Propuesta de Mejora en los Niveles de Inventario en una Empresa TIER Uno

Proposal of Improvement in Inventory Levels at TIER One Company

Diana Sánchez-Partida[*]
Yonatan López-Santos[†]
José-Luis Martínez-Flores[‡]
Patricia Cano-Olivos

Recibido el 10 de Septiembre de 2018. Aceptado el 12 de Diciembre de 2018.

Resumen

En este caso de estudio, realizado en una proveedora del ramo automotriz, se encontró un exceso de costos por desabastecimiento de inventario, provocando paros de línea en la empresa. Lo que pone en alto riesgo a la empresa con penalizaciones por parte del cliente, ya que podría no abastecer los sub-ensambles solicitados. Para dar solución a este problema, se utilizaron herramientas cómo el diagrama de Pareto para seleccionar un cliente; la clasificación ABC para seleccionar un producto; el análisis de la demanda para identificar el patrón de comportamiento; pronósticos de Holt para predecir con mayor certeza la demanda; y un modelo de revisión continua con demanda incierta (q*, R) para fijar el adecuado nivel de inventario considerando que el cliente maneja una estrategia Justo a Tiempo (JIT). Los resultados indican que con esta propuesta de mejora se puede garantizar un nivel de servicio al cliente del 99.9% y al mismo tiempo reducir los costos logísticos de inventario sin que se reciban penalizaciones.

Palabras Clave: clasificación ABC; método Holt; modelo de revisión continua con demanda incierta (q*, R), JIT.

Abstract

In this case study, carried out in a supplier of the automotive industry, it was found an excess of costs due to inventory shortages, causing line stoppage in the company. That puts the company at high risk with penalties from the client, as it may not supply the requested sub-assemblies. To solve this problem, tools were used such as the Pareto diagram to select a client; the ABC classification to

[*] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, diana.sanchez@upaep.mx
[†] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, yls_27@hotmail.com
[‡] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, joseluis.martinez01@upaep.mx
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, patricia.cano@upaep.mx

select a product; the analysis of the demand to identify the behavior pattern; Holt forecasts to predict demand with greater certainty; and a continuous review model with uncertain demand (q *, R) to set the appropriate inventory level, considering that the client handles a Just-In-Time strategy (JIT). The results indicate that with this improvement proposal can be guaranteed a customer service level of 99.9% and at the same time reduce the inventory logistics costs without receiving penalties.

Keywords: ABC classification; Holt method; Continuous Review model with uncertain demand (q*, R), JIT.

1 Introducción

Los problemas de niveles de inventario son ampliamente tratados en la literatura y en el mundo, por ejemplo, los costos logísticos de distribución de las firmas americanas se encuentran desde un 4 % hasta 30 % de sus ventas, de los cuales un 34% corresponden a los costos logísticos de inventario (Collier et al., 2009). En México se tienen datos similares, donde los costos de distribución representan un 10.3% de las ventas y los costos logísticos de inventario representan un 60% de los costos de distribución según AT Estimaciones de Kearney contenidas en la Agenda de Competitividad Logística 2008-2012, Secretaría de Economía de México.

Existen trabajos previos en donde abordan este tipo de problemas, y definen algunos modelos para determinar el tamaño de lote, definiendo múltiples variables a utilizar (Qing et al., 2008). Después de plantear las ecuaciones necesarias consigue un valor óptimo para el planteamiento de los límites de inventario, sin descuidar los límites de orden permitidos por el valor del inventario, donde cumple con las condiciones y prueba los teoremas suponiendo cambios en las órdenes. Se toma este caso en el abasto de emergencia, caracterizado por periodos de compra cortos, pero absorbiendo un alto costo por pedir. Este modelo lo comprueba también (Handfield et al., 2009) a través de teoremas en empresas donde los parámetros son conocidos, y en conjunto con las

afirmaciones de (Stig-Arne, 2007) describen el efecto positivo de este tipo de revisiones en los niveles de inventario.

Otra investigación se realizó en la empresa Bentex Engineering Company situada en Nagpur dedicada a fabricar componentes para la industria automotriz. En este ejemplo Pratap y Singh (2008) proponen un modelo estocástico para la selección económica del pedido, cuyo resultado muestra que las empresas pueden ahorrar un monto considerable al año mediante la adopción de políticas y medidas que ayudan a optimizar los niveles de inventario en la organización.

En otro proyecto se utiliza el modelo (q*, R) de revisión continua con demanda incierta; en donde "q*" es el tamaño de la orden y "R" es el punto de re órden (Nahmias, 2008), debido a la variabilidad de la demanda que presenta el producto. Y para llevar a cabo el modelo (q*, R) es necesario estimar los parámetros críticos que tienen influencia en la decisión de hacer alguna modificación en el inventario, como la variabilidad de la demanda, los distintos "lead times" desde el proveedor y hacia el cliente, la posible incertidumbre en las entregas y dificultad para estimar los costos. Por lo que el resultado de la aplicación de este modelo de revisión continua, es una aproximación a una política de inventarios en donde las estimaciones son poco precisas (Pratap et al., 2008), muestran los principales factores relacionados con los problemas que presenta la empresa que analizaron, de la misma manera en que se desarrolla la metodología de este proyecto.

Por otra parte, en el sector automotriz una estrategia muy utilizada hoy en día es el Justo a Tiempo o Just in Time (JIT), que es un sistema que formula un principio muy simple: "producir solo la demanda que el cliente solicita"; todo a través de una serie lineamientos que debe cumplir

la organización. En este sector es muy común hacer uso del JIT por sus múltiples beneficios, como: la mejora de la calidad, la reducción de costos, de inventarios y de tiempos de entrega, (Nahmias, 2007; Caro-Carretero et al., 2014).

La implementación de este sistema debe ser gradual (Wild , 2017) a través de flujos de procesos lógicos y eficientes. Una vez que todas las partes funcionan como un sistema de sincronización de entregas (Holweg, 1995), se complementa con la filosofía Lean Manufacturing que busca la eliminación de los desperdicios y participación activa de los empleados. Pero una de las características que debe de tener la demanda es que sea constante o altamente predecible, de lo contrario la empresa podría no surtir eficientemente a su cliente.

Es por esta situación, que la selección del modelo utilizado en el proyecto fue de revisión continua, tratando de tener niveles de inventario óptimos e inventario de seguridad que proteja a la empresa de probables desabastecimientos, que reduzcan los costos logísticos y que a su vez abastezca de manera eficiente a los clientes que trabajan bajo la estrategia JIT.

El propósito de este trabajo es disminuir los costos logísticos de inventario que se pagan al día de hoy, garantizando un nivel de servicio al cliente del 100% evitando incurrir en el pago de fuertes penalizaciones, sin interferir con las políticas, lineamientos y procedimientos con los que cuenta actualmente la empresa TIER 1. Esto mediante un pronóstico acertado, analizando información pasada, con lo que se comprobara si el nivel de inventario que se tiene hoy en día es suficiente para las proyecciones obtenidas.

Este documento se divide en cuatro secciones más: En la sección de descripción del problema se encuentra la problemática y pregunta de investigación, relacionadas a la literatura descrita; en la

sección de materiales y métodos se tiene la metodología junto con los modelos matemáticos y sus variables; en la sección de resultados se presentan los encontrados del diagrama de Pareto de clientes, clasificación ABC para sub-ensambles, análisis de la demanda, pronósticos de Holt y el modelo de revisión continua con demanda incierta (q*, R); finalmente en la última sección se tienen las conclusiones.

2 Descripción del Problema

Actualmente, la empresa TIER 1 no cuenta con un modelo de pronóstico definido dentro de sus procesos, por lo que los representantes del departamento de compras y logística suavizan las variaciones de la demanda en base a su experiencia, y este cálculo lo transmiten a las demás áreas involucradas con el fin de tener la misma información en toda la planta. Tratando de tener niveles de inventario con respecto a la experiencia del personal.

El problema detectado, fue el monto de los costos logísticos que están relacionados a no tener un método de pronósticos adecuado y a la compra de materia prima bajo ese panorama. Lo cual ocasiona que en ocasiones no haya en existencia la materia prima necesaria para la producción del sub-ensamble. Aunque el área de logística realiza los pronósticos por semana, se tienen graves imprecisiones debido en gran parte a cambios abruptos de la demanda, la cual puede aumentar hasta un 20% para cada materia prima. Esto genera paros en la línea de producción, por lo que para aprovechar la capacidad de producción se tienen que producir otros productos o sub-ensambles, sin embargo, esto ocasiona que se retrasen los embarques del sub-ensamble objeto de estudio, poniendo en riesgo a la empresa por una probable penalización. Por lo tanto, se detecta

que existe una falta de vinculación entre las áreas de planeación y logística para cumplir con los requerimientos de los clientes.

De acuerdo a la problemática narrada de la empresa y haciendo referencia a la literatura, se deriva la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué modelo de inventario puede asegurar el 100% de servicio al cliente considerando una demanda incierta, costos y contemplando que esta proveedora forma parte de una cadena de suministro que aplica el JIT?

Con esta pregunta de investigación se puede tener un aprendizaje teórico, y un conocimiento práctico, específicamente sobre como seleccionar e implementar un modelo de inventario que proporcionara apoyo a la problemática mencionada. Este tipo de investigaciones son importantes ya que muestran de manera específica la implementación de un método, obteniendo resultados reales en una empresa, la cual está en una transición hacia la filosofía JIT. Pero que al mismo tiempo tiene una alta incertidumbre en la demanda, por lo que tiene que tomar en cuenta varias variables para poder cumplir con los requerimientos del cliente al 100% y al mismo tiempo minimizar los costos involucrados.

3 Materiales y Métodos

A continuación, se puede ver la metodología utilizada:

1. Identificación de la problemática: Para esta identificación se cuenta con el apoyo del área de Mejora Continua como eje del proyecto para contactar y trabajar con las áreas de Planeación y Logística.

2. Identificación de variables: En esta parte se identifican las variables necesarias, como por ejemplo los costos, para el planteamiento de los modelos.

3. Diagrama de Pareto para Clientes: Se utiliza este diagrama para seleccionar al cliente que refleje el mayor porcentaje de participación de ganancias de la empresa.

4. Clasificación ABC para productos: Se realiza una doble clasificación para definir los productos o sub-ensambles A, B y C de acuerdo a la utilidad y frecuencia de ventas. Esto se realiza con la finalidad de seleccionar el sub-ensamble de mayor importancia.

5. Análisis de la demanda: Se realiza un análisis de la demanda del sub-ensamble seleccionado, con la finalidad de identificar las tendencias, estacionalidades, ciclos y temporalidades según el comportamiento de éste.

6. Pronósticos: Teniendo todo lo anterior se selecciona el modelo de pronóstico, en este caso por las características, el método seleccionado es el comúnmente llamado Holt se alinea a las necesidades de la demanda. Las características o componentes que presentaron los datos fueron una base constante y tendencia en un esquema aditivo o también llamado lineal creciente. Así que, el método Holt suaviza los datos, es decir, la suavización exponencial doble calcula las estimaciones dinámicas para dos componentes: nivel y tendencia (Hanke y Wichern, 2006).

7. Modelo (q*, R) de Revisión Continua con demanda incierta: Por último, se vincula la información de los pronósticos y de las secciones anteriores con un modelo de inventario en el área de compras, para tener el abastecimiento adecuado y garantizar el 100% de servicio al cliente. Este modelo es apropiado debido a que los datos de la empresa tienen una gran variabilidad, la cual este modelo podrá reducir calculando un inventario de.

3.1. Modelos matemáticos y Variables

El tipo de pronóstico que mejor se ajusta para este caso es el de Holt, por lo tanto, en esta sección se presentan las tres ecuaciones que serán usadas de acuerdo a (Hanke y Wichern, 2006) ver Apéndice A.1.

Continuando con los pasos de este estudio de caso, se selecciona el modelo de revisión continua con demanda incierta (q*, R). Las ecuaciones que determinan este modelo se encuentran en el apéndice A.2 de acuerdo a (Sánchez-Partida et. al., 2012).

Lo que se pretende en el desarrollo de este proyecto es utilizar la técnica de pronóstico que más se adecúe al comportamiento histórico de la demanda, para así cubrir el constante desabasto de materia prima, así como proponer un modelo de revisión continua para demanda incierta, considerando el tiempo de entrega o lead time (LT) desde que la materia prima está en camino hacia la aduana de embarque más el tiempo de tránsito hacia las instalaciones de la empresa.

Para reducir los costos directamente se utilizó un plan para evaluar los tiempos de entrega de los proveedores, así como las condiciones de entrega, a manera de transferir costos logísticos a los proveedores como lo plantea Dong, Carter y Dresner (2001). Buscando mejorar la planeación logística del departamento, en el entendido que las fuentes de aprovisionamiento son globales para un abastecimiento internacional JIT (Das et al., 1997), se considera la fijación de los adecuados niveles de inventario de materia prima para reducir los tiempos de arranque y puesta a punto de las máquinas, considerando el horizonte de planeación como lo sugiere Jae-Dong Hong et al. (1992). Así como también, la búsqueda de la minimización de la inversión de capital en el inventario total sujeto a la restricción del servicio al cliente (Hopp et al., 1997).

Como punto de partida se empezó a desarrollar el análisis con el producto de mayor importancia para la empresa realizando una doble clasificación ABC (Krajewski et al., 2008). Se contempla que este costo total de inventario está compuesto por el costo de pedir una orden, el de mantenimiento de inventario y el de desabastecimiento (Sánchez-Partida et. al., 2012).

4 Resultados

Al analizar el contexto del problema, se aplicó como primera herramienta un diagrama de Pareto para conocer el volumen de ventas y el valor de los clientes según su aportación en ganancias a la empresa. De acuerdo a la petición e información otorgada por la empresa, el año analizado fue el 2014 para realizar el diagrama de Pareto. Siendo el cliente más representativo una ensambladora de autos ubicada en Alemania. Este representa el 40% del volumen total de ventas de ese año como se aprecia en la Fig. 1. El 80% corresponde al resto de los clientes de la empresa, cuyo margen de aportación individual es menor, al tratarse de componentes mecánicos. En un primer acercamiento al modelo propuesto solo se aplica a este cliente, dado su impacto en las ventas, posteriormente se propone replicarlo sobre los demás clientes.

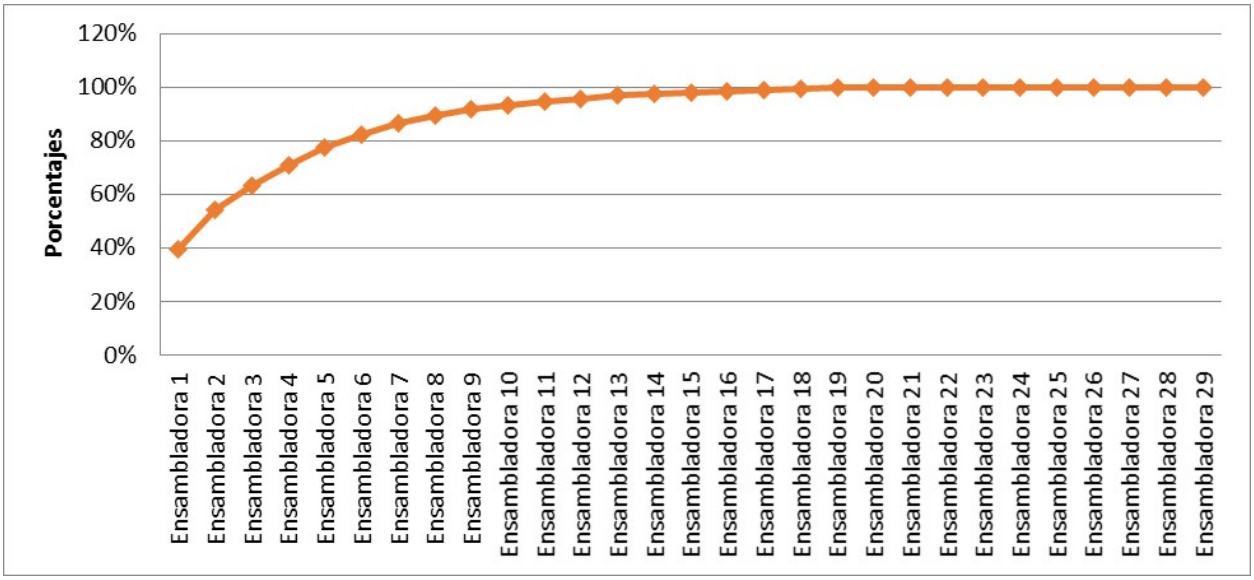

Fig. 1 Diagrama de Pareto de clientes.

Fuente: elaboración propia

Posteriormente, se aplicó una clasificación ABC a todos los productos o sub-ensambles de la empresa TIER 1 con información de ventas del año 2014. En esta proveedora automotriz se manejan 157 sub-ensambles de diferentes ensambladoras. Estos sub-ensambles de acuerdo a la clasificación ABC, veintiún sub-ensambles están clasificados como A, veintinueve como B y ciento siete como C. Por lo que se utilizó solo un sub-ensamble clasificado como A para continuar con este estudio de caso, debido a la solicitud especificada por la empresa. Perteneciendo ese sub-ensamble a la mejor ensambladora detectada en el diagrama de Pareto.

Con el sub-ensamble seleccionado, se realizó un análisis del comportamiento de la demanda. En este análisis se tomaron en cuenta 102 semanas partiendo del año 2013. Se eligieron semanas porque los embarques actuales de la empresa son realizados en ese lapso de tiempo. Los datos fueron obtenidos de los registros de ventas de la empresa. En el análisis se buscó un patrón en el comportamiento de la demanda para aplicar el método de pronósticos adecuado. En la Fig. 2 se observa una tendencia negativa con datos aleatorios extremos. Lo que afecta el abastecimiento de materia prima y cumplimiento de abastecimiento con los clientes.

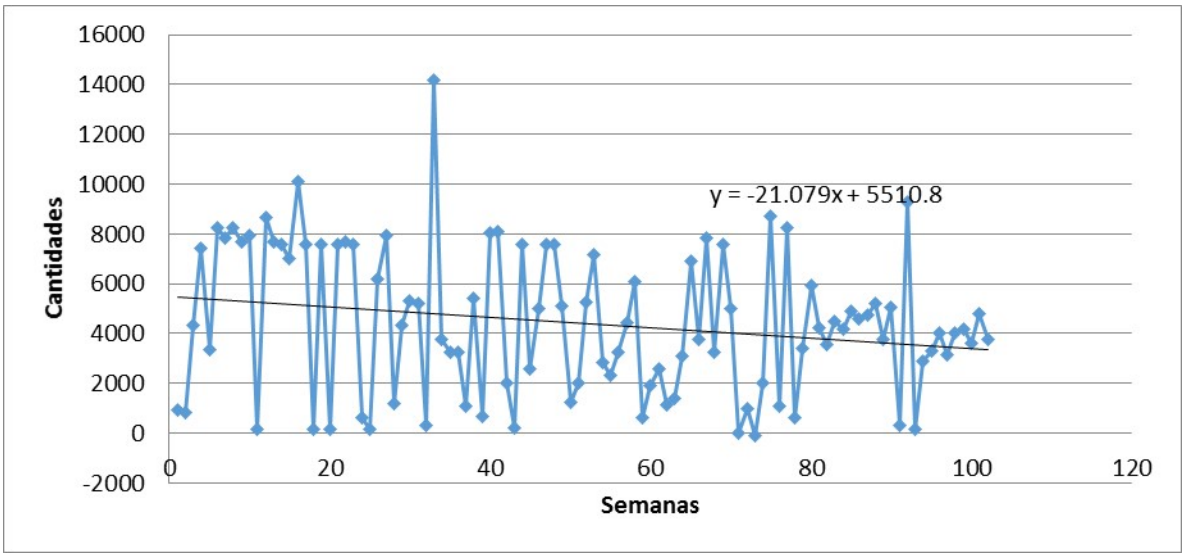

Fig. 2 Gráfica de la demanda del sub-ensamble.

Fuente: elaboración propia

Asimismo, por medio de algunos cálculos realizados se encontró que el patrón de la demanda es regular, ya que el promedio de la demanda es mayor a la desviación estándar (4,425.25 es mayor a 2,929.93). Mientras, el Coeficiente de Variabilidad (CV) con un 43.41% muestra una demanda con alta variabilidad, por lo cual se debe de utilizar un modelo probabilístico.

Una vez analizado el comportamiento de la demanda se busca utilizar uno de los métodos de pronósticos que permita reducir la incertidumbre por la variación de los datos y que al mismo tiempo ayude a establecer las condiciones bajo las cuales va a operar el modelo de control de inventarios propuesto. Es importante resaltar que el método empleado de pronósticos puede ser diferente para cada subensamble, puesto que no todos tienen el mismo patrón de comportamiento. Los pronósticos que se realicen para cada uno de los subensambles deberán realizarse en lapsos semanales, ya que es como lo establece la empresa, acorde al flujo de información.

Por lo tanto, el método que mejor se ajusta para este subensamble, considerando las mismas 102 semanas, es el método de Holt. Ya que de acuerdo al análisis de la demanda, es la técnica que más se ajusta a su tendencia, usando un alfa de 0.3 y un beta de 0.1, se minimiza el error del pronóstico de acuerdo al Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE, por sus siglas en inglés Mean Absolute Percentage Error), el cual es de 1.66 %. Los resultados que se obtuvieron son satisfactorios, como se observa en la Fig. 3. Conforme paso el tiempo, este pronóstico se fue acercando con mayor certeza a la demanda real, aunque existen algunas semanas en las que la demanda real tuvo altas o bajas demasiado pronunciadas, lo cual afecto el cálculo pronosticado.

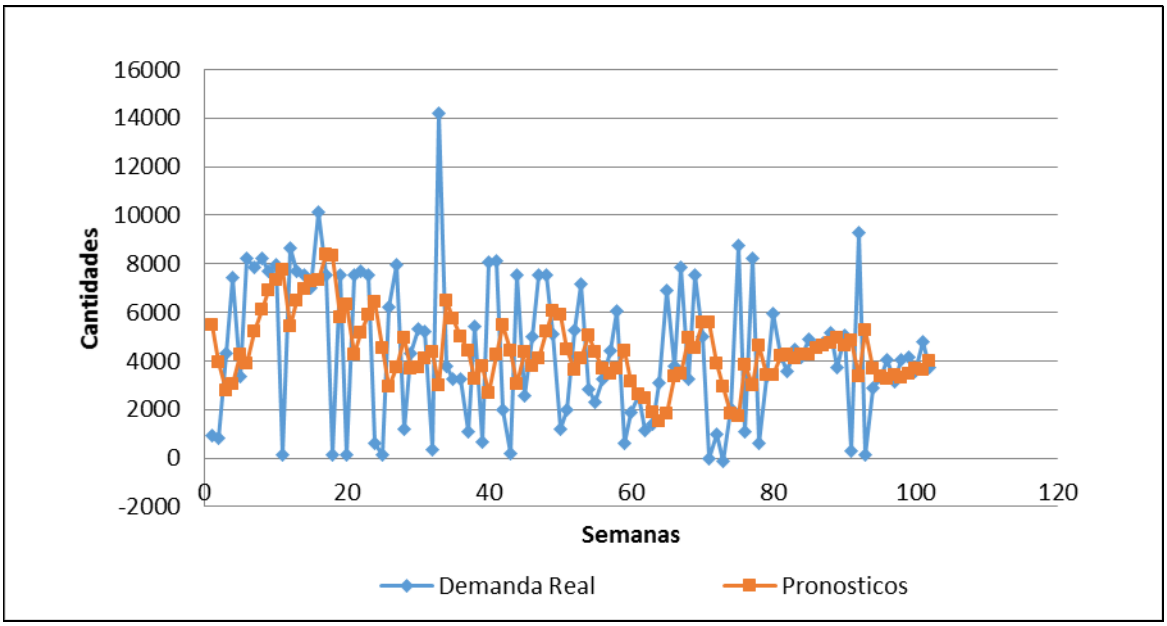

Fig. 3 Grafica de pronósticos vs demanda real del sub-ensamble.

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, los próximos periodos calculados se presentan en la Tabla 1. Donde se encuentran las semanas 103, 104, 105 y 106 con 3918.396, 3924.426, 3930.457 y 3936.487 unidades respectivamente.

Tabla 1 Cálculo de pronósticos para los próximos períodos.

Próximos periodos	Pronósticos
103	3918.396
104	3924.426
105	3930.457
106	3936.487

Fuente: elaboración propia

Una vez definidos los pronósticos con los cuales se va a trabajar se aplica un modelo de control de inventarios para satisfacer las necesidades de la demanda, garantizando al 100% el nivel de servicio al cliente, sin tener que pagar penalizaciones. No obstante, se debe aclarar que para una correcta vinculación se necesita de una explosión de materiales o Bill of Materials (BOM) y una planeación de requerimientos de materiales, para que así el departamento de compras realice su trabajo con esta propuesta.

Sin embargo, por confidencialidad con la empresa, a partir de esta sección solo se usa el siguiente modelo de manera ejemplificada, para mostrar su utilidad y para proporcionar un soporte al Enterprise Resource Planning (ERP), el cual funciona erróneamente.

En la Tabla 2, se presentan los resultados del modelo de inventarios. De los resultados más representativos para el área de compras, se encuentra que el pedido para este ejemplo sería de 77,059 unidades por mes y el punto de re órden se ubica en 11,038 unidades para garantizar el nivel de servicio al cliente. Los costos de inventario serían de $2.4 millones de pesos para evitar faltantes del sub-ensamble. Se tiene que especificar que, para este modelo de inventario, se usan los meses como medida de tiempo, ya que son las unidades pedidas por los representantes de la empresa.

Tabla 2 Resultados del modelo (q*, R).

d =		15673.58579	u/mes
Sd =		1464.963532	u/mes
L =		0.5	mes
c =	$	145.24	unidad
k =	$	320,969.56	unidad/orden

p =	14%	%/anual
CSL =	100%	%
U =	39	$/unidad
pm =	1.167%	%/mes
h =	1.69442817	$/unidad-mes
S'd =	1035.89	unidad
R =	11,037.92	unidad
q =	77,058.32	unidad
mu(q) =	$ 2,412,376.02	$/mes
FR =	100.00	%/mes

Fuente: elaboración propia.

Con el cálculo del pronóstico, se da una mejor predicción de la demanda con un grado aceptable de error. Y con el modelo de revisión continua se proporciona un soporte para calcular los parámetros óptimos de pedido y punto de re-orden en sub-ensamble que a su vez se ven reflejados de acuerdo al BOM en los componentes. Lo anterior también ayudara para alimentar el ERP utilizando al máximo las funciones del sistema, ya que hasta el momento los reportes no son contemplados para la toma de decisiones por ser erróneos.

5 Conclusiones

Esta empresa al formar parte de una cadena de suministro automotriz tiene que contemplar la estrategia JIT. Por tal motivo, en los últimos años la empresa ha tratado de mantener sus inventarios lo más bajo posible. Sin embargo, ha caído en desabastecimientos y paros de línea internos debido a que la demanda tiene variabilidad. Esto ha traído un gran riesgo para la empresa, debido a que podría ocasionar paros de línea a su cliente más rentable, lo que traería insatisfacción y también grandes penalizaciones por parte de este.

Por esa razón, como proveedor TIER 1 debe contemplar inventarios en sub-ensambles y materia prima, y al mismo tiempo poseer una mejor comunicación con sus clientes. Las conclusiones señalan que es mejor poseer inventarios de seguridad para que amortigüe una demanda con

demasiada variabilidad, ya que de otra manera se podría caer en desabasto y por lo tanto altas penalizaciones.

Apéndice A:

A.1 Método Holt

Ecuaciones de acuerdo a Hanke y Wichern (2006).

(1) La serie suavizada exponencialmente, o estimado del nivel actual:

$$Lt = \alpha Yt + (1 - \alpha)\,(L\,t\text{-}1 + Tt\text{-}1) \quad (1)$$

(2) El estimado de la tendencia:

$$Tt = \beta\,(Lt - Lt\text{-}1 + Tt\text{-}1) + (1 - \beta)\,Tt\text{-}1 \quad (2)$$

(3) Pronóstico del periodo ρ en el futuro:

$$\hat{Y}t+p = Lt + pT\ t \quad (3)$$

Donde:

Lt = nuevo valor suavizado (estimado del nivel actual).

α = constante de suavizamiento para el nivel ($0 < \alpha < 1$).

Yt = observación nueva o valor real de la serie en el periodo t.

β = constante de suavizamiento para el estimado de tendencia ($0 < \beta < 1$).

Tt = estimado de tendencia.

ρ = periodo a pronosticarse en el futuro.

$\hat{Y}t+p$ = pronóstico para el periodo ρ en el futuro.

A.2 Modelo de inventario con demanda incierta (q*, R)

Cantidad económica a pedir q*.

$$q = \sqrt{\frac{2kd}{h}} \quad (4)$$

R = Punto de re orden.

$$R = d * L + z_{CSL} * s'_d \quad (5)$$

mu(q) son los costos logísticos totales.

$$\mu(q) = \frac{kd}{q} + h\left(\frac{q}{2} + z_{CSL} * s'_d\right) + cd + \frac{d}{q}\left(u * s'_d * E_z\right) \quad (6)$$

FR es Fill rate o nivel de servicio que se le proporcionará al cliente.

$$FR = 1 - \frac{\left(\frac{d}{q}\right) * s'_d * E_z}{d} = 1 - \frac{s'_d * E_z}{q} \quad (7)$$

S'd = Desviación estándar de la demanda.

$$s'_d = s_d \sqrt{L} \quad (8)$$

Donde:

d = demanda mensual.

Sd = desviación estándar de la demanda.

L= Tiempo.

c = Costo unitario.

k = costo de ordenar.

p = tasa de inventario (anual).

CSL = Nivel de servicio del ciclo.

U = Costo de desabastecimiento.

pm = Tasa de inventario mensual.

h = Costo de mantener.

S'd = Desviación estándar ajustada.

zCLS = Valor de z para la distribución normal con un nivel de servicio en el ciclo (CSL).

R= punto de reorden.

q = Cantidad económica a pedir.

Ez = proporción de la desviación estándar.

mu (q) = Costos totales.

FR = Fill rate.

Referencias

CARO-CARRETERO, R. AND ORTIZ-MARCOS, S. (2014). "Explanatory factors for the performance rate in a cosmetic company sector," *DYNA Management* **2**, 1-17.

COLLIER, D.A. AND EVANS, J.R. (2009). *Administración de Operaciones. Bienes, Servicios y Cadenas de Valor*, Cengage, México.

DAS, A. AND HANDFIELD, R. B. (1997). "Just-in-time and logistics in global sourcing: an empirical study," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* **27**, 244 - 259.

DONG, Y., CARTER, C. R. AND DRESNER, M. E. (2001). "JIT purchasing and performance: an exploratory analysis of buyer and supplier perspectives," *Journal of Operations Management* **19**, 471–483.

WILD, T. (2017). *Best practice in inventory management*, Routledge, NY.

HANKE, J. E. AND WICHERN, D. (2006). *Pronósticos en los negocios*, 8va ed., Pearson, México.

HOPP, W. J., SPEARMAN, M. L. AND ZHANG, R. Q. (1997). "Easily Implementable Inventory Control Policies," *Operation Research* **45**, 327-340.

JAE-DONG HONG, JACK C, HAYYA AND SEUNG-LAE K. (1992). "JIT purchasing and setup reduction in an integrated inventory model," *International Journal of Production Research* **30** (2), 255-266.

KRAJEWSKI, L. AND RITZMAN, L. (2008). *Administración de operaciones*, Pearson Education, México.

SÁNCHEZ-PARTIDA, D., OLIVARES BENÍTEZ, E., MARTÍNEZ FLORES, J.L. (2012). "Determination of parameters for inventory control of spare parts," *Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference, G. Lim and J.W. Herrmann*.

STIG-ARNE, M. (2007). "Inventory control in environments with short lead times," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* **32** (2), 115-130.

HOLWEG, M. (2007). "The genealogy of lean production," *Journal of operations management* **25** (2), 420-437.

NAHMIAS, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*, Mc-Graw Hill, México.

PRATAP, M., AND SINGH, H. (2008). "Evaluation and Economic Selection of Raw Materials' Inventory Control Policies: A Case Study," *Journal of Operations Management* **7** (4), 21-30.

QING L., HE X. AND SHAOHUI Z. (2008). "Periodic-review inventory systems with random yield and demand: Bounds and heuristics," *IIE Transactions* **40** (4), 434-444.

NAHMIAS, S. (2008). *Production and Operations Analysis*, Mc-Graw Hill, Boston.

Lista de subtítulos

Fig. 1 Diagrama de Pareto de clientes.

Fig. 2 Grafica de la demanda del sub-ensamble.

Fig. 3 Grafica de pronósticos vs demanda real del sub-ensamble.

Tabla 1 Cálculo de pronósticos para los próximos periodos.

Tabla 2 Resultados del modelo (q*, R).