda del insumo es constante y predecible, o si por el contrario se trata de demandas fluctuantes: modelos deterministas y modelos probabilísticos. Dentro de los modelos deterministas se

encuentra el modelo de Lote Optimo de Compras o Lote Económico a Ordenar, también conocido –según el Profesor Norberto Demonte- como Modelo de Wilson o por Anderson y Render como fórmula de Harris, constituyendo en 1913 la primera aplicación de los métodos cuantitativos a la administración de inventarios (Anderson et al,2004. Render, 2012. Yardin, 2009. Harris, 1913)

Este modelo, determinadas las necesidades periódicas del insumo, tiene como objetivo determinar el volumen de cada lote a adquirir. Para ello deberá tener en cuenta que mantener niveles de inventario pequeños implica un costo de mantenimiento menor, pero en la medida de que deriva en un elevado número de pedidos al proveedor, ocasiona un elevado costo operativo de compras. Por el contrario, si se mantienen elevados niveles de inventario, los costos operativos de compra se reducen conforme se reducen los pedidos realizados al proveedor, pero existirán elevados costos de mantenimiento de stock.

Existen entonces, dos costos involucrados en el problema:

Costo de mantenimiento de stock: estará conformado por el costo financiero de inmovilizar el dinero invertido en inventarios, costos puros de almacenamiento tales como alquileres o seguros, y otros, tales que dependan del nivel de inventarios. Esta condición es sumamente importante a los efectos de que la decisión tomada surta los efectos esperados en los costos. Nunca se deberán incluir costos que no dependan del nivel de stock, tales como sueldos mensuales de personal de vigilancia, depreciaciones de galpones utilizados como depósito o costos similares, debido a que son factores que no mantienen una relación causal con el objetivo de mantener stock. Incluso puede darse el caso de que por un determinado período los niveles de stock estén en cero y los mencionados costos van a existir igual. Esta cuestión está debidamente aclarada por Anderson, quien adicionalmente expone otros ejemplos -a nuestro juicio correctos y realistas- de costos de mantenimiento que se pueden llegar a dar en algunos tipos de insumos: deterioros y robos. Es razonable esperar que a niveles de inventarios mas altos, ocurran mas faltantes y deterioros. En el caso de los deterioros puede darse por características propias de la mercadería o problemas de manipuleo o estiba.

Costo operativos de compra: Estará constituido por aquellos costos derivados de ordenar un pedido al proveedor, con la condición de que se trate de costos que dependan del número de pedidos

realizados. Como ejemplo tenemos el caso de los insumos importados, en los cuales se debe asumir un costo de tramitación legal mínimo por cada pedido que se realice. Esta condición es igual de importante que en el caso anterior, sin embargo en este caso Anderson no considera este aspecto y cae en el grave error de considerar como costo de compra a los salarios de los compradores, cuando resulta obvio que los mismos no dependen del número de lotes comprados, y por lo tanto configuran un costo totalmente irrelevante en el marco de esta decisión. Si consideramos que sus conceptos están expuestos en un libro de texto al alcance de estudiantes, estamos en presencia de un error pedagógico.(Anderson et al.2004.Pág. 553)

Como en todo proceso de toma de decisiones, reviste fundamental importancia distinguir entre costos fijos y variables en relación a la variable objeto de análisis. Eso define la relevancia del costo en la decisión y está estrechamente vinculada a la existencia de relaciones causales entre el factor o recurso que genera el costo y el mencionado objeto. Soslayar estos conceptos conduce directamente a la confusión y el error. (Yardin.2009).

Ese aspecto no se encuentra considerado en la mayoría de la bibliografía especializada. En el caso de Hansen, este conocido autor no se cuestiona en absoluto la dependencia de los costos de compra respecto de la cantidad de pedidos, ni de los costos de almacenaje con relación a los niveles de inventario. A nuestro juicio en ello radica la validez del modelo como herramienta para la toma de decisiones y pasar por alto este aspecto significa ignorar el concepto de costos relevantes. Así como en el análisis marginal –o también denominado análisis costo, volumen y utilidad- es fundamental separar los costos fijos de los variables con respecto a la cantidad producida y vendida, en el modelo de Lote Óptimo es básico hacerlo con respecto a la cantidad de pedidos y al nivel mantenido en inventarios.(Hansen et al.1996)

Para Horngren “los costos de ordenar son: los costos de preparación, emisión y pago de ordenes de compra, mas la recepción e inspección de los artículos incluidos en las órdenes y las facturas correspondientes recibidas, ordenes de compra y la entrega de registros para hacer las compras”.Se trata de otro caso en que el autor no cuestiona ni profundiza acerca de la relación causal de los costos que enumera y la variables relevantes, que para el caso seria la cantidad de pedidos. De la lectura se desprenden dudas tales como cuales son los costos de preparación referidos. No está claro si se refiere a Sueldos mensuales del personal, depreciaciones, papelería u

otros. Pero con respecto a los costos de mantenimiento de inventarios el autor realiza ciertas consideraciones acertadas, toda vez que ejemplifica y aclara que solo deben tomarse en cuenta costos relevantes incrementales con respecto al nivel de inventarios almacenados.(Horngren et al,2007.Pág. 692)

Lo interesante de Horngren es el planteo de los costos por inexistencias, un costo asociado a bajos niveles de inventarios por comprar en lotes pequeños, que deberá calcularse como la contribución marginal de las unidades no vendidas a causa de la inexistencia.

La problemática de las inexistencias es considerada también por Render cuando se refiere a que pueden originar bajas en las ventas por la aparición de clientes insatisfechos en aquellos casos en que los quiebres de stock son frecuentes. Con respecto al análisis de las relaciones causales que determinan los cambios en los costos, este autor afirma que los costos de ordenar un pedido no dependen del volumen de cada uno y están dados por los salarios del departamento de compras y el tiempo que lleva liberar cada pedido y hacer los pagos correspondientes. Lo que no tiene en cuenta es que estos costos tampoco dependen del número de pedidos sino de la capacidad estructural instalada de la empresa, que como sabemos genera solo costos fijos. Si se partiera de la base de que se trata de salarios a destajo o por jornal –de tal forma que generara un costo variable por pedido- por lo menos debiera haberse aclarado.(Render et al .2012)

Otros autores aclaran que en el caso de los costos de compra debe tratarse de costos fijos por pedido, que varíen de acuerdo al tamaño de los lotes comprados y a la cantidad de adquisiciones realizadas., pero sin profundizaciones –a nuestro juicio necesarias- y sin ofrecer ejemplos (Mallo et al.2000. Baker 1997).

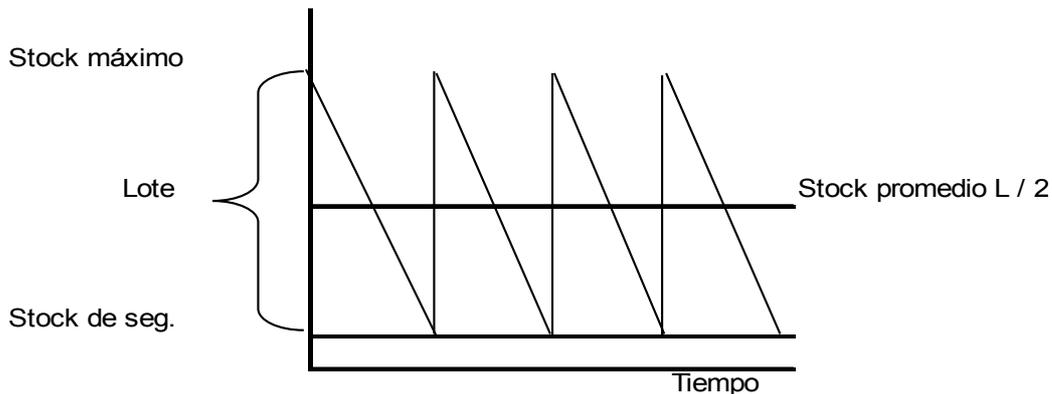
Teniendo en cuenta lo anterior el costo de comprar y el de mantenimiento para un período anual se pueden representar matemáticamente por medio de ecuaciones, previa definición de las variables involucradas:

Siendo:

i el costo de almacenaje anual por unidad de insumo

p el costo de realizar un pedido de compra
Q la cantidad anual a comprar
L el tamaño del lote a comprar
SS el stock de seguridad a mantener por precaución

El comportamiento del inventario se puede representar mediante la siguiente gráfica:



Considerando que el costo de mantenimiento en el período sujeto a análisis dependerá del inventario promedio mantenido (al que podemos representar como $L/2$, ya que se presume que en promedio el nivel de stock es la mitad del lote recibido, y en el caso de existir stock de seguridad habrá que adicionarlo) y del costo de mantener cada unidad, podemos representarlo como:

Costo de mantenimiento: $(SS + L / 2) \times i$

En el caso del costo de compras, va a estar dado por el número de compras realizadas –o pedidos efectuados- y el costo de cada pedido (p). El número de compras realizadas en el año resulta de la división de la cantidad anual a comprar Q entre el tamaño de cada lote L , lo cual lo podemos representar como:

Costo de comprar: $(Q / L) \times p$

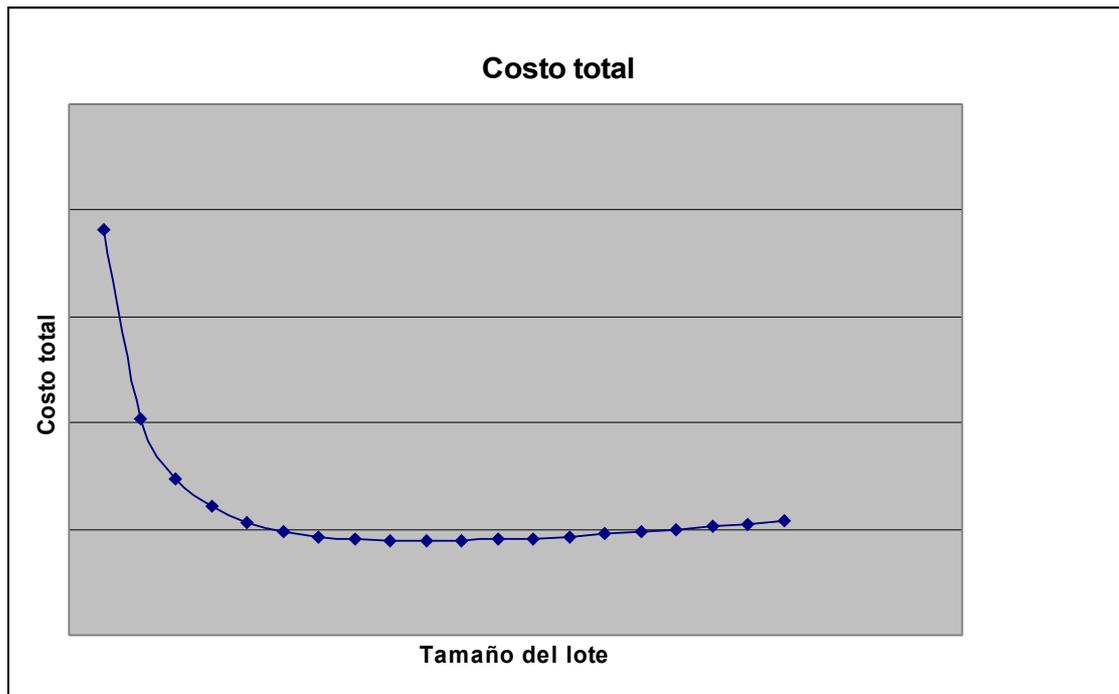
El costo total anual para la empresa se puede formular como:

$$(SS + L / 2) \times i + (Q / L) \times p$$

Dado que el tamaño del lote óptimo debe garantizar el mínimo costo total, se procede a derivar la ecuación e igualar a cero en función de L que es lo que nos interesa despejar. Ello resulta en que:

$$L = \sqrt{\frac{2 \times Q \times p}{i}}$$

La representación gráfica del comportamiento del costo se puede apreciar en la siguiente figura:



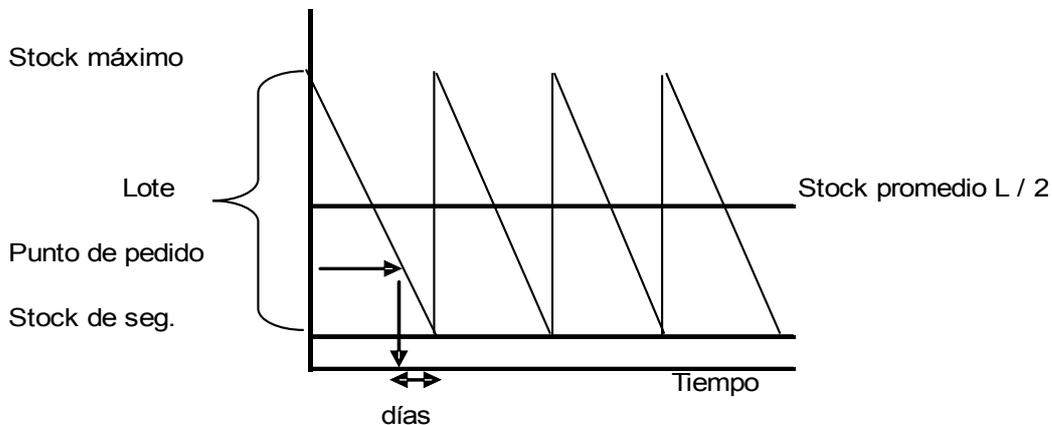
donde se visualiza que la función se hace mínima para un determinado tamaño de lote.(Yardin.2009. Horngren 2007. Mallo 2000, Baker 1997. Render et al.2012. Harris, 1913. Ercole et al , 2007)

El punto de pedido

Una vez determinado el lote de compras es muy útil –desde el punto de vista operativo- conocer el nivel de stock llegado el cual hay que realizar un nuevo pedido al proveedor. Para ello se debe tener en cuenta el tiempo de espera que transcurre entre que se realiza el pedido y la mercadería llega a la empresa y se dispone en condiciones de ser utilizada. Recordemos que en el caso de las mercaderías provengan de lugares alejados, incluso importadas, los días de espera son frecuentemente numerosos. Los perjuicios por la falta de insumos pueden ir desde la pérdida de días de venta, pérdida de negocios y clientes hasta considerables sobrecostos por acudir a otros proveedores.

Para anticiparnos al nivel mínimo de stock admitido –stock de seguridad- debemos conocer el consumo diario del insumo en cuestión y multiplicarlo por los días de espera. De esa manera obtenemos el consumo correspondiente a esos días. Esa cantidad sumada al stock de seguridad nos brinda el nivel de inventarios en el cual debemos realizar el pedido. Durante el tiempo de espera se irán

consumiendo los materiales y al llegar al último -momento en el que se toca el stock de seguridad- llega el próximo lote, tal como se ilustra en la siguiente gráfica:



De acuerdo a esto.

$$\text{Punto de pedido} = \text{Consumo diario} \times \text{Días de espera} + \text{SS}$$

Efecto de los descuentos por volumen comprado y programación lineal

Como se sabe, es práctica habitual en los negocios que los precios sean menores conforme aumentan las cantidades compradas en cada ocasión. Ello implica que el tamaño del lote incidirá en el costo de la mercadería adquirida. En el marco del modelo de lote óptimo corresponde adicionar el costo de adquisición de la mercadería a los ya analizados costos de compra y mantenimiento. (Anderson et al, 2004. Ercole et al, 2007)

Si denominamos **CA** al costo de adquisición de la mercadería en cada lote tenemos:

$$\text{Costo Total: } (\text{SS} + \text{L} / 2) \times i + (\text{Q} / \text{L}) \times p + \mathbf{CA}$$

También es posible considerar al descuento desaprovechado en cada lote como un costo. Si lo denominamos DD tenemos que:

Costo Total: $(SS + L / 2) \times i + (Q / L) \times p + DD$

En ambos casos corresponde elaborar una tabla con cada lote posible y su costo asociado, eligiendo al que resulte menor.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que las variaciones en los precios de compra determinarán a su vez variaciones en el monto del costo financiero de mantener inventarios. Es decir que el monto de CA estará determinando a i , toda vez que una parte de i se calcula a partir de una tasa de interés aplicada al precio de adquisición. El problema se puede resolver aplicando programación lineal definiendo:

- Variable de decisión: L
- Objetivo: minimizar Costo Total
- Restricciones: que Q se encuentre en el intervalo correspondiente a su tasa de descuento y que $L > 0 = 1$. (Ercole et al, 2007)

Render (2012) , quien también considera esta particularidad, propone calcular para cada tramo el lote óptimo, verificar si está dentro de la cantidad posible para el tramo , calcular el costo total para cada lote óptimo y finalmente elegir el de mas bajo costo.(Render et al, 2012)

Modelo EOQ con faltantes planeados

Adicionalmente a los costos de comprar y mantener el stock se puede generar un tercero que corresponde a los costos que se generan por la ocurrencia de faltantes. Estos pueden derivar de varios factores:

- Interrupción de la producción con la consecuente pérdida de la contribución marginal de las ventas relacionadas.
- Incumplimientos en las entregas que implican posibles bajas de ventas futuras y pago de reclamos por la vía de rebaja de precios.
- Retrasos en los pagos recibidos.
- Posibles desperdicios de tiempo de trabajo si el faltante no fué advertido a tiempo.

Teniendo en cuenta que el modelo EOQ se maneja con el objetivo de minimizar costos periódicos, en general anuales, será necesario

entonces determinar el **costo anual que provoca el faltante de una unidad del insumo**, al que representaremos con la letra **f**.

El costo anual total corresponderá a f multiplicado por el número promedio de unidades faltantes a lo largo del año, el cual será representado por la letra **S**.

La determinación práctica de f dependerá de cada caso y cada empresa y no resulta –según Hillier- tarea sencilla, toda vez que es difícil pronosticar las consecuencias de los faltantes con precisión. No obstante todo administrador debe cuestionarse si los faltantes deben eliminarse como sea o si es posible admitir cierto nivel de desfasaje que permita reducir los costos de compra y almacenaje tal que el costo total resulte menor. Por ejemplo si el costo de mantener stocks es alto, puede ser conveniente permitirlos. Según este autor lo fundamental es que los clientes estén dispuestos a tolerar cierto nivel de retraso en las entregas, con lo cual los costos por faltantes no deberían ser muy elevados. En nuestra opinión debe tomarse en cuenta también –sobre todo en el caso de las fábricas- que un día sin un insumo necesario implica un día sin producir, y a la larga un día sin vender, suponiendo que la empresa trabaja a plena capacidad. Con ello se pierden las contribuciones marginales de las unidades producidas en ese día. En caso de que el día se pueda recuperar, habrá que considerar en que medida se puede hacer.

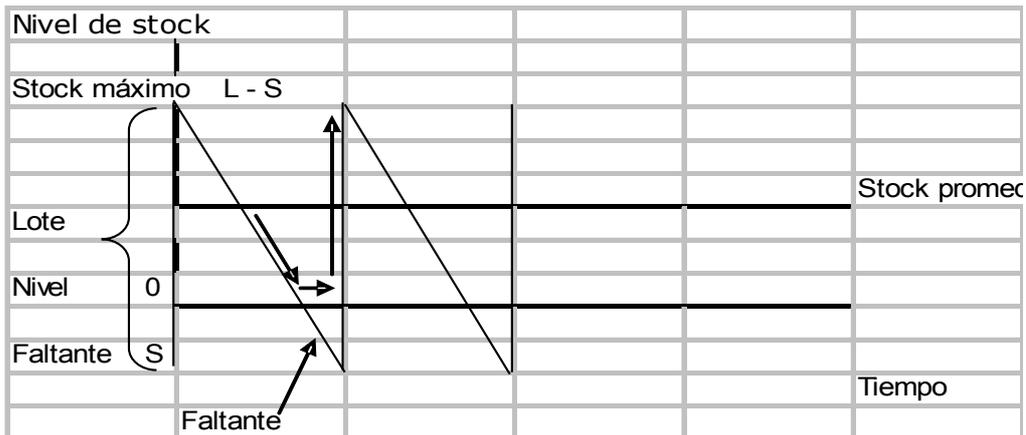
Si se permiten faltantes planeados, al llegar el inventario real a nivel cero, se seguirán recibiendo pedidos que no se pueden cumplir, generando el mencionado faltante, lo cuales se pueden representar como un “stock negativo”.

Siendo:

S el número promedio de unidades faltantes a lo largo del año

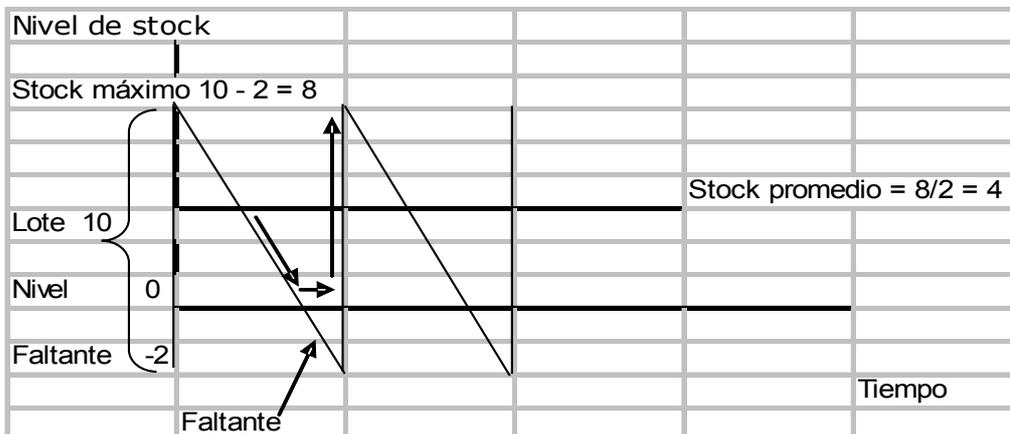
f el costo anual que provoca el faltante de una unidad del insumo

Podemos representar la evolución del stock como sigue:



El modelo sigue la lógica de una ficha de stock, es decir aquel documento en el cual se anotan las unidades existentes al inicio, las entradas y las salidas, resultando un saldo final. En efecto, si las salidas superan al saldo existente, resultará un "stock negativo" que realmente no existe pero representa el faltante de unidades. Al llegar el pedido, las primeras unidades se destinan en forma inmediata a cubrir dicho faltante. Aclaremos estos conceptos con un sencillo ejemplo:

$S = 2$ (faltante permitido)
 $L = 10$ lote elegido de compra



El nivel de stock real sigue el comportamiento indicado por las flechas y permanece en cero por un cierto período de tiempo. El lote que se recibe es de 10 unidades pero las primeras dos se destinan a cubrir los faltantes.

El costo total por ordenar los pedidos, mantener el stock y el derivado de los faltantes se determina de esta manera:

Costo de realizar los pedidos:

$$(Q/L) \times p$$

Costo de mantener stocks:

$$\frac{(L - S)}{2} \times \frac{(L - S)}{L} \times i$$

$$\frac{i \times (L-S)}{2L}$$

donde $L - S$ será el stock máximo y $(L-S)/L$ el porcentaje de tiempo en que existe stock positivo por el cual debe calcularse el costo de mantenerlo. Recordemos que con la existencia de faltantes el nivel de stock permanecerá en cero por un determinado período de tiempo, en el que no genera costos de esa naturaleza.

Costo por faltantes:

$$f \times (S/2) \times (S/L)$$

$$f \times \frac{S}{2L}$$

Siendo $S/2$ el nivel de faltante que promedialmente existe y S/L el porcentaje de tiempo en el cual ocurren faltantes.

Costo total anual:

$$(Q/L) \times p + i \times \frac{(L-S)}{2L} + f \times \frac{S}{2L}$$

El valor de L para el cual se minimiza el costo total será:

$$L = \sqrt{\frac{(i+f)}{f}} \times \sqrt{\frac{(2pQ)}{i}}$$

En cuanto al nivel de faltante permitido, será:

$$S = \frac{i}{i+f} \times L$$

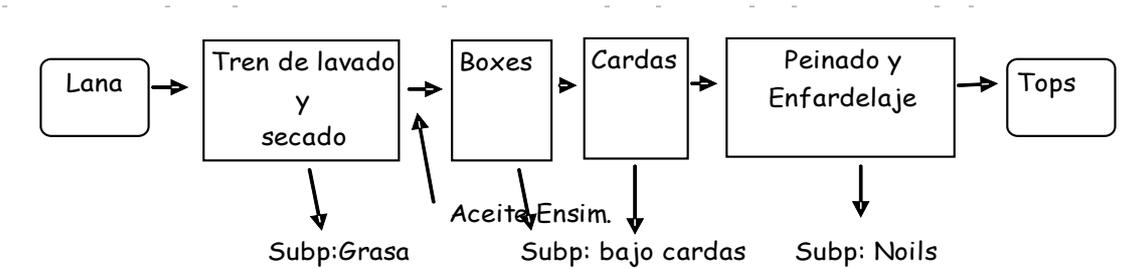
para el L hallado anteriormente. Con ese nivel de S se minimiza el costo total.(Hillier et al.2002)

CASO ACEITE DE ENSIMAJE LANASUR

El caso analizado corresponde al aceite de ensimaje utilizado por la empresa Lanasur en su proceso de lavado y peinado de lana. En efecto, la lana sucia se somete a un proceso de lavado y secado luego del cual el producto es impregnado con el aceite a los efectos de facilitar el posterior peinado, al final del cual se obtiene el producto terminado Tops, que consiste en una bobina de lana lavada y peinada:



Proceso productivo:



Datos relevantes:

Proveedor: Pulcra Chemicals

Precio: Euros 2.330 (US\$ 3.380) por tonelada (1 tanque).

Consumo anual: 18 Toneladas. Para una producción de 5.000 toneladas de Tops.

Lotes: cantidad mínima de embarque ofrecida por Pulcra 1 Tonelada.

La aplicabilidad del modelo de Lote óptimo (EOQ) en la empresa es viable dado que la producción es constante, conocida y homogénea a un ritmo de 400 – 420 Toneladas por mes. Eso permite, en principio, predecir que los costos relacionados se comportarán en forma bastante aproximada a como el modelo prevé. Por otro lado, la relación con el proveedor permite la constitución de contratos de aprovisionamiento que aseguran los pedidos en los momentos y cantidades adecuadas.

Costos de aprovisionamiento

Como se explicara párrafos atrás en el acercamiento al “estado del arte” en relación al tema, si bien algunos autores son proclives a incorporar costos internos relacionados a la función o actividad de compra, nosotros nos inclinamos por incorporar solamente aquellos costos que mantengan una relación causal con la variable dependiente, que para el caso sería el costo total de aprovisionamiento. En otras palabras solo incluiremos costos que varíen en función del tamaño de lote elegido, con lo cual garantizamos la utilidad real de la herramienta en la toma de decisiones.

En el caso de la empresa analizada, cuenta con una sección Compras con un encargado y cuatro funcionarios que genera solamente costo fijos, es decir sea cual fuere el lote de compras elegido y el número de pedidos que genere por período el costo será el mismo, con lo cual queda claro su irrelevancia.

En cambio para acceder a un insumo importado se deben asumir costos de internación de la mercadería en territorio nacional. Independientemente del volumen comprado hay costos mínimos de tramitación que se conocen como gastos de "Despacho de Aduanas", que se originan por acto administrativo de adquirir cada partida.

Gastos de despacho de aduanas:

De acuerdo a la documentación relevada –y que se adjunta como anexo- se concluye que:

Costos fijos mínimos para realizar **un** pedido: US\$ 1.011

Costos de mantenimiento:

Costo financiero

La mercadería se compra con financiamiento bancario al 7.75% anual tasa lineal.

Costo financiero anual por tonelada:

$$\text{US\$ } 3.380 \times 0.075 = \text{US\$ } 254$$

Costo de oportunidad

La empresa cuenta con un centro de negocios paralelo denominado Parque Industrial y Logístico que funciona en el mismo predio. En dicho parque se alquilan superficies para almacenaje y se prestan servicios de carga, descarga y control de inventarios. El espacio ocupado por los tanques de aceite de enzimaje es una superficie que de otra manera sería arrendada a un precio de US\$ 10 por metro cuadrado por mes, por tanto se entiende que generan un costo de oportunidad por ese mismo monto. Cada tanque ocupa un metro

cuadrado, dado que la empresa ha tomado la decisión de no estibarlos por prevención, ya que se trata de tanques de plástico que no soportan demasiada presión.

Costo de almacenaje anual por tonelada:

$$1 \text{ metro cuadrado} \times \text{US\$ } 10 \times 12 \text{ meses} = \text{US\$ } 120$$

Total costo de mantenimiento y almacenaje:

$$\text{US\$ } 120 + \text{US\$ } 254 = \text{US\$ } 374$$

Siendo:

i el costo de almacenaje anual por tonelada

p el costo de realizar un pedido de compra

Q la cantidad anual a comprar

El lote óptimo de compras se obtiene a través de la operación:

$$\sqrt{\frac{2 \times Q \times p}{i}}$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 18 \times 1011}{374}} = 9,865$$

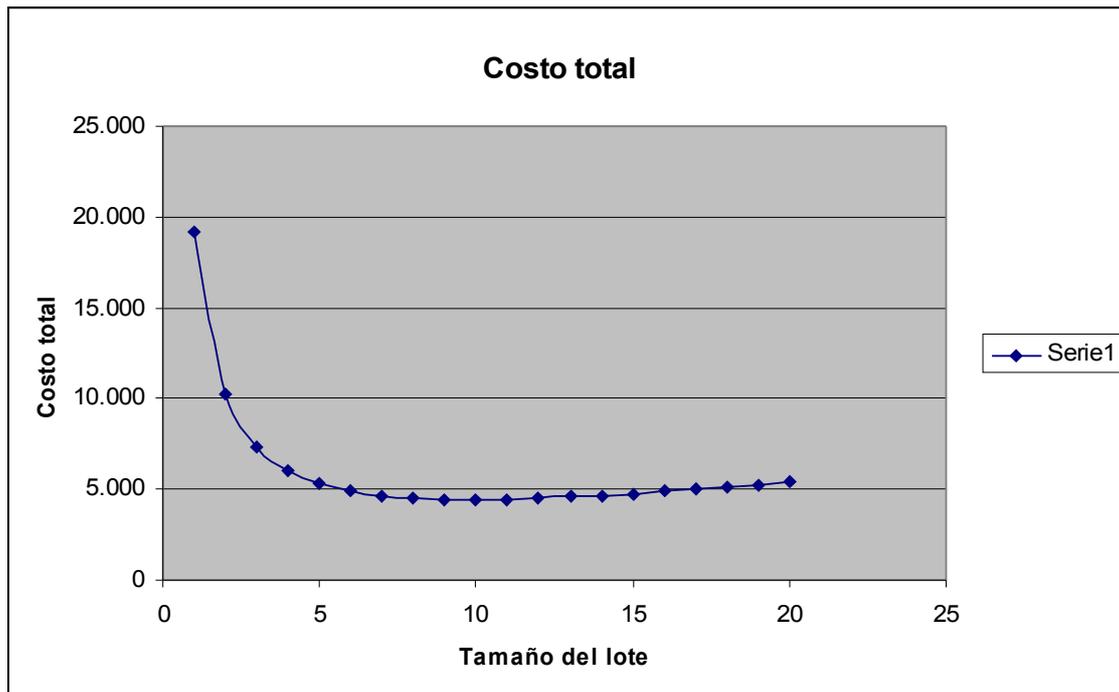
Mediante la visualización de la siguiente tabla podemos comprobar que efectivamente el mínimo costo total de compra y almacenaje corresponde al lote de 9,865 Toneladas, que en términos prácticos corresponderá al de 10, dada la inviabilidad de fraccionamiento.

Lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad de pedidos (Q/L)	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	2,57	2,25	2,00	1,80
Inventario promedio (L/2 + SS)	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7,00
Costo de comprar (Q/L x p)	18.198	9.099	6.066	4.550	3.640	3.033	2.600	2.275	2.022	1.820
Costo de almacenaje (L/2+SS) x i	935	1.122	1.309	1.496	1.683	1.870	2.057	2.244	2.431	2.618
Costos totales	19.133	10.221	7.375	6.046	5.323	4.903	4.657	4.519	4.453	4.438

Lote	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cantidad de pedidos (Q/L)	1,64	1,50	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90
Inventario promedio (L/2 + SS)	8	8	9	9	9,50	10	11	11	12	12
Costo de comprar (Q/L x p)	1.654	1.517	1.400	1.300	1.213	1.137	1.070	1.011	958	910
Costo de almacenaje (L/2+SS) x i	2.805	2.992	3.179	3.366	3.553	3.740	3.927	4.114	4.301	4.488
Costos totales	4.459	4.509	4.579	4.666	4.766	4.877	4.997	5.125	5.259	5.398

Comprando cantidades menores a 10 toneladas al año, los costos de realizar los pedidos pesan de tal forma que los costos totales son mayores al óptimo. Pero a partir de 10 toneladas dicho costo comienza a reducirse, con la contrapartida del crecimiento de los costos de mantenimiento de stock.

Comprar una tonelada todos los meses ocupa muy poco lugar en depósitos y genera un reducido costo financiero, pero provoca una erogación de US\$ 18.198 que corresponde a la realización de 18 importaciones a un costo mínimo de US\$ 1.011 cada una.



Puntualizaciones y comentarios acerca de resultados con números quebrados:

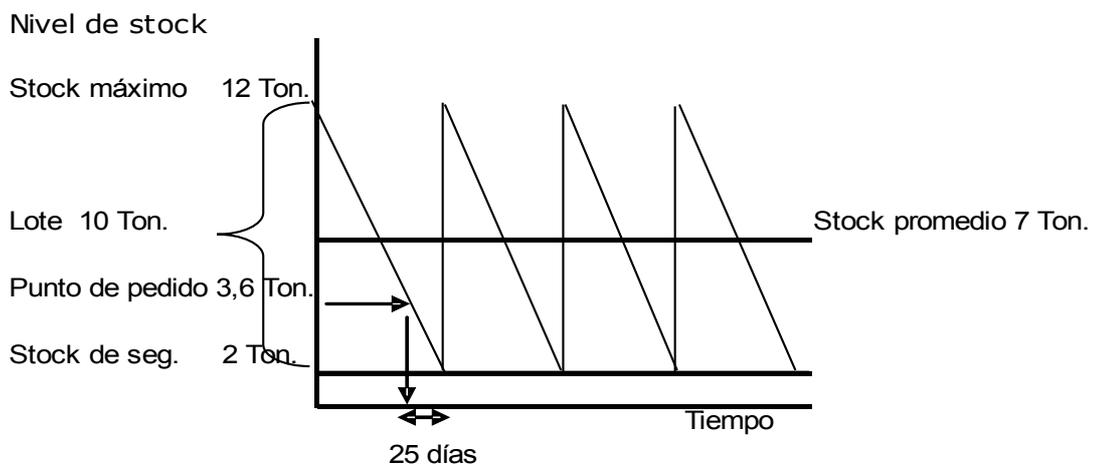
Vemos por ejemplo que para el lote de 10 toneladas la cantidad exacta de pedidos a realizar en el año resulta en 1.80, lo cual es inviable en el marco de un ejercicio anual. Creemos que en este caso hay dos posibilidades en función de la duración del contrato o relación comercial con el proveedor. Si ésta se prevé que excederá al año, el número de pedidos corresponderá a un promedio anual de los pedidos que se realicen en el período y por lo tanto eso estaría validando las decisiones que se tomen en base a esos cálculos. Por ejemplo si el plazo fuera de 5 años se realizarían 9 pedidos: 2 en cada año en los primeros 4 y 1 pedido en el quinto año, haciendo un promedio de 1.80. Si en cambio el contrato no excede al año, habrá que ajustar los resultados a cantidades que resulten viables, por ejemplo de 1.80 a 2. También cabría este ajuste si la empresa decide optar por un criterio más prudente dada la incertidumbre acerca de los precios y costos una vez superado el plazo de un año.

Aspectos logísticos relacionados al manejo de inventarios: punto de pedido, stock máximo y promedio.

Otros datos muy útiles que se pueden obtener a partir del estudio de los resultados del modelo de Wilson tienen que ver con la logística de operaciones:

- conocer el nivel de stock llegado el cual se debe realizar un nuevo pedido
- conocer el nivel de stock máximo y promedio a los fines de determinar el espacio disponible en depósitos, maximizando el aprovechamiento.

El comportamiento de los inventarios se puede representar en esta gráfica:



Al llegar el pedido el stock alcanza su máximo nivel, para empezar a decaer inmediatamente a través del consumo, hasta llegar al nivel del stock de seguridad, momento en el cual debe llegar el nuevo lote y el ciclo vuelve a repetirse.

Varios días antes de ello la empresa debe ordenar un nuevo lote en función de los días que demore en llegar la mercadería y sea puesta en condiciones de ser utilizada. Por tanto debe calcularse el consumo a realizar en los días de espera y sumar esa cantidad al stock de seguridad. El nivel de stock resultante indicará el momento en que se debe realizar cada pedido.

En el caso estudiado la mercadería demora en llegar al país 25 días. El consumo diario es de 0.06 toneladas por día, lo cual indica que en 25 días se consumen 1.60 toneladas. El stock de seguridad es de 2 toneladas, por lo tanto cuando el nivel de inventarios disponibles llegue a $2 + 1.60 = 3.60$ toneladas se debe realizar un pedido.

En los 25 días de espera la empresa consume 1.60 toneladas reduciendo el stock de 3.60 a 2.00 toneladas, momento en el cual llega el nuevo pedido.

A los efectos de determinar las necesidades de espacio de almacenaje es importante conocer el stock máximo, el cual resulta de agregar al stock de seguridad -2 toneladas- las toneladas del lote -10 toneladas- lo cual nos indica un stock máximo de 12 toneladas.

Escala de descuentos y programación lineal

Para el caso estudiado el proveedor no ofrece ninguna escala de descuentos para las cantidades que la empresa compra anualmente. Sin perjuicio de ello, dichos descuentos deberían ser considerados – de existir- en la decisión acerca de la cantidad a comprar en cada ocasión. Por esa razón y a efectos ilustrativos incorporamos al análisis cierta escala de descuentos considerada de uso corriente en el mercado.

Escala en Toneladas (Tramos)	Bonificación	Dto Desap	Costo dto Desap.	Costo Fin. Ajustado	Costo Alm. Ajustado
de 0 a 4	0%	5%	3.042	254	374
de 5 a 9	2%	3%	1.825	248	368
de 10 a 14	3%	2%	1.217	246	366
de 15 a 19	4%	1%	608	243	363
de 21 en adelante	5%	0%	0	241	361

Como se planteara párrafos atrás el costo financiero anual por tonelada está dado por el precio de adquisición y la tasa de interés que para el caso es 7.75 %. Para cada tramo tendremos:

Tramo de 0 a 4: $US\$ 3.380 \times (1-0.00) \times 0.075 = US\$ 254$

Tramo de 5 a 9: $US\$ 3.380 \times (1-0.02) \times 0.075 = US\$ 254$

Tramo de 10 a 14: $US\$ 3.380 \times (1-0.03) \times 0.075 = US\$ 246$

Tramo de 15 a 19: $US\$ 3.380 \times (1-0.04) \times 0.075 = US\$ 243$

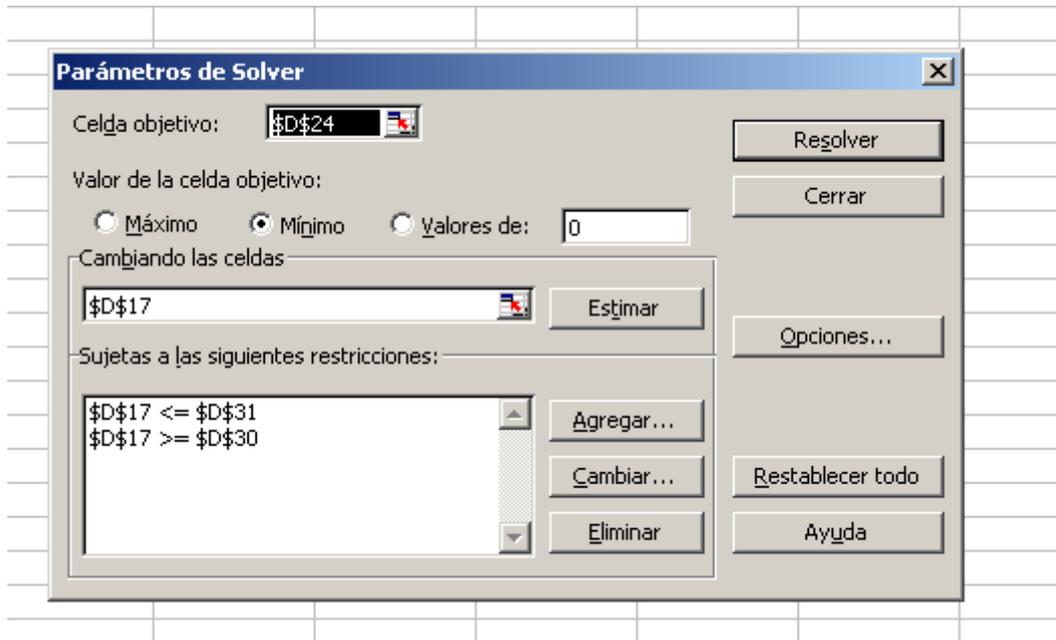
Tramo de 21 y más: $US\$ 3.380 \times (1-0.04) \times 0.075 = US\$ 241$

De acuerdo a esta escala, y a los efectos de la toma de decisiones, el descuento desaprovechado se expone como un costo. En línea con ello, será elegido aquel lote al que le corresponda el mínimo costo total. Una posibilidad es determinar el lote óptimo mediante programación lineal con Solver, planteando:

- Variable de decisión: L

- Objetivo: minimizar Costo Total
- Restricciones: que Q se encuentre en el intervalo correspondiente a su tasa de descuento y que $L > 0 = 1$

Utilizando Solver la definición de parámetros sería la siguiente:



La celda objetivo representa al costo total, para el cual se debe encontrar el mínimo valor. La variable sujeta a decisión que se debe calcular con Solver está dada por L. Las restricciones que se deben cumplir son que L sea ≥ 1 -con lo que se busca que no resulte elegida una cantidad negativa e inviable-, que la cantidad elegida no se dispare a más de 20 toneladas por lote, y que los costos financieros y de descuento desaprovechado guarden coherencia con las cantidades de cada lote.

Esta última condicionante está contenida en las fórmulas de cálculo de los costos de almacenaje y por descuentos desaprovechados. El procedimiento fue incorporar fórmulas condicionales de Excel que garanticen que para cada L se calcule el costo financiero y de descuento desaprovechado acorde a su rango.

La resolución de Solver se expone de esta manera:

Lote (L) (Var. de decisión)	20
Cantidad de pedidos (Q/L)	0,90
Inventario promedio (L/2 + SS)	12
Costo de comprar (Q/L x p)	910
Costo de almacenaje (L/2+SS) x i	4.330
Total sin descuento	5.240
Bonif. Desaprovechada	0
Total con descuento (objetivo)	5.240

El lote elegido corresponde al de 20 toneladas, que si bien implica un alto costo de almacenaje, es el que mejor aprovecha los descuentos.

Como vemos, la consideración del descuento da como resultado un lote de volumen distinto al anterior: el que corresponde a 20 Toneladas. Si bien su costo de almacenaje es superior al lote de 10 Toneladas elegido anteriormente, el descuento comercial al que accede compensa esa diferencia. Esto se puede verificar en la siguiente tabla:

Lote		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad de pedidos (Q/L)		18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	2,57	2,25	2,00	1,80
Inventario promedio (L/2 + SS)		3	3	4	4	5	5	6	6	7	7,00
Costo de comprar (Q/L x p)		18.198	9.099	6.066	4.550	3.640	3.033	2.600	2.275	2.022	1.820
Costo de almacenaje (L/2+SS) x i		934	1.121	1.307	1.494	1.658	1.842	2.026	2.211	2.395	2.561
Total sin descuento		19.132	10.220	7.373	6.044	5.298	4.875	4.626	4.485	4.417	4.381
Bonif. Desaprovechada		3.042	3.042	3.042	3.042	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.217
Total con descuento		22.174	13.262	10.415	9.086	7.123	6.700	6.451	6.311	6.242	5.598
Lote		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cantidad de pedidos (Q/L)		1,64	1,50	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90
Inventario promedio (L/2 + SS)		8	8	9	9	10	10	11	11	12	12,00
Costo de comprar (Q/L x p)		1.654	1.517	1.400	1.300	1.213	1.137	1.070	1.011	958	910
Costo de almacenaje (L/2+SS) x i		2.744	2.927	3.110	3.293	3.452	3.634	3.815	3.997	4.179	4.330
Total sin descuento		4.399	4.444	4.510	4.593	4.665	4.771	4.886	5.008	5.136	5.240
Bonif. Desaprovechada		1.217	1.217	1.217	1.217	608	608	608	608	608	0
Total con descuento		5.615	5.660	5.727	5.810	5.274	5.379	5.494	5.616	5.745	5.240

Aplicabilidad del modelo con faltantes planeados

Para el caso de la empresa estudiada, el faltante de aceite de ensimaje significa directamente la necesidad de detener el funcionamiento del tren de lavado. (Ver esquema del proceso productivo). Como se trata del proceso crítico, el ritmo y la capacidad de producción de los procesos subsiguientes están condicionados a él, de manera que una jornada sin producción de lavado significa una jornada menos de producción y ventas del artículo terminado Tops. Dicha cantidad corresponde a 16 Toneladas.

La contribución marginal de una Tonelada de Tops es de US\$ 500 con lo cual concluimos que en un día sin producción la empresa renuncia a $16 \times 500 = \text{US\$ } 8.000$.

Dado que durante la jornada se consumen 0.06 toneladas de Aceite de Ensimaje podemos calcular que una Tonelada faltante de aceite de ensimaje provoca un costo de $\text{US\$ } 8.000 / 0.06 = \text{US\$ } 124.444$ en el período en que se produce, independientemente de si es un año o un mes. Como se explicaba en el marco teórico, debemos manejarnos con el objetivo de reducir el costo total anual, por lo tanto debemos llevar esa cantidad a términos de promedio anual por tonelada de aceite. O en otras palabras, determinar el costo anual de una tonelada de aceite faltante. Pero en este caso el costo por faltante depende de la cantidad faltante y no del tiempo, por tanto podemos afirmar que el costo de $\text{US\$ } 124.444$ es por Tonelada por año.

El valor de L para el cual se minimiza el costo total será:

$$L = \sqrt{\frac{i+f}{f}} \times \sqrt{\frac{2pQ}{i}} = \sqrt{\frac{374+124.444}{124.444}} \times \sqrt{\frac{2 \times 1.011 \times 18}{374}}$$

$$L = 10.86 \text{ Toneladas}$$

En cuanto al nivel de faltante permitido, será:

$$S = \frac{i}{i+f} \times L = \frac{374}{(374+124.444)} \times 10.86$$

$$S = 0.0325 \text{ Toneladas}$$

para el L hallado anteriormente. Con ese nivel de S se minimiza el costo total.

Es decir que se puede optar por comprar de a 11 Toneladas por Lote –en lugar de 10- si se permite un faltante de 0.0325 Toneladas de aceite de ensimaje. En la medida de que en un día de producción se consumen 0.06 toneladas de aceite, se podría tolerar hasta un máximo de medio día sin producir, antes de que los costos por faltantes –contribuciones marginales de las ventas perdidas- comiencen a superar los ahorros por reducir el inventario promedio.

Conclusiones

En primer lugar se concluye que el modelo de determinación de lotes óptimos de compra (EOQ) en la industria lanera es totalmente aplicable para el caso de estudio elegido. La disponibilidad de los datos que éste requiere, la posibilidad de predecir el nivel de producción y la demanda del insumo, y finalmente, la viabilidad de constituir acuerdos con el proveedor así lo garantizan.

En segundo lugar, se ha verificado que en el presente año 2013 la empresa eligió comprar en lotes de 18 Toneladas, sin acceder a bonificaciones por volumen. En función de ello, debiera haber elegido el de 10 –o incluso el de 11 con un faltante permitido de 0.0325 Toneladas de aceite- , con lo cual asumió un costo total de US\$ 5.008 que podía haberse reducido a US\$ 4.381. La diferencia alcanza al 1% sobre el costo de la mercadería comprada, pero de todas formas lo

importante está en haber evitado adquirir lotes pequeños –buscando reducir costos financieros- donde los costos de compra juegan papeles muy relevantes.

Si ese verdadero costo por ineficiencia en la compra, dado por el 1%, se considera aislada e individualmente, puede parecer reducido e irrelevante. Pero si el modelo se aplicara al universo de compras anuales de la empresa –que se aproxima a los 20 millones de dólares- sus resultados reflejan que se le debe otorgar otra importancia, máxime si se tiene en cuenta que se trata de una empresa donde la rentabilidad sobre costos totales históricamente nunca ha superado el 5%.

3- Bibliografía:

Anderson D. R., Sweeney D. J. Williams T. A. (2004), "*Métodos cuantitativos para los negocios*". 9ª Edición .Thompson.

Baker, Jacobsen, Ramírez Padilla (1997) – Contabilidad de costos: un enfoque administrativo para la toma de decisiones –2ª edición Mac Graw – Hill.

Ercole, Raúl. Alberto, Catalina. Carignano, Claudia. (2007) "*Métodos cuantitativos para la gestión*".Asociación Cooperadora de la Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

De León J. P., González L., Laviano L. P. (2011). "Gestión logística de productos perecederos. Caso de estudio: Siemens Healthcare Diagnostics SA". Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de la República. Uruguay.

Giménez, Carlos y colaboradores (1995) – Costos para Empresarios –1a edición- Ediciones Macchi Buenos Aires.

Hansen, Don R y Mowen, Marianne M. (1996) – ADMINISTRACIÓN DE COSTOS: Contabilidad y Control. International Thompson Editores. México.

Harris Ford W. (1913). "How many parts to make at once". *Factory, The Magazine of Management*, Volumen 10, Number 2, February 1913, pp 135-136,152. USA.

Hillier, Frederick S., Hillier Mark S. "Métodos Cuantitativos para Administracion"; 3ra. Edición; McGraw Hill; Mexico 2008, ISBN 970-10--6532-8

Horngren Ch. T, Foster M., Datar S. (2007). Contabilidad de Costos: Un enfoque gerencial - 12a Edición. Prentice Hall.

Mallo, C.; Kaplan, R. S.; Meljem, S.; Giménez, C.(2000) - Contabilidad de Costos y Estratégica de Gestión- Pearson Ecuación SA. Madrid. España.

Render, Barry., Stair, Ralph M., Hanna, Michael E. (2012). "Quantitative Analysis for Management". 11ª Edición. Pearson Prentice Hall. New Jersey. USA.

Yardin, Amaro (2009) "El Análisis Marginal: la mejor herramienta para tomar decisiones sobre costos y precios". 1ª Edición - Ediciones Instituto Argentino de Profesores Universitarios de Costos.