





MODELADO INICIAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS: UN CASO DE ESTUDIO

Bernal Picado Argüello

RESUMEN

Aunque existen y se han venido desarrollando varios modelos para la optimización del inventario de repuestos, conocido como MRO (Maintenance, Repair and Operations), sobre todo para empresas intensivas en uso de capital, que tienen como objetivo principal el contar con una adecuada disponibilidad del repuesto cuando este sea requerido, al menor costo posible, en muchos casos se enfocan en temas tales como la segmentación de los repuestos, decisiones de mantenimiento, estrategias de abastecimiento o manejo logístico; sin embargo, la mayoría no incorpora una visión sistemática completa, que integre y sincronice de manera efectiva la intervención necesaria y oportuna de cada uno de los actores o partes interesadas que intervienen en la cadena de suministro de repuestos, y donde se incluya una metodología robusta para la asignación del nivel de criticidad a cada repuesto.

Este artículo plantea una propuesta sobre todo metodológica, identificando los actores responsables de determinar técnicamente la justificación de mantener un inventario de seguridad, el punto de reorden necesario e indicadores que permitan medir el desempeño de dicho proceso.

Palabras claves: gestión de activos, inventarios de piezas de repuesto, MRO, Norma EN 62550:2017, criticidad, cadena de suministro.

ABSTRACT

Although there are and have been developing several models for the optimization of spare parts inventory, known as MRO Maintenance, Repair and Operations, especially for capital intensive companies, which have as their main objective an adequate availability of the spare part when required, at the lowest possible cost, in many cases focus on issues such as the segmentation of spare parts, maintenance decisions, supply or logistics management strategies; however, most do not incorporate a comprehensive, systematic vision that effectively integrates and synchronises the necessary and timely intervention of each of the actors or stakeholders involved in the spare parts supply chain, and including a robust methodology for assigning the level of criticality to each spare part.

This article makes a mainly methodological proposal, identifying the actors responsible for technically determining the justification for maintaining a safety inventory, the necessary rearrangement point and indicators to measure the performance of this process.

Key words: asset management, spare parts inventory, MRO, Standard EN 62550:2017, criticality, supply chain.

Bernal Picado Argüello es Director y Profesor de la Carrera de Ingeniería en Productividad Empresarial de Lead University. Doctorando en Ingeniería Mecánica y de Organización Industrial, Universidad de Sevilla. Socio Director de Consultoría Activa BCN, S.A.

INTRODUCCIÓN

Las organizaciones intensivas en uso de capital¹ y la gran mayoría de empresas con infraestructura física productiva, tienen dentro de sus objetivos estratégicos procurar el mayor nivel de Disponibilidad y Confiabilidad de sus activos, lo que a su vez asegure la consecución razonable de los objetivos del negocio. Para ello se utilizan distintas estrategias tales como contar con varias unidades del mismo activo o equipo (conocida como redundancia técnica) o mantener grandes volúmenes de inventario de repuestos en sus bodegas; con los consecuentes costos asociados en el primer escenario de capital necesario como inversión inicial en equipos y que se convierte en capital inmovilizado, o elevar los costos de mantener inventarios en el segundo escenario.

Por otra parte, por sus características, los inventarios de repuestos tienen un comportamiento diferente a otros tipos de inventarios (por ejemplo, materia prima y producto terminado). Entre estas características podemos resaltar que la alta rotación no es un factor deseable –como sí lo es en casi todos los otros tipos de inventario– ya que este comportamiento implica la aparición de una cantidad relevante de fallos en los activos y en consecuencia elevados niveles de indisponibilidad y baja confiabilidad, aunque de igual manera una muy baja rotación conlleva un alto costo de mantener dichos inventarios, que en el caso de empresas intensivas en capital representan miles y hasta millones de dólares. La demanda de este tipo de inventario está muy diferenciada en cuanto a los repuestos y materiales para intervenciones de mantenimiento preventivo y consumibles, que suele ser estimable por medio de metodologías estadísticas comunes (por ejemplo utilizando la distribución normal), ya que su comportamiento es cíclico y relativamente previsible, versus los repuestos necesarios para las intervenciones de mantenimiento correctivo, cuya demanda es aleatoria y aparecen de manera infrecuente, lo que deriva que en una cantidad relevante de ocasiones no suele existir data suficiente para realizar análisis estadístico con registros históricos y en muchos casos por tanto se deben realizar estimaciones con alto grado de incertidumbre como son las técnicas de determinación de demanda por criterio experto, benchmarking y cuando sea factible utilizar tasas de fallo teóricas.

Por otra parte, los modelos existentes de gestión y mejora de este tipo de inventarios en su gran mayoría están sustentados desde el punto de vista de Gestión de Mantenimiento o desde la óptica de Gestión de Inventarios, con distintos enfoques individuales tales como la segmentación de los repuestos, decisiones de mantenimiento, estrategias de abastecimiento o manejo logístico entre otros, pero no de manera integral que incluya a los actores de la cadena logística. Por ello, en este artículo se aborda como caso de estudio, y con el objetivo de brindar una posible solución integradora, el diseño inicial de un modelo para la gestión de estos inventarios que permita establecer las bases de un sistema de gestión de inventarios en una empresa intensiva en uso de capital, concretamente del sector de generación de energía centroamericano.

Dentro del alcance de este artículo se inicia con una revisión general de algunos los modelos existentes, ya que el objetivo es crear un modelo inicial personalizado, para luego identificar los elementos o consideraciones necesarias para un adecuado ejercicio de planificación, donde se establecen los lineamientos y disposiciones estratégicas que faciliten y sirvan de guía a una adecuada gestión de inventarios de repuestos, para luego abordar el proceso donde se determine el nivel óptimo de repuestos a mantener y adquirir, donde se consideran distintos elementos o factores, los cuales aparecen influenciados o condicionados de manera muy relevante por la asignación de un nivel de criticidad, que se determina por medio de una matriz que contempla dos ejes: el primero donde se evalúa la criticidad derivada del impacto operacional por la indisponibilidad del repuesto y el segundo donde se considera la criticidad asociada a la complejidad de adquisición del mismo. En cada uno de los ejes se establecen criterios con una ponderación específica. El nivel de criticidad es identificado como el principal elemento o criterio a considerar para determinar las políticas de inventario, y contestar interrogantes tales como: ¿sobre qué repuestos se justifica mantener un inventario de seguridad y quién en la organización es responsable de determinar su volumen?, ¿quién es el responsable de determinar el punto de reorden para cada segmento de caracterización de inventario?

La última fase del caso de estudio establece las métricas establecidas para medir la evolución y grado de

¹ El término "intensivo en capital" se refiere a procesos comerciales o industrias que requieren grandes cantidades de inversión para producir un bien o servicio y, por lo tanto, tienen un alto porcentaje de activos fijos, tales como propiedades, planta y equipo. (Ricardo, 2021).

consecución de los objetivos de la gestión de inventarios de repuestos.

Esta modelización inicial potencia la identificación y el grado de intervención de cada actor relevante en la cadena de suministro del repuesto y contempla la normativa interna o externa que puede dar un marco de acción a estos procesos, como es el caso de la Norma EN 62550 y está diseñado para ser utilizado en empresas de uso intensivo de capital, y se ha probado específicamente en el sector de la generación de energía, pero sus fundamentos y consideraciones pueden servir de base para aplicarlo en otros sectores.

METODOLOGÍA

Dentro de la metodología elegida, se establece como primer apartado una revisión general de la literatura existente en la cual se revisan diferentes modelos de gestión de inventarios de repuestos que en su gran mayoría tienen enfoques individuales tales como la minimización del riesgo, decisiones basadas para ciertos segmentos de repuestos, decisiones basadas en la estrategia o política de mantenimiento, así como en la estrategia de abastecimiento y cadena de suministros.

Como el objetivo del caso de estudio es proporcionar a la organización un modelo personalizado que sirva de base para implementar un sistema de gestión de inventarios propio, la metodología se fundamenta en trabajo de campo y observación in situ, donde cabe destacar las siguientes actividades: entrevistas con actores claves de la organización relacionados con la gestión de logística y procesos vinculados a la cadena de abastecimiento (Planificación, Compras, Inventarios, Bodegas), revisión documental del sistema de gestión con que cuenta la organización, observación in situ del desarrollo de las actividades realizadas en cada proceso y comprobación de los instrumentos diseñados con datos reales de la operación.

REVISIÓN GENERAL DE LITERATURA

Si bien el enfoque metodológico de este caso se basa en la observación de campo real, inicialmente se realizó una revisión general del estado del arte existente sobre modelos o enfoques de gestión de inventarios de repuestos, donde se hace aún más latente que el tema cuenta con amplia literatura, pero con enfoques específicos como se menciona en el apartado anterior.

Se distinguen como más relevantes los enfoques con énfasis en la teoría del riesgo asociada al impacto operacional de la carencia del repuesto (Bharadwaj, 2010), los que se enfocan en alinear el proceso de mantenimiento con el proceso de inventarios tal como indica Wang (2012), que se concentra en una estrategia de mantenimiento preventivo predeterminado para definir el reemplazo de repuestos no contemplando de manera exhaustiva las necesidades por mantenimiento correctivo y basado en condición; otros autores como Huiskonen (2001) basan su modelo en el desarrollo de la logística y cadena de abastecimiento como enfoque prioritario sin contemplar aspectos relacionados a la generación de la demanda de repuestos o como Pascual et al (2017) quienes proponen un modelo que considera maximizar la disponibilidad a través de un esquema de descuento total por volumen que se establece para ciertos segmentos de repuestos aprovechando esta estrategia de abastecimiento de menor precio por compras de volumen pero no considera de manera exhaustiva el costo de mantener el inventario. En cuanto a modelos basados en estrategias de mantenimiento cabe destacar el estudio de Poppe et al (2017) quienes establecen como pilar de su modelo la gestión del inventario con dependencia directa de la política de mantenimiento definida que si bien asocia los inventarios a la gestión del mantenimiento, no establece requisitos de gestión críticos que son necesarios para asegurar el despliegue del modelo.

PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS

La planificación es el pilar fundamental de la gestión de inventarios de repuestos, ya que en este proceso se establecen lineamientos y disposiciones generales que sirven como guía para el despliegue de los demás procesos que integran un sistema de gestión de inventarios, en especial al proceso denominado “gestión del nivel óptimo de existencias”. En este proceso se definen de igual manera los recursos necesarios, así como los niveles de responsabilidad de los diferentes actores que permiten dar integralidad o sentido a las actividades críticas del sistema de gestión.

Los principales entregables de este proceso pueden resumirse en los siguientes insumos de información críticos, como se observa en la Figura 1:

- a) Establecer características y atributos que deben tener las fichas técnicas de los repuestos críticos, donde se cuente con información real y oportuna de aspectos críticos relevantes que faciliten la identificación de los atributos del repuesto, adquisición y búsqueda de posibles sustitutos
- b) Asignación de un nivel de criticidad a cada repuesto por medio de una matriz de criticidad
- c) Estandarización del pronóstico de demanda para establecer el Plan anual de requerimientos de repuestos, que incluye los necesarios para realizar los mantenimientos preventivos programados y una estimación de demanda para mantenimientos correctivos y proyectos de mejora o actualización de los activos.



ASIGNACIÓN DE CRITICIDAD A LOS REPUESTOS

La criticidad de los repuestos debe basarse en una metodología de análisis integral, que incluya al menos las perspectivas del impacto operacional por carencia o indisponibilidad del repuesto y los elementos relacionados con la complejidad del proceso de adquisición. Siguiendo este enfoque se genera una matriz que pondera estas dos perspectivas donde en el eje de las x se contempla la complejidad de adquisición y en el eje y el impacto operacional por indisponibilidad. Ambos ejes de la matriz combinada incluyen variables que deben

ser ponderadas y evaluadas, basándose en los registros históricos disponibles y el criterio experto de personal que cuenta con las competencias o experiencia en esta materia como es el caso de los líderes de los procesos de mantenimiento, compras y control de inventarios.

Cabe destacar que al ser la criticidad un elemento de suma importancia para definir y priorizar la gran mayoría de actividades y decisiones relacionadas con la gestión de inventarios, su origen se establece desde el proceso de planificación.

VARIABLES POR CONSIDERAR PARA LA ASIGNACIÓN DE CRITICIDAD

Como se mencionó en el apartado anterior, los principales elementos por considerar para establecer el nivel de criticidad se basan en un análisis de variables identificadas para cada eje. En el eje que corresponde a la complejidad de la adquisición del repuesto se consideran las siguientes variables: lead time o tiempo de aprovisionamiento, disponibilidad en el mercado (local, internacional y proveedor único), y el costo o valor de compra del repuesto.

En el eje que corresponde al impacto operacional, o lucro cesante,² por la indisponibilidad del repuesto, que imposibilite una intervención requerida de mantenimiento, se consideran la frecuencia de uso y el impacto directo en la operación.

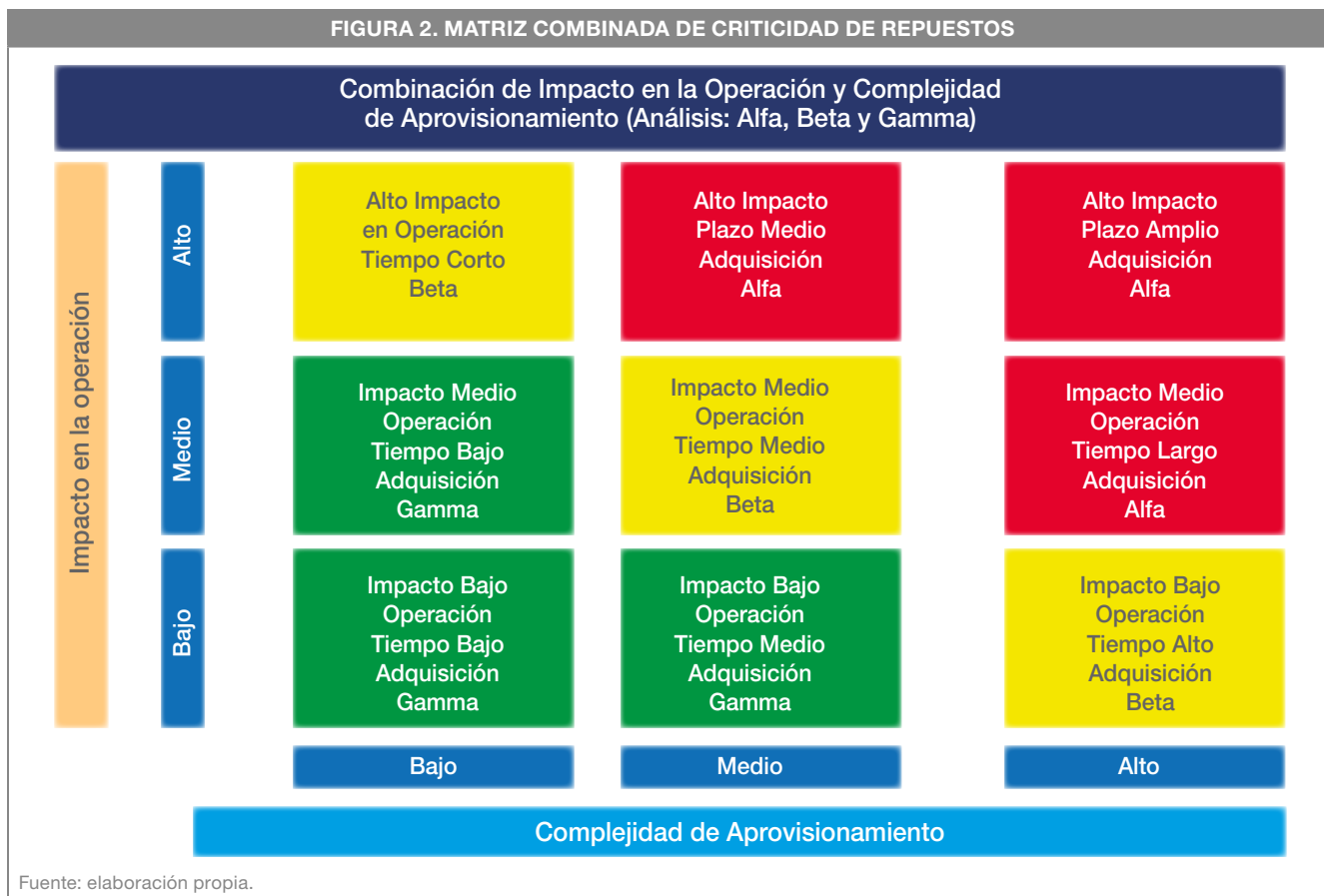
Los valores de las escalas se definieron con los líderes y personal experimentado de los procesos de Compras, Inventarios y Mantenimiento. El resultado final es una matriz de criticidad combinada con nueve cuadrantes que se muestra en la Figura 2.

Una vez validado este instrumento, se procedió a realizar una prueba piloto de aplicación de la matriz en un almacén representativo de la organización, cuyos resultados se pueden observar en el apartado “Resultados” de este documento.

Se aplicó también la metodología Alfa-Beta-Gamma, la cual consiste en establecer los niveles de criticidad total que se identifican con los colores de un “informe semáforo”, siendo lo identificados en color rojo los de criticidad alta, en amarillo los de criticidad media y en color verde los de baja criticidad.

² En el contexto de la gestión de activos, se entiende como *lucro cesante* la pérdida de ingresos ocasionada por un paro operativo, el cual ocasiona una pérdida de producción u operación no recuperable. Adaptado de ISO 14224

FIGURA 2. MATRIZ COMBINADA DE CRITICIDAD DE REPUESTOS

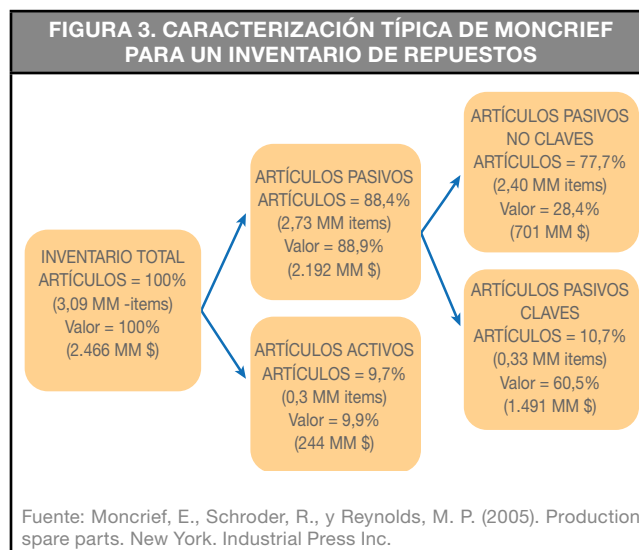


CONSIDERACIONES GENERALES PARA DETERMINAR EL NIVEL ÓPTIMO DE EXISTENCIAS

Para determinar el nivel óptimo de existencias, se utilizaron las metodologías ABC tanto por rotación como por valor económico. Estas se basan en el principio de Pareto aplicado a la gestión de inventarios, donde se mantiene la consigna de “muchos artículos triviales y pocos vitales”. Al aplicar esta metodología se comprueba que una pequeña cantidad de referencias de repuestos representan un alto valor de rotación y de valor económico.

Adicionalmente, se aplicó la metodología de Moncrief et al (2005), siguiendo lo establecido en la Figura 3., donde se utilizó como insumo principal el resultado de la matriz combinada de criticidad y se determinaron porcentajes muy similares en la caracterización del inventario de la prueba piloto, ubicándose la mayor criticidad en los repuestos que representan tan solo un 10% del total de categoría de baja rotación o pasivos, pero cerca del 60% del total de valor económico. Sobre estos, Mantenimiento tendrá un control relevante junto al área de Inventarios.

FIGURA 3. CARACTERIZACIÓN TÍPICA DE MONCRIEF PARA UN INVENTARIO DE REPUESTOS



Por último, a la luz de lo identificado como buena práctica, se sugiere un grupo de indicadores para monitorear y controlar el desempeño de las actividades asociadas a las mejoras sugeridas, que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1. INDICADORES SUGERIDOS

Indicador	Fórmula de Cálculo	Frecuencia	Responsable de cálculo	Responsable de acción de mejora / Seguimiento
% de Nivel de Servicio por categoría de inventario	Cantidad de repuestos entregados a conformidad (por categoría) / Cantidad de repuestos solicitados (por categoría)	Mensual	Jefe de Inventarios	Gerente de planta
Lucro cesante por indisponibilidad de repuestos	Sumatoria del valor económico del lucro cesante por indisponibilidad de repuestos (\$) / Valor económico del lucro cesante por indisponibilidad de repuestos / valor total del lucro cesante (%)	Mensual	Jefe de Inventarios / Jefe de Mantenimiento	Gerente de planta
Costo del inventario	Valor económico del inventario en stock por razón social (total y por categoría)	Mensual	Jefe de Inventarios	Gerente de planta
Rotación del inventario	Costo artículos despachados / Costo Promedio de inventarios = n unidad de tiempo rotación % rotación en cada categoría de criticidad	Mensual	Supervisor de Bodega	Jefe de Inventarios
Precisión o fiabilidad del inventario	Sumatoria del valor económico físico / sumatorio valor económico en sistemas (%)	Anual o por toma física planificada	Supervisor de Bodega	Jefe de Inventarios
Tiempo promedio de atención a solicitudes de materiales para mantenimiento	Promedio de tiempo transcurrido desde el registro de una solicitud de materiales en EAM hasta la entrega de los repuestos	Mensual	Supervisor de Bodega	Jefe de Inventarios
Volumen Despachado por Bodega	Cantidad de solicitudes de materiales despachados Sumatorio de valor económico de Solicitudes de materiales despachados	Mensual	Supervisor de Bodega	Jefe de Inventarios
Volumen de Compras recibidas	Cantidad de órdenes de compras recibidas (artículos) Sumatorio del valor económico de órdenes de compras recibidas (dólares)	Mensual	Supervisor de Bodega	Jefe de Inventarios

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

A continuación, se detallan los principales resultados obtenidos:

- A. Se diseña la matriz combinada de criticidad de repuestos que se valida en un almacén de la organización con aproximadamente 2.500 distintas referencias o códigos, donde se determina la siguiente clasificación: 18% de repuestos Alfa (Criticidad Alta), 38% Beta (Criticidad Media) y el restante 44% Gamma. Los colaboradores de la organización que participaron validan que su expectativa de la distribución es similar a la que por criterio experto tenían interiorizada.
- B. Por medio de la metodología de la caracterización de Moncrief y utilizando como insumo los resultados de la aplicación de la matriz combinada de criticidad, se determinan sobre ese

- inventario que los porcentajes y clasificación en los segmentos de Alta Rotación, Baja Rotación Críticos y Baja Rotación No Críticos, coinciden con los que se calculan con dicha metodología. Por tanto las responsabilidades y estrategias sobre la determinación de inventario de seguridad y cálculo del punto de reorden, se reasignan de la siguiente manera: repuestos de alta rotación: responsable Inventarios con seguimiento bimensual, repuestos de baja rotación No Críticos: responsable Inventarios con apoyo de mantenimiento (estrategia de una unidad mínima y sobre este volumen contra pedido y con seguimiento mensual), repuestos de baja rotación Críticos: mantenimiento, seguimiento semanal.
- C. Se propone un grupo de indicadores para controlar y medir el desempeño inicial del sistema de gestión que se va a implementar.

D. En general, se deja un soporte para modelizar el sistema de gestión de inventarios de repuestos y materiales para mantenimiento, del cual carecía la organización.

CONCLUSIONES

La principal conclusión es que en la organización analizada no se contaba con una orientación clara sobre las actividades críticas necesarias para gestionar sus inventarios de repuestos, y por medio de los resultados obtenidos se cuenta con una modelización inicial

del sistema de gestión de inventarios que puede implementarse para optimizar esta gestión.

Las responsabilidades sobre este tipo de inventario no es conveniente centrarlas en el área de Inventarios, sino que los “socios de negocio internos”, tales como mantenimiento, tienen un papel importante en la eficiencia del sistema.

Los lineamientos de planificación también son elementos importantes que se definieron y se están aplicando.

Para futuros análisis se puede profundizar por medio del análisis de los registros que se vayan creando, y aplicando la mejora continua a estos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2015). UNE-ISO 55000-1:2015. Gestión de activos. Sistemas de gestión. Requisitos. Madrid, España: Aenor.
- AENOR. (2017). *UNE-EN 62550:2017 Aprovisionamiento de piezas de repuesto (Ratificado en 2017)*. Madrid: Aenor.
- Bharadwaj, U. (2010). Risk Based optimization of Spares Inventory Management. *Tesis de doctorado inédita*. Leicestershire, Inglaterra.
- Caballero Fedriani, F. J. (2017). Marco de referencia para la gestión de repuestos. Métodos para la mejora del proceso de toma de decisiones. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Crespo Marquez, A., & Parra, C. A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Sevilla: Digital Atres.
- Crespo Marquez, A., & Sola Rocique, A. (2016). *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. Madrid: Aenor.
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: special characteristics and strategic choices. *International journal of production economics*, 171, 125-133.
- Kennedy, W. (2002). An Overview of Recent Literature on Spare Parts Inventories. *International Journal of Production Economics*, 201-215.
- Monciref, E. C., Schroder, R. M., & Reynolds, M. P. (2005). *Production Spare Parts*. Connecticut: Industrial Press Inc.
- Pascual, R. e. (2017). Optimal repairable spare parts procurement policy under Total Business Volume Discount Environment. *Reliability Engineering System Safety*, 159, 276-282.
- Poppe, J., Basten, R. J., Boute, R. N., & Lambrecht, M. R. (2017). *Numerical study of inventory management under various*. Reliability Engineering.
- Ricardo, R. (2021). *exonegocios*. Recuperado el 25 de mayo de 2021, de <https://exonegocios.com/intensivo-de-capital/>
- Trujillo Alvarado, L. (2018). Modelo integral de gestión de repuestos para mantenimiento en empresas intensivas en uso de capital. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Wang, W. (2012). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. *European Journal of Operational Research*, 127-139.