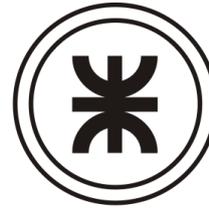


*Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires*



UTN.BA
ESCUELA DE
POSGRADO

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Especialización en Ingeniería Gerencial

Gestión de almacén de repuestos en empresas de consumo masivo

Alumno: Alejandro Santos Pérez

Tutor: Dra. Sandra Patricia Fernández

CABA, febrero de 2022

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
INTRODUCCIÓN.....	5
ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	8
Modelo de inventario (R, S)	8
Modelo de inventario (s, S)	8
Modelo de inventario (s, Q).....	9
Modelo de inventario (R, s, S) y (R, s, Q).....	10
Demanda de Stock.....	11
Stock de Seguridad.....	12
Variabilidad conjunta de la demanda durante el tiempo de aprovisionamiento	13
Punto de Pedido.....	14
DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIONES.....	22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de repuestos anual 18

Tabla 2. Cálculo del nivel de servicio 19

Tabla 3. Datos de gestión de inventario 20

Tabla 4. Existencia de inventario simulado..... 20

Tabla 5. Comparación de niveles calculados y actuales..... 20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de modelo (R, S).....	8
Figura 2. Representación de modelo (s, S).....	9
Figura 3. Representación de modelo (s, Q).....	9
Figura 4. Representación de modelo (R, s, Q).....	10
Figura 5. Representación de modelo (R, s, S)	11
Figura 6. Fórmulas de promedio y desviación estándar	12
Figura 7. Fórmula de stock de seguridad.....	13
Figura 8. Fórmula de desviación conjunta	14

INTRODUCCIÓN

Las empresas de consumo masivo están cada vez más condicionadas a mejorar o mantener su nivel de participación en el mercado. Hoy en día se cuenta con una gran variedad de opciones en que van desde productos de calidad y alto costo a productos más económicos y también productos sustitutos que han ido aumentando su participación de mercado.

Las estrategias de las organizaciones deben llegar a todos los niveles. Se hace necesario revisar cada área en busca de oportunidades de mejora que permita ser más eficiente que luego se traduzca en mejora del resultado económico, logrado así generar ventajas competitivas para enfrentar los desafíos de posicionamiento.

Uno de los niveles que se priorizan en busca de mejoras es el área productiva. Allí se evalúan costos de producción, gastos indirectos y mermas principalmente, para identificar en donde existe mayor brecha y poder generar acciones concretas para su reducción.

La continuidad del proceso de productivo ha sido la meta común de las gerencias de producción y mantenimiento. En los análisis clásicos de eficiencia siempre se busca acortar los tiempos de parada imprevistos que no permiten cumplir con las órdenes de producción que pueden llevar a no satisfacer al consumidor. Esto puede provocar la pérdida de preferencia.

El tiempo imprevisto de parada por fallas mecánicas o eléctricas es el más observado por la organización. También constituye el indicador base de la gestión de la gerencia de mantenimiento. Se cuenta con un plan estructurado de acciones enfocadas para no superar un porcentaje máximo en función del proceso productivo.

Un almacén de repuestos es indispensable para la atención de fallas y ejecución de mantenimiento preventivo. Contar con un repuesto en el momento que se le requiere, garantiza la continuidad operativa de la producción. En caso contrario, origina pérdidas por retrasos en la entrega de producto y altos costos por la gestión un repuesto en emergencia.

Garantizar la eficiencia a cualquier costo ya no es posible. En años anteriores sólo se pensaba en que se debía contar con un alto inventario de repuestos de todos aquellos componentes que pudieran fallar. Esto llevó compras de repuestos innecesarios y en niveles muy por encima de lo demandado en los procesos.

La fijación de los niveles de inventario no siguió un procedimiento. Cada sector determinó empíricamente en que cantidad comprar y de qué forma se iban a revisar para generar nuevos pedidos. Esto en función de la criticidad y complejidad del repuesto que se estaba comprando. Varios niveles se asignaron incluso sin considerar el costo del repuesto en cuestión.

El tiempo de reposición variable ha influido en la determinación de los niveles de inventario ya que con varios proveedores nacionales o internacionales no se cuenta con un tiempo fijo de entrega. Esto contribuye a elevar indiscriminadamente las cantidades máximas de compra y los puntos de pedido tomando como base el peor tiempo de entrega.

Estos inventarios incrementaron constantemente el capital de trabajo, lo que se tradujo en un alto valor de capital inmovilizado, viéndose reducida la capacidad de inversión o atención a otros requerimientos que también se transforman en paradas no programadas del proceso productivo.

La organización ha definido varias estrategias para reducir el capital inmovilizado. La principal que afecta este estudio, fue clasificar los repuestos de acuerdo a su capitalización en estratégicos y no estratégicos. La capitalización permite la depreciación del repuesto y no afecta el índice de inmovilizado.

La inmovilización se mide a través del índice de Lento Movimiento, siendo este definido como la cantidad de cada repuesto no estratégico que no tuvo consumo durante los últimos 6 meses. Cada planta productiva ha designado un porcentaje del capital de trabajo como meta para el seguimiento.

Diferentes iniciativas han surgido para controlar este índice. La principal sigue siendo en una disminución de los niveles de inventario de los repuestos de mayor costo. La disminución puede ser gradual o se decide cambiar la estrategia de planificación para que no tenga reposición automática y sólo sea adquirido bajo pedido explícito de la gerencia de mantenimiento

La implementación de esta medida también se ha traducido en paradas no programadas de alto impacto, al requerir repuestos que ya han llegado a existencia cero. La decisión de no comprar o de reducir considerablemente los niveles de inventario se ha tomado sin considerar un mínimo de seguridad o su histórico de consumo.

El modelo utilizado para la reposición de inventario es un sistema clásico de gestión. Sólo se asigna una cantidad de pedido fija y un punto de pedido. El sistema genera automáticamente la petición de una cantidad máxima una vez el inventario de repuesto cae debajo del punto de pedido. Este sistema no cuenta con un proceso de revisión periódico por parte de los usuarios ni un ajuste automático de las cantidades solicitadas en función de la demanda.

Un repuesto se debe gestionar diferente a materia prima o producto terminado. El modelo de consumo de un repuesto para mantenimiento industrial tiene características particulares por lo cual es indispensable conseguir una gestión acorde a las variables que interactúan dentro de un sistema de producción continuo.

En la actualidad no se dispone de un modelo de gestión de inventario de repuestos aplicados a empresas de consumo masivo. Este debe garantizar un stock de seguridad para atención de paradas

imprevistas y un stock máximo que satisfaga la demanda sin que pase a formar parte del lento movimiento.

En este trabajo de investigación se estudian los distintos modelos de gestión de inventario para repuestos, utilizados en otros rubros comerciales o empresariales para determinar el modelo que mejor se adapte a las características de empresa de consumo masivo. Finalmente, se estimará el ahorro proyectado al aplicar el modelo propuesto.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La gestión de inventarios ha sido estudiada inicialmente para el almacenamiento de materias primas y producto terminado. Para el caso de estudio de esta investigación – almacén de repuestos- se han encontrado modelados en los últimos 10 años para distintos rubros comerciales y empresariales, más no para procesos masivos de consumo.

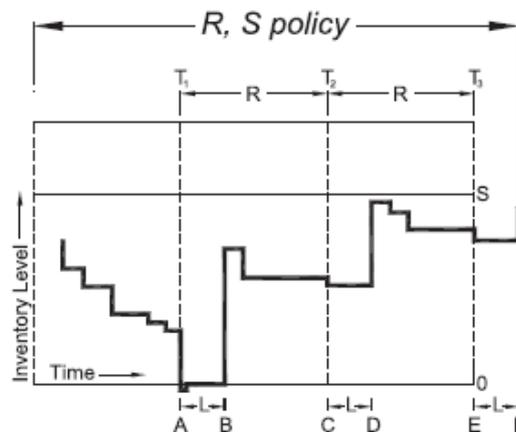
Se iniciará revisando los sistemas clásicos de gestión de stock y el modelado de la demanda, pasando luego a describir los modelos propuestos recientemente aplicados a repuestos.

Modelo de inventario (R, S)

Según describe Larrañeta & Onieva Giménez (1995), es un modelo de revisión periódica con periodo de revisión constante R. Cada vez que se realiza la revisión se lanza un pedido desde el nivel que se observa hasta un nivel máximo constante.

Figura 1

Representación de modelo (R, S)



Estos modelos se denominan sistemas (R, S), por ser éstas las variables

- S = Nivel máximo stock
- R = Revisión periódica
- L = Plazo de entrega

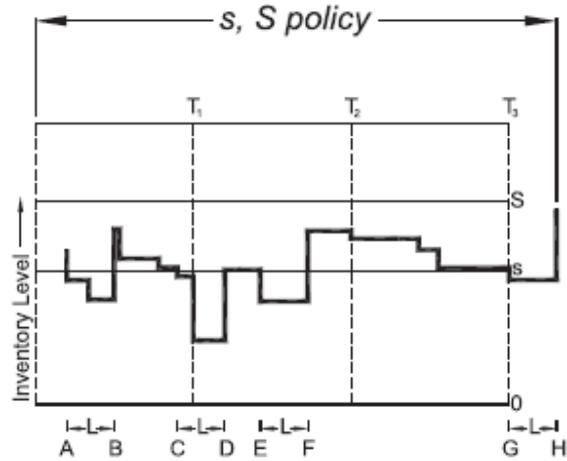
Modelo de inventario (s, S)

Según Zahedi-Hosseini & Scarf (2016) es una política de inventario de revisión continua (s, S), en la que se hace la orden de pedido a elevar la posición de inventario al nivel máximo S cuando el número de piezas de inventario cae o es inferior al nivel s. (García et al., 2004) menciona que, el

valor de S permite cualquier medio de definición, conduciendo únicamente a variación en los niveles de stock y el número de lanzamiento.

Figura 2

Representación de modelo (s, S)



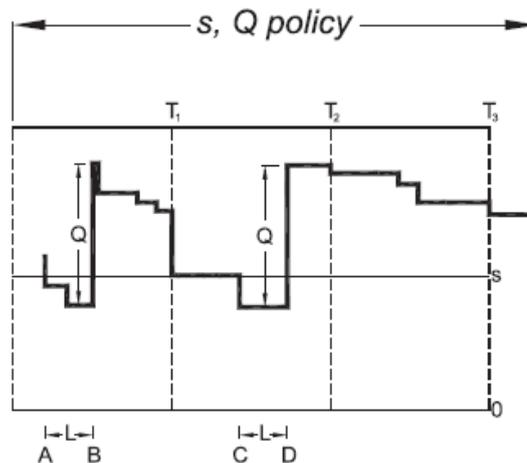
- S = Nivel máximo stock
- s = Punto pedido
- L = Plazo de entrega

Modelo de inventario (s, Q)

Según describe Larrañeta & Onieva Giménez (1995) es uno de los modelos más sencillos, y más genéricamente empleado en el análisis de la gestión es el modelo de revisión continua con tamaño de lote de abastecimiento Q cuyo pedido se realiza cuando el nivel de stock es una cantidad s que cubre exactamente la demanda media que se espera durante el plazo de aprovisionamiento.

Figura 3

Representación de modelo (s, Q)



A estos modelos, que dan lugar a una forma de gestión, se les denomina sistemas (s, Q) , por ser éstas las dos variables que la determinan.

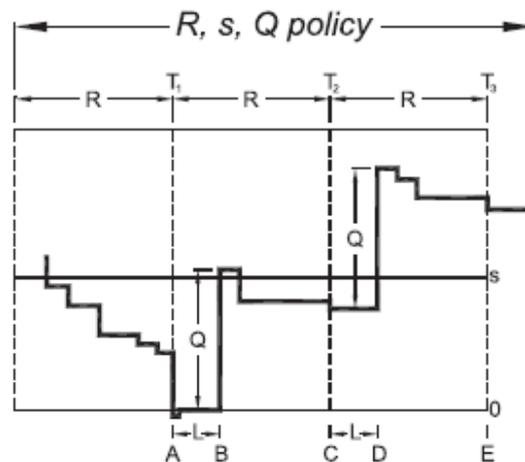
- Q = Lote
- s = Punto pedido
- L = Plazo de entrega

Modelo de inventario (R, s, S) y (R, s, Q)

A continuación, se detalla el modelo de inventario (R, s, Q) . La política de inventario periódica (R, s, Q) , en la que cada R unidades de tiempo se hace un orden de Q unidades siempre que la posición de inventario es menor o igual a s .

Figura 4

Representación de modelo (R, s, Q)

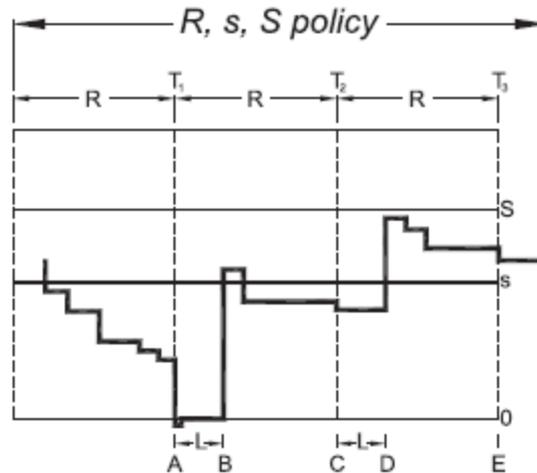


- Q = Lote
- s = Punto de pedido
- R = Revisión periódica
- L = Plazo de entrega

Seguidamente, se detalla el modelo de inventario (R, s, S) . Según Larrañeta & Onieva Giménez (1995), es una política de inventario con revisión periódica (R, s, S) . Cuando se revisa el stock, si éste es superior al nivel inferior s no se pide un lote, sino que se espera a la siguiente revisión.

Figura 5

Representación de modelo (R, s, S)



- S = Nivel máximo de stock
- s = Punto de pedido
- R = Revisión periódica
- L = Plazo de entrega

Para desarrollar este trabajo de investigación, es necesario también conocer conceptos clave de la gestión clásica de inventarios

Demanda de Stock

Como muestra Larrañeta & Onieva Giménez (1995) se denominan los métodos de análisis de los stocks de productos sujetos a demanda independiente. Esta demanda, o bien es determinista y perfectamente conocida, o se prevé mediante métodos estadísticos que estiman el tipo de distribución probabilística que mejor la representa, y los parámetros que la definen. Dada la dificultad y el coste de realizar, se suele emplear de forma general la distribución normal para productos con demanda continua o cuya magnitud sea elevada. Y para demanda discreta y reducida, la distribución Poisson. En el caso de productos especialmente importantes, se realicen estimaciones más precisas empleando la distribución de Laplace, la binomial o alguna de la familia de la distribución gamma.

La demanda se prevé, según Onieva & Cortés (2006) extrapolando los datos históricos sobre su comportamiento anterior. De la demanda se estima su forma (distribución), y los parámetros que la definen, que, en la mayoría de los casos suele ser el valor medio (la media) y el error de previsión (la desviación típica o varianza).

Debido a los datos históricos que se poseen, se decide usar una distribución normal en el proyecto para la demanda media y desviación típica. Como describe López Fernández (2014), la distribución normal es el modelo de distribución de probabilidad más usado en la práctica, ya que multitud de fenómenos se comportan según una distribución normal.

Figura 6.

Fórmulas de promedio y desviación estándar

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

\bar{X} = media demanda

σ = desviación típica demanda

Stock de Seguridad

Como describe García Sabater (2004) el stock de seguridad es un inventario creado con el doble propósito de satisfacer la demanda que excede de las previsiones para un determinado periodo y de proteger al Sistema de las irregularidades no previstas del entorno. El hecho de que exista incertidumbre en las previsiones de la demanda implica que la demanda real pueda ser mayor que la demanda prevista. En estos casos, el inventario de seguridad evita que se agote el producto y, por lo tanto, que se pierdan ventas por falta de éste.

Sabiendo el stock de seguridad SS, se introduce en los modelos de inventario de revisión continua o periódica para calcular los puntos de pedidos s o nivel máximo constante S .

Según Larrañeta & Onieva Giménez (1995) el modelo de revisión continua se realiza un pedido cuando alcanza el punto de pedido s , que cubre exactamente la demanda media μ que se espera durante el plazo de aprovisionamiento más una cierta cantidad, denominada stock de seguridad, destinada a cubrir las probables desviaciones de la demanda con respecto al valor medio μ . Esto es $s = \mu + ss$.

El modelo de revisión periódica R se realiza un pedido cada periodo de revisión R y lanza un pedido desde el nivel que se observa hasta un nivel máximo S . Este nivel superior es la magnitud que corresponde a una demanda que se presentara de acuerdo con la demanda prevista durante el plazo de revisión R y el de aprovisionamiento, más una cantidad destinada a stock de seguridad, SS ,

con el fin de cubrir los probables incrementos de la demanda sobre el valor medio esperado μ . En este caso también $S = \mu + SS$, pero correspondiendo μ y SS al periodo de tiempo suma del de revisión más el plazo de aprovisionamiento.

En la literatura de Larrañeta & Onieva Giménez (1995), Onieva & Cortés (2006) y López Fernández (2014) la fórmula utilizada para calcular el stock de seguridad es:

Figura 7

Fórmula de stock de seguridad

$$SS=Z \cdot \sigma$$

siendo:

- Z = Factor de seguridad, calculado en función al nivel de servicio
- σ = Desviación típica de la demanda durante el plazo de entrega

La fórmula obtenida anteriormente, según López Fernández (2014) se puede interpretar que, el stock de seguridad será el resultado de multiplicar la desviación típica por el valor de la distribución normal estándar para el nivel de servicio fijado. Se deduce que cuanto más variable es la demanda, mayor será el stock de seguridad, teniendo en cuenta que la variabilidad se mide por la desviación típica.

En cuanto al valor Z , cuanto mayor sea el nivel de servicio (y menor la probabilidad de rotura de stock), el valor Z , será más alto y el stock de seguridad será mayor. Este valor se puede coger de la tabla de la distribución normal estándar. Por ejemplo, obtendríamos para un nivel de servicio de 95,54% el factor de seguridad $Z = 1,7$.

Variabilidad conjunta de la demanda durante el tiempo de aprovisionamiento

Según describe Crespo Márquez (2007) el nivel de existencias de seguridad puede calcularse asumiendo que la disponibilidad de inventario se mide en términos de la probabilidad de indisponibilidad por ciclo de pedido. En este caso, el stock de seguridad puede ser modelado como una función del nivel de servicio al cliente especificado por la dirección y la desviación estándar de la demanda de piezas de repuesto durante el plazo de aprovisionamiento. Al mismo tiempo, esta desviación estándar de la demanda de plazo de aprovisionamiento se basa en la media y la varianza de la demanda y del plazo de aprovisionamiento, asumiendo que las distribuciones de la demanda y del plazo de aprovisionamiento son independientes entre sí:

Figura 8

Fórmula de desviación conjunta

$$\sigma_{DL} = \sqrt{\bar{L} \cdot \sigma_D^2 + \bar{D}^2 \cdot \sigma_L^2}$$

Siendo:

 σ_{DL} Variabilidad conjunta de la demanda de piezas durante el tiempo de aprovisionamiento \bar{L} Tiempo medio de aprovisionamiento σ_D Variabilidad de la demanda de piezas por unidad de tiempo σ_L Variabilidad del tiempo de aprovisionamiento \bar{D} Demanda media de piezas**Punto de Pedido**

Según Larrañeta & Onieva Giménez (1995) el punto de pedido s cubre exactamente la demanda media μ que se espera durante el plazo de aprovisionamiento más una cierta cantidad, denominada stock de seguridad, destinada a cubrir las probables desviaciones de la demanda con respecto al valor medio μ . Esto es $s = \mu + ss$. Por tanto, el valor medio se puede expresar: $\mu = \bar{D} \cdot \bar{L}$ $s = \bar{D} \cdot \bar{L} + Z \cdot \sigma_{DL}$

Una vez alcanzado el punto de pedido s , se debe realizar un pedido para evitar problemas en el suministro de piezas debido a una rotura de stock.

A continuación, se resumen los trabajos actuales que hablan sobre la problemática de los inventarios de piezas de repuesto.

Un trabajo novedoso publicado por Turrini & Meissner (2017), trata sobre la distribución de demanda en la gestión de inventarios de repuestos. En esta publicación, se contribuye a la literatura empírica mediante el análisis de las distribuciones que mejor se adaptan a las piezas de repuesto. Se utiliza la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov (K-S) para encontrar las distribuciones que mejor se ajustan a sus datos y comparan los resultados con los de la literatura actual.

Wang (2012) publicó un trabajo sobre un modelo estocástico para inventario conjunto de piezas de repuesto y optimización de mantenimiento planificado. Este trabajo presenta la optimización conjunta tanto para el control de inventario de las piezas de repuesto y el intervalo de inspección de Mantenimiento Preventivo (PM). Las variables de decisión son el intervalo de pedido, el intervalo de PM y la cantidad de orden. Debido a la naturaleza aleatoria de los fallos de las plantas, se

derivan modelos de costes estocásticos para el inventario y mantenimiento de piezas de repuesto y se emplea un algoritmo de enumeración con programación dinámica estocástica para encontrar las soluciones óptimas conjuntas en un horizonte de tiempo finito. El modelo de inventario sigue una política de revisión periódica, pero con la demanda regida por la necesidad de piezas de repuesto debido al mantenimiento. Se demuestra el modelo desarrollado usando un ejemplo numérico.

La publicación de Thi Phuong Khanh (2012) trata sobre el mantenimiento óptimo y decisiones de reemplazo bajo cambio tecnológico con la consideración de inventarios de piezas de repuesto. Remarca que los modelos clásicos de inventario de piezas de repuesto suponen que se utilizará el mismo tipo de tecnología en todo el horizonte de planificación. Sin embargo, el reemplazo de activos a menudo ocurre en la forma de una nueva tecnología que hace obsoletos los inventarios existentes de piezas de repuesto. Este trabajo tiene como objetivo estudiar el impacto del inventario de piezas de repuesto en el mantenimiento del equipo y las decisiones de reemplazo bajo el cambio tecnológico mediante una formulación de proceso de decisión de Markov. Bajo el cambio tecnológico, se muestra que las opciones de reparación y no hacer nada tienen mucho más valor ya que permiten esperar la aparición de tecnologías aún mejores en el futuro.

En el trabajo de Panagiotidou (2014) fue motivado por el problema de control de inventario de piezas de repuesto y mantenimiento observado purgadores de vapor en una refinería de petróleo. Se estudia el problema de mantenimiento y pedidos de repuestos para más de un elemento de operación idéntico. Los elementos de operación pueden sufrir dos tipos de fallos silenciosos: un fallo menor, que resulta en un mal funcionamiento del elemento, y un fallo importante o crítico, que hace que el elemento esté completamente fuera de servicio. Las revisiones de mantenimiento se llevan a cabo periódicamente para detectar cualquier fallo y los elementos inspeccionados se mantienen, reparan o reemplazan preventivamente de acuerdo con su condición. Se investigan dos políticas de gestión de inventarios para suministrar los repuestos necesarios: una revisión periódica y una política de revisión continua. Además, la sensibilidad de los modelos propuestos se estudia a través de ejemplos numéricos y se discute el efecto de algunas características clave del problema en las decisiones óptimas.

Mjirda (2016) investiga la optimización conjunta del mantenimiento preventivo periódico y el problema de inventario de repuestos. En este trabajo, se propone un nuevo modelo para la optimización conjunta del mantenimiento preventivo periódico y el problema del inventario de piezas de repuesto. Consiste en encontrar un programa de mantenimiento óptimo de la máquina M en un horizonte cíclico compuesto por t periodos, teniendo en cuenta la gestión del inventario de las piezas de repuesto. Se realiza un experimento computacional sobre un conjunto de instancias generadas para mostrar la eficiencia y el límite del modelo.

Zahedi-Hosseini & Scarf (2016) describe en su trabajo la demanda de piezas de repuesto de las plantas industriales de fábrica de papel, al menos en parte, por las necesidades de mantenimiento. Por lo tanto, es importante optimizar conjuntamente el mantenimiento planificado y el inventario de piezas de repuesto asociado utilizando las políticas de mantenimiento y reposición más adecuadas. En este estudio basado en la simulación, se aborda este desafío en el contexto del fallo aleatorio de piezas en servicio y la sustitución de piezas defectuosas en las inspecciones del período T. Las inspecciones se modelan utilizando el concepto de tiempo de retardo (delay-time concept). Se comparan modelos de inventario de revisión periódica y revisión continua. Una planta de fabricación de papel proporciona un contexto real para la presentación de sus ideas. Examinan a los profesionales que trabajan con dicha planta para recopilar datos reales que informen de los valores y parámetros en los modelos. Los resultados de simulación indican que una política de revisión periódica con pedidos que son dos veces más frecuente que la inspección es óptima en el contexto del problema que se estudia.

Duran, Macchi, & Roda (2016) publicó su trabajo sobre la relación de las políticas de inventario de repuestos con el coste total de propiedad de los activos industriales. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio de simulación dirigido a caracterizar la relación de las políticas de inventario de repuestos con el coste total de propiedad de las plantas industriales. El estudio está motivado por la expectativa de que varias decisiones de gestión de repuestos causen efectos importantes en la rentabilidad a largo plazo de los activos industriales. En dichas decisiones se pueden considerar, entre otras, el aprovisionamiento inicial, la política de inventario y la adquisición al fin de ciclo de vida útil. Este trabajo adopta la simulación para probar una política específica de inventario de piezas de repuesto, es decir, un sistema de revisión continua, con el objetivo final de evaluar sus efectos sobre el rendimiento operativo de una planta de trituración industrial y, en consecuencia, sobre su coste total de propiedad.

Según el trabajo publicado de Basten & van Houtum (2014), habla sobre modelos de inventario orientados al sistema para piezas de repuesto. En esta publicación, se estudian los modelos de control de inventario de piezas de repuesto bajo restricciones de servicio orientadas a sistema. Esos modelos se vinculan a dos tipos arquetípicos de redes de piezas de recambios: redes de usuarios que mantienen sus propios sistemas, por ejemplo, en el mundo militar, y redes de fabricantes de equipos originales (OEM) que dan servicio a la base instalada de productos que han vendido.

Se discute tanto la ubicación única como los modelos de varios escalones (multi-echelon). Se enfoca más en el uso de envíos laterales y de emergencia, y se refiere a otras extensiones y al acoplamiento de modelos de control de inventario de piezas de repuesto a problemas relacionados, como la planificación de la capacidad de un taller de reparación.

El trabajo publicado por van Jaarsveld, Dekker, & Dollevoet (2015), estudia el control de inventario de repuestos para un taller de reparación de componentes de aeronaves. La inspección de un componente defectuoso revela qué piezas de repuesto se necesitan para repararlo y en qué cantidad. La escasez de piezas de repuesto demora las reparaciones, mientras que los operadores de aeronaves exigen tiempos de reparación de componentes cortos. Los métodos actuales de optimización del inventario de piezas de repuesto no pueden garantizar el rendimiento en el nivel de componente, que es deseado por los operadores. Para hacer frente a este déficit, su modelo incorpora los requisitos del operador. En consonancia con las políticas de taller de reparación típicas, las piezas de repuesto se asignan por orden de llegada a las reparaciones, y su inventario se controla utilizando una gestión de política (s, S) . El enfoque de solución aplica la generación de columnas en una formulación de programación. Se desarrolla un nuevo método para resolver el problema de fijación de precios relacionado.

Crespo (2014) presentó un trabajo en el que incorpora el cálculo del stock de seguridad y punto de pedido incorporando el nivel del servicio deseado, es decir, el nivel certeza de existencia que se desea al momento de requerir un repuesto. Además, propone una ponderación cuando el repuesto es utilizado por varios activos o máquinas.

Cabello (2017) presentó para su trabajo de fin de máster una aplicación del modelo de Crespo aplicado a un servicio de postventa de ascensores. El principal objetivo era incorporar el stock de seguridad y proyectar el costo del mismo.

DISCUSIÓN

En la actualidad el inventario de repuestos en la planta en estudio se gestiona a través del método de inventario (R, s, Q) sin considerar un stock de seguridad ni seguir algún tipo de parámetros para guiar la asignación del punto de pedido (s) o la cantidad a pedir (Q). Estos valores se han venido ajustando de modo empírico tanto por exceso como por defecto. El caso más común es elevar todos los niveles de inventario por tiempos de entrega prolongados. En otros casos cuando el capital inmovilizado aumenta considerablemente se disminuyen los niveles a valores que no satisfacen la demanda, ocasionando la parada del proceso productivo.

Luego de haber revisado la bibliografía y las distintas propuestas desarrolladas en los últimos años, se utilizará el modelo de Crespo (2014) ya que cumple con criterios propios de la industria de consumo masivo. En esta investigación se evalúa el comportamiento de 4 repuestos catalogados como “No estratégicos”, al ser estos los contabilizados en el capital inmovilizado. Se realiza al final la proyección de capital invertido.

Los repuestos fueron seleccionados con diferentes comportamientos de falla, histórico de consumo y tiempo de entrega según su procedencia. Esto permitirá evaluar el modelo para diferentes situaciones.

Los repuestos escogidos son un sello de una lavadora de botellas de uso exclusivo en el equipo y de origen nacional, un amortiguador usado en etiquetadoras y empacadoras de la marca de origen importado, un perno de origen nacional de uso dedicado a un sólo equipo y una malla de transporte de botellas de origen importado que se comparte entre dos líneas de producción.

En la tabla 1 se muestra el consumo anualizado desde 2010 a 2021 de cada ítem

Tabla 1

Consumo de repuestos anual

Código SAP	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
10010253 Sello Lavb AUS 240/1-16 1"1/8	2	3	3	1	2	0	1	2	0	0	1	0	15
10010349 Amortiguador Etiq SAC 10013955	0	1	7	0	3	3	5	6	7	7	0	0	39
10010135 Perno Encj IEF 947 220 035 / 39	0	6	14	2	13	10	12	5	8	3	2	0	75
10013316 MALLA TABLITAS PLAST 3¼	15,24	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	18,24

Para la aplicación del modelo, se define por medio del histórico de consumo los equipos en los que se utilizan los repuestos seleccionados. La criticidad del repuesto se asigna directamente por la criticidad del equipo. Para esto se utilizó una clasificación previa conocida como matriz de

criticidad donde se pondera el impacto de la falla del equipo en términos de seguridad, calidad, medio ambiente, impacto en producción e impacto económico incurrido por la avería.

El nivel de servicio se define a partir de la redundancia de líneas de producción que pueda producir la misma presentación. El nivel de criticidad viene dado como dato de salida de la matriz de criticidad en el que un equipo “A” es 99%, “B” es 95%, “C” es 92% y “D” es 88%. Siguiendo el modelo se completa la tabla 2.

Tabla 2

Cálculo del nivel de servicio

Código SAP	Equipo	NS Objetivo	Criticidad	Nivel Criticidad	% Demanda	NS Combinado	NS Ponderado
10010253 Sello Lavb AUS 240/1-16 1"1/8	Lavadora L1	0,99	A	0,99	100%	0,9801	0,9801
10010349 Amortiguador posterior Etiqu SAC 10013955	Empacadora L6	0,92	B	0,95	20%	0,874	0,9272
	Etiquetadora L6	0,99	B	0,95	80%	0,9405	
10010135 Perno Encj IEF 947 220 035 / 39	Encajonadora L1	0,95	B	0,95	100%	0,9025	0,9025
10013316 MALLA TABLITAS PLAST 3¼	Transporte Bot L8	0,99	A	0,99	90%	0,9801	0,9801
	Transporte Bot L9	0,99	A	0,99	10%	0,9801	

Según el modelo de Crespo (2014), se procede al cálculo de los datos de la tabla 3 que se exponen a continuación:

La columna Z es el factor de ajuste que se obtiene a partir de los datos de la curva estándar de distribución normal. El campo D(m) constituye el promedio de los datos de demanda. Sig(d) viene dado por la desviación estándar. El L(m) se toma como valor fijo de 1 mes para repuestos nacionales y de 6 meses para repuestos de importación. Por ende, la desviación estándar Sig (L) es cero.

De acuerdo con la ecuación de la variación conjunta Sig(D&L) queda como la multiplicación de Sig(D) y la raíz cuadrada de L(m). El stock de seguridad SS se calcula se obtiene del producto de Sig(D&L) y Z. El punto de pedido PP se obtiene la multiplicación de L(m) y D (m) más el SS. El tamaño de lote fijo TLF se calcula como la raíz cuadrada de la suma de las demandas anuales. Finalmente, los valores de SS, PP y TLF se ajustan por redondeo.

Tabla 3

Datos de gestión de inventario

Código SAP	Z	D(m)	Sig(D)	L (m)	Sig (L)	Sig(D&L)	SS	SS Aj.	PP	PP aj.	TLF	TLF aj.
10010253 Sello Lavb AUS 240/1-16 1"1/8	2,06	1,25	1,138	0,167	0	0,46466	0,957	1	1,208	1	1,79962117	2
10010349 Amortiguador Etiq SAC 10013955	1,46	3,25	3,019	0,167	0	1,232453	1,799	2	2,542	3	7,69666398	8
10010135 Perno Encj IEF 947 220 035 / 39	1,3	6,25	5,065	0,167	0	2,067974	2,688	3	4,042	4	17,9091774	18
10013316 MALLA TABLITAS PLAST 3¼	2,06	1,52	4,406	0,5	0	3,115451	6,418	6	6,76	7	13,3055666	13

Se realiza una simulación con los niveles de inventario obtenidos tomando como dato de entrada los consumos históricos. Los resultados que se muestran en la tabla 4 es el valor final de inventario al cierre del año.

Tabla 4

Existencia de inventario simulado

Código	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
10010253 Sello Lavb AUS 240/1-16 1"1/8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	2,0	1,0	0,0	2,0	2,0	1,0	1,0
10010349 Amortiguador Etiq SAC 10013955	8,0	7,0	0,0	8,0	5,0	2,0	5,0	0,0	1,0	2,0	10,0	10,0
10010135 Perno Encj IEF 947 220 035 / 39	18,0	12,0	0,0	16,0	3,0	11,0	0,0	13,0	5,0	2,0	18,0	18,0
10013316 MALLA TABLITAS PLAST 3¼	0,0	13,0	13,0	13,0	13,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

A partir de los valores calculados se observa que la eficiencia del modelo es de 92%, es decir, en sólo el 8% de las veces no se contaría con existencia del repuesto necesario.

Se presenta en la tabla 5, una comparación entre los datos calculados a partir de la aplicación del modelo y los datos actuales de gestión de inventario. Se observa que en tres casos los valores de inventario aumentan y en un caso disminuye a menos de la mitad de los valores actuales.

Tabla 5

Comparación de niveles calculados y actuales

Código	Datos calculados			Datos actuales		
	SS Aj.	PP aj.	TLF aj.	SS	PP	TLF
10010253 Sello Lavb AUS 240/1-16 1"1/8	1	1	2	-	1	1
10010349 Amortiguador Etiq SAC 10013955	2	3	8	-	3	5
10010135 Perno Encj IEF 947 220 035 / 39	3	4	18	-	10	10
10013316 MALLA TABLITAS PLAST 3¼	6	7	13	-	22	45

En los valores actuales no se considera el stock de seguridad (SS). La planificación se realiza sólo considerando el tamaño de lote y el punto de pedido. Se considera esto como la principal razón del aumento de los niveles del punto de pedido y tamaño de lote para el sello, amortiguador y perno.

En el caso de la malla su origen es de importación, a diferencia de los otros códigos. Para esta condición se consideró un tiempo de entrega de 6 meses. En esta situación, la tendencia es aumentar los niveles de inventario a valores muy altos buscando garantizar contar con el material en el momento de una falla. En el resultado del modelo se evidencia que con menos de un tercio de niveles de control de inventario la necesidad se cubre satisfactoriamente.

El modelo aplicado se ajusta más a repuestos de importación. Los niveles de inventario disminuyen en una proporción importante y permite contar con existencia al ser requerido. Incorporar el stock de seguridad es un factor clave. Para repuestos nacionales, se garantiza un nivel de servicio alto pero se incurre en capital inmovilizado mayor.

CONCLUSIONES

Los niveles de inventario para los repuestos usados para el mantenimiento en una empresa de consumo masivo no deben ser ajustados empíricamente. Se toma un riesgo elevado debido a que puede generar un tiempo de parada prolongado por falta de un repuesto o un alto costo de capital inmovilizado al asignar niveles que en teoría garantice la continuidad de la producción.

Un capital inmovilizado elevado genera desinversión. Para intentar cubrir las potenciales emergencias, se duplican o triplican niveles de inventario sobre todo en repuestos específicos de las máquinas en las que no es posible solventar con lo disponible en el mercado nacional. Una decisión común es reducir la inversión para no afectar el resultado de la organización.

Incorporar el stock de seguridad es indispensable para la disponibilidad del repuesto. Este nivel se considera como el punto crítico mínimo por debajo del cual se corre el riesgo de tener una parada prolongada por falla de un componente.

El modelo aplicado en el presente trabajo de investigación avala un alto nivel de servicio. El valor obtenido fue de 92%. El nivel de servicio promedio teórico escogido como dato de entrada fue de 94%. Esto comprueba la efectividad del modelo para repuestos de una empresa de consumo masivo.

Los repuestos importados responden satisfactoriamente al modelo. La simulación de consumos demuestra un ahorro del capital inmovilizado al mismo tiempo en el que se satisface la demanda. Para los repuestos locales se debe realizar un ajuste al modelo que permita disminuir los niveles de inventario.

Incorporar el stock de seguridad es indispensable para la disponibilidad del repuesto. Este nivel se considera como el punto crítico mínimo por debajo del cual se corre el riesgo de tener una parada prolongada por falla de un componente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basten, R., & van Houtum, G.-J. (2014). *System-oriented inventory models for spare parts*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.sorms.2014.05.002>
- Cabello, L. (2017). Diseño de un sistema de gestión de inventario de piezas de repuesto en un servicio postventa de ascensores. *Tesis de maestría*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Crespo Márquez, A. (2007). *The maintenance management framework : models and methods for complex* . Londres: Springer.
- Crespo, A. (2014). Asignatura de Mantenimiento. Master en Organización Industrial y Gestión de Empresas. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Duran, O., Macchi, M., & Roda, I. (2016). *On the relationship of spare parts inventory policies with*. Obtenido de <http://10.1016/j.ifacol.2016.11.004>
- García Sabater, J. (2004). *Gestión de stocks de demanda independiente*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Larrañeta, J., & Onieva Giménez, L. (1995). *Métodos modernos de gestión de la producción*. Madrid: Alianza Editorial.
- López Fernández, R. (2014). *Logística de aprovisionamiento*. Madrid: Paraninfo.
- Mjirda, A. (2016). www.researchgate.net. Obtenido de 10.1016/j.ifacol.2016.07.886
- Onieva, L., & Cortés, P. (2006). *Métodos cuantitativos y organización de la producción*. Madrid: Síntesis.
- Panagiotidou, S. (2014). Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures. *European Journal of Operational Research*.
- Thi Phuong Khanh, N. (2012). Optimal maintenance and replacement decisions under technological change with consideration of spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*.
- Turrini, L., & Meissner, J. (2017). Spare parts inventory management: New evidence from distribution fitting. *European Journal of Operational Research*.
- van Jaarsveld, W., Dekker, R., & Dollevoet, T. (2015). *Improving spare parts inventory control at a repair shop*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.002>
- Wang, W. (2012). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. *European Journal of Operational Research*.
- Zahedi-Hosseini, F., & Scarf, P. (2016). *reliability engineering and system safety*. Elsevier.